



*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

*Львівський національний аграрний університет*

*Сумський національний аграрний університет*

*Лабораторія комплексних технологій*

# Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії



*Матеріали  
I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-  
конференції  
8-26 червня 2020 р.*

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Львівський національний аграрний університет  
Сумський національний аграрний університет  
Лабораторія комплексних технологій

# **Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії**

*Матеріали  
I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-  
конференції  
8-26 червня 2020 р.*

Мелітополь  
2020

Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (Мелітополь, 08- 26 червня 2020 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, І. П. Назаренко [та ін.]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. 103 с.

У збірнику представлені матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції за результатами досліджень щодо сучасних проблем інноваційного розвитку електричної інженерії.

Збірник тез є частиною науково-дослідної теми Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного «Розробка енергоресурсозберігаючих електротехнологій і пристроїв підвищення продуктивності та якості сільськогосподарських біологічних об'єктів» (номер держреєстрації 0116U002722).

Матеріали призначені для наукових співробітників, викладачів, студентів й аспірантів вищих навчальних закладів, фахівців і керівників сільськогосподарських та переробних підприємств АПК різної організаційно-правової форми, працівників державного управління, освіти та місцевого самоврядування, всіх, кого цікавить інноваційний розвиток електричної інженерії.

Відповідальність за зміст наданих матеріалів, точність наведених даних та відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори. Матеріали видані в авторській редакції.

**Редакційна колегія:** *Кюрчев В. М.* д.т.н., професор, член-кореспондент НААН України, ректор ТДАТУ; *Надикто В. Т.* д.т.н., професор, член-кореспондент НААН України, проректор з наукової роботи та міжнародної діяльності ТДАТУ; *Назаренко І. П.* д.т.н., професор ТДАТУ; *Діордієв В. Т.* д.т.н., проф., академік МААО ТДАТУ; *Постол Ю. О.* к.т.н., доцент ТДАТУ; *Червінський Л. С.* к.т.н., професор НУБіП; *Яковлев В. Ф.* к.т.н., професор СНАУ; *Сиротюк С. В.* к.т.н., доцент ЛНАУ; *Кесарійський О. Г.* к.т.н., завідувачий лабораторією лазерно-голографічних досліджень ТОВ «Лабораторія комплексних технологій».

*Адреси для листування:*

**72310, Україна, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18**

**E-mail: [ettp.conference@gmail.com](mailto:ettp.conference@gmail.com)**

**Сайт конференції: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/internet-konferencia/>**

© Колектив авторів, 2020

© Таврійський державний агротехнологічний університету імені Дмитра Моторного, 2020

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ 1. РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ПЕРЕДАЧІ І ПЕРЕТВОРЕННІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ



КЛИМЧУК О. А., ЛУЖАНСЬКА Г. В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТВЕРДИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛА ПРИ РОБОТІ ВІТРОУСТАНОВОК .....	6
КУШЛИК Р. В., КУШЛИК Р. Р., ВЛАСОЙ І. Д. ОБГРУНТУВАННЯ ДОВЖИНИ АКУСТИЧНОЇ ЄМНОСТІ ДЛЯ ОПРОМІНЕННЯ БІОДИЗЕЛЯ З НАФТОВИМ ПАЛЬНИМ .....	8
СТЬОПН Ю. О. ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ СОНЯШНИКА У ВИСОКОВОЛЬТНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ .....	9
КУШЛИК Р. В., КУШЛИК Р. Р., РИЖЕНКО О. І. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ТАНГЕНСА КУТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ В БІОПАЛЬНОМУ ОБРОБЛЕНОМУ НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ХВИЛЯМИ .....	10
ДІДЕНКО О. В. ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РИЦИНОВОЇ ОЛІЇ В ПРИ РІЗНОМУ ВМІСТУ ВОДИ .....	11
КУШЛИК Р. В., КУШЛИК Р. Р. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО В КАВІТАЦІЙНОМУ РЕЖИМІ .....	14
СИРОТЮК С. В., КОРОБКА С. В., СИРОТЮК В. М. ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНОГО ГЕЛІОКОЛЕКТОРА.....	15
КУШЛИК Р. В., КУШЛИК Р. Р., СТРУКОВ В. С. ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ БІОПАЛЬНОГО ЗА ДОПОМОГОЮ УСТАНОВКИ «ТАНГЕНС-3М-3» .....	17
ЖУРАВЕЛЬ Д. П., ПЕТРЕНКО К. Г. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА .....	18
ТРИГУБА А. М., ЧУБИК Р. В., КОВТИКА В. Р., ЯРОШЕНКО Л. В. ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВІБРОСУШАРКИ ПЕРЕМІЖНОГО НАГРІВАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ....	22
STRUCHAIEV N., POSTOL Y. INCREASING THE EFFICIENCY OF HEAT ENERGY TRANSPORTATION .....	24
ЖУРАВЕЛЬ Д. П., ПЕТРЕНКО К. Г. ОЦІНКА БІОЛОГІЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ СОНЯШНИКА .....	26
СТРУЧАЄВ М. І., ПОСТОЛ Ю. О., ВЛАСОЙ І. Д. ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЯ МЕДУ .....	29
СТЬОПН Ю. О. ЯКІСТЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	32
БУРЦЕВА С. О., ПОСТОЛ Ю. О. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ .....	33
ПОПРЯДУХІН В. С. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ БІОТРОПНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЕМП ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ .....	35
КЕСАРІЙСЬКИЙ О. Г., ПОСТОЛ Ю. О. ЛАЗЕРНО-ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ МЕТАЛОКОМПОЗИЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ .....	37
ДІОРДІЄВ В. Т., КАШКАРЬОВ А. О., САБО А. Г. ОХОЛОДЖЕННЯ КАРКАСНИХ ТЕПЛИЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОАЕРОЗОЛІВ .....	39

НАКАЛЮЖНИЙ Д. А., КУРАШКІН С. Ф. ЗАСТОСУВАННЯ LORAWAN ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ БОРОТЬБИ З НЕЗАКОННИМИ ВИРУБКАМИ ЛІСОСМУГ .....	41
КОВАЛЬОВ О. В., СІДЕЛЬНИКОВ Б. Ю. ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ПРИВОДУ МОТОБЛОКА .....	43
КОВАЛЬОВ О. В., КОПОСОВ А. Д. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МІНІ-ЕЛЕКТРОТРАКТОРА .....	45
КНЯЗЄВ І. В., БОРОХОВ І. В. ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РИСОВОЇ КРУПИ .....	47
ОРЕЛ О. М. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАРЦОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ НВЧ .....	50

## СЕКЦІЯ 2. ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ



ЧЕРВІНСЬКИЙ Л. С., СТОРОЖУК Л. О., ПАШКОВСЬКА Н. І. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИЧНОГО МІКРОКЛІМАТУ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ .....	51
КЛИМУК О. А., МАХНО В. Г., ПОЛЯКОВ О. О., ЧЕФТЕЛОВ І. О., ПІЛТЯЄВА Ю. Ю. АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛОТИ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ .....	53
ЛУЖАНСЬКА Г. В., СЕМЕНІЙ А. А., ЧАБАН В. Г., КЛИМУК І. О. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЛОКАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....	54
ЧЕРНЕЦЬКИЙ В. А., ПОСТОЛ Ю. О., СТРУЧАЄВ М. І. ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ОСВІТЛЕННІ .....	56
КЛЕЦКО І. М., БОЛТЯНСЬКА Н. І. ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ – УНІВЕРСАЛЬНИЙ ВИД ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА .....	58
ЛИСЕНКО О. В., ДУБІНІНА С. В. ВИБІР МОДЕЛІ ВИПАДКОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ .....	61
ТРИКОЗ В. О., ГАЛАВУРА М. М., ПОСТОЛ Ю. О., СТРУЧАЄВ М. І. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....	63
ТИМОФЕЄВ С. О., ПОСТОЛ Ю. О. ПІДГОТОВКА КАДРІВ В ОБЛАСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ .....	66
ГАЛАВУРА М. М., КУРАШКІН С. Ф. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ І ВЕНТИЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ .....	68
ТРИКОЗ В. О., КУРАШКІН С. Ф. УТИЛІЗАЦІЯ І ПЕРЕРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП .....	71

### СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ



ЧЕРВІНСЬКИЙ Л. С., КНИЖКА Т. С., РОМАНЕНКО О. І. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ДОЗУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖУВАЧА ВОДИ.....	73
ВОЛКОВА І. Д., ГУЛЕВСЬКИЙ В. Б. ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИРОРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ .....	75
БОРОХОВ І. В. ВИЯВЛЕННЯ МЕТАЛЕВО-МЕХАНІЧНИХ ДОМІШОК В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПОТОЦІ РИСУ .....	78
ВОВК О. Ю. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОВЗАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ІНДУКЦІЙНИМ МЕТОДОМ .....	80

### СЕКЦІЯ 4. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ



СИРОТЮК Г. В., ЯНКОВСЬКА К. С. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК КЛЮЧОВИЙ НАПРЯМ ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ. ....	82
СИРОТЮК В., СИРОТЮК С., КОРОБКА С., АУТОНІУК М., ФІТЬО Ю. РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ УСТАНОВКИ З КОНТРОЛЕРОМ НА БАЗІ АЛГОРИТМІВ FUZZY LOGIC .....	84
ІКОННІКОВ В. Л., НАЗАРЕНКО І. П. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	86
ЛАКОСІНА А. О., КВІТКА С. О. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	88
ІКОННІКОВ В. Л., НАЗАРЕНКО І. П. АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ .....	90
ТИМОФЄЄВ С. О., АБРАМЕНКО В. В., ПОСТНІКОВА М. В. ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	92
СТЬОПІН Ю. О. ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИСТРОЇВ.....	94
ЛИСЕНКО О. В., АДАМОВА С. В. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З КОМБІНОВАНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ НА БАЗІ ВДЕ .....	95
НОСАНЬ С. В., ВОВК О. Ю. ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЯК ДЖЕРЕЛО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	97
ПОПОВА І. О., МІНКІН О. В. РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИЙ ЗАХИСТ ВІД НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	99
ЖУРАВЕЛЬ Д. П., ПЕТРЕНКО К. Г. ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА.....	101

УДК 631.563.2:633.854.78

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

Петренко К. Г., інженер

e-mail: petrenko.k.g@gmail.com

Журавель Д. П., д.т.н.

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна*

**Актуальність та постановка проблеми.** Урожай соняшнику вимагає дуже дбайливого, обережного ставлення і оптимальних умов зберігання. Процес сушіння насіння соняшника повинен здійснюватися виходячи з особливостей сорту або гібрида і процентного вмісту олії.

Метою сушки є збереження якості і кількості олії. Насіння соняшнику категорично не переносить підвищення температури і збільшення вологості. Найбільш прийнятною вважається вологість, не більше 7% і температура зберігання в межах 10 °С. Прибраний урожай необхідно постійно вентилувати і забезпечити доступ свіжого повітря [1].

**Основні матеріали дослідження.** Статикою процесу сушки називають взаємодію вологих матеріалів з повітрям, в результаті якого настає стан рівноваги матеріалу. Стан рівноваги матеріалу може бути досягнутий шляхом поглинання водяного пару з навколишнього повітря (сорбції) або шляхом випарювання вологи з матеріалу (десорбції) [2].

У процесі сушіння проходить безперервне видалення вологи з матеріалу за рахунок різниці парціальних тисків пари над матеріалом  $P_m$  і навколишньому середовищі  $P_c$ , причому  $P_m > P_c$ . Вологість матеріалу знижується до тих пір, поки процес сушіння не припиниться при  $P_m = P_c$ , поки пружність пари над матеріалом стає рівною пружності пари в повітрі і настає рівновага в процесі обміну вологою між матеріалом та середовищем. Таким чином, величина вологості рівноваги залежить від парціального тиску пару в повітрі  $P_c$ , а відповідно, і від його відносної вологості  $w$ , як:

$$w = \frac{P_c}{P_H}, \quad (1)$$

де  $P_H$  – тиск насиченого пару при визначеній температурі.

Така залежність для капілярно-пористих колоїдних матеріалів мають вид S-образної форми. Криву, що отримана в результаті зволоження матеріалу, називають ізотермою сорбції, навпаки – ізотермою десорбції. Ізотерми сорбції та десорбції не співпадають – це явище носить назву сорбційного гістерезису.

На відміну від статички процесу сушіння, що встановлює взаємодію вологого матеріалу з повітрям незалежно від часу, кінетика розглядає характер протікання процесу сушіння впродовж часу. Найбільш повно характер протікання процесу сушіння визначається сукупністю трьох кривих сушіння, що показані на одному графіку (рис. 1).

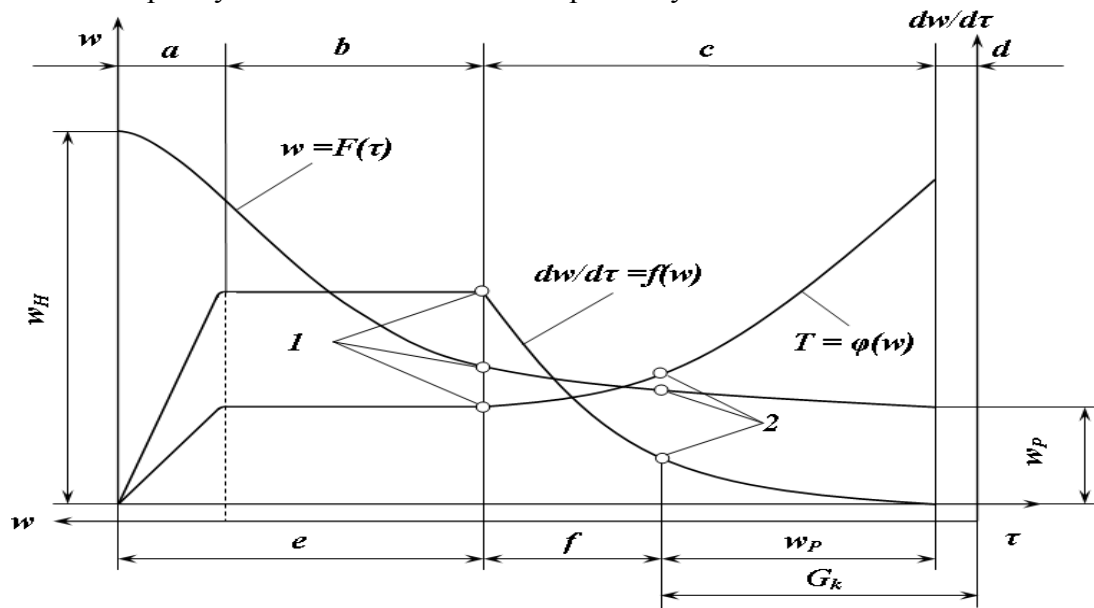
$\omega = F(\tau)$ , що виражає залежність між вологовмістом матеріалу  $\omega$  та тривалістю процесу сушіння  $\tau$ ;

$\frac{d\omega}{d\tau} = f(\omega)$ , що представляє собою залежність між швидкістю сушіння та вологовмістом матеріалу  $\omega$ ;

$T = \varphi(\omega)$ , що дає залежність між температурою  $T$  та вологовмістом матеріалу  $\omega$  в процесі сушіння.

Аналіз кривих показує, що весь процес сушіння можна розділити на три характерних періода: а – період нагріву матеріалу; б – період постійної швидкості сушіння; с – період падаючої швидкості сушіння.

Період нагріву: якщо матеріал помістити в сушильну камеру, через яку продувається нагріте повітря, то поверхня матеріалу буде нагріватися. З підвищенням температури волога на поверхні матеріалу почне інтенсивно випаровуватись та дифундувати в навколишнє середовище. Отже, з початку процесу сушіння, в період підігріву, поле вологості та поле температури матеріалу стають неоднорідними: на поверхні матеріалу вологість буде нижча, а температура вища, ніж в товщі - з'явиться градієнт концентрації вологи та температурний градієнт [3,4]. Градієнт концентрації вологи призводить до міграції вологи в бік меншої концентрації, тобто з внутрішніх слоїв до поверхні матеріалу, під дією температурного градієнту волога мігрує в бік більш низької температури, тобто від поверхні матеріалу до центру. Напрямок температурного градієнту та градієнту концентрації вологи протилежні, волога буде переміщуватися в напрямку дії більш інтенсивного градієнту.



а – період нагрівання; б – період постійної швидкості сушіння; с – період зниження швидкості сушіння; d – область стану рівноваги; e – область вологого стану; f – область гігроскопічного стану матеріалу; перша 1 та друга 2 критичні точки.

Рис. 1. Типові криві сушіння капілярно-пористих матеріалів

Дослідним шляхом встановлено, що при конвективному способі сушіння напрямком переміщення вологи обумовлюється дією градієнта концентрації вологи та міграція вологи відбувається від центру до поверхні матеріалу. Зростання температури поверхні матеріалу в кінці періоду нагріву досягає температури випарюваної рідини, а швидкість сушіння – максимального значення. Тривалість періоду нагрівання матеріалу настільки мала, що нею можна знехтувати. Тому тривалість сушіння залежить від швидкості в період постійної та зниження швидкості сушіння.

Період постійної швидкості сушіння: на початку сушіння вологовміст  $u$  матеріалу змінюється прямолінійно. Швидкість сушіння  $du/d\tau$ , що є похідною від вологовмісту  $u$  та визначається в кожній точці як тангенс кута нахилу дотичної до кривої сушіння  $u = F(\tau)$ , має максимальне значення в продовж всього першого періоду залишається постійною.

В першому періоді волога випарюється з поверхні матеріалу, що створює перепад вологовмісту між поверхнею та внутрішніми шарами матеріалу та призводить до переміщення вологи від центру до поверхні.

Інтенсивність міграції вологи з внутрішніх шарів до поверхні в перший період достатня для того, щоб підтримувати вологість поверхні більше гігроскопічної. Безперервна міграція



вологи з внутрішніх шарів до поверхні матеріалу приведе до зменшення їх вологовмісту, і до зниження градієнту концентрації вологи, що приведе до зменшення міграції вологи до поверхні і зниження її вологовмісту. Процес поступового зневоднення матеріалу приведе до того, що вологовміст його поверхні стає рівним гігроскопічному. Цей момент відповідає на графіку точкам 1 перегину кривих сушіння – перших критичних точок.

Експериментально отримано наступне рівняння для швидкості сушіння в період постійної швидкості:

$$\frac{dW}{d\tau} = 0,0745 v_b \rho^{0,8} (p_{\text{пл}} - p_b), \quad (2)$$

де  $v_b$  – швидкість повітря над матеріалом,  
 $\rho$  – густина повітря.

Аналіз рівняння показує, що швидкість сушіння на першому етапі залежить від параметрів сушильного агента.

Інтегруючи рівняння в границях зміни вологості від  $W_H$  до  $W_K$  та часу отримуємо:

$$\tau_1 = \frac{W_H - W_K}{0,0745 v_b \rho^{0,8} (p_{\text{пл}} - p_b)}, \quad (3)$$

Період зниження швидкості сушіння: після перших критичних точок характер протікання кривих сушіння різко змінюється. Невідповідність між кількістю вологи, що випарюється з поверхні надходить з внутрішніх шарів матеріалу, приводить до того, що поверхня випарення перетворюється в зону випарення, тобто випарення розширюється не тільки з геометричної поверхні матеріалу, але і поширюється в глиб матеріалу.

При рівномірному підводі тепла зменшується інтенсивність випарення вологи з поверхні та утворюється зона випарення, що призводить до підвищення температури нагріву матеріалу. Другий період сушіння характеризується зменшенням швидкості сушіння та збільшенням температури матеріалу. Температура центрального шару матеріалу в процесі сушіння весь час відстає від температури поверхні і досягає її значення тільки біля другої критичної точки 2.

Точка 2 перегину кривої швидкості сушіння пов'язана зі зміною форми зв'язку вологи, що видаляється, з матеріалу, від чого залежить швидкість сушіння. Період сушіння від початкової вологості матеріалу до другої критичної точки відповідає видаленню капілярної вологи, а наступний період до вологи рівноваги – видаленню адсорбційно-зв'язаної вологи. Наприкінці другого періоду сушіння температура матеріалу вирівнюється з температурою навколишнього середовища, а криві вологовмісту та швидкості сушіння асимптотично наближуються: перша до вологовмісту рівноваги, друга до нуля.

За аналогією з основним рівнянням кінетики швидкість сушіння на другому етапі можна записати:

$$\frac{dW}{d\tau} = K_c (W - W_p), \quad (4)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт сушіння, що залежить від інтенсивності масо переносу.  
 Інтегруючи рівняння границями від  $W_{кр}$  до  $W$ , отримано:

$$\ln \frac{W_{кр} - W_p}{W_2 - W_p} = K_c \tau, \quad (5)$$

Тривалість процесу сушіння на другому етапі :

$$\tau_2 = \frac{1}{K_c} \ln \frac{W_{кр} - W_p}{W_2 - W_p}, \quad (6)$$

Тоді загальна тривалість сушіння:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{W_H - W_K}{0,0745v_B \rho^{0,8} (p_{пт} - p_B)} + \frac{1}{K_c} \ln \frac{W_{кр} - W_p}{W_2 - W_p}. \quad (7)$$

**Висновки.** Аналіз кривих кінетики сушіння насіння показує, що весь процес сушіння можна розділити на три характерних періоди: період нагріву матеріалу; період постійної швидкості сушіння; період падаючої швидкості сушіння; тобто для коллоїдно-пористих тіл найбільш ефективним є конвективне сушіння, при якому волога віддаляється з матеріалу в результаті випару з поверхні матеріалу.

#### Список використаних джерел

1. Журавель Д. П., Зубкова К. В., Елісов Р. Д. Розробка удосконаленої схеми сушіння насіння соняшника. *Актуальні проблеми дисциплін природничо-наукової підготовки сучасних інженерів: матеріали Всеукр. студентської наук.-практ. конф. Херсон, ХДАУ, 2010. С. 101-104.*
2. Ткаченко А. В., Дідур В. А. Оборудование и технология сушки семян подсолнечника высших репродукций. Lambert Academic Publishing. 2014. 144 с.
3. Дідур В. А., Журавель Д. П. Технічна механіка рідини і газу: підручник. Мелітополь: Колор Принт, 2019. 468 с.
4. Надійність обладнання харчової галузі: навчальний посібник / Ю. Г. Сухенко, І. П. Паламарчук, М. М. Жеплінська, М. М. Муштрук, Д. П. Журавель. Київ: Компринт, 2019. 370 с.