

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри МЛВ
канд. техн. наук, доцент
_____ Олександр КУЗИК
« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:
“Проектування і розрахунок конвективного сушила безперервної дії продуктивністю 2 т/год. для сушіння стержнів ”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ-22-1
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Максим ПЕРЕСУНЬКО
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник бакалаврської роботи
Старший викладач
_____ Микола БОСИЙ
« ____ » _____ 20__ р.

Рецензент
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО
« ____ » _____ 20__ р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Пересунька Максима Сергійовича**

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок конвективного сушила безперервної дії продуктивністю 2 т/год. для сушіння стержнів
2. Керівник роботи: Старший викладач Босий Микола Вікторович
3. Строк подання роботи до захисту
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: вивчення конструкції роботи конвективного сушила та розрахувати основні його розміри. Визначити тепловий баланс проектованого обладнання.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури		
2	Проведення розрахунку основних розмірів, тепловий баланс проектованого обладнання, обробка фактичного матеріалу		

3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівнику		
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту		
5	Перевірка роботи на плагіат		
6	Зовнішнє рецензування роботи		
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії		

Дата видачі завдання

«___»_____20__р.

Підпис керівника

_____ Микола БОСИЙ

Завдання прийнято до виконання

«___»_____20__р.

Підпис здобувача

_____ Максим ПЕРЕСУНЬКО

АНОТАЦІЯ

Пересунько М.С. Проектування і розрахунок конвективного сушила безперервної дії продуктивністю 2 т/год. для сушіння стержнів, спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026. 36 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи полягає у вивченні, конструкції та роботи конвективного сушила, а також розрахунок розмірів сушила і розрахунок теплового балансу проєктованого сушила ємністю 2 т/год.

Проектування та розрахунок конвективного сушила для сушіння стержнів безперервної дії складається з: розрахунок сушила та визначення основних розмірів, розрахунок та визначення теплового балансу для його проєктування.

Графічна частина: конвективне сушило - загальний вигляд.

Сушило, конвективне, паливо, топка, стержні, тепловий баланс

ABSTRACT

Peresunko M.S. Design and calculation of a convective dryer of continuous action with a capacity of 2 t/h. for drying rods, specialty 131 "Applied Mechanics", OPP - "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 36 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of the qualification bachelor's thesis is to study, design and operation of a convective dryer, as well as calculate the dimensions of the dryer and calculate the heat balance of the designed dryer with a capacity of 2 t/h.

Design and calculation of a continuous convective dryer for drying rods consists of: calculate the dryer and determine the main dimensions, calculate and determine the heat balance for its design.

Graphic part of a convective dryer - general view.

Dryer, convective, fuel, furnace, rods, heat balance

З м і с т

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Конструкція сушила та принцип дії.....	9
РОЗДІЛ 2. Тепловий розрахунок сушила	16
2.1. Розрахунок часу сушіння стержнів	16
2.2. Розрахунок горіння палива	18
2.3. Визначення ентальпії продуктів горіння.....	19
2.4. Теоретичний процес сушіння за $H-d$ діаграмою	22
2.5. Кількість вологи, яка виділяється із стержневої суміші.....	23
2.6. Розрахунок витрат тепла у процесі сушки	23
2.7. Розрахунок витрат тепловмісту газів при сушінні	25
2.8. Дійсний процес сушінні за $H-d$ діаграмою	26
2.9. Визначення витрати палива	27
2.10. Тепловий баланс конвективного сушила	28
РОЗДІЛ 3. Розробка конструкції конвективного сушила	30
Висновки.....	32
Література.....	33
Додатки	34
Додаток 1. Загальний вид конвективного сушила.....	35

Вступ

Сушіння є тепловим методом обробки, суть якого полягає у видаленні вологи з матеріалів через її випаровування.

Інтенсивність сушки матеріалів залежить від величини теплового потоку. Теплота до матеріалу, який нагрівається, може передаватися такими способами: конвекцією, випромінюванням і теплопровідністю.

При сушінні матеріалів відбуваються наступні процеси:

- випаровування вологи з поверхні при поглинанні теплоти;
- переміщення пари, яка утворюється на поверхні матеріалу, в довкілля;
- переміщення вологи в середині матеріалу від центральних шарів до поверхні випаровування.

Конвективна сушка – це, коли теплота від сушильного агенту передається за рахунок конвекції, тобто (за допомогою нагрітого повітря, продуктів горіння палива) до поверхні матеріалу, який нагрівається.

Сушила використовуються у ливарному виробництві для сушіння формувальних матеріалів, стержнів і форм. Основними формувальними матеріалами є пористі матеріали – це пісок і глина.

Пісок належить до сипучих формувальних матеріалів, що зберігає стабільність об'єму після висушування. Проте, за відсутності сполучних компонентів (органічних речовин, глини або рідкого скла), висушена піщана суміш стає крихкою та втрачає зв'язність, перетворюючись на порошок. Фізичні характеристики піску залишаються незмінними незалежно від тривалості чи температури сушіння.

Піщані форми і стержні сушать найбільш швидко при високій температурі, так як ці вироби мають при сушінні малу усадку і не розтріскуються. Глина є капілярною колоїдною речовиною. Стінки капілярів еластичні, набухають при поглинанні вологи та стискаються при її видаленні. Цим пояснюється значна усадка глини при її сушінні. Якщо глину сушать, як формувальний матеріал з наступним подрібненням, то швидкість

температури сушіння не обмежують. При сушінні форм і стержнів з глиняною складовою для запобігання їх розтріскування швидкість підвищення температури обмежують.

Формувальні суміші створюють на основі піску та глини, вводячи мінеральні чи неорганічні компоненти. Останні забезпечують високу вогнетривкість, термічну стабільність та постійний об'єм при температурних перепадах, дозволяючи вільно обирати режими сушіння. Натомість використання органічних зв'язуючих (як-от декстрин або патока) вимагає контролю за сушкою, обмежуючи інтенсивність нагріву та максимальну температуру.

Для просушування матеріалів в залежності від їх складу, форми і розмірів вибирають оптимальні режими сушіння. При перевищенні оптимальної температури і швидкості сушіння форми і стержні втрачають свої властивості від розкладання і випаровування зв'язуючі речовини. Через це втрачається міцність форми і стержні передчасно можуть розбиватися рідким металом, якщо температура сушіння нижче оптимальної. Зв'язуючі речовини дають найбільшу міцність виробів при відповідній температурі. Температура сушіння стержнів і форм знаходиться в межах 350...600 °С, піску при температурі 700...800 °С, глини при 650...800 °С.

РОЗДІЛ 1. Конструкція сушила та принцип дії [1-6]

У ливарному виробництві використовуються сушильні установки різноманітних типів. Переважна їх частина функціонує на газі та використовує примусову циркуляцію теплоносія для обробки матеріалів. В газових сушилах сушильним агентом є суміш нагрітих продуктів, горіння газу і повітря. Процес сушіння інтенсифікується багаторазовою циркуляцією сушильного агента в сушиллі.

Топку сушила, в якій відбувається горіння газу, виконують виносною або вбудовують в сушильну камеру. В обох випадках топка ізольована, в ній підтримується температура 1000...1100 °С, яка забезпечує ефективне горіння газу. В топці підтримують невелике розрідження рециркуляційним вентилятором, яке перешкоджає вибиванню з неї продуктів горіння.

Функціонування сушила базується на спалюванні газу в топці за допомогою пальника. Утворені газу потрапляють у камеру змішування завдяки розрідженню, яке створює рециркуляційний вентилятор. Високотемпературні продукти згорання з'єднуються з відпрацьованим агентом, що надходить із робочої камери. Отриманий теплоносій вентилятором подається назад у робочу зону, при цьому об'єм подачі регулюється заслінкою. Проходячи крізь вироби, газу віддають тепло, після чого охолодженими повертаються в камеру змішування, а зайва частина видаляється через спеціальний регульований клапан.

Розглядаємо сушила тільки з конвективним теплообміном. За принципом роботи сушила поділяють на дві групи: періодичної і безперервної дії.

Сушила періодичної дії використовують в одиничному виробництві. Тепловий режим їх алогічний тепловому режиму печей періодичної дії.

За конструкцією сушила періодичної дії є камерними, які відрізняються одне від одного способом завантаження виробів або матеріалів, що треба

висушити, а також переносними, вони використовуються для сушки великих форм та сушила для поверхневого підсушування форм.

До сушил безперервної дії відносяться горизонтальні та вертикальні конвеєрні сушила, а також тунельні сушила.

В залежності від джерел теплової енергії сушила поділяють на паливні з використанням твердого, рідкого та газоподібного палива, а також на електричні – це радіаційні та сушила з електричним нагріваннями високої частоти, а ще сушила з контактним сушінням.

Сушила періодичної дії. До них відносять сушила ямного типу, камерні сушила з вкатним візком, камерні сушила з етажерками, сушила з висувними полицями, переносні сушила.

Сушила безперервної дії. До недоліків періодичних камерних сушил слід віднести необхідність нагріву корпусу перед кожним завантаженням. Оскільки після завершення процесу сушіння камера охолоджується, це спричиняє зайві втрати тепла.

Необхідність зміни температури газів у сушилі в процесі сушіння за графіком ускладнює регулювання температури газів у сушилі. Цих недоліків позбавлені сушила безперервної дії. В них висушувані вироби повільно пересуваються усередині сушила, яке працює при сталому тепловому режимі і сталих температурах в різних його зонах. В процесі роботи теплота не витрачається на прогрівання стінок сушила.

Горизонтальні конвеєрні сушила. Сушильна камера горизонтальних конвеєрних сушил представляє собою довгий коридор, який вміщує конвеєр, що горизонтально рухається. Конвеєр з підвісними етажерками, на які встановлюються вологі вироби, підходить до сушильної камери з торцевої частини. Оскільки торцеві стіни коридору залишаються відкритими для входу і виходу конвеєра, то, щоб уникнути вільного виходу гарячих газів через відкриті торці, сушило підняте над підлогою цеху, і конвеєр входить в сушило через похилу частину коридору. Висота підйому похилої частини коридору повинна бути не менше висоти вхідного отвору.

Конвеєр усередині сушила повертається в горизонтальній площині, роблячи від двох до чотирьох оборотів. Підведення топкових газів у сушильну камеру робиться знизу, а відведення униз – за допомогою системи залізних коробчастих димоходів і нагору – через отвір в перекритті сушила.

Топки конвеєрних сушил викладаються із шамотної цегли. Робочий простір являє собою залізну конструкцію, на якій закріплюються панелі, виготовлені з листової сталі і заповнені шлаковатою.

Вертикальні конвеєрні сушила так само, як і горизонтальні, являють собою металеву конструкцію, до якої прикріплюються панелі з шлаковою ізоляцією.

Зовнішній вигляд вертикального сушила показано на рис. 1.1, схема устрою – на рис. 1.2. Етажерки підвішені до двох нескінченних ланцюгів, перекинутих у верхній частині сушила через зубчасті колеса. Діаметр коліс біля двох метрів. Кінці вала зубчастих коліс проходять через сальник крізь стіни сушила і спираються на підшипники. Вал приводиться в обертання електродвигуном через редуктор і варіатор швидкостей за допомогою ланцюгової передачі. Нижня частина ланцюга обгинає напрямні натяжного устрою. З боку висхідної частини ланцюга знаходиться завантажувальне вікно для сирих стержнів. З протилежної сторони розташоване вікно для вивантаження сухих стержнів. Топка розташована трохи вище завантажувального і розвантажувального вікон між гілками конвеєра. Сушило може працювати на будь-якому виді палива.

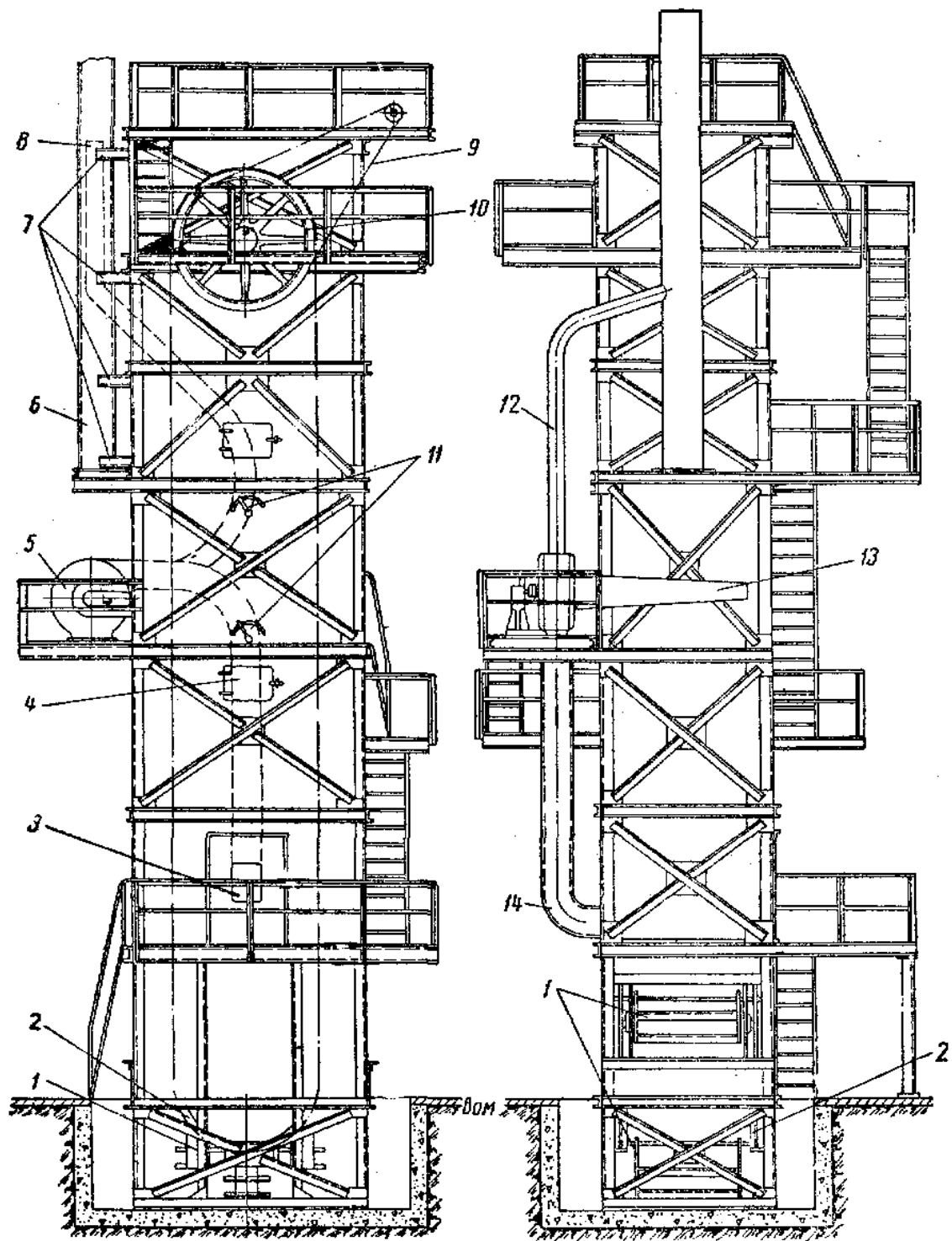


Рис. 1.1. Вертикальне конвеєрне сушило:

- 1 – підвісна етажерка; 2 – натяжна станція; 3 – топка; 4 – оглядовий люк;
 5 – вентилятор; 6 – димова труба; 7 – патрубки, що з'єднують димар із
 внутрішньою частиною печі; 8 – інжектор; 9 – приводний ланцюг;
 10 – привідна зірочка; 11 – шиברי регулювання тиску газів; 12 – патрубок
 викиду газів у димар; 13 – патрубок відсмоктування газів із сушила;
 14 – патрубок подачі рециркуляційних газів

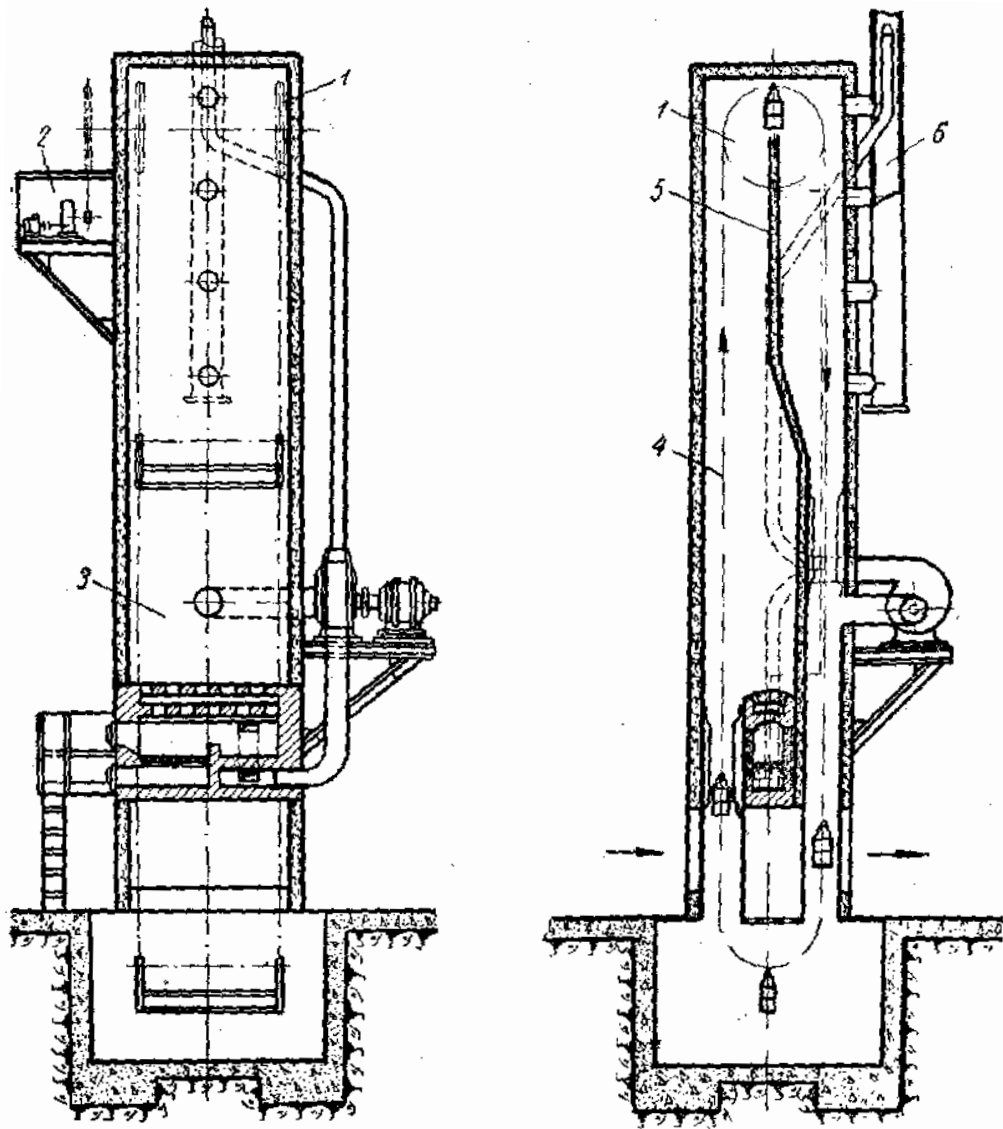


Рис. 1.2. Розріз вертикального конвеєрного сушила:
 1 – зірочка підвіски етажерки; 2 – привід 3 – робочий простір печі; 4 – ланцюг підвіски етажерок; 5 – подовжня перегородка; 6 – димова труба

Устрій топки, що працює на газі, показано на рис. 1.3. Вона складається з двох камер – внутрішньої і зовнішньої. Внутрішня камера є, власне, топкою, в якій відбувається горіння палива. Зовнішня служить для охолодження кладки топки і топкових газів. У нижню частину зовнішньої камери надходить повітря, що засмоктується через спеціальні отвори під топкою, або нагнітається вентилятором суміш повітря і відпрацьованих газів. Омиваючи зовні топку, вони охолоджують її і потім в просторі між двома гратчастими зводами змішуються з топковими газами, знижуючи їх температуру. Через отвори у верхньому гратчастому зводі суміш топкових

газів і повітря надходить у робочий простір сушила з боку висхідної гілки. Піднявшись у верхню частину сушила, гази обгинають перегородку, опускаються вниз і видаляються через трубу в атмосферу. Частина їх засмоктується вентилятором. З вентилятора ці гази можуть направлятися в нижню частину зовнішньої камери топки, де вони використовуються для рециркуляції, про що йшлося вище, або в ежекційній пристрій димаря, де вони служать для посилення тяги. Ежектором, як правило, користуються тільки при розпалюванні сушила.

Димар сполучається з робочим простором сушила чотирма патрубками. Відкриваючи ті, чи інші патрубки, можна регулювати відбір газів із сушила. В перекритті сушила робиться люк для його огляду; одночасно люк служить запобіжним клапаном на випадок вибуху газів.

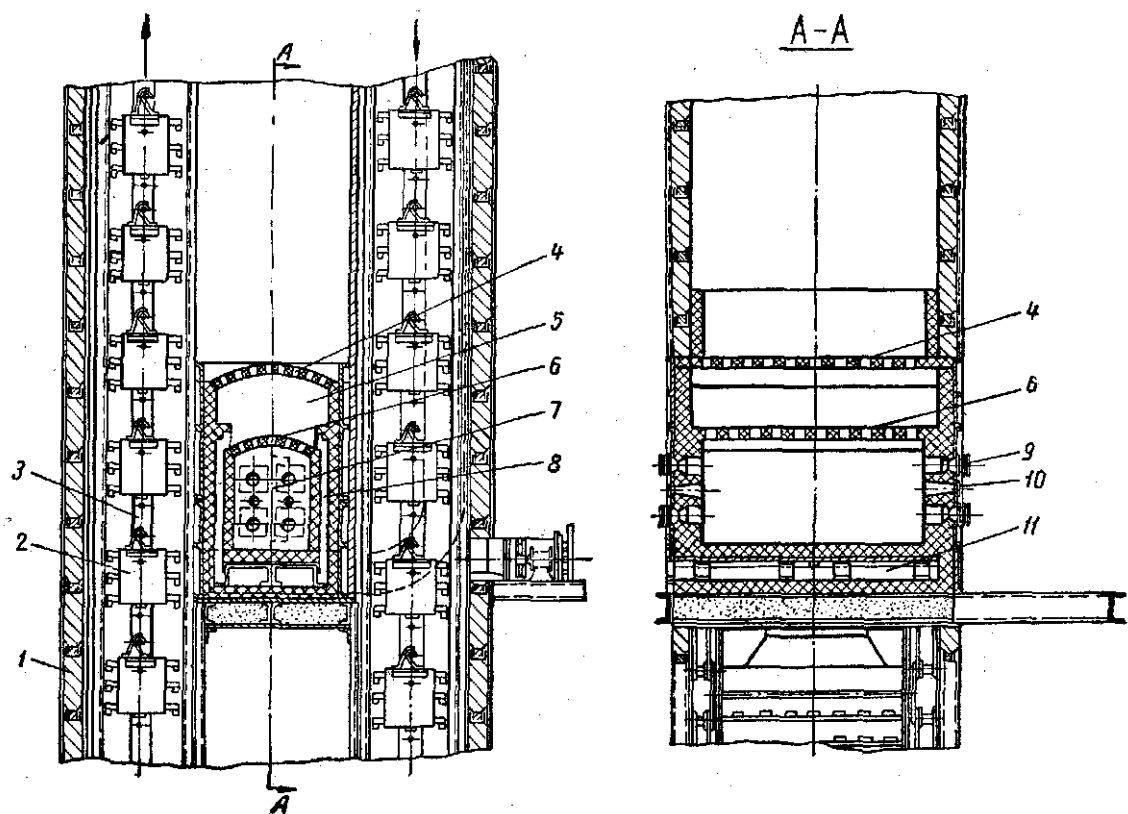


Рис.1.3. Топка вертикального сушила:

- 1 – панелі; 2 – підвісна етажерка; 3 – нескінченний ланцюг; 4 – верхній гратчастий звід; 5 – міжзодовий простір; 6 – нижній гратчастий звід; 7 – топковий простір; 8 – канал рециркуляційного повітря; 9 – палиник; 10 – оглядове вікно; 11 – канал подачі рециркуляційних газів

Етажерки із сирими стержнями надходять у робочий простір сушила в безпосередній близькості з топкою, внаслідок цього стержні відразу ж піддаються дії газів високої температури. Тому у вертикальних сушилах сушіння масивних стержнів утруднене.

Вертикальні сушила будуються продуктивністю від 0,5 до 1,5 т/год.

Розроблена система автоматичного завантаження і розвантаження вертикальних сушил. При цьому полиці етажерок виготовляються литими з алюмінію і вільно кладуться на косинці підвісок. Така полиця по рольгангу зачочується в сушило штовхачем, а на розвантажувальній ланці також автоматично витягується із сушила на рольганг.

РОЗДІЛ 2. Тепловий розрахунок сушила [1-6]

Для сушіння виробів часто використовують конвективний спосіб, де випаровування вологи відбувається шляхом впливу на матеріал нагрітими газами (повітрям, сумішами або продуктами згоряння). Безпосередньо форми та стержні в ливарному виробництві сушать за допомогою димових газів.

Тепловий розрахунок процесу сушіння при заданому температурному режимі передбачає обчислення кількості палива та витрати сушильного агента (гарячого повітря чи димових газів).

Дані для розрахунку. Конвективне вертикальне сушило безперервної дії працює на димових газах, отриманих від спалювання природного газу наступного хімічного складу у відсотках за масою:

CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	Всього
0,2	0,1	94	1	4,4	0,2	0,1	100,0

Паливо спалюється в пальниках. Продуктивність сушила 2 т/год. Максимальна температура нагрівання стержнів 400 °С. Початкова температура стержнів 20 °С.

2.1. Розрахунок часу сушіння стержнів [1-6]

Сушіння відбувається у поверхні, тому час сушіння має бути пропорційним величині цієї поверхні. Поверхня, у свою чергу, пропорційна об'єму, а значить і масі стержня $2/3$, отже має місце така статистична залежність

$$\tau = k \cdot G^{2/3},$$

де τ – час сушіння газами; k – коефіцієнт пропорційності, G – маса стержня.

Для визначення коефіцієнта пропорційності скористаємося наступними даними, наведеними в табл. 2.1.

Співвідношення маси стержня і часу його сушіння

G , кг	1	16	40	75	150	250
τ_1 , год.	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5
τ_2 , год.	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0	12,5
$G^{2/3}$	1	6,3	11,7	17,8	28,2	39,7

$$k_1 = \frac{7,6}{40} = 0,19, \quad k_2 = \frac{16}{40} = 0,4.$$

Таким чином, для наближеної оцінки часу сушіння стержнів з масляними або сульфідними закріплювачами використовуємо формулу

$$\tau_1 = 0,2 \cdot G^{2/3}.$$

Для стержнів з глинистими закріплювачами

$$\tau_2 = 0,4 \cdot G^{2/3}.$$

Для наших розрахунків вибираємо середньостатистичний стержень з наступними розмірами: $d = 60$ мм, $h = 150$ мм, тоді:

$$G = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \cdot \rho;$$

$$G = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \cdot \rho = 3,14 \cdot \frac{60^2}{4} \cdot 150 \cdot 1,8 = 7630 \text{ г} = 7,630 \text{ кг};$$

$$\tau = 0,2 \cdot 7,630^{2/3} = 0,775 \text{ год.} \approx 1 \text{ год.}$$

Ємність сушила розраховуємо за наступним виразом:

$$C = P \cdot \tau,$$

де P – продуктивність сушила; τ – час сушіння.

$$C = 2 \cdot 1 = 2 \text{ т.}$$

При масі стержня 7,630 кг у сушилі одночасно буде перебувати 262 стержні. Для їх сушки використовуємо корзини ємністю 15 стержнів кожна. Загальна кількість корзин у сушилі 18 шт.

2.2. Розрахунок горіння палива [1-6]

Визначаємо теплотворність палива за виразом:

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 127000 + 108 \cdot \text{H}_2\text{O} + 361 \cdot \text{CH}_4 + 599 \cdot \text{C}_2\text{H}_2 = 127 \cdot 0,2 + 108 \cdot 0,1 + 361 \cdot 94 + 599 \cdot 1 = 34569,2 \text{ кДж/кг.}$$

Визначаємо теоретично необхідну для горіння кількість кисню за виразом і теоретичну витрату сухого повітря за формулою:

$$\begin{aligned} \nu_{\text{O}_2} &= 0,01[0,5 \cdot (\text{H}_2\text{O} + \text{CO} + 3\text{H}_2\text{S}) + \Sigma(m + n/4)C_m H_n - \text{O}_2] = \\ &= 0,01[0,5 \cdot (0,1 + 0,2) + (1 + 1) \cdot 94 + \Sigma(2 + 1/2) \cdot 1 - 4,4] = 1,86 \text{ нм}^3/\text{кг}; \end{aligned}$$

$$L_0 = (1+K) \cdot \nu_{\text{O}_2} = (1,0 + 3,762)1,86 = 8,86 \text{ нм}^3/\text{кг.}$$

Теоретична витрата вологого повітря

$$L_0^{\text{e}} = L_0^{\text{C}} (1 + 0,0012144 g) \text{ нм}^3/\text{кг}(\text{нм}^3);$$

де g – вологість повітря, $\text{гH}_2\text{O}/\text{нм}^3\text{сух.пов.}$

$$L_0^{\text{e}} = 8,86(1 + 0,0012144 \cdot 20) = 9,1 \text{ нм}^3/\text{кг}(\text{нм}^3).$$

Дійсна витрата повітря

$$L = \alpha L_0^{\text{B}} = 1,06 \cdot 9,1 = 9,63 \text{ нм}^3/\text{кг}(\text{нм}^3);$$

де $\alpha = 1,05 \dots 1,10$ – коефіцієнт надлишку повітря.

Вологовміст атмосферного повітря приймаємо $d_{\text{пов}} = 8,5 \text{ г/кг с.пов.}$ (для літніх умов по табл. $\varphi = 60 \%$ і $t_{\text{в}} = 22,3^\circ\text{C}$, тому за $d-h$ – діаграмою $d_{\text{пов}} = 8,5 \text{ г/кг с.пов.}$). Об'єм продуктів горіння при теоретичній витраті повітря знаходимо за формулою. При спалюванні палива водяна пара не вводиться, тому $W_{\text{ф}} = 0$.

$$\text{Величина } 0,1244 g_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{с.п.}} = 0,1244 \cdot 1,293 d_{\text{пов}} = 0,16 d_{\text{пов.}}$$

Для газоподібного палива, маємо

$$\begin{aligned} V_0 &= 0,01[\text{CO}_2 + \text{CO} + \Sigma m C_m H_n + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}) + \\ &\Sigma(n/2)C_m H_n + \text{H}_2 + 0,1244(g' + gL_0) + \text{H}_2\text{S} + \text{N}_2] + K \nu_{\text{O}_2} = \\ &0,01[0 + 0,2 + 1 \cdot 94 + 2 \cdot 1 + 0 + 2 \cdot 94 + 1 + 1 + 0,1 + 0,1244 + (20 + 20 \cdot 9,1) + 0,2] + 3,762 \cdot 1,86 \\ &0,962 + 2,14 + 6,99 = 10,1 \text{ нм}^3/\text{нм}^3. \end{aligned}$$

Об'єм продуктів горіння при дійсній витраті повітря

Визначивши V_0 , розраховуємо вихід продуктів згорання палива для фактичного значення α за загальною формулою:

$$V_\alpha = V_0 + \underbrace{0,001244g(\alpha - 1)(1 + K)v_{O_2}}_{H_2O'} + \underbrace{(\alpha - 1)K v_{O_2}}_{N_2} + \underbrace{(\alpha - 1)v_{O_2}}_{O_2}, \text{ нм}^3/\text{кг}(\text{нм}^3)$$

де H_2O' , N_2' і O_2' – додаткові кількості відповідних компонентів, обумовлені надлишком повітря.

$$V_\alpha = 10,1 + \underbrace{0,001244 \cdot 20(1,06 - 1)(1 + 3,762) \cdot 1,86}_{H_2O'} + \underbrace{(1,06 - 1)3,762 \cdot 1,86}_{N_2} + \underbrace{(1,06 - 1) \cdot 1,86}_{O_2} = 10,1 + 0,013 + 0,42 + 0,11 = 10,64 \text{ нм}^3/\text{кг}(\text{нм}^3).$$

Щоб дізнатися концентрацію кожного компонента у продуктах згорання, використовуємо дані про їхню загальну кількість та кількість кожного окремого елемента.

Визначаємо склад продуктів горіння палива

Хімічний склад продуктів згорання, об'ємні відсотки:

$RO_2 = (RO_2/V_\alpha)100 = (0,962/10,64) \cdot 100 =$	9,1%
$H_2O = [(H_2O + H_2O')/V_\alpha]100 = [(2,14 + 0,013)/10,64]100 =$	20,23%
$N_2 = [(N_2 + N_2')/V_\alpha]100 = [(6,99 + 0,42)/10,64]100 =$	69,64%
$O_2 = (O_2/V_\alpha)100 = (0,11/10,64)100 =$	1,03%
<hr/> $\Sigma =$	<hr/> 100,00%

2.3. Визначення ентальпії продуктів горіння [1-6]

Калориметрична температура горіння визначається за формулою при холодних повітрі і паливі і $c = 1,54 \text{ кДж}/(\text{нм}^3 \cdot K)$:

$$t_k = Q_H^p / (V_0 c_d) = 34569,2 / (10,1 \cdot 1,54) = 2223 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Теоретична температура горіння палива, при $Q_{ф.п.} = Q_{ф.пов.} = Q_{дис} = Q_{х.н.} = 0$:

$$t_T = Q_H^p / V_\alpha c_d = 34569,2 / (10,64 \cdot 1,54) = 3940 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Дійсна температура горіння при $Q_{втр} = 0,2Q_p^H = 0,2 \cdot 34569,2 = 6913,84 \text{ кДж}/\text{нм}^3$ визначається за наступною формулою:

$$t_d = (Q_H^p - 0,2Q_H^p) / (V_\alpha c_d) = 0,8t_T = 0,8 \cdot 3940 = 3152 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Вважаємо, що димові гази входять з топкової камери в сушило при температурі $t_{\text{газ}} = 800^\circ\text{C}$. Це може бути досягнуто розведенням продуктів горіння атмосферним повітрям, яке додатково подається у топку у вигляді вторинного повітря.

Ентальпію розведених димових газів знаходимо за допомогою $t - h$ діаграми (рис. 2.2). Задавшись попередньо кількістю повітря в димових газах $V_L = 50\%$, знайдемо $h_{\text{газ}} = 1164 \text{ кДж/нм}^3$.

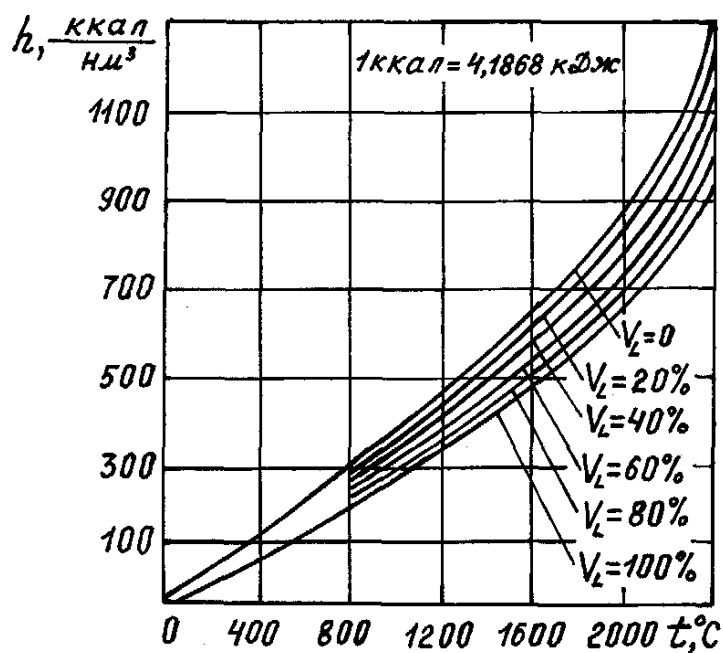


Рис. 2.2. Діаграма $t - h$ для повітря і продуктів згорання

За допомогою $d - h$ діаграми знаходимо для атмосферного повітря $h_{\text{пов}} = 38 \text{ кДж/кг с.пов.}$ і по табл. 2.2 знаходимо $v = 0,85 \text{ м}^3/\text{кг с.пов.}$

Знаходимо загальний коефіцієнт надлишку повітря:

$$278 = (34569,2 \cdot 0,9 + \alpha 9,1 \cdot 38 / 0,85) / [10,1 + (\alpha - 1)9,1] \text{ кДж/нм}^3.$$

Звідси $\alpha = 3,0$.

Перевіряємо величину V_L :

$$V_L = (L_\alpha - L_0) / V_\alpha 100$$

$$L_\alpha = 3,0 \cdot 9,1 = 27,3 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

$$V_\alpha = 10,1 + (3,0 - 1)9,1 = 28,3 \text{ нм}^3/\text{кг};$$

$$V_L = (27,3 - 9,1)/28,3 \cdot 100 = 65 \%$$

По $t - h$ – діаграмі (див. рис. 1.4) для $V_L = 65 \%$ уточнюємо величину $h_{\text{газ}}$, яка буде $h_{\text{газ}} = 1146 \text{ кДж/нм}^3$. Другий аналогічний розв’язок дає значення $\alpha = 3,04$. Такою неточністю можна знехтувати.

Таблиця 2.2.

Об’єм вологого повітря на 1 кг сухого повітря ($v_1 \text{ м}^3/\text{кг}$)

$t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$							
	100	90	80	70	60	50	40	30
-15	0,747	0,747	0,747	0,747	0,747	0,746	0,746	0,746
-10	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,761	0,761	0,761
-5	0,778	0,778	0,777	0,777	0,777	0,776	0,776	0,776
0	0,794	0,794	0,793	0,793	0,792	0,792	0,791	0,791
5	0,811	0,810	0,809	0,809	0,808	0,807	0,806	0,806
10	0,828	0,827	0,826	0,825	0,824	0,823	0,822	0,821
15	0,847	0,846	0,844	0,843	0,841	0,840	0,838	0,837
20	0,867	0,865	0,863	0,861	0,859	0,857	0,855	0,853
30	0,915	0,911	0,907	0,903	0,899	0,895	0,891	0,887
40	0,977	0,970	0,962	0,954	0,947	0,940	0,933	0,925
50	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01	0,996	0,983	0,970
60	1,20	1,17	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,02
70	1,44	1,38	1,32	1,27	1,22	1,17	1,13	1,09
80	1,95	1,79	1,65	1,53	1,43	1,34	1,26	1,19
90	3,57	2,88	2,42	2,08	1,83	1,63	1,47	1,33
100	-	10,9	5,45	3,63	2,72	2,17	1,81	1,55
120	-	11,5	5,73	3,82	2,86	2,28	1,90	1,63
140	-	12,0	6,01	4,01	3,00	2,40	2,00	1,71
160	-	12,6	6,30	4,19	3,14	2,51	2,09	1,79
180	-	13,2	6,58	4,38	3,29	2,63	2,19	1,87
200	-	13,7	6,86	4,57	3,43	2,74	2,28	1,96

При знайденому коефіцієнті надлишку повітря знаходимо кількість сухих продуктів горіння:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01(0,2 + 0,4) = 0,942 \text{ нм}^3/\text{кг};$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot 0,2 + 0,79 \cdot 27,3 = 21,61 \text{ нм}^3/\text{кг};$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21(3 - 1)9,1 = 3,82 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Об'ємом V_{SO_2} , нехтуємо через його малу величину.

Знаходимо ентальпію газів за формулою при $c_{\text{п}} t_{\text{п}} = V_{\text{SO}_2} = 0$:

$$h_{\text{газ}} = (34569,2 \cdot 0,9 + 10 \cdot 9,1 \cdot 38/0,85)/(1,964 \cdot 0,942 + 1,251 \cdot 21,61 + 1,429 \cdot 3,82) = 1021 \text{ кДж/кг с. газ.}$$

2.4. Теоретичний процес сушіння за $H-d$ діаграмою [1-6]

За даними $t_{\text{газ}}$ і $h_{\text{газ}}$ знаходимо на $d-h$ діаграмі точку B' , як показано на рис. 2.3. Для того, щоб побудувати теоретичний процес сушіння на $h-d$ діаграмі, необхідно на підставі прийнятого режиму сушіння визначити температуру газів при виході їх із сушила, як середню, за період роботи топки $t_{\text{відх}}$ °С.

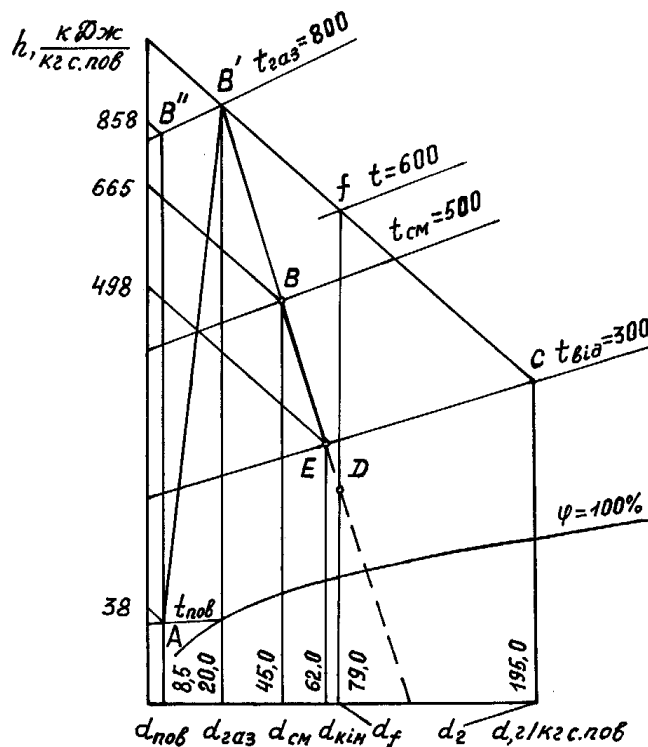


Рис. 2.3 Процес сушіння в конвективному сушилі

На початковій стадії сушильного процесу спостерігається активне вологовиділення та прогрів камери, що призводить до значного зниження температури теплоносія. Завершальний етап характеризується випаровуванням залишків вологи, через що температура газів у сушарці зростає. Приймаємо середню температуру відхідних газів $t_{\text{відх}} = 300^\circ\text{C}$, тоді теоретичний процес сушіння на $h - d$ – діаграмі буде представлений лінією $B'C$. У точці C вологовміст газів буде $d_2 = 242$ г/кг с.газ.

2.5. Кількість вологи, яка виділяється із стержневої суміші [1-6]

При розрахунках важливо брати до уваги, що стержні часто висушуються не повністю, а лише на певну глибину від поверхні. У зв'язку з цим вологість внутрішніх шарів формовочної суміші може залишатися майже на початковому рівні.

Тому приймаємо середню кінцеву вологість формувальної суміші 2 %. Початкова вологість 8 %. Кількість вологи, що видаляється, по раніше наведеній формулі:

$$g_{\text{вол}} = G_{\text{вол}}(w_{\text{п}} - w_{\text{к}})/(100 - w_{\text{к}}) = 2000(8,0 - 2,0)/(100 - 2,0) = 123 \text{ кг/пер, або } 123/7 = 17,57 \text{ кг/год.}$$

2.6. Розрахунок витрат тепла у процесі сушки [1-6]

Основними статтями витрат теплоти під час сушіння є нагрів матеріалу, акумуляція енергії стінками, а також тепловіддача через футеровку та двері печі.

а) витрата теплоти на нагрівання стержнів.

За період нагрівання йде поступове підвищення температури стержнів. Приймаємо в кінці нагрівання середню по масі температуру $t_{\text{м}} = 300^\circ\text{C}$. Середню теплоємність для піщаноглинистої суміші приймаємо $c_{\text{м}} = 0,84$ кДж/кг К.

Тоді

$$q_{\text{м}} = (G_{\text{вол}} - g_{\text{вол}})c_{\text{м}}(t_{\text{м}} - t_{\text{п}}) = (2000 - 123)0,84(300 - 20) = 441470 \text{ кДж/пер,}$$

або $441470/123 = 3589$ кДж/кг вол.

б) втрати теплоти теплопровідністю через дверцята і на прогрів дверцят.

Дверцята мають невелику товщину футеровки (100 мм), отже можна вважати, що вона протягом 3 год буде прогріта, після чого через дверцята теплота теплопровідністю передаватиметься в навколишнє середовище.

На прогрівання футеровки дверцят витрачається теплоти при вазі футеровки $G_{\text{дв}} = 1200$ кг, теплоємності пористої цегли $c = 0,88$ кДж/кг·К і середній по масі температурі прогрітої футеровки $t_2 = 250$ °С при початковій температурі $t_1 = 50$ °С:

$$q'_{\text{дв}} = G_{\text{дв}}c(t_2 - t_1) = 1200 \cdot 0,88(250 - 50) = 211200 \text{ кДж/пер.}$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище через дверцята підраховуємо за формулою:

$$q''_{\text{дв}} = [(t_{\text{кл}} - t_{\text{пов}})/(s/\lambda + 1/\alpha_{\text{зов}})]F \text{ кДж/год.}$$

В нашому випадку маємо:

$t_{\text{кл}} = 400$ °С; $t_{\text{пов}} = 20$ °С; $S = 0,10$ м; $\lambda = 0,395$ Вт/м·К; $\alpha_{\text{зов}} = 17,4$ Вт/м²·К; $F = 15,0$ м².

Тоді

$$q''_{\text{дв}} = [(400 - 20)/(0,10/0,395 + 1/17,4)]6,95 = 8519 \text{ кДж/год.}$$

За період роботи топки $\tau = 7$ год. втрати теплопровідністю в навколишнє середовище, враховуючи, що її прогрівання тривало 3 год., дорівнюють:

$$q'_{\text{дв}} = 8519 (7 - 3)3600 = 153342000 \text{ Дж/пер} = 153342 \text{ кДж/пер.}$$

Загальні втрати теплоти через дверцята будуть:

$$q_{\text{дв}} = q'_{\text{дв}} + q''_{\text{дв}} = 211200 + 153342 = 364542 \text{ кДж/пер, або } 2963,75 \text{ кДж/кг вол.}$$

в) втрати тепла через кладку сушила.

$t_{\text{кл}} = 400$ °С; $t_{\text{пов}} = 20$ °С; $S = 0,10$ м; $\lambda = 0,395$ Вт/м·К; $\alpha_{\text{зов}} = 17,4$ Вт/м²·К; $F = 107,2$ – площа поверхні сушила, м².

$$q_{\text{кл.}} = [(400 - 20)/(0,10/0,395 + 1/17,4)]107 = 131161,29 \text{ кДж/год.}$$

$$\text{або } 131161,29/123 = 1066,35 \text{ кДж/кг.вол.}$$

Втрати тепла на акумуляцію кладкою відсутні так, як маємо сушило безперервної дії.

г) втрати теплоти через вибивання газів, нагрівання підсмоктаного у камеру повітря й інші, не враховані втрати в навколишнє середовище, приймаємо рівними 5% від суми інших втрат теплоти в сушиллі:

$$q_{\text{виб}} = 0,05(q_{\text{м}} + q_{\text{дв}} + q_{\text{кл}}) = 0,05(441470 + 131161,29 + 364542) = 46858,66 \text{ кДж/пер}$$

Загальні втрати теплоти в сушиллі за період роботи топки:

$$q_{\text{втр}} = q_{\text{м}} + q_{\text{дв}} + q_{\text{кл}} + q_{\text{виб}} = 441470 + 131161,29 + 364542 + 46858,66 = 984031,66 \text{ кДж/пер}$$

$$\text{або } 984031,66 / 123 = 8000,25 \text{ кДж/кг вол.}$$

2.7. Розрахунок витрат тепловмісту газів при сушінні [1-6]

Втрати ентальпії газів при сушінні визначаємо для того, щоб знайти напрямок променя $B'D$ дійсного процесу сушіння (див. рис. 2.3.). Щоб визначити втрати ентальпії газів, середні за період роботи топки, необхідно спочатку знайти витрату сухих газів при теоретичному процесі сушіння за формулою

$$G_{\text{теор}} = g_{\text{вол}} 1000 / (d_2 - d_{\text{поч}}) \text{ кг с.газ/пер.}$$

З діаграми, відповідно до побудови процесу сушіння, знаходимо:

$$d_2 = 242 \text{ г/кг с. газ;}$$

$$d_{\text{поч}} = 39,6 \text{ г/кг с. газ (в нашому випадку } d_{\text{поч}} = d_{\text{газ}}).$$

Тоді

$$G_{\text{теор}} = g_{\text{вол}} 1000 / (d_2 - d_{\text{поч}}) = 123 \cdot 1000 / (242 - 39,6) = 605 \text{ кг с.газ/пер.}$$

Втрати ентальпії газів при сушінні для точки C будуть:

$$h_{\text{втр}} = q_{\text{втр}} / G_{\text{теор}} = 984031,66 / 605 = 1626,49 \text{ кДж/кг с.г.}$$

По $d - h$ - діаграмі бачимо, що точка D , яка визначає напрямок променя $B'D$ дійсного процесу сушіння, іде далеко за межі діаграми. Тому, щоб наблизити точку D до точки B' , вибираємо довільно допоміжну точку f на перетинанні лінії $B'C$ з якою-небудь ізотермою, наприклад, $t = 550^\circ\text{C}$, як показано на рис. 2.3.

Тоді для точки f буде $d_f = 121$ г/кг·с.газ.

$$G'_{\text{теор}} = g_{\text{вол}} 1000 / (d_f - d_{\text{поч}}) = 123 \cdot 1000 / (121 - 39,6) = 1505 \text{ кг с.газ/пер.}$$

Маємо

$$h'_{\text{втр}} = q_{\text{втр}} / G'_{\text{пот}} = 984031,66 / 1505 = 653,84 \text{ кДж/кг с.г.}$$

2.8. Дійсний процес сушіння за $H-d$ діаграмою [1-6]

Щоб побудувати на $d - h$ – діаграмі промінь дійсного процесу сушіння, відкладаємо від точки f униз величину $h'_{\text{втр}}$, виражену в тих же одиницях, в яких побудована діаграма (кДж/кг с.газ), і знаходимо точку D .

Якщо прийняти, що початкова температура газів у сушиллі повинна бути на 100°C вище максимальної температури нагрівання стержня, рівної 400°C , то можна визначити, яка кількість відпрацьованих газів повинна циркулювати в сушиллі. В нашому сушиллі відбувається циркуляція і змішання топкових газів з газами сушильної камери. Якщо в результаті внутрішньої циркуляції температура газової суміші (як початкова для процесу сушіння) дорівнює $t_{\text{зм}} = 500^\circ\text{C}$, то дійсний процес сушіння піде по лінії BE . Точка E визначається температурою газів, що відходять, яка прийнята нами 300°C . Для точки E вологовміст газів $d_{\text{кін}} = 96,0$ г/кг с.газ.

Дійсна витрата топкових газів, що виходять з топки з температурою $t_{\text{газ}} = 800^\circ\text{C}$, незалежно від кількості циркулюючих у сушиллі газів, дорівнює:

$$G_{\text{топ}} = g_{\text{вол}} 1000 / (d_{\text{кін}} - d_{\text{газ}}) = 123 \cdot 1000 / (96 - 40) = 2196,43 \text{ кг с.газ/пер.}$$

У середньому за 1 годину роботи топки

$$G_{\text{топ}} = 2196,43 / 7 = 313,77 \text{ кг с.газ/год,}$$

або на 1 кг вологи, що видалається з матеріалу,

$$l = 313,77 / 17,57 = 17,86 \text{ кг с. газ/кг вол.}$$

Така ж кількість сухих газів буде видалатися із сушила, несучи із собою вологу матеріалу, що випарувалася.

Загальна кількість циркулюючих у сушиллі сухих газів за умови, що $t_{\text{зм}} = 500^\circ\text{C}$, буде:

$$G_{\text{цир}} = 123 \cdot 1000 / [7(d_{\text{кін}} - d_{\text{см}})] = 123 \cdot 1000 / [7(96 - 40)] = 313,77 \text{ кг .газ/год.}$$

Кількість газів, що змішуються з топковими для зниження їх температури до 500 °С, легко визначити по різниці $G_{\text{цир}} - G_{\text{топ}}$. Таким чином, за допомогою $d - h$ – діаграми можна просто розрахувати різні варіанти процесу сушіння.

2.9. Визначення витрати палива [1-6]

Витрату теплоти на сушіння розраховуємо за формулою:

$$Q = G_{\text{см}}(h'_{\text{поч}} - h_{\text{пов}}) - g_{\text{вол}} t_{\text{м}} \text{ кДж/год},$$

де $G_{\text{см}}$ в нашому випадку є $G_{\text{топ}} = 2196,43$ кг с. газ/год;

$$h'_{\text{поч}} = 858 \text{ кДж/кг с.газ. (для точки } B'' \text{ по } d - h \text{ – діаграмі).}$$

Тоді

$$Q = 313,77 (858 - 38) - 917 \cdot 20 = 2388951,4 \text{ кДж/год.}$$

Витрата палива при його теплотворності $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 34569,2$ кДж/кг

$$B = Q/Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 2388951,4 / 34569,2 = 6,91 \text{ кг/год.}$$

Питома витрата теплоти на сушіння

$$q_w = BQ_{\text{н}}^{\text{p}} / g_{\text{вол}} = 6,91 \cdot 34569,2 / 17,57 = 13595,51 \text{ кДж/кг вол.}$$

Попри те, що теплоспоживання при сушінні перебуває в межах норми, його можна знизити. Для цього варто зменшити температуру відхідних газів, наприклад, через застосування примусової циркуляції.

Розглянемо за допомогою $d - h$ – діаграми, наскільки скоротиться витрата теплоти на сушіння, якщо знизити температуру відпрацьованих газів до $t_{\text{відх}} = 200$ °С, залишивши незмінними всі теплові втрати.

Побудова процесу сушіння на $d - h$ – діаграмі така ж, як на рис. 2.3, тільки точка E' буде лежати на ізотермі $t = 200$ °С. При цьому знаходимо $d'_{\text{кін}} = 71,5$ г/кг с.газ.

Витрата топкових газів:

$$G_{\text{топ}} = g_{\text{вол}} 1000 / [\tau(d'_{\text{кін}} - d_{\text{газ}})] = 123 \cdot 1000 / [7(71 - 20)] = 344 \text{ кг с.газ/год.}$$

Витрата теплоти:

$$Q = G_{\text{топ}}(h_{\text{поч}} - h_{\text{пов}}) - c_{\text{вол}} g_{\text{вл}} t_{\text{м}} = 344 (858 - 38) - 4,2 \cdot 17,57 \cdot 20 = 280604,12 \text{ кДж/год.}$$

Питома витрата теплоти:

$$q_w = Q/q_{\text{вол}} = 280604,12/17,57 = 15970,64 \text{ кДж/кг вол.}$$

Якщо врахувати, що при зниженні температури відхідних газів і теплові втрати сушила будуть менше, то питома витрата теплоти буде менше, ніж 15970,64 кДж/кг вол.

2.10. Тепловий баланс конвективного сушила [1-6]

Тепловий баланс складають у вигляді таблиці, в якій прибуткові і видаткові статті виражають у кДж/год, кДж/пер, кДж/кг матеріалу і кДж/кг вологи. Оскільки розрахунок теплових втрат та загальних витрат сушила базувався на визначенні питомої витрати (в кДж/кг випаруваної вологи), отримані показники прибутку та видатку теплоти можна безпосередньо використовувати в кДж/кг вологи. Така розмірність є найбільш поширеною для характеристик сушильних установок.

При складанні теплового балансу (табл. 2.3) в прибуток ми включили тільки теплоту, внесену паливом, а у видатку загальну кількість теплоти, винесеної відхідними газами, розділили на дві складові – на теплоту, витрачену на випаровування і нагрівання вологи матеріалу до температури газів, що відходять, і на теплоту відхідних газів за винятком теплоти, винесеної вологою.

Витрату теплоти на випаровування і нагрівання вологи матеріалу до $t_{\text{відх}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ визначаємо за формулою:

$$q_{\text{вип}} = 2490 + 1,97 t_{\text{відх}} - 4,2 t_{\text{поч}} = 2490 + 1,97 \cdot 300 - 4,2 \cdot 20 = 2997,0 \text{ кДж/кг вол.},$$

де 2490 – прихована теплота пароутворення в кДж/кг.вол; 1,97 – теплоємність водяної пари в інтервалі температур від 0 до 300 °С в кДж/кг·К.

Загальна кількість тепла яке виноситься відхідними газами

$$q'_{\text{відх}} = l(h_{\text{відх}} - h_{\text{пов}}) = 17,86(418,6 - 38) = 6797,5 \text{ кДж/кг вол.}$$

Щоб визначити теплоту, винесену газами, необхідно по $d - h$ – діаграмі визначити ентальпію, що відповідає точці E відхідних газів. Це ентальпія $h_{\text{відх}} = 244 \text{ кДж/кг с.газ}$. Тоді загальна кількість теплоти, винесеної газами, з урахуванням пари, за винятком початкової ентальпії повітря $q_{\text{відх}}$, дорівнює:

$$q'_{\text{відх}} = l(h_{\text{відх}} - h_{\text{пов}}) = 17,86(244 - 220) = 428,64 \text{ кДж/кг вол.}$$

Тоді маємо:

$$q'_{\text{відх}} = 6797,5 - (716 - 521) = 6602,5 \text{ кДж/кг вол.}$$

Щоб визначити теплоту $q_{\text{відх}}$, винесену продуктами горіння, відповідну точці B'' (тобто нижчій теплотворності палива), за винятком теплоти, винесеної вологою, що випарувалася з матеріалу $q_{\text{вип}}$, необхідно прийняти:

$$q_{\text{відх}} = q'_{\text{відх}} - (q_{\text{вип}} + h_{\text{пар}}),$$

де $h_{\text{пар}}$ – різниця ентальпій пари у точках B' і B'' на діаграмі (див. рис. 8.28).

$$h_{\text{пар}} = l(h_{\text{газ}} - h'_{\text{поч}}) = 17,86(904 - 858) = 821,56 \text{ кДж/кг вол.}$$

Тоді

$$q_{\text{відх}} = q'_{\text{відх}} - (q_{\text{вип}} + h_{\text{пар}}) = 6797,5 - (2997 + 1821,56) = 2979 \text{ кДж/кг вол.}$$

Таблиця 2.3

Тепловий баланс конвективного сушила

Прибуток	кДж	%	Видаток	кДж	%
	кг вол			кг вол	
1	2	3	4	5	6
1.Теплота, внесена паливом, $q_w = BQ_n^p / l$ Всього	13595	100,0 100,0	1. Нагрівання формувального матеріалу q_m . 2. Нагрівання та прогрів дверцят $q_{дв}$. 3. Нагрівання через кладку сушила $q_{тр}$. 4.Випаровування і нагрівання вологи матеріалу $q_{вип}$. 5. Теплота відхідних газів, за винятком теплоти, винесеної вологою $q_{відх}$. 7. Нев'язка Всього	3589 2963,75 1066,35 2997 2979 13595	26,39 21,8 7,84 22,04 21,9 100

РОЗДІЛ 3. Розробка конструкції конвективного сушила [1-6]

Конвективне сушіння. Найпоширенішим технологічним процесом сушіння сипких матеріалів та різногабаритних виробів є конвективний, який знайшов широке застосування в ливарних цехах для підготовки форм і стержнів.

Конвективний метод сушіння ливарних форм і стержнів базується на видаленні вологи з формувальної суміші потоком гарячого повітря. Це забезпечує одночасне рівномірне прогрівання, зміцнення матеріалу та випаровування сполучних компонентів. В результаті формується міцна форма, здатна гарантувати точність розмірів майбутнього виливка під час заливання розплавом.

Поряд з класичними методами, наразі застосовують і сучасні методи, такі як електричне сушіння.

До сушил безперервної дії відносяться горизонтальні та вертикальні конвеєрні сушила, а також тунельні сушила.

Горизонтальні конвеєрні сушила. Сушильна камера горизонтальних конвеєрних сушил являє собою довгий коридор, який вміщує конвеєр, що горизонтально рухається. Конвеєр з підвісними етажерками, на які встановлюються вологі вироби, підходить до сушильної камери з торцевої частини. Оскільки торцеві стіни коридору залишаються відкритими для входу і виходу конвеєра, то, щоб уникнути вільного виходу гарячих газів через відкриті торці, сушило підняте над підлогою цеху, і конвеєр входить в сушило через похилу частину коридору. Висота підйому похилої частини коридору повинна бути не менше висоти вхідного отвору.

Внутрішній конвеєр сушильної установки здійснює обертальні рухи в горизонтальній площині з частотою від 2 до 4 обертів. Подача гарячих газів (агентів сушіння) здійснюється знизу камери. Відведення відпрацьованих газів реалізовано двома шляхами: через систему металевих коробів униз та через отвір у верхньому перекритті.

Топки конвеєрних сушил викладаються із шамотної цегли. Робочий простір являє собою залізну конструкцію, на якій закріплюються панелі, виготовлені з листової сталі і заповнені шлаковатою (рис. 3.1). У бічних стінках панелей зроблені прорізи, розташовані в шаховому порядку, для зменшення втрат теплоти теплопровідністю. Шлаковата попередньо злегка спресується між двома тонкими дротяними сітками і прошивається дротом, щоб уникнути осідання вати в процесі експлуатації сушила. Підготовлений у такий спосіб матрац вкладається в коробку панелі, листи якої скріплюються точковим зварюванням. При збиранні панелей подовжні сторони їх входять одна в одну, і стик заповнюється шлаковатою.

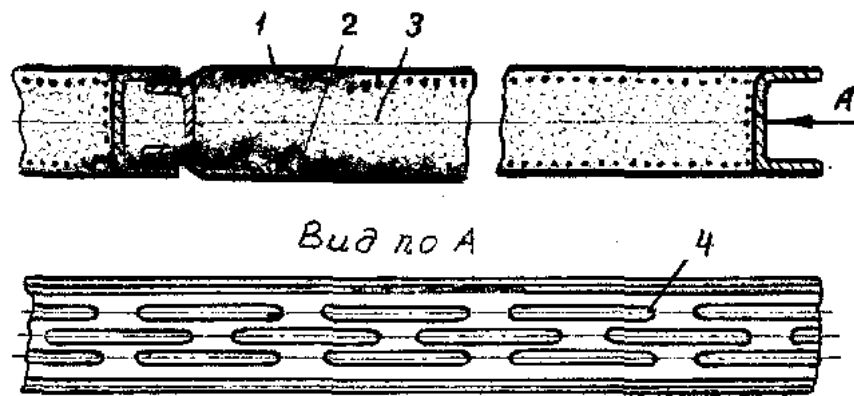


Рис 3.1 Панелі конвеєрного сушила:

1– сталевий лист; 2 – сітка; 3 – шлаковата; 4 – прорізи в стінках

До плюсів горизонтальних сушильних установок відносяться: здатність обробляти масивні стержні завдяки поетапному нагріванню та охолодженню, інтеграція в потокові виробничі лінії, а також значна продуктивність (до 15 т/год).

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі виконано проектування і розрахунок конвективного сушила безперервної дії для сушіння стержнів продуктивністю 2 т/год. Виконано розрахунок процесу горіння палива, визначено тепловий баланс конвективного сушила безперервної дії. Розглянуто конструкцію та роботу конвективного сушила безперервної дії і визначені основні розміри конвективного сушила.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кропивний В.М., Кузик О.В., Босий М.В., Молокост Л.А. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студ. денної та заочної форм навчання. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
2. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів: навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ, 2007. 280 с.
3. Павленко Т.П., Петренко О.М., Лукашова Н.П. Електротехнологічні установки: Конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 130 с.
4. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / За ред. академіка НАН України Найдека В.Л. Київ: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
5. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Виробництво виливків із кольорових металів» Печі для плавлення кольорових сплавів для студентів напряму ”Ливарне виробництво”. [укл.: Сігарьов М.К., Стороженко С.А.]. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 30с.
6. Турич В.В., Руткевич В.С. Матеріалознавство: навч. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2012. 100с.

ДОДАТКИ