

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи

«ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ СУШІННЯ»

за курсами:
«Процеси і апарати хімічної технології»,
«Типові технологічні об'єкти і процеси виробництва»,
«Процеси і апарати біотехнологічних виробництв»,
«Гідрогазодинаміка»

для студентів хіміко-технологічних та енергомашинобудівних
спеціальностей усіх форм навчання

Затвержено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 10.10.2018 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2019

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вивчення характеристик процесу сушіння» за курсами «Процеси і апарати хімічної технології», «Типові технологічні об'єкти і процеси виробництва», «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв», «Гідрогазодинаміка» для студентів хіміко-технологічних і енергомашинобудівних спеціальностей усіх форм навчання /уклад. Толчинський Ю.А., Литвиненко Є.І., Ділова О.Є. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 22 с.

Укладачі: Ю.А. Толчинський
Є. І. Литвиненко
О. Є. Ділова

Рецензент проф. Рябова І.Б.

Кафедра «Інтегровані технології, процеси і апарати»

ВСТУП

Мета роботи: вивчити процес інфрачервоного сушіння; визначити кінетику процесу; вирахувати коефіцієнти тепло- і масовіддачі на поверхні тіла, що висушується, в умовах постійної швидкості сушіння.

ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Сушіння – процес видалення вологи із тіла шляхом її випаровування й відведення пари, що утворилася. Сушіння – це складний масообмінний процес, швидкість якого, в основному, визначається швидкістю дифузії вологи в тілі. При сушінні волога перемішується із глибини тіла до його поверхні; тепло, що потрібне для випарювання, як правило, підводиться до поверхні й розподіляється вглиб матеріалу.

Рушійною силою процесу сушіння є величина різниці кількості вологи й її рівноважної кількості в фазах, що містять вологу. Такими фазами є вологе тіло і середовище, що поглинає вологу. Якщо в якості останнього виступає повітря, то різницею величин вологості і (чи) вологовмісту. Кількість вологи у вологому тілі також характеризується його вологістю і (чи) вологовмістом. Величина вологості не може бути більше одиниці (100 %). Величина вологовмісту може бути будь-якою (більше 100 %).

При аналізі процесу сушіння прийнято відрізняти сушильний агент від теплового агента. *Тепловим агентом* називають речовину, яка віддає своє тепло вологому тілу, яке висушується. *Сушильним агентом* називають речовину, яка приймає в себе вологу, що видаляється із тіла, котре сушиться.

Потоки вологи і тепла являються векторами й мають певні напрямки. Потік вологи завжди спрямований зсередини назовні вологого тіла, що висушується. Потік же тепла може бути спрямований як зсередини назовні, так і навпаки.

Функції сушильного і теплового агентів може виконувати одна й та ж речовина, прикладом чого являється повітря. Найпоширенішим видом сушіння в промисловості є сушіння гарячим повітрям, яке віддає своє тепло й приймає вологу із тіла, що висушується.

За способом підведення тепла до тіла, що висушують, розрізняють наступні види сушіння: конвективне, контактне, радіаційне,

діелектричне й сублімаційне.

При *конвективному* сушінні тепло передається безпосереднім дотиком тіла, що висушується, із сушильним агентом (нагрітим повітрям, димовими газами, інертними газами).

При *контактному* сушінні тепло передається від теплоносія до тіла, що висушується, через поверхню, що їх розділяє й проводить тепло.

Під час *радіаційного* сушіння тепло до тіла, що висушується, передається інфрачервоними променями.

При *діелектричному* сушінні нагрівання тіла, що висушується, відбувається в полі струмів високої частоти.

При *сублімаційному* сушінні випаровування вологи здійснюється за низьких температур у глибокому вакуумі, причому перехід вологи в пароподібний стан відбувається відразу з твердої фази, минаючи рідкий стан.

Механізм процесу сушіння в значній мірі визначається формою зв'язку вологи з матеріалом. У порядку убування енергії розрізняють наступні види зв'язку: хімічний, фізико-хімічний, фізико-механічний. Хімічно зв'язана волога не може бути видалена в процесі сушіння. В процесі сушіння видаляється фізико-хімічна й фізико-механічна волога. Найбільш легко видаляється фізико-механічна волога, яка поділяється на вологу макрокапілярів і мікрокапілярів.

Волога макрокапілярів вільно видаляється не тільки сушінням, але й механічними способами (наприклад, центрифугуванням). Фізико-хімічна волога підрозділяється на адсорбційну та осмотичну. *Адсорбційна волога* – це волога, що утримується на поверхні пір матеріалу адсорбційними силами. *Осмотична волога* знаходиться всередині клітин матеріалу, вона утримується осмотичними силами. Осмотичну вологу називають також вологою набухання. Адсорбційна волога вимагає для свого видалення набагато більше енергії, ніж осмотична.

З точки зору кінетики процесу сушіння вологу матеріалу прийнято ділити на вільну й зв'язану (сполучену). *Вільна волога* – це така волога, швидкість випаровування якої дорівнює швидкості випаровування вологи з вільної поверхні (дзеркала випаровування). *Зв'язана (сполучена) волога* – це така волога, швидкість випаровування якої менше швидкості випаровування із вільної поверхні.

Кінетика сушіння встановлює зв'язок між зміною вологості матеріалу в часі і іншими параметрами процесу. Рівняння кінетики призначені для визначення швидкості процесу сушіння. Знаючи швидкість сушіння, визначають тривалість періодичного процесу сушіння або поверхню матеріалу, що висушується, при сушінні безперервним способом та встановлюють габаритні розміри сушильних апаратів. Залежність між вологістю матеріалу ω^c та часом τ зазвичай визначають експериментально шляхом зважування зразка матеріалу на початку сушіння й через певні проміжки часу і проводять до моменту досягнення зразком постійної маси. Залежність $\omega^c = f(\tau)$ носить назву кривої сушіння (рис. 1). Криву сушіння отримують при постійній температурі і постійних умовах контакту сушильного агента із матеріалом. У загальному випадку на кривій сушіння виділяють три ділянки. Перша з них АВ, що характеризує незначне зниження вологості, відповідає прогріванню матеріалу. Далі іде ділянка ВС, яка характеризується лінійним зменшенням вологості в часі. Ця ділянка відповідає періоду видалення вільної води або періоду постійної швидкості сушіння (1-й період). Починаючи з точки С, що відповідає першій критичній вологості матеріалу $\omega_{кр1}^c$, проминає період нисхідної швидкості сушіння (2-й період). Все сказане представлено на рис. 1 а. Якщо залежність $\omega^c = f(\tau)$ про диференціювати за часом, то вийде

залежність величини швидкості сушіння $\frac{d\omega^c}{d\tau} = \frac{df(\tau)}{d\tau}$ від часу.

Оскільки кожному моменту часу відповідає певне значення $\omega^c(\tau)$, то вираз для швидкості сушіння прийнято представляти в наступному вигляді:

$$\frac{d\omega^c}{d\tau} = \frac{df(\tau(\omega^c))}{d\tau} = g(\omega^c).$$

Така залежність представлена на рис. 1 б.

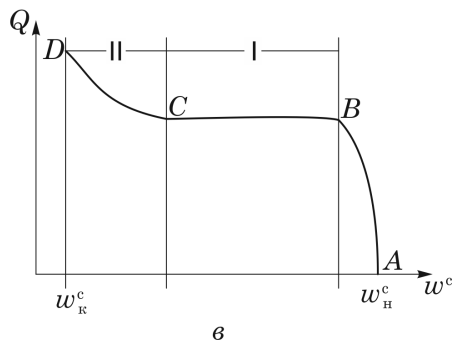
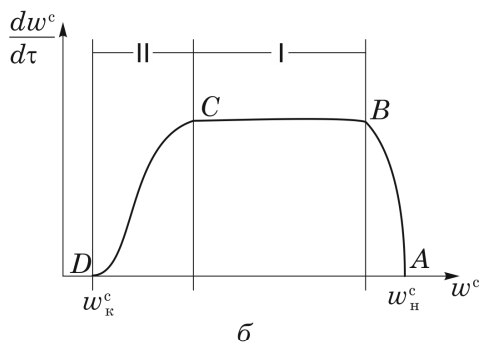
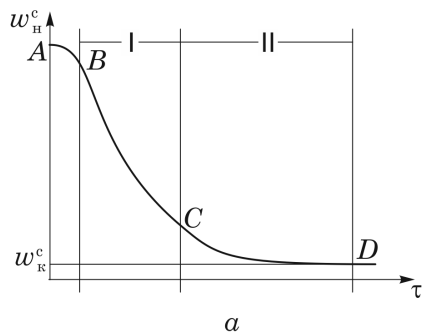


Рис. 1. Кінетика сушіння:
a – кінетична крива; *б* – крива швидкості сушіння;
в – крива температури тіла, що висушується.
 I – період постійної швидкості; II – період спадистої швидкості.

На графіках рис. 1 а, б є відповідність між точками ABCD. В період постійної швидкості сушіння все тепло, котре підводиться до тіла, що висушується, йде на випаровування вільної вологи. У зв'язку з цим температура вологого тіла не міняється. В другий період, коли випаровується зв'язана волога, частина тепла, котре підводиться, йде на нагрів вологого тіла так, що його температура починає збільшуватися. Сказане представлено на рис.1 в. Тут також є відповідність точок ABCD.

ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка представляє собою з'єднані разом камеру сушіння, прецизійні ваги та систему управління режимами сушіння. Швидкість сушіння регулюється частотою й тривалістю світіння випромінюючих ламп. Схема експериментальної установки представлена на рис. 2.

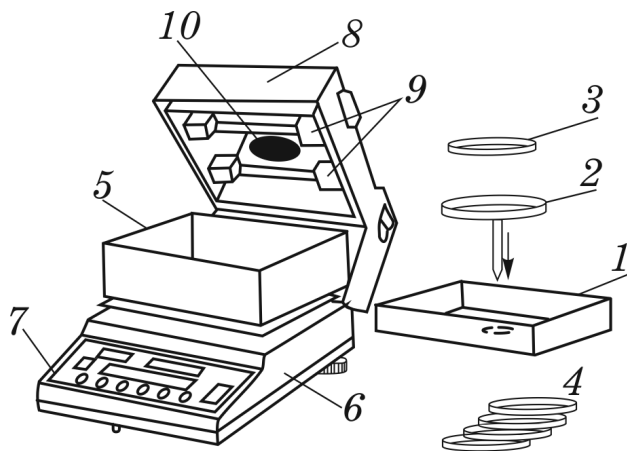


Рис. 2. Експериментальна установка:

- 1 – нижня заслінка камери сушіння; 2 – тарілка; 3 – тарілка одноразова;
- 4 – набір одноразових тарілок; 5 – корпус камери сушіння;
- 6 – корпус прецизійних (точних) ваг; 7 – панелі встановлення режиму сушіння та управління;
- 8 – кришка корпусу камери сушіння; 9 – галогенові лампи;
- 10 – отвір для виходу вологого повітря

Основні режимні характеристики експериментальної установки наступні: час сушіння – не більше 6 годин; діапазон зміни температури сушіння 50–160 °С; інтервал періодичності зважування зразка 1–59 с; максимальна маса зразка 210 г.

Підготовка експериментальної установки до роботи, завдання параметрів процесу сушіння, реєстрація результатів вимірів виконуються за спеціальною інструкцією.

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Алгоритм обробки експериментальних даних залежить від того, який з варіантів обрано при програмуванні роботи вологоміру. У будь-якому з трьох варіантів на центральному табло вологоміра висвічуються поточні параметри, котрі тільки опосередковано характеризують зміну вологості матеріалу в часі. Для отримання прямої залежності вологості від часу (кривої сушіння) ці параметри необхідно перерахувати. Методика такого перерахунку для кожного з трьох варіантів приведена нижче.

Отримавши дані про зміну вологості матеріалу в часі, що заносяться в таблицю 1 а, б, в (залежно від варіанта), будують на міліметровому папері криву сушіння (графік $\omega^c = f(\tau)$). Маючи криву сушіння, можна визначити швидкість сушіння, яка характеризується зміною вологості в одиницю часу. Швидкість сушіння може бути знайдена для кожного даного моменту часу як тангенс кута нахилу кривої сушіння. Якщо розбити криву сушіння на ряд ділянок, на яких можна вважати залежність $\omega^c = f(\tau)$ близькою до лінійної, то можна визначити швидкість сушіння U кожної ділянки з урахуванням масштабів ω^c та τ . Отримані значення швидкості U й вологості ω^c заносять в таблицю 2 і будують графік $U = f(\omega^c)$ (крива швидкості сушіння).

Отримавши графічне зображення кривої швидкості сушіння,

визначають кордони першого та другого періоду сушіння, значення критичної вологості матеріалу $\omega_{кр1}^c$ і $\omega_{кр2}^c$. Дані заносять в таблицю 2.

Лабораторна робота складається з двох частин. У першій частині будують криві сушіння та криві швидкості сушіння відповідно до рис. 1, у другій частині – за величиною температури сушіння розрахунковим шляхом визначають коефіцієнти тепло- та масовіддачі на поверхні тіла, що висушується. В першій частині експериментальні дані обробляють по якомусь одному з трьох можливих варіантів.

Частина 1

Варіант 1 (побудова кривої, рис. 1 а)

1. Визначити кількість води, що була видалена за весь період сушіння W , г:

$$W = G_{\text{поч}} - G_{\text{кін}},$$

де $G_{\text{поч}}$ – вихідна маса зразка, г; $G_{\text{кін}}$ – маса висушеного зразка, г.

2. Перетворення інформації, яка висвічується на центральному табло y_1 .

2.1. На центральному табло вологоміру в кожен момент зважування висвічується відсоткове відношення маси видаленої води до вихідної маси зразка, %:

$$y_{1i} = \frac{W_i}{G_{\text{поч}}} \cdot 100 \%,$$

де W_i – маса видаленої води, г.

2.2. Визначити $W_i = \frac{y_{1i} G_{\text{поч}}}{100}$.

2.3. Визначити вміст вологи в досліджуваному зразку для кожного моменту зважування, г:

$$W_\gamma = W - W_i.$$

2.4. Визначити поточну вологість зразку по відношенню до маси висушеного зразка, %:

$$\omega_i^c = \frac{W_\gamma}{G_{\text{кін}}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Отримані значення занести в таблицю 1 а.

Таблиця 1 а

№ п/п	$G_{\text{поч}} =$	$G_{\text{кін}} =$		$W =$	
	τ_i	y_{1i}	W_i	W_γ	ω_i^c

2.5. Далі див. п. 2.6.

Варіант 2 (побудова кривої, рис. 1 а)

1. Визначити кількість вологи, що була видалена за весь період сушіння W , г:

$$W = G_{\text{поч}} - G_{\text{кін}},$$

де $G_{\text{поч}}$ – вихідна маса зразка, г; $G_{\text{кін}}$ – маса висушеного зразка, г.

2. Перетворення інформації, яка висвічується на центральному табло y_2 .

2.1. На центральному табло вологоміра в кожен момент

зважування висвічується відсоткове відношення поточної маси зразка до початкової маси зразка, %:

$$y_{2i} = \frac{G_i}{G_{\text{поч}}} \cdot 100 \%,$$

де G_i – поточна маса зразка, г.

2.2. Визначити поточну масу зразка, г:

$$G_i = \frac{y_{2i} G_{\text{поч}}}{100}.$$

2.3. Визначити вміст води в досліджуваному зразку для кожного моменту зважування, г:

$$W_i = G_i - G_{\text{кін}}.$$

2.4. Визначити поточну вологість зразка по відношенню до маси висушеного зразка, %:

$$\omega_i^c = \frac{W_i}{G_{\text{кін}}} \cdot 100 \, \%.$$

Отримані значення занести в таблицю 1 б.

Таблиця 1 б

	$G_{\text{поч}} =$	$G_{\text{кін}} =$		$W =$	
№ п/п	τ_i	y_{2i}	G_i	W_i	ω_i^c

2.5. Далі див. п. 2.6.

Варіант 3 (побудова кривої, рис. 1 а)

1. Визначити кількість води, що була видалена за весь період сушіння W , г:

$$W = G_{\text{поч}} - G_{\text{кін}},$$

де $G_{\text{поч}}$ – вихідна маса зразка, г; $G_{\text{кін}}$ – маса висушеного зразка, г.

2. 2. Перетворення інформації, яка висвічується на центральному табло y_3 .

2.1. На центральному табло в кожен момент зважування висвічується відсоткове відношення маси води, що випаровується, до поточної маси зразка G_i :

$$y_{3i} = \frac{W_i}{G_i} \cdot 100\%,$$

де W_i – маса води, що випаровується, г.

2.2. Визначити $W_i = \frac{y_{3i} \cdot G_{\text{поч}}}{100}$.

2.3. Визначити вміст води в досліджуваному зразку для кожного моменту зважування:

$$W_\gamma = W - W_i.$$

2.4. Визначити поточну вологість зразка по відношенню до маси висушеного зразка:

$$\omega_i^c = \frac{W_\gamma}{G_{\text{кін}}} \cdot 100\%.$$

Отримані значення занести в таблицю 1 в.

Таблиця 1 в

	$G_{\text{поч}} =$	$G_{\text{кін}} =$		$W =$	
№ п/п	τ_i	Y_{3i}	W_i	W_γ	ω_i^c

2.5. Далі див. п. 2.6.

2.6. Після отримання кривої сушіння за допомогою одного з трьох варіантів розбиваємо її на ряд ділянок, на яких залежність $\omega_i^c = f(\tau)$ можна вважати лінійною. Для кожної ділянки знаходимо швидкість сушіння:

$$U_j = \frac{\Delta\omega_j}{\Delta\tau_j},$$

де $\Delta\omega_j$ – різниця вологості матеріалу на початку і в кінці розглянутої ділянки; $\Delta\tau_j$ – різниця значень часу розглянутої ділянки.

Результати обчислень заносимо в таблицю 2. За результатами таблиці будуємо графік $U = f(\omega^c)$ (рис. 1 б).

Примітка: при побудові графіку $U = f(\omega^c)$ значення відкладаємо на середині інтервалу $\Delta\omega_j$.

Таблиця 2

№ ділянки	$\Delta\omega_j = \omega_{\text{поч}}^c - \omega_{\text{кін}}^c$	$\Delta\tau_j = \tau_{\text{кін}} - \tau_{\text{поч}}$	$U_j = \frac{\Delta\omega_j}{\Delta\tau_j}$	Примітка $\omega_{\text{кр}1}^c, \omega_{\text{кр}2}^c$

Частина 2

Для розрахунку величин коефіцієнтів тепло- і масовіддачі, потрібно побудувати картину руху вологого повітря усередині камери сушіння. Процес сушіння зразку полягає в тому, що в камері сушіння, завдяки роботі галогенових ламп, відбувається нагрів повітрям стінок корпусу камери й самого зразка. Повітря в камеру потрапляє через спеціальні щілини із приміщення лабораторії. Лабораторне повітря має вологість і температуру менше, ніж вологість і температура повітря всередині камери. Лабораторне повітря як більш сухіше, приймає в себе вологу, що виходить через поверхню зразка, і виходить через отвір у стелі камери. Причиною руху повітря всередині камери є сила природної конвекції, яка викликає висхідний рух повітря. Зовні камери також виникає висхідний рух повітря. І внутрішній і зовнішній рухи повітря виникають та підтримуються через те, що стінки корпусу камери нагріваються від випромінювання галогенових ламп. Процес природної конвекції як всередині, так і поза камерою визначається температурами в нижній частині камери й температурами внутрішньої та зовнішньої поверхні стінок корпусу камери. Температура нижньої частини камери визначається режимом роботи експериментальної установки і дорівнює температурі обраного режиму сушіння. Температури внутрішньої й зовнішньої поверхні стінок корпусу камери невідомі і їх треба визначити. Процес внутрішньої природної конвекції залежить від різниці температур у нижній частині камери і внутрішньої поверхні стінки її корпусу. Процес зовнішньої природної конвекції залежить від різниці температур зовнішньої поверхні стінки корпусу і всередині лабораторії. Таким чином, необхідно визначити температури внутрішньої і зовнішньої поверхні стінки корпусу камери сушіння. Все сказане представлено на рис. 3.

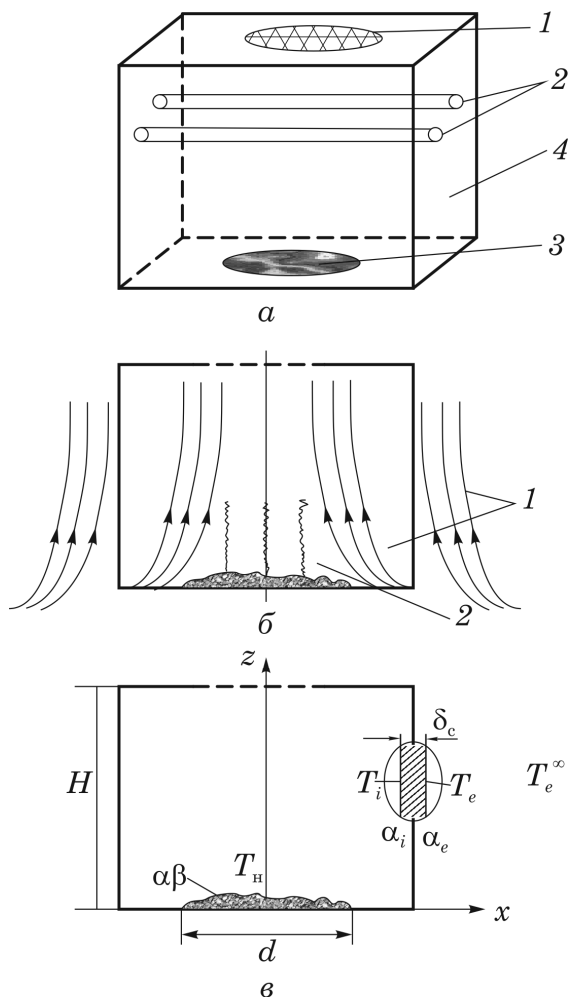


Рис. 3. Природна конвекція в камері сушіння:

a – камера сушіння:

1 – отвори для виходу повітря; *2* – галогенові лампи; *3* – зразок;

4 – стінка корпусу;

б – гідродинаміка природної конвекції:

1 – внутрішнє і зовнішнє повітря; *2* – волога;

в – розташування температур і коефіцієнтів тепло- і масовіддачі.

Коефіцієнти тепло- і масовіддачі сушіння на поверхні зразку обчислюються за наступними формулами:

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \text{Gr}^{1/3} \text{Pr}^{1/3}, \quad \beta = \frac{\alpha(T_{\text{н}} - T_i)}{r(1 - \omega^\infty)}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·град); β – коефіцієнт масовіддачі, кг/(м²·с); λ – коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі сушіння, Вт/(м·град); d – діаметр тарілки зі зразком, м; Gr – число Грасгофа, б/р; Pr – число Прандтля для повітря при температурі $T_{\text{н}}$, б/р; r – питома теплота випаровування води, Дж/кг; $T_{\text{н}}$ – температура сушіння, град; T_i – температура внутрішньої поверхні стінки корпусу, град; ω^∞ – вологість повітря в лабораторії, б/р.

Числа Gr і Pr визначаються за такими формулами:

$$\text{Gr} = \frac{k(T_{\text{н}} - T_i)gd^3}{\nu^2}; \quad \text{Pr} = \frac{\nu}{\chi}; \quad \chi = \frac{\lambda}{\rho c_p}; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплового розширення повітря, град⁻¹; μ – в'язкість повітря при температурі сушіння, (Па·с); ρ – густина повітря при температурі сушіння, кг/м³; c_p – теплоємність повітря при температурі сушіння, Дж/(кг·град); $g = 9,8$ м/с².

Температури внутрішньої й зовнішньої поверхонь стінок корпусу визначаються за наступними формулами:

$$T_i = \frac{\alpha_e \left(\alpha_i + \frac{\lambda_c}{\delta_c} \right) T_{\text{н}} + \alpha_i \frac{\lambda_c}{\delta_c} T_e^\infty}{\alpha_e \alpha_i + \left(\alpha_e + \alpha_i \right) \frac{\lambda_c}{\delta_c}}; \quad (3)$$

$$T_e = \frac{\alpha_e \frac{\lambda_c}{\delta_c} T_n + \alpha_i \left(\alpha_e + \frac{\lambda_c}{\delta_c} \right) T_e^\infty}{\alpha_e \alpha_i + \left(\alpha_e + \alpha_i \right) \frac{\lambda_c}{\delta_c}},$$

де α_i та α_e – коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях стінок корпусу відповідно, Вт/(м²·град); λ_c – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/(м·град); δ_c – товщина стінки, м.

Величини α_i і α_e знаходяться за наступними формулами:

$$\alpha_i = \frac{\lambda}{H} \text{Gr}_i^{1/3} \text{Pr}_i^{1/3}; \quad \alpha_e = \frac{\lambda}{H} \text{Gr}_e^{1/3} \text{Pr}_e^{1/3}; \quad (4)$$

$$\text{Gr}_i = \frac{k(T_n - T_e^\infty) g H^3}{\nu_i^2}; \quad \text{Gr}_e = \frac{k(T_n - T_e^\infty) g H^3}{\nu_e^2},$$

де H – висота камери сушіння, м.

Усі фізичні характеристики повітря в формулі для Gr_i обчислюються при температурі T_n ; всі фізичні характеристики повітря в формулі для Gr_e обчислюються при температурі T_e^∞ .

Характерні значення поздовжньої швидкості w_z та поперечної швидкості w_x зовнішньої і внутрішньої природних конвекцій обчислюються за наступними формулами:

$$w_{zi} = \frac{\nu_i}{H} \text{Gr}_i^{1/2}; \quad w_{ze} = \frac{\nu_e}{H} \text{Gr}_e^{1/2}; \quad (5)$$

$$w_{xi} = \frac{\nu_i}{H} \text{Gr}_i^{1/2}; \quad w_{xe} = \frac{\nu_e}{H} \text{Gr}_e^{1/2},$$

де індекс «i» означає, що всі фізичні величини для повітря обчислюються при температурі T_n ; індекс «e» означає, що всі фізичні величини для повітря обчислюються при температурі T_e^∞ .

При обчисленні величин, які входять у формули (1)–(5), потрібно використовувати наступні значення параметрів:

$$d = 10^{-1} \text{ м}; \quad H = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad \lambda_c = 20 \text{ Вт/(м·град)};$$

$$\delta_c = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ град};$$

T_e^∞ – по термометру в лабораторії, К;

T_n – за режимом сушіння в експериментальній установці, К;

ω^∞ – за барометром у лабораторії, б/р.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

1. Намалювати спрощену схему експериментальної установки (рис. 4).
2. Заповнити таблицю 1 обраного варіанту розрахунку.
3. Побудувати криву сушіння за даними таблиці 1.
4. Заповнити таблицю 4 за результатами побудови кривої сушіння.
5. Побудувати криву швидкості сушіння.
6. Обчислити коефіцієнти тепло- і масовіддачі.
7. Обчислити характерні швидкості природної конвекції повітря.

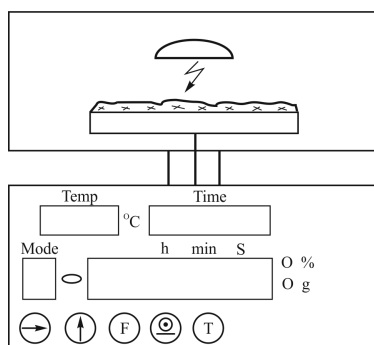


Рис.4. Схема експериментальної установки

Контрольні питання

1. У чому різниця між вологістю та вологовмістом?
2. Чи може вологість бути більше одиниці, а вологовміст менше одиниці?
3. Чи можна висушити вологе тіло до вологості менше його рівноважної вологості в даних зовнішніх умовах?
4. Види сушіння.
5. Форми зв'язку вологи в вологому тілі з його сухою частиною.
6. Що таке сушильний агент?
7. Що таке тепловий агент?
8. Чи може сушильний та тепловий агенти бути одною і тою же речовиною (навести приклад)?
9. Привести приклади твердих сушильних агентів.
10. Як описують кінетику процесу сушіння?
11. Як змінюється під час сушіння температура вологого тіла?
12. Чи є зв'язок між коефіцієнтами тепло- і масовіддачі в ході процесу сушіння?
13. Якого виду сушіння використовується в цій роботі?
14. Як регулюється інтенсивність і температура сушки в цій роботі?
15. Як можна класифікувати різні види сушіння, ґрунтуючись на напрямках теплового і масового потоків?
16. Зі збільшенням сили взаємодії вологи з сухою частиною вологого тіла теплота випаровування вологи збільшується чи зменшується?

Література

1. Товажнянський Л.Л. Процеси і апарати хімічної технології. Ч. 1 / Л.Л. Товажнянський, А.П. Готлінська, В.О. Лещенко та ін. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – 632 с.
2. Лабораторный практикум по курсу Основные процессы и аппараты химической технологии / Л.Л. Товажнянский, А.П. Готлинская, В.А. Лещенко и др.; под. ред. Товажнянского Л.Л. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 420 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання лабораторної роботи

«ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ СУШІННЯ»

для студентів хіміко-технологічних
і енергомашинобудівних спеціальностей
всіх форм навчання

У к л а д а ч і :

ТОЛЧИНСЬКИЙ Юрій Абрамович
ЛИТВИНЕНКО Євгенія Ігорівна
ДІЛОВА Олена Євгеніївна

Відповідальний за випуск проф. *В. Є. Ведь*
Роботу до друку рекомендувала доц. *Н. М. Самойленко*
В авторській редакції

План 2018 р., поз. 389
Підп. до друку 19.04.2019 р. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Папір офісний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,16 . Наклад 50 прим.
Зам. № . Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002 Харків, вул. Кирпичова, 2

Друк ФОП Шейніна О.В.
61052 Україна, м. Харків, вул. Слов'янська, 3
Тел. 057 759-48-79
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2779 від 28.02.2007 р.