

УДК 664.723.047

В.М.Пазюк, канд.техн.наук (Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ)

Основні напрямки зменшення енергетичних витрат у схемах сушіння зерна з тепловим насосом

У статті запропоновані заходи зі зменшення енергетичних витрат теплоти на сушіння зерна з використанням теплонасосних сушильних установок.

Ключові слова: теплові насоси, енергоефективність, сушіння зерна, кінетика процесу сушіння.

В статье предложены методы по уменьшению энергетических затрат теплоты на сушку зерна с использованием теплонасосной сушильной установки.

Ключевые слова: тепловые насосы, энергоэффективность, сушка зерна, кинетика процесса сушки.

На сучасному етапі розвитку промисловості стають актуальними питання ефективного використання енергетичних ресурсів, утилізації та рекуперації теплоти в технологічних процесах. Зростання цін на енергоносії та підвищення вимог до охорони навколишнього середовища вимагають нового підходу до енергозабезпечення виробництва сушіння зерна шляхом впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. Одним із напрямків енергоефективного способу сушіння зерна є використання теплонасосних технологій.

Проведений аналіз сушильних технологій показав, що основними проблемами при сушінні зерна є зменшення енергетичних витрат та шкідливих викидів в атмосферу, безпечність продукту.

Для сушіння зерна підготування сушильного

агенту, як правило, виконують в основному в топках зерносушарок при використанні продуктів згоряння дизельного палива або природного газу.

Використання теплових насосів у процесах сушіння зерна представлено на рис. 1.

Сушильні технології з тепловим насосом дозволяють:

- зменшити енергетичні витрати через використання альтернативних джерел енергії або проводити відбирання теплоти від відпрацьованого теплоносія на сушіння зерна;
- виробляти 3-4 кВт теплової енергії на 1 кВт витраченої на його роботу електроенергії;
- підвищувати інтенсивність сушіння зерна через осушування теплоносія на вході в сушильну установку;

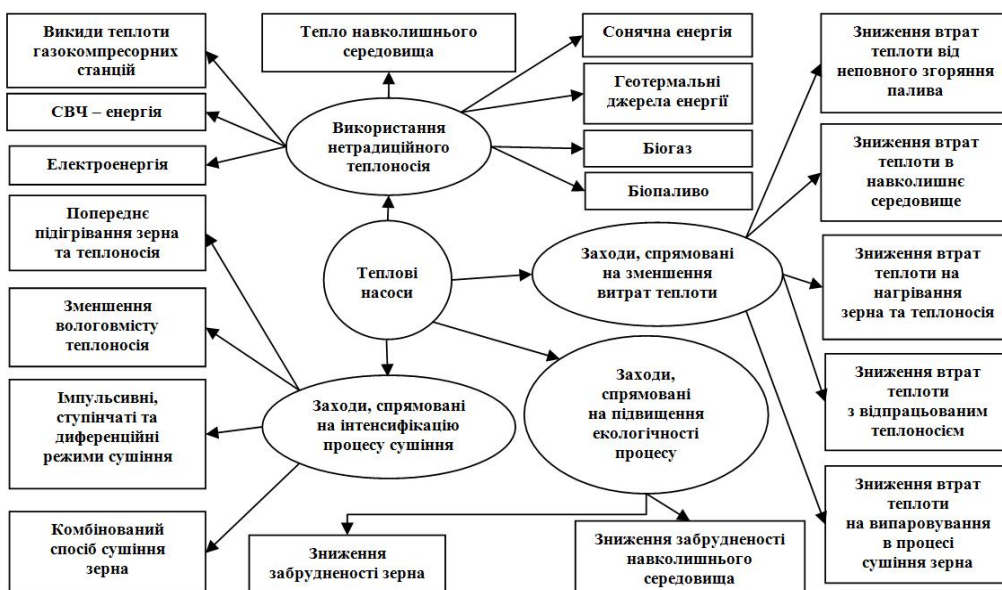


Рис. 1. Використання теплових насосів у процесі сушіння зерна.

- вдосконаливати існуючі технології сушіння зерна, використовуючи їх для попереднього нагрівання теплоносія, сушіння та охолодження зерна;

- покращити екологічність процесу за рахунок використання альтернативних джерел енергії, що частково або повністю виключає можливість застосування суміші топкових газів і повітря, зменшити забруднення атмосфери та зерна.

Для багатозонних сушильних установок найбільш доцільно використовувати схеми підготування теплоносія за допомогою теплового насоса, такі як отримання в одній системі теплоносія декількох температурних потенціалів або досягнення високих температур теплоносія у двоконтурних та каскадних теплонасосних установках, включення у схему теплового насоса теплового двигуна при сушінні зерна в багатозонній зерносушарці.

Отримання в одній системі теплоносія декількох температурних потенціалів. Для зневоднення сушіння зерна, яке у відповідності з технологічним регламентом повинне проводитись у декількох секціях сушарок при різних температурах теплоносія, розроблена схема теплонасосної сушарки з двосекційним конденсатором (рис. 2) [1].

Теплоносій більш високого температурного потенціалу (для сушарки 11) підігрівається послідовно в секціях 2 і 3 конденсатора і направляється на сушарку 11, де зволожується і охолоджується. Відпрацьований сушильний агент змішується зі свіжою порцією повітря, осушується. Сушильний агент більш низького температурного потенціалу вентилятором 8 направляється в сушарку 10, а потім у випарник 7 для рекуперації теплоти, що дозволяє проводити процес кипіння робочої речовини при більш високій температурі.

Використання каскадних теплонасосних сушильних установок (рис. 3) [1].

В каскадній теплонасосній сушильній установці сушильний агент підігрівається до високих температур у відповідному каскаді теплового насоса.

Теплонасосна сушильна установка працює наступним чином. Атмосферне повітря надходить у попередній теплообмінник IX, підігрівається за рахунок рекуперації теплоти повітря на виході, після чого змішується з рециркулюючою

частиною теплоносія у вузлі змішування X, підігрівається і направляється в конденсатор VII, де підігрівається і подається в сушарку XII вентилятором XI. Після сушарки XII повітря поділяється на 2 частини, одна направляється у вузол змішування X, а інша – в попередній теплообмінник IX для підігрівання вхідного потоку теплоносія.

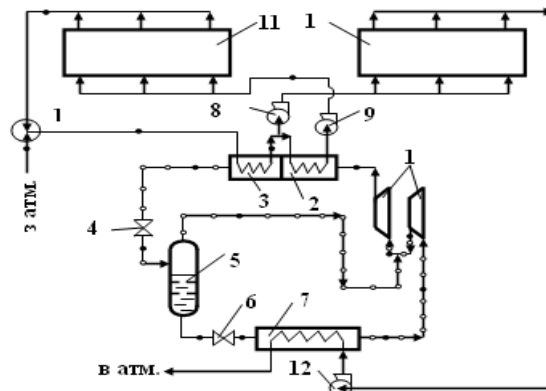


Рис. 2. Схема теплонасосної сушарки з двома температурними рівнями теплоносія: 1 – двоступеневий компресор; 2, 3 – двосекційний конденсатор; 4, 6 – регулюючі вентиляції; 5 – проміжна ємність; 7 – випарник; 8, 9, 12 – вентилятори; 10, 11 – сушарка; 13 – вузол змішування. — сушильний агент; —•—•—•— робоча речовина.

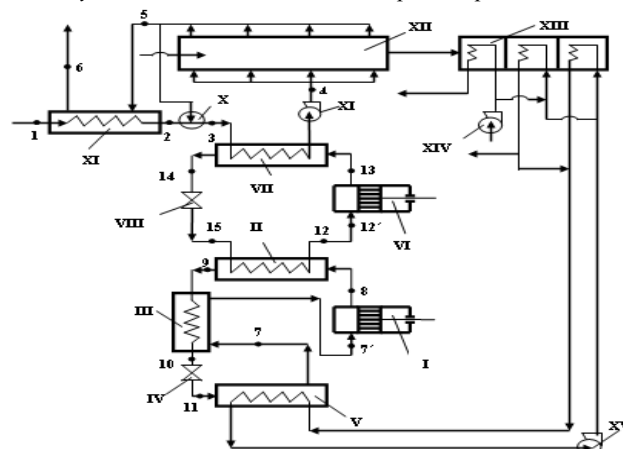


Рис. 3. Каскадна теплонасосна сушильна установка: I, VI – компресори; II – конденсатор-випарник; III – регенеративний теплообмінник; IV, VIII – регулюючі вентиляції; V – випарник; VII – конденсатор; IX – теплообмінник; X – вузол змішування; XI, XIV, XV – вентилятори; XII – сушарка; XIII – охолоджувач. 1-2 – нагрівання сушильного агента в попередньому теплообміннику IX; 2-3 – зміна параметрів сушильного агента при змішуванні його з відпрацьованим повітрям; 3-4 – нагрівання сушильного агента в конденсаторі TH; 4-5 – охолодження і зволоження повітря в сушарці; 5-3, 5-6 – зміна параметрів відпрацьованого сушильного агента відповідно у вузлі змішування X і попередньому теплообміннику; 7-7' – перегрівання робочої речовини на всмоктуванні в компресор нижнього каскаду; 7'-8, 12'-13 – стиснення робочої речовини відповідно в компресорі нижнього і верхнього каскадів; 8-9 – конденсація робочої речовини в конденсаторі-випарнику II; 13-14 – конденсація робочої речовини верхнього каскаду в конденсаторі VII; 10-11, 14-15 – дроселювання робочої речовини відповідно нижнього і верхнього каскадів.

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблена теплонасосна установка для сушіння зерна, в якій реалізується принцип теплонасосних установок з використанням теплоти навколишнього середовища, осушування та підігрівання теплоносія на вході в сушильну шахту (рис. 4) [2, 3].

Робота теплового насоса полягає в охолодженні теплоносія нижче температури роси у випарнику 4 ($a'-o$), при цьому відбувається видалення вологи з повітря у збірник для конденсату і нагрівання його в конденсаторі 2 до потрібної температури сушіння зерна ($o'-b$). Цей спосіб сушіння можливий за рахунок властивості холодоагенту, який при кипінні відбирає тепло низкопотенційного джерела і віддає його теплоносію при конденсації. Підігріте повітря надходить у сушильну шахту із зерном і відбувається висушування зерна до рівноважної вологості.

Виходячи з наведеного вище принципу, в ІТТФ НАН України була розроблена теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна (рис. 5)

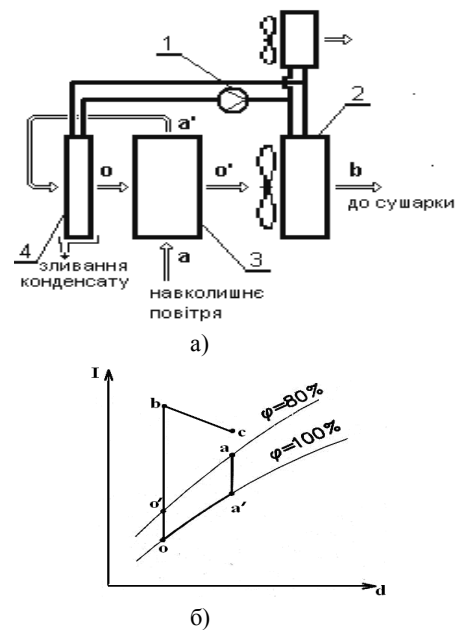


Рис. 4. Схема роботи теплового насоса (а) та процес сушіння в теплонасосній установці (б): 1 – компресор; 2 – повітряний конденсатор; 3 – рекуператор; 4 – випарник. Процес: $a-a'$ – попереднє охолодження навколишнього середовища в рекуператорі; $a'-o$ – зневоднення навколишнього середовища за рахунок охолодження нижче температури роси; $o-o'$ – часткове відновлення температури повітря; $o'-b$ – нагрівання в конденсаторі до заданої температури.

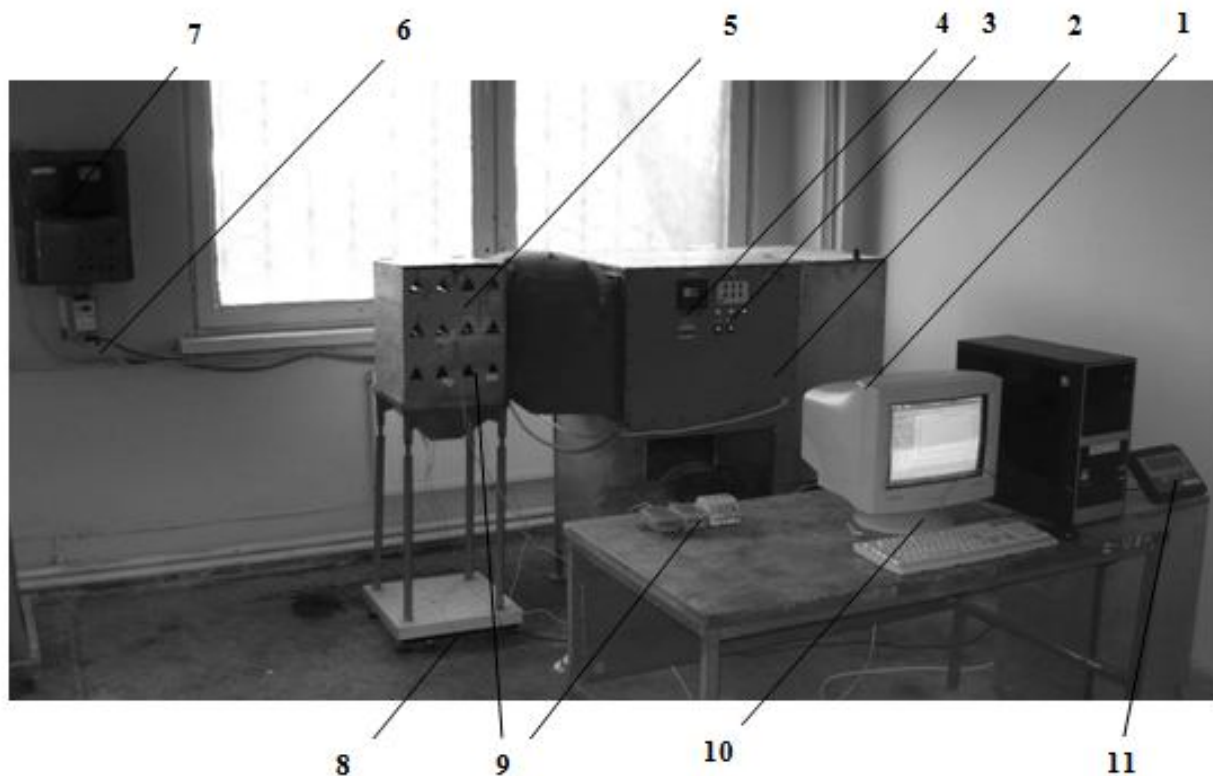


Рис. 5. Експериментальна теплонасосна зерносушарка: 1 – теплонасосний агрегат; 2 – щит керування; 3 – реле часу; 4 – термореле; 5 – сушильна шахта; 6 – регулятор швидкості; 7 – лічильник електроенергії; 8 – напольні терези; 9 – аналоговий цифровий перетворювач і-7018, конвертор-інтерфейс і-7520 та хромель-контелеві термоелектричні перетворювачі; 10 – персональний комп'ютер; 11 – цифрове табло терезів.

Результати проведених досліджень впливу температури теплоносія на кінетику процесу сушіння в теплонасосній зерносушарці показали, що збільшення температури на 10°C (40-50°C) зменшує тривалість сушіння на 12% (рис. 6).

Найбільш інтенсивне прогрівання шару ріпаку відбувається при температурі теплоносія 50°C і при вологості 8% (кінцева температура становить 42,4°C), а при температурі 40°C – 35,4°C (рис. 6,а).

Процес швидкості сушіння насіння ріпаку в теплонасосній сушильній установці (рис. 6,б) проходить наступні етапи: прогрівання, період постійної та період падаючої швидкості сушіння.

Максимальна швидкість сушіння при температурі теплоносія 50°C в точці K_1 становить 0,181%/хв, а при температурі 40°C – 0,155%/хв. В періоді падаючої швидкості сушіння спостерігається друга критична точка K_2 при вологості 11,5–12%.

У процесі сушіння насіння ріпаку відбувається

взаємозв'язок процесу тепломасообміну між матеріалом і теплоносієм. Зовнішні процеси характеризуються зовнішнім масообміном – випаровуванням вологи і зовнішнім теплообміном між підігрітим повітрям та поверхнею матеріалу.

Як відомо, явище тепло- та вологоперенесення в середині матеріалу в процесі сушіння взаємопов'язані та взаємообумовлені. Взагалі зв'язок між цими явищами виражають у вигляді залежностей між температурою і вологовмістом або у вигляді співвідношення між витратою теплоти на підігрівання матеріалу і витратою теплоти на випаровування вологи з нього за нескінченно малий проміжок часу в процесі сушіння (число Ребіндера). Цей комплекс за фізичним змістом є визначальним.

На рис. 7 зображено залежність числа Ребіндера від вологості W при сушінні насінневого ріпаку при різних температурах теплоносія.

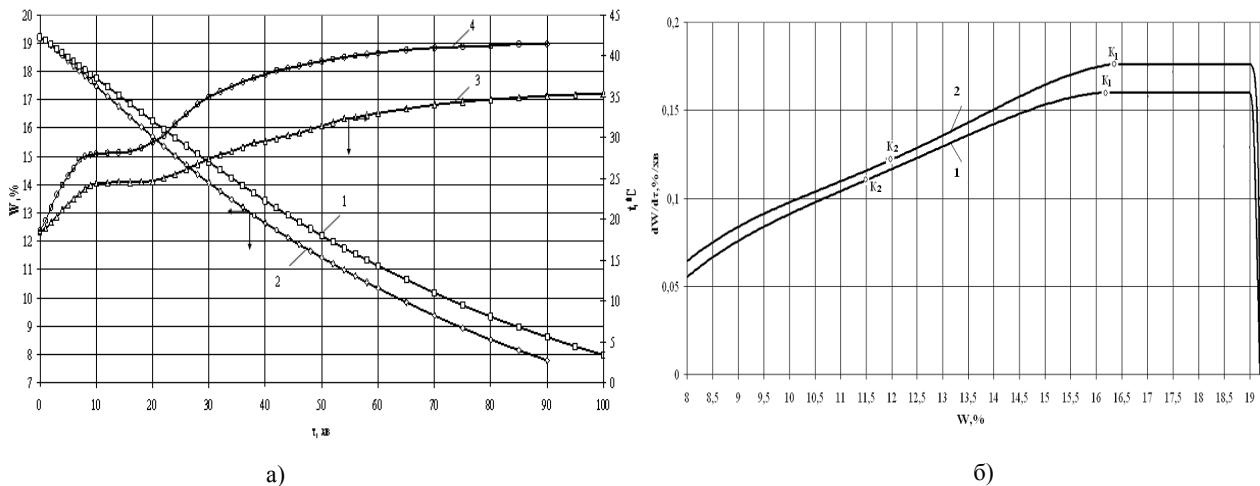


Рис. 6. Кінетика процесу та температурні криві сушіння насіння ріпаку при різній температурі теплоносія:

1, 3 – 40°C; 2, 4 – 50°C; $V = 1,2$ м/с; $\delta = 40$ мм; $W_n = 19,2$ %; $d = 6$ г/кг с. п.

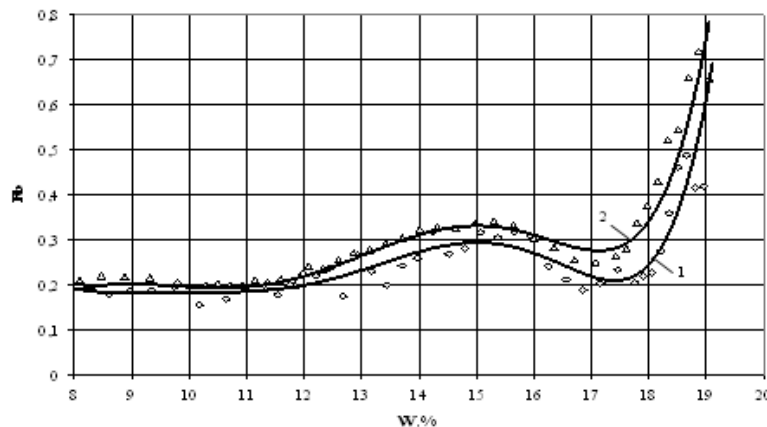


Рис. 7. Вплив числа Ребіндера в залежності від вологості насіння:

1 – $t = 40^\circ\text{C}$, $V = 1,2$ м/с, $\delta = 40$ мм; 2 – $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,2$ м/с, $\delta = 40$ мм.

Описуючи процес сушіння за критерієм Ребіндера, спостерігаємо прогрівання та випаровування вологи на поверхні матеріалу з наступним прогріванням та проникненням тепла у внутрішні шари зерна. Зі збільшенням температури сушіння насіннєвого матеріалу число Ребіндера збільшується, тобто підвищується інтенсивність процесу.

Характер зміни величини Rb від вологості матеріалу W аналогічний зміні температурного коефіцієнта сушіння b . Зі зміною вологості матеріалу величина Rb зменшується, тобто теплота сушильної установки більше витрачається на випаровування вологи з матеріалу, ніж на його нагрівання.

На рис. 8 наведено залежності зміни густини теплового потоку від вологості насіння ріпаку при різних режимах сушіння. Так, зі збільшенням температури теплоносія величина теплового потоку теплоти, підведеного до матеріалу, збільшується. Характер кривих у всіх режимах аналогічний і

говорить про те, що зі зменшенням вологості матеріалу густина теплового потоку теплоти безперервно зменшується.

Спостерігається загальна тенденція у наведених залежностях параметрів сушіння від питомих витрат теплоти: на початку процесу витрати теплоти мінімальні і складають 2400-3500 кДж/кг, поступове їх збільшення відбувається до вологості 11,5-12%, що відповідає критичній точці K_2 , а потім витрати різко збільшуються до вологості 8%.

Збільшення питомих витрат при кінцевій вологості 8% (рис. 9) становить для температури 40°C – 5150 кДж/кг, а для температури 50°C – 4600 кДж/кг.

Незалежно від режиму сушіння схожість насіння ріпаку в теплонасосній зерносушарці по відношенню до вихідного ріпаку залишається високою і складає 100 (таблиця 1). Енергія росту на 2-4 день змінюється від вихідної на 1-2%.

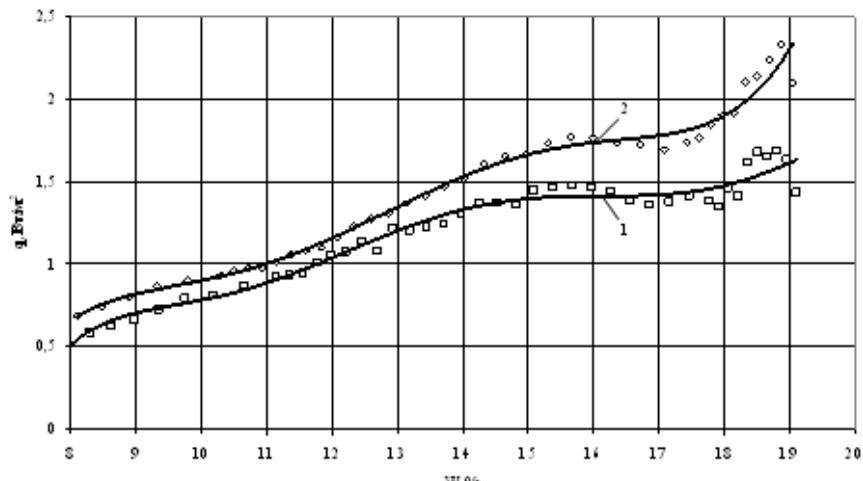


Рис. 8. Зміна густини теплового потоку від вологості насіння ріпаку: 1 – $t = 40^\circ\text{C}$, $V = 1,2 \text{ м/с}$, $\delta = 40 \text{ мм}$; 2 – $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,2 \text{ м/с}$; $\delta = 40 \text{ мм}$.

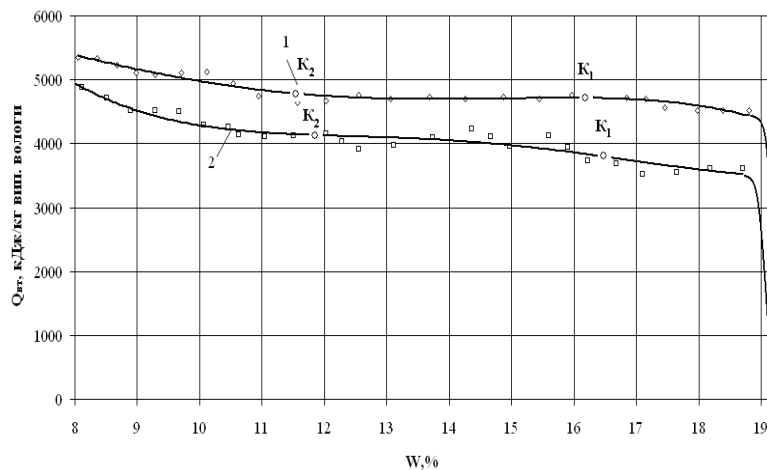


Рис. 9. Питомі витрати теплоти від вологості ріпаку в процесі сушіння насіння ріпаку при різних температурах теплоносія: 1 – 40°C; 2 – 50°C; $V = 1,2 \text{ м/с}$; $\delta = 40 \text{ мм}$; $W_n = 19,2 \%$; $d = 6 \text{ г/кг с. п.}$

Таблиця 1. Вплив температури теплоносія на якість насіння ріпаку [3]

№	Параметри процесу				Параметри якості		
	Температура теплоносія t , °C	Швидкість руху V , м/с	Товщина шару δ , мм	Початкова вологість насіння W , %	Енергія росту E , %		Схожість на 7 день C , %
					2 день	4 день	абс./відн.
	Вихідний ріпак				83	85	89/100
1.	40	1,2	40	19,2	83	85	89/100
2.	50	1,2	40	19,2	82	84	89/100
3.	50	1,5	40	19,2	79	83	89/100
4.	50	1,2	40	32	80	84	89/100

Висновки. 1. В статті зазначено про доцільність створення теплонасосних сушильних установок для сушіння зерна з різними технологічними схемами підготовки теплоносія.

2. Створена теплонасосна установка для сушіння насінневого зерна дозволяє проводити процес при температурі теплоносія 40-50°C.

3. Досліджено кінетику процесу сушіння насіння ріпаку, питомі витрати теплоти в теплонасосній установці та якісні показники насіння до і після обробки. Інтенсивність процесу сушіння в теплонасосній установці збільшується на 12%,

питомі витрати теплоти зменшуються на 20-50%, схожість насіння складає на рівні 100% від вихідного зерна.

1. *Чайченец Н.С.* Теплонасосные сушильные установки для зерна / Н.С. Чайченец – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, (Обзорная информация. Сер. Элев. промышленность). – 1990. – 52 с.

2. *Снежкін Ю.Ф.* Теплові насоси в системі теплохолодопостачання / Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Чалаєв, В.С.Шаврін, Н.О. Дабіжа. – К.: ТОВ "Поліграф-Сервіс", 2008. – 104 с.

3. *Снежкін Ю.Ф.* Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна / Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаєв. – К.: ТОВ "Поліграф-Сервіс", 2012. – 154 с.

XII МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВІСТІ-2014

ЕНЕРГЕТИЧНЕ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ • ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ, МАШИН • ПРОМИСЛОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД • СВІЛОТЕХНІКА
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ • КАБЕЛЬНО-ПРОВІДНИКОВА ПРОДУКЦІЯ • АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

XII МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ: СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ



МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, 02660
Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

23-25
вересня

ОРГАНІЗАТОРИ:
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
Міжнародний виставковий центр

Технічний партнер: *Rand Media*