

зокрема чисельність генеративних пагонів, коефіцієнт генерування та індекс відновлення, можна використати як чутливі індикаторні ознаки антропогенних змін.

Ключові слова: рідкісні аркто-альпійські види рослин, екзогенні чинники, збереження популяцій, Українські Карпати.

Черепанин Р.М. Рекомендации по сохранению некоторых редких аркто-альпийских видов растений в Черногоре (Украинские Карпаты)

Рассмотрено влияние внешних факторов на популяции редких аркто-альпийских видов растений. Отмечено негативное влияние интенсивного вытаптывания и пастбищной нагрузки на структуру популяций. Установлено положительное влияние умеренного вытаптывания и наличия свободных микронош в местообитаниях на популяции *Loiseleuria procumbens* и *Salix herbacea*. Предложено для охраны популяций *Pedicularis oederi* и *Lloydia serotina* контролировать демутиационные процессы и сохранять природные условия в местообитаниях, а при необходимости проводить мероприятия активной охраны. В местообитаниях *Saussurea alpina* на г. Петрос важным является соблюдение заповедного режима. В популяции *Saussurea alpina* на г. Брэбэнэскул необходимо устранение рекреационного пресса путем обустройства основного туристического маршрута через обходную тропу. Установлено, что репродуктивные параметры популяций, в частности, численность генеративных побегов, коэффициент генерирования и индекс восстановления, можно использовать как чувствительные индикаторные признаки антропогенных изменений.

Ключевые слова: редкие аркто-альпийские виды растений, экзогенные факторы, сохранение популяций, Украинские Карпаты.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ

УДК 66.047.45

КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПОДРІБНЕНОГО МІСКАНТУСА

В.М. Атаманюк¹, М.І. Мосюк², О.С. Іващук³, О.В. Захарків⁴

Наведено результати експериментальних досліджень кінетики і динаміки фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса та отримано криві, що описують зміну вологості матеріалу в часі залежно від властивостей висушуваного матеріалу (за зміни температури сушильного агента (40, 60, 80 °С), зміни висоти шару (40, 80, 100, 120, 140 мм) та зміни швидкості фільтрації сушильного агента (0,6, 1,14, 1,6, 2,05 м/с)). Результати досліджень на основі теоретичних та експериментальних даних спрямовано на покращення процесу сушіння подрібненого міскантуса у стаціонарному шарі.

Ключові слова: кінетика, динаміка, міскантус, швидкість фільтраційного сушіння.

Постановка проблеми. Використання альтернативних джерел енергії є одним із найперспективніших шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення країни. Біомаса є джерелом відновлюваної енергії, здатне замінити всі види викопного палива і є у необмеженій кількості практично скрізь. Біомаса може забезпечувати виробництво теплової, електричної енергії та різних видів твердого палива. Розвиток біоенергетичних технологій зменшить залежність України від імпортованих енергоносіїв, підвищить її енергетичну безпеку внаслідок організації енергопостачання на базі місцевих поновлюваних ресурсів, створить значну кількість нових робочих місць (переважно у сільських районах), зробить великий внесок у покращення екологічної ситуації.

Як відомо, у сфері біоенергетики для виготовлення твердого біопалива використовують швидкорослі дерева і багаторічні трави зі швидким відновленням після збирання та високими приростами врожаю біомаси. Ці культури є маловимогливими до ґрунтово-кліматичних умов, внаслідок багаторічного вирощування покращують структуру та властивості ґрунту. До таких рослин належать: енергетична верба, енергетична тополя, міскантус, світчґрас (просо лозоподібне), сіда багаторічна тощо [1].

У країнах Центральної та Західної Європи активно розвивається виробництво та використання енергетичних біопаливних культур. Однією з таких рослин є міскантус або т. зв. "слонова трава".

Міскантус – багаторічна злакова культура, що належить до групи рослин С₄. Це рослина з чотириметровим стеблом і волосистим суцвіттям без насіння, що росте до 4 м у висоту та містить 64-71 % мас. целюлози, а вміст золи становить 2,2 % мас. Теплотворна здатність – 17 МДж/кг [2]. Міскантус невибагливий до кліматичних умов, не потребує додаткових удобрень; збирати врожай

¹ проф. В.М. Атаманюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² асист. М.І. Мосюк, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ ст. наук. співроб., асист. О.С. Іващук, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

⁴ магістрант О.В. Захарків – НУ "Львівська політехніка"

можна 2-3 рази на рік; добре піддається дробінню та сушінню. У європейських умовах міскантус показує велику стійкість до хвороб і шкідників, тому не потрібно здійснювати заходи з хімічної охорони площ, що зменшує затрати і запобігає забрудненню середовища. Рослина має дуже розгалужену кореневу систему, існує можливість вирощувати на деградованих, піщаних, супіщаних ґрунтах, на схилах. Довговічна рослина може рости на одному місці протягом 25 років [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання кінетики фільтраційного сушіння досліджено у багатьох наукових працях, зокрема у [1-9]. У роботах [1-5] автори дослідили кінетику фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів, та на основі експериментальних даних зробили висновки про вплив висоти шару, швидкості руху, температури теплового агента, розміру частинок на швидкість сушіння. Проте отримані залежності можна використовувати тільки для прогнозування кінетики фільтраційного сушіння досліджуваних у цих роботах матеріалів, які характеризуються певною формою та структурою частинок. Аналізуючи літературні джерела, з'ясовано, що кінетику сушіння подрібненого міскантуса на сьогодні недостатньо досліджено, тому теоретичні та експериментальні дослідження процесів висушування подрібненого міскантуса є актуальним завданням.

Мета дослідження – теоретичне та експериментальне дослідження кінетики фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса.

Об'єкт дослідження – подрібнений міскантус, що є багаторічною кореневищною травою, яку застосовують для отримання твердих біопалив.

Методика дослідження. Для оцінювання основних параметрів шару досліджуваного матеріалу основні технічні характеристики подрібненого міскантуса наведено у таблиці.

Табл. Основні технічні характеристики подрібненого міскантуса

$\rho_{нас}, \text{кг} / \text{м}^3$	$\rho_{эф}, \text{кг} / \text{м}^3$	$\varepsilon_{ш}, \text{м}^3 / \text{м}^3$	$d_e \cdot 10^3, \text{м}$	$a, \text{м}^3 / \text{м}^3$
122,23	562	73,75	4,18	705

Насипну густину $\rho_{нас}$ подрібненого міскантуса визначено за стандартною методикою згідно з ГОСТ 10840, загальну пористість досліджуваних матеріалів $\varepsilon_{ш}$ – пікнометричним методом. Еквівалентний діаметр каналів d_e , крізь які фільтрується тепловий агент, визначено із залежності

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon_{ш}}{a}$$

де a – питома поверхня шару подрібненого міскантуса, яку визначено приладом ПМЦ-500 за методикою [11].

Кінетика сушіння описує зміну вологості матеріалу в часі залежно від властивостей висушувачого матеріалу та визначає час сушіння й енергетичні затрати. Тому експериментальні дослідження кінетики фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса проведено за методикою, описаною в роботі [10-11].

Експериментальна частина роботи. Досліджували вплив температури t , швидкості фільтрування теплового агента ω_0 і висоти шару матеріалу h на кі-

нетику фільтраційного сушіння. Результати експериментального дослідження наведено на рис. 1-3 у вигляді кінетичних кривих зміни вологовмісту w^c у часі τ , с.

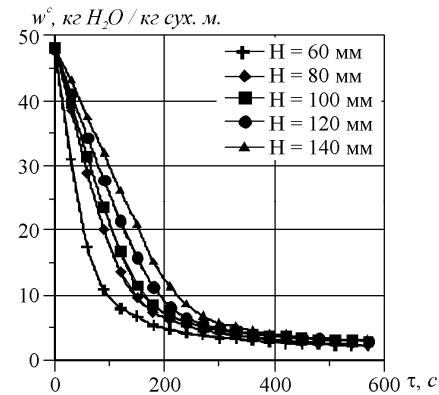


Рис. 1. Кінетика фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної висоти шару ($\omega_0 = 1,6 \text{ м/с}$, $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

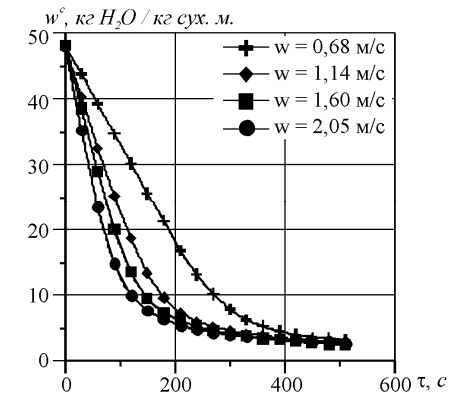


Рис. 2. Кінетика фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної швидкості фільтрування теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

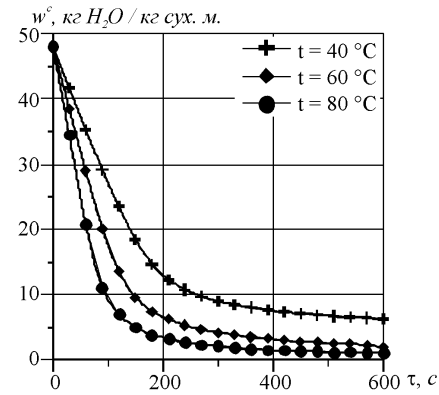


Рис. 3. Кінетика фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної температури теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $\omega_0 = 1,6 \text{ м/с}$)

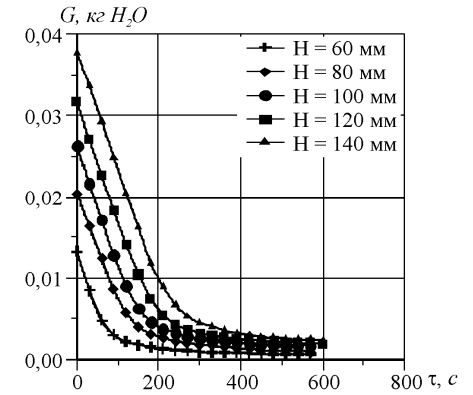


Рис. 4. Зміна маси вологи W подрібненого міскантуса як функція часу за різної висоти шару ($\omega_0 = 1,6 \text{ м/с}$, $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

Початкова вологість подрібненого міскантуса становить 48 % і залежить від багатьох факторів, зокрема пори року, часу простоювання після збирання з поля, типу ґрунтів, кліматичних умов тощо. Основна кількість вологи матеріалу міститься всередині частинок подрібненого міскантуса, і тільки невелика її кількість – на поверхні частинки. Однак, як бачимо на кінетичних кривих (див. рис. 1-3), присутній період постійної і спадної швидкості сушіння.

Аналізуючи кінетичні криві сушіння подрібненого міскантуса (див. рис. 1-3), можна зробити висновок, що фільтраційне сушіння характеризується двома основними етапами видалення вологи на кінетичній кривій – пряма лінія, тангенс кута нахилу якої визначає швидкість переміщення зони масообміну. Цей етап сушіння в технічній літературі називають першим умовним періодом фільтраційного сушіння [11], однак ця назва не відображає фізичної суті процесу, бо в контейнері одночасно знаходиться сухий матеріал, матеріал, з якого видалається внутрішня волога, і матеріал, з якого видалається зовнішня волога (за напрямком руху теплового агента). Тому, щоб відобразити фізичну суть процесу, цей етап фільтраційного сушіння доцільно назвати періодом повного і часткового насичення теплового агента.

Після досягнення фронтом масообміну перфорованої перегородки кількість вологого матеріалу зменшується, і тепловий агент тільки частково насичується парами вологи. Внаслідок того, що визначення зміни вологовмісту проводили ваговим методом, на кінетичних кривих зміна вологовмісту експоненціально зменшується і наближається до рівноваги. Аналогічно, як і в першому випадку, цей етап доцільно назвати періодом часткового насичення теплового агента, і ця назва відповідає фізичній картині процесу фільтраційного сушіння.

Аналізуючи рис. 2, зрозуміло, що збільшення швидкості теплового агента дає змогу внести в шар більше теплоти і відповідно випарувати більше вологи. Тому, із збільшенням швидкості фільтрування тангенс кута нахилу прямолинійної ділянки кінетичних кривих до осі абсцис зростає.

Аналогічну ситуацію маємо і у випадку підвищення температури (див. рис. 3). Зрозуміло, що підвищення температури приводить до зростання сушильного потенціалу теплового агента і за однакової швидкості фільтрування теплового агента ріст температури приводить до скорочення часу сушіння. Як бачимо, тангенс кута нахилу прямолинійної ділянки кінетичних кривих з ростом температури також зростає.

Аналіз графічної залежності (див. рис. 1) показує, що за однакової швидкості і температури теплового агента, тобто за однакового сушильного потенціалу, тангенс кута нахилу прямолинійних ділянок кінетичних кривих залежить від висоти шару і з її ростом зменшується. Щоб пояснити причину такого явища, на рис. 4-6 наведено динаміку видалення вологи під час фільтраційного сушіння у вигляді графічної залежності залишкової кількості вологи у шарі залежно від параметрів теплового агента та висоти шару $G = f(\omega, t, \tau)$. Згідно з даними рис. 4, кількість вологи, яка виноситься тепловим агентом із шару, не залежить від висоти шару, про що свідчить паралельність прямолинійних ділянок кривих.

Різний кут нахилу кінетичних кривих (див. рис. 1) можна пояснити тим, що зміну вологовмісту під час фільтраційного сушіння визначали ваговим методом і розраховували відносно маси сухого матеріалу. Як видно з рис. 4, за однакового початкового вологовмісту кількість вологи в шарі залежить від висоти шару, і, очевидно, що з ростом висоти шару зростає маса сухого матеріалу, тому кут нахилу кінетичних кривих зменшується з її ростом.

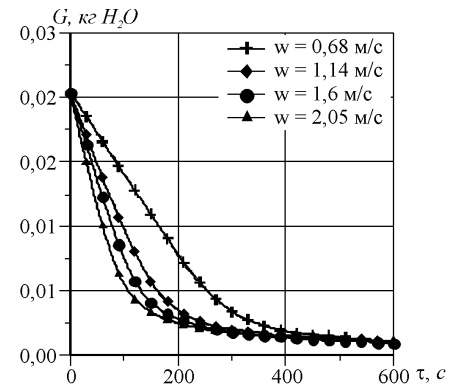


Рис. 5. Зміна маси вологи W подрібненого міскантуса як функція часу за різної швидкості фільтрування теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$)

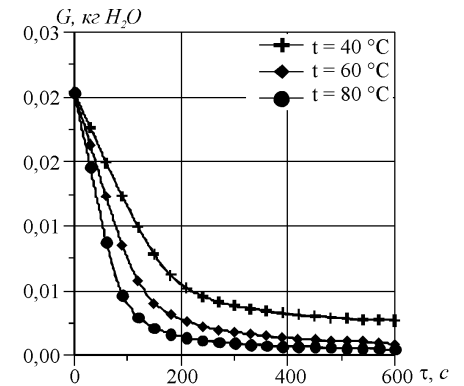


Рис. 6. Зміна маси вологи W подрібненого міскантуса як функція часу за різної температури теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $\omega_0 = 1,6 \text{ м/с}$)

Динаміка видалення вологи визначається величиною сушильного потенціалу теплового агента, який залежить від температури теплового агента і від об'ємної витрати, тому з їх ростом кількість вологи, що видалається із шару матеріалу, зростає, що можна спостерігати на рис. 5 і 6.

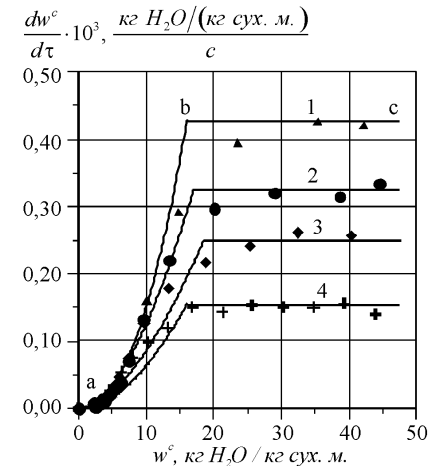


Рис. 7. Швидкість фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної швидкості фільтрування теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$):
1) $\omega = 0,68 \text{ м/с}$; 2) $\omega = 1,14 \text{ м/с}$;
3) $\omega = 1,6 \text{ м/с}$; 4) $\omega = 2,05 \text{ м/с}$

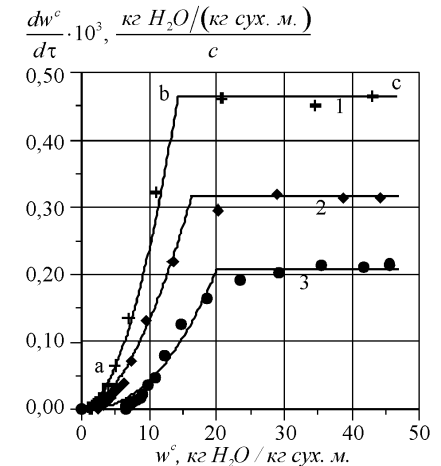


Рис. 8. Швидкість фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної температури теплового агента ($H = 60 \text{ мм}$, $\omega_0 = 1,6 \text{ м/с}$): 1) $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; 2) $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$; 3) $t = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

На рис. 7 показано залежність швидкості сушіння подрібненого міскантуса залежно від її вологості. Точка *b* відповідає завершенню періоду повного насичення теплового агента парами води, тобто досягнення фронту масообміну перфорованої перегородки і переходу процесу фільтраційного сушіння до періоду часткового насичення теплового агента. Внаслідок того, що швидкість фільтрування теплового агента змінюється від $\omega_0 = 0,68$ м/с до $\omega_0 = 2,05$ м/с, швидкість сушіння також зростає від $\frac{dw^c}{d\tau} = 0,002 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг } H_2O / (\text{кг сух. м.})}{\text{с}}$ до $\frac{dw^c}{d\tau} = 0,0047 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг } H_2O / (\text{кг сух. м.})}{\text{с}}$, що можна пояснити зростанням коефіцієнтів тепло- й масоперенесення. Зазначене стосується і рис. 8 у випадку, коли зростає температура теплового агента і, як наслідок, зростає сушильний потенціал теплового агента, що приводить до росту швидкості сушіння.

Згідно з даними рис. 9, швидкість сушіння зростає із зменшенням висоти шару, це можна пояснити тим, що зміну вологовмісту шару визначали ваговим методом у розрахунку на масу сухого матеріалу. Зрозуміло, що з ростом висоти, зростає кількість води в шарі і маса сухого матеріалу, тому на рис. 9 швидкість сушіння в період повного насичення теплового агента є найбільшою для найменшої висоти шару.

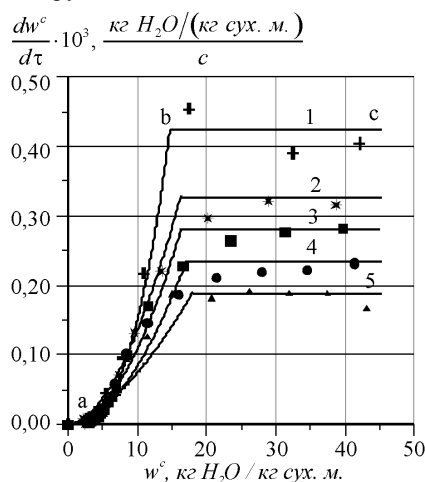


Рис. 9. Швидкість фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса за різної висоти шару ($\omega_0 = 1,6$ м/с, $t = 60^\circ\text{C}$)

Однак швидкість сушіння в період повного насичення теплового агента парами води не залежить від висоти шару (див. рис. 4), що можна пояснити стабільністю сушильного потенціалу за однакової температури і швидкості фільтрування теплового агента (кількість води, що видаляється за одиницю часу, є постійною величиною).

Висновки. Досліджено кінетику та динаміку фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса у процесі висушування фільтраційного сушіння. Обґрун-

товано існування двох етапів фільтраційного сушіння подрібненого міскантуса. Проаналізовано залежність фільтраційного сушіння від технологічних параметрів теплового агента (сушильного потенціалу) і висоти шару матеріалу.

Доведено, що швидкість фільтраційного сушіння не залежить від висоти шару матеріалу.

Література

1. Гелетуа Г.Г. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур у Україні / Г.Г. Гелетуа, Т.А. Желєзна, О.В. Трибой // Аналітична записка БАУ від 12.09.14 р., № 10. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>.
2. Зинченко В. Рубрика – Біоенергетика, енергія міскантуса / В. Зинченко, М. Яшин. – СПб. : Изд-во "Питер". – 2011. – № 6. – 80 с.
3. Атаманюк, В.М. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / В.М. Атаманюк; НУ Львівська політехніка. – Львів, 2007. – 36 с.
4. Ханік, Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов : автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / Я.Н. Ханік; НУ Львівська політехніка. – Львів, 1992. – 36 с.
5. Гузьова, І.О. Гідродинаміка та тепломасообмін при фільтраційному сушінні матеріалів кристалічної та аморфної структури : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / І.О. Гузьова; НУ Львівська політехніка. – Львів, 2001. – 19 с.
6. Кіндзера, Д.П. Сушіння паливних матеріалів різнодисперсного складу у щільному шарі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / Д.П. Кіндзера; НУ Львівська політехніка. – Львів, 2003. – 20 с.
7. Дулеба, В.П. Фільтраційне сушіння осадженого поліакриламід у : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / В.П. Дулеба; НУ Львівська політехніка. – Львів, 1997. – 20 с.
8. Римар, Т.І. Сушіння глини у нерухомому шарі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / Т.І. Римар; НУ Львівська політехніка. – Львів, 2008. – 19 с.
9. Атаманюк, В.М. Масовіддача у першому періоді фільтраційного сушіння дрібнодисперсних матеріалів / Д.М. Симак, В.М. Атаманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий : сб. науч. тр. – Харьков. – 2011. – Вып. 6/6 (54). – С. 14-22.
10. Мосюк, М.І. Гідродинаміка і тепломасообмін під час сушіння подрібненої "енергетичної" верби в стаціонарному шарі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / М.І. Мосюк; НУ Львівська політехніка. – Львів, 2012. – 22 с.
11. Атаманюк, В.М. Кінетика фільтраційного сушіння шлаку теплових електростанцій / В.М. Атаманюк, І.Р. Барна // ОНАХТ : зб. наук. праць. – Одеса. – 2012. – Т. 2, вип. 41. – С. 89-93.

Надійшла до редакції 22.11.2016 р.

Атаманюк В.М., Мосюк Н.И., Иващук А.С., Захаркив О.В. Кинетика фильтрационной сушки измельченного мискантуса

Представлены результаты экспериментальных исследований кинетики и динамики фильтрационной сушки измельченного мискантуса и получены кривые, описывающие изменение влажности материала со временем в зависимости от свойств высушиваемого материала (при изменении температуры сушильного агента (40, 60, 80 °С), изменении высоты слоя (40, 80, 100, 120, 140 мм), и изменения скорости фильтрации сушильного агента (0,6, 1,14, 1,6, 2,05 м/с)). Результаты исследований на основе теоретических и экспериментальных данных направлены на улучшение процесса сушки измельченного мискантуса в стационарном слое.

Ключевые слова: кинетика, динамика, мискантус, скорость фильтрационной сушки.

Atamanyuk V.M., Mosiuk M.I., Ivashchuk O.S., Zakharkiv O.V. The Kinetics of the Shredded Miscanthus Filtration Drying

The article presents the experimental studies results of the kinetics and dynamics of the shredded Miscanthus filtration drying and the derived curves that describe the humidity change over the time according to the drying material properties (when the drying agent temperature changes (40, 60, 80 °C), the layer height changes (40, 80, 100, 120, 140 mm), and the filtration rate of the drying agent changes (0.6, 1.14, 1.6, 2.05 mps)). The authors' research results are focused on the process of improvement of the shredded Miscanthus drying in a stationary layer.

Keywords: kinetics, dynamics, Miscanthus, filtration drying rate.

УДК 66.047.45

ФІЛЬТРАЦІЙНЕ СУШІННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ – ВІДХОДІВ ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

В.М. Атаманюк¹, А.І. Терлич², О.М. Халанія³

Наведено результати експериментального дослідження кінетики фільтраційного сушіння пивної дробини та отримано криві: зміни вологовмісту пивної дробини у процесі сушіння за зміни температури сушильного агента (45, 60, 75, 90 °C); зміни вологовмісту дробини у процесі сушіння за варіювання висоти шару (40, 80, 120, 160 мм) зміни вологовмісту пивної дробини у процесі сушіння за варіювання швидкості фільтрування сушильного агента (0,7, 1,14, 1,7, 2,1 м/с). Наведено результати досліджень, які спрямовані на вдосконалення процесу сушіння пивної дробини зі стаціонарним шаром.

Ключові слова: кінетика, швидкість сушіння, фільтраційне сушіння, вологовміст, частинки пивної дробини.

Актуальність дослідження. Виробництво пива посідає важливе місце в переробній промисловості України. Згідно із статистичними даними, виробництво пива у 2015 р. становило приблизно 2000 млн л [1]. На окремих підприємствах пивної галузі утворюється до 700 т вологої пивної дробини. У складі пивної дробини знаходиться приблизно 75 % мас. білків і 80 % мас. жиру, що містяться у солоді, саме тому вона є цінним кормом у тваринництві. Термін зберігання вологої пивної дробини становить не більше 24 год внаслідок її швидкого заброджування та пліснявіння, що обмежує її застосування у тваринництві, особливо у літній період. Однак, термін зберігання висушеної пивної дробини становить приблизно 6 місяців, що значно розширює можливості її використання. Пивну дробину також використовують для виготовлення біогазу, суху та брикетовану або гранульовану – як паливо, а також дедалі більшої популярності набуває її використання у випічці хліба з висівками. Тому експериментальні дослідження ефективних методів висушування пивної дробини має актуальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему висушування пивної дробини висвітлено у багатьох наукових роботах, зокрема автори [2] пропонують багатостадійний метод її зневоднення, який охоплює механічне зневоднення

шляхом пресування з наступним тепловим сушінням до 10 % мас. вологи. Однак під час механічного зневоднення частина цінних продуктів втрачається разом із рідиною, а спресовану масу перед сушінням потрібно подрібнювати. Окрім цього, така технологія потребує дорогого і громіздкого обладнання, а також додаткових виробничих площ. У роботі [3] автори пропонують висушувати пивну дробину у дві стадії, спочатку в пневматичній спіральній сушарці з наступним досушуванням у сушарці з віброкиплячим шаром. Така технологія також має низку недоліків, зокрема сушіння у пневматичній сушарці характеризується низькими коефіцієнтами тепло- і масовіддачі внаслідок малих значень відносно швидкості "тепловий агент-вологий матеріал", незначний степінь насичення вологою теплового агента за великих значень його витрат, потреба встановлення очисного обладнання, а також потреба додаткового сушильного обладнання – сушарки з віброкиплячим шаром. Автори [4] пропонують для попереднього зневоднення пивної дробини використовувати механічні стрічкові фільтрпреси, разом із цим автор зазначає, що кінцева вологість такого продукту становить 50-55 % мас., а у разі двостадійності процесу – додатково можна видалити ще 10-15 % мас. вологи. Запропонований метод зневоднення пивної дробини не дає змоги отримати кінцевої вологості 10 % мас. і потребує додаткового теплового сушіння, а обладнання для механічного видалення вологи є громіздким та складним в обслуговуванні. У технічній літературі запропоновано й інші методи висушування пивної дробини з використанням струмів надвисокої частоти та інфрачервоного випромінювання, однак такі методи характеризуються високими енергетичними затратами та складністю і дороговизною технологічного обладнання, і у промисловому виробництві широкого застосування не набули.

Проблему фільтраційного сушіння досліджено у багатьох наукових роботах, зокрема у [5] наведено теоретичні та експериментальні дослідження сушіння різних сортів пшениці. Автор наводить експериментальні дані щодо кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці, динаміки та швидкості її сушіння. Разом із цим, структурна будова зерна пшениці істотно відрізняється від структурної будови пивної дробини як за внутрішньою будовою і формою частинок, так і за початковим вологовмістом. Тому результати, отримані у роботі [5], використати для прогнозування процесу фільтраційного сушіння пивної дробини – неможливо внаслідок великих розбіжностей між експериментальними і теоретично розрахованими значеннями. У роботі [6] автор досліджує фільтраційне сушіння сировинних матеріалів виготовлення шлакового гравію, а у роботі [7] – сушіння подрібненої енергетичної верби. У цих роботах наведено експериментальні та теоретичні дослідження гідродинаміки і кінетики фільтраційного сушіння, а також вплив температури та швидкості фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар вологого матеріалу різної висоти. Однак отримані дані в цих роботах є індивідуальними для кожного досліджуваного матеріалу, а їх використання для інших об'єктів без проведення додаткових експериментальних досліджень є неможливе.

Матеріали та методика дослідження. Об'єктом досліджень вибрано пивну дробину "Kumpel' Group", що має такі характеристики: насипна маса у воло-

¹ проф. В.М. Атаманюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² магістрант А.І. Терлич – НУ "Львівська політехніка";

³ студ. О.М. Халанія – НУ "Львівська політехніка"