

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

**МАТЕРІАЛИ
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ
НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

27 КВІТНЯ
2023
ШОСТКА

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



**“ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО:
РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ”**



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ

МАТЕРІАЛИ
VIII Всеукраїнської
науково-методичної конференції
(Шостка, 27 квітня 2023 року)



Суми
Сумський державний університет
2023

УДК 372.862

Редакційна колегія:

відповідальний редактор – к.т.н., доцент Р.В. Закусило;
заступник відповідального редактора – к.е.н, викладач
Ю.М. Мануйлович.

члени редакційної колегії:

к.х.н, ст.викладач С.В. Тимофіїв; к.філ.н, доцент Н.Ю. Бондар;
к.пед.н., доцент Ю.М. Мар'їнських; к.е.н, ст.викладач І.В. Новикова;
к.т.н., завідувач кафедри Г.М. Худолей; к.е.н, ст. викладач О.М. Тур
к.е.н, ст.викладач І.В. Вареник;

ОСВІТА, НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО: РОЗВИТОК ТА
ПЕРСПЕКТИВИ: матеріали VIII Всеукраїнської науково-методичної
конференції, м. Шостка, 27 квітня 2023 року. – Суми : Сумський
державний університет, 2023. – 233 с.

Збірник містить матеріали VIII Всеукраїнської науково-методичної
конференції «Освіта, наука та виробництво: розвиток та
перспективи», що проводиться на базі Шосткинського інституту
Сумського державного університету. Тематика поданих матеріалів
охоплює широке коло питань, присвячених актуальним проблемам
сучасної освіти, науки та виробництва.

Видання корисне, викладачам, аспірантам і студентам вищих
навчальних закладів, науковим співробітникам, працівникам хімічної
промисловості, фахівцям інформаційних технологій виробництва,
вчителям загальноосвітніх шкіл.

© Шосткинський інститут
Сумського державного університету, 2023
© Сумський державний університет, 2023

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**



**УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ
ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**



**ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТ
ШОСТКИНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ**

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Тугай Наталія Олександрівна	к.ф.н., директор Шосткинського інституту Сумського державного університету
Нога Микола Петрович	голова Виконавчого комітету Шосткинської міської ради
Сергейко Наталія Олександрівна	начальник Управління освіти Шосткинської міської ради
Закусило Роман Васильович	к.т.н., в.о. заступника директора з наукової роботи Шосткинського інституту Сумського державного університету
Тимофіїв Сергій Владиславович	к.х.н., ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету
Бондар Наталія Юріївна	к.філол.н., доцент кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету
Мар'їнських Юрій Михайлович	к.пед.н., доцент кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету
Новикова Інна Володимирівна	к.е.н., ст. викладач кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету, керівник проекту Жана Моне
Худолей Георгій Михайлович	к.т.н., завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій Шосткинського інституту Сумського державного університету
Середа Віта Іванівна	к.т.н., ст. завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук Шосткинського інституту Сумського державного університету

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Мануйлович к.е.н., викладач кафедри економіки та управління
Юрій Шосткинського інституту Сумського державного
Миколайович університету

Заступник голови:

Пригара к.е.н., старший викладач кафедри економіки та
Ірина управління Шосткинського інституту Сумського
Олександрівна державного університету

Відповідальний секретар конференції:

Вареник к.е.н., старший викладач кафедри економіки та
Ірина управління Шосткинського інституту Сумського
Володимирівна державного університету

Члени оргкомітету:

Павленко к.т.н., ст. викладач кафедри ХТВМС Шосткинського
Оксана інституту Сумського державного університету
В'ячеславівна

Бондар Наталія К.ф.н., доцент кафедри економіки та управління
Юріївна Шосткинського інституту Сумського державного
університету

Новикова Інна к.е.н., ст. викладач кафедри економіки та управління
Володимирівна Шосткинського інституту Сумського державного
університету, керівник проекту Жана Моне

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУШІННЯ ЦЕГЛИ-СИРЦЮ В КАМЕРНІЙ СУШАРЦІ

Худолей Г.М., Захарченко Д.І., Васильцов П.О.

Шосткинський інститут Сумського державного університету
hudoley1951@gmail.com

Процес сушіння цегли-сирця в технологічному циклі виробництва керамічної цегли, як відомо [3, 6], є енергоємним та таким, що суттєво впливає на якість продукту, що виготовляється.

Завдання створення системи управління технологічним процесом сушіння, яка забезпечила б як підвищення економічної ефективності процесу, так і створила б умови для зменшення кількості браку, є наразі актуальним. Разом з тим відомо, що для створення високоякісної системи управління необхідна наявність адекватної математичної моделі динаміки. Однак, аналіз літературних джерел [2-5,7,10] показує, що математичної моделі, яка відповідала б поставленим вимогам, на даний час не існує. Отже створення адекватної математичної моделі сушіння цегли-сирцю в камерній сушарці періодичної дії є актуальною задачею.

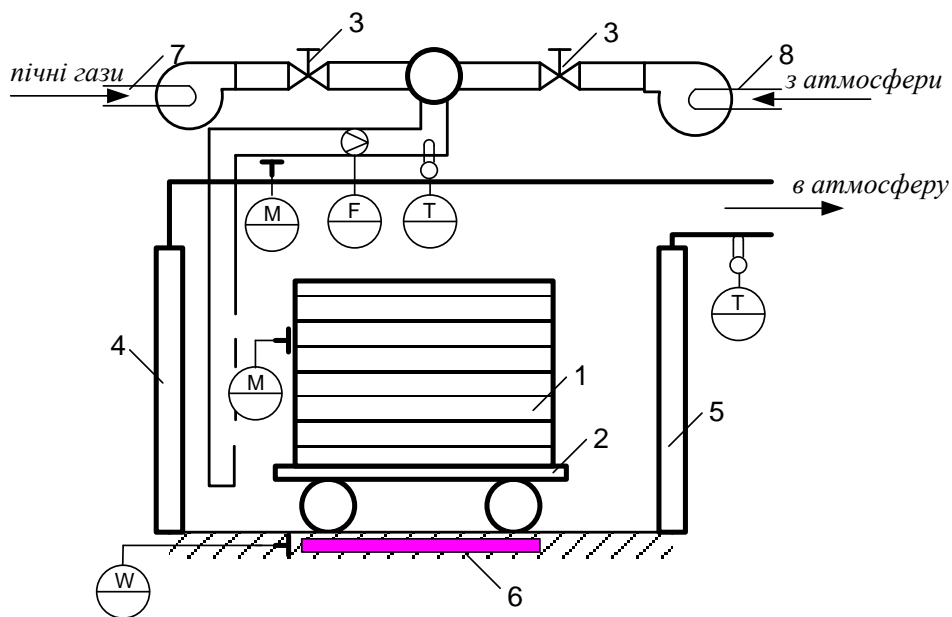


Рис. 1 - Технологічна схема окремої камери для сушіння цегли-сирцю:

1 - сировина для сушіння; 2 - тара для сировини; 3 - вентиль для регулювання витрати газу; 4, 5 - двері для завантаження та вивантаження сировини; 6 - ваги для зважування сировини; 7 - повітропровід для пiчних газів; 8 - повітропровід для атмосферного повітря

Об'єкт моделювання – камерна сушарка – схематично зображена на рис. 1. Цегла-сирець (1), укладена на вагонетку (2) пошарово завантажуються через входні двері (4) у камеру. Перед завантаженням матеріалу в сушарку проводиться контроль його вологості. У камері

вагонетка з сировиною часто встановлюється на спеціальні ваги для контролю зміни маси завантаженої сировини в процесі сушіння.

Теплоносієм для сушіння є гаряче повітря, потік якого формується шляхом змішування пічних газів, що надходять по газопроводу (7) через заслінку (3) з атмосферним повітрям, яке подається з газопроводу (8) через заслінку (3) вентилятором. Необхідні параметри теплоносія регулюються заслінками (3) зміною співвідношення потоків гарячого пічного газу та атмосферного повітря. Відпрацьований теплоносій відводиться в атмосферу.

Після завершення циклу сушіння цегла-сирець повинна мати кінцеву вологість на рівні 4 - 6%. Оперативний контроль кінцевої вологості виконати дуже складно, тому момент вивантаження матеріалу з сушильної камери визначається або спираючись на досвід, або за показаннями ваг (6). Висушений матеріал через двері (5) вивантажується з сушарки та направляється в обпалювальну піч.

Механізм сушіння матеріалів. Сушіння – це фізичне явище видалення вологи з твердих зволжених матеріалів шляхом її випаруванню в процесі підводу до матеріалу, що висушується, тепла та одночасного відводу виникаючої пари [1, 9] і являє собою сукупність процесів переносу тепла та маси.

Якщо режим сушіння «м'який» (тобто невелика температура теплоносія при відносно значній вологості), то процес видалення вологи з матеріалу йде наступним чином [1, 8].

Волога зі всього об'єму матеріалу переміщується в граничні ділянки за рахунок дифузії та конвекції, при чому потоки тепла й маси йдуть зустрічно. Волога може переміщуватись в матеріалі в вигляді рідини, або в вигляді пари. Як рідина, так і пара можуть рухатись під дією, як молекулярної дифузії, так і від градієнта тиску.

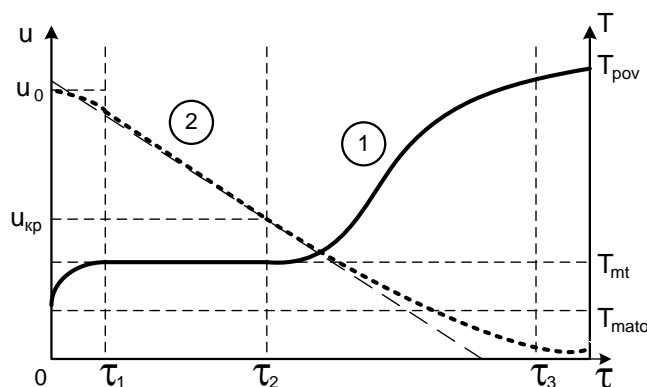


Рис. 2 - До пояснення кінетики механізму сушіння:
1 - зміна температури матеріалу; 2 - крива зміни вологості матеріалу

На рис. 2 наведені типові кінетичні криві, що дають уявлення про механізм процесу сушіння. Існує три етапи сушіння. На першому етапі (від початку процесу до часу τ_1) матеріал нагрівається від початкової температури T_{mat0} до температури «морого термометра» T_{mt} , а його вологість зменшується мало. З моменту τ_1 починається другий етап – етап постійної швидкості сушіння, залежної лише від інтенсивності підводу тепла. На цьому етапі волога активно видаляється з поверхні матеріалу і з мікропор, з яких вона переміщується до поверхні. Газова фаза поблизу поверхні стає насиченою водяною парою, в результаті чого температура поверхні остається в процесі сушіння незмінною, такою, що дорівнює температурі «морого термометра» для газової фази, а волога видаляється з максимально можливою швидкістю, пропорційною часу сушіння. В кінці цього етапу досягається критична вологість матеріалу u_{mat}^* , яка відповідає вологості в гігроскопічній точці.

З моменту τ_2 процес сушіння переходить в область гігроскопічного стану морого матеріалу з поступовим зменшенням швидкості аж до моменту досягнення рівноважної вологості τ_3 , коли процес сушіння закінчується. В період від τ_2 до τ_3 температура матеріалу зростає і досягає значення, близького до температури теплоносія T_{pov} , а швидкість видалення вологи зменшується і стає залежною від фізико-хімічних властивостей та структури матеріалу.

Розроблення математичної моделі [12]. Базуючись на аналізі особливостей механізму процесу сушіння, маючи на увазі цілі побудови математичної моделі процесу сушіння цегли-сирцю в камерній сушарці періодичної дії та прийняту низку припущень, нами була розроблена аналітичним способом математична модель в вигляді системи чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку

$$\frac{dT_{pov}}{dt} = \frac{G_{pov}^0 \cdot T_{pov}^0}{V_{ck}} - \frac{(1 + \beta_{pt}) \cdot (G_{pov}^0 \cdot \rho_{pov} + M_w w) \cdot T_{pov}}{V_{ck} \cdot \rho_{pov}} - \frac{0,106 \cdot \alpha \cdot k_f \cdot N_c \cdot (T_{pov} - T_{mat})}{V_{ck} \cdot \rho_{pov} \cdot c_{p,pov}}, \quad (1)$$

$$\frac{dT_{mat}}{dt} = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot k_f \cdot 0,106 \cdot (T_{pov} - T_{mat})}{(u_{mat} + 1) m_{c,c} \cdot 750} & \text{при } T_{mat} < T_{mt}; \\ 0 & \text{при } T_{mat} = T_{mt} \text{ та } u_{mat} \geq u_{mat}^*; \\ \frac{\alpha \cdot k_f \cdot 0,106 \cdot (T_{pov} - T_{mat})}{(u_{mat} + 1) m_{c,c} \cdot 750} & \text{при } T_{mat} > T_{mt} \text{ та } T_{mat} < T_{pov}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{du_{mat}}{dt} = \begin{cases} 0 & \text{при } T_{mat} < T_{mt}; \\ -\frac{\alpha \cdot (T_{pov} - T_{mat})}{(2501 - 2,36 \cdot T_{mt}) \cdot N_c \cdot m_{c,c}} & \text{при } T_{mat} = T_{mt} \text{ та } u_{mat} \geq u_{mat}^*; \\ 0 & \text{при } T_{mat} > T_{mt} \text{ та } T_{mat} < T_{pov}; \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{du_{пов}}{dt} = \begin{cases} \frac{G_{пов}^0(u_{пов}^0 - u_{пов})}{V_{ск}}, & \text{при } T_{mat} < T_{mt}; \\ \frac{G_{пов}^0 u_{пов}^0}{V_{ск}} - \frac{(G_{пов}^0 \rho_{пов} + M_{ww}) u_{пов}}{V_{ск} \rho_{пов}} + \frac{\alpha(T_{пов} - T_{mt})}{V_{ск} \rho_{пов} (2501 - 2,36 T_{mt})}, & T_{mat} = T_{mt}; u_{mat} \geq u_{mat}^*; \\ \frac{G_{пов}^0(u_{пов}^0 - u_{пов})}{V_{ск}}, & \text{при } T_{mat} > T_{mt} \text{ та } T_{mat} < T_{пов}; \end{cases} \quad (4)$$

при початкових умовах

$$T_{пов}(0) = T_{пов0}, T_{mat}(0) = T_{mat0}, u_{mat}(0) = u_{mat0} \text{ та } u_{пов}(0) = u_{пов0} \quad (5)$$

та виразу для визначення маси випареної вологи

$$M_{ww} = \frac{\alpha(T_{пов} - T_{mt})}{2501 - 2,36 T_{mt}}. \quad (6)$$

Тут $T_{пов}^0, T_{пов}$ - температура теплоносія на вході та на виході сушарки; $G_{пов}^0$ - об'ємна витрата теплоносія на вході до сушарки; N_c - кількість цеглин в завантаженні камери; $u_{пов}^0, u_{пов}$ - вологовміст теплоносія на вході та на виході сушарки; T_{mat}, u_{mat} - температура та вологість матеріалу; T_{mt} - температура «мокрого термометра»; $V_{ск}$ - об'єм камерної сушарки; β_{pt} - коефіцієнт втрат тепла через зовнішню стінку сушарки; $\rho_{пов}, c_{p,пов}$ - щільність та питома ізобарна теплоємність теплоносія відповідно; α - коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні матеріалу; k_f - коригуючий коефіцієнт, що враховує площу перекриття цеглин; $m_{c,c}$ - маса однієї цеглини в сухому стані; u_{mat}^* - критична вологість матеріалу.

Авторами [12] наводиться алгоритм розрахунку, який дозволяє визначати основні параметри стану вологого ненасиченого повітря в тому числі і температуру «мокрого термометра» T_{mt} .

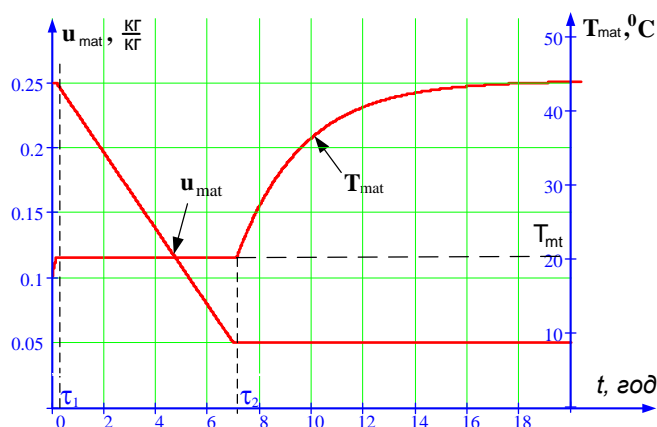


Рис. 3 - Розрахункові кінетичні криві процесу сушіння в камерній сушарці періодичної дії

З урахуванням розробленої математичної моделі (1) – (6) та алгоритму визначення температури «мокрого термометра» було виконано математичне моделювання в середовищі математичного

пакета *MathCad* з використанням тестових вихідних даних. Результати моделювання представлені на рис. 3.

Порівнюючи залежності $u_{mat}(t)$ та $T_{mat}(t)$ з рис. 3 з відповідними графіками на рис. 2, можна переконатись, що вони добре збігаються (на якісному рівні), що є вагомим підтвердженням адекватності побудованої математичної моделі. Результати роботи можуть бути використані при створенні ефективної системи управління процесами сушіння.

Список літературних джерел.

1. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии. Учебн. пособие для вузов. – Л.: Химия, 1985. – 384 с.

2. Чумак Л.І, Лавренюк І.В., Платонова Т.О. Математичне моделювання процесу сушки керамічної цегли в тунельних сушилах Вісник ПДАБА №10, 2010 Дн-ськ с. 26-30.

3. Чумак Л.І, Шпірько М.В., Платонова Т.О., Сенька Т.М. Математичне моделювання процесу обпалювання керамічної цегли, Вісник ПДАБА, №10, 2010 Дн-ськ с.30-35.

4. Прокопенко М.Н. Математическая модель технологического процесса термовлажностной обработки керамического кирпича // «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» Научно-теоретический журнал. Ч. 111, 6/2003. - С.194-198

5. Ковальногов Н.Н., Павловичева Т.В. К моделированию тепловлажностного состояния кирпича в процессе его сушки // Вестник Ульяновского государственного технического университета. №4. 2009. С. 33 - 39.

6. Чаудхари Р.Р. Комплексная автоматизация технологического процесса производства керамического кирпича // Автоматизация и управление в технических системах.–2012.–№ 1; URL: auts.esrae.ru/1-6

7. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. 472с.

8. Співак О. Ю. Математичне моделювання процесу сушіння цегли / О. Ю. Співак, І. В. Фіник, П. С. Коба // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – №2. – с. 29–34.

9. Математичне моделювання та застосування ЕОМ у хімічній технології: конспект лекцій / укладач Худолей Г.М. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 183 с.

10. Худолей Г.М., Медведкова Н.О., Єврах О.О. Блок моделювання стану вологого повітря в середовищі математичного пакета MATLAB. Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» Шостка, 2022 року), с. 209-212.