

УДК. 664.002.047

## ОБЕЗВОДНЕННЯ ВТОРИННОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО СУШІННЯ

Бойко В.С., к.т.н.,

Бойко О.В., к.т.н.,

Бойко Т.Ю., асп.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-04-42

**Анотація** - у роботі проведений аналіз процесу сушіння в вакуумі, визначені основні шляхи та рішення. Розроблена конструктивно-технологічна схема дозволила побудувати опитний зразок та отримати показники експериментальних досліджень.

**Ключові слова** – обезводнення, вакуум, сухий продукт, вторинний продукт, потужність, нагрівач.

*Постановка проблеми.* Існує велика кількість різних способів сушки харчових матеріалів, але всі вони засновані на фізичних явищах: випарювання, сублімація та інших. Вибір того чи іншого способу визначається природою матеріалу та вимогами до якості. Останній фактор є визначним в отриманні якісного продукту при застосуванні певних способів і режимів обезводнення.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Процес зневоднювання у вакуумі виключає які – небудь хімічні реакції, що змінюють склад вихідного продукту, і припускає зниження вологовмісту.

У зв'язку с тим, що процес йде у вакуумі, стає можливим проводити випарювання води в діапазоні температур від 35 до 45 °С, у якому вода має найнижчу питому теплоємність. Це дозволяє зберегти в недоторканності органічну складову вихідного продукту й підвищує економічність процесу.

*Мета роботи.* Розробити конструктивно – технологічну схему, яка б дозволила побудувати опитний зразок та отримати показники експериментальних досліджень.

*Основна частина.* Процес вакуумного сушіння заключається у тому, що при зменшенні тиску під час сушіння точка кипіння вологи, яка знаходиться у продукті, знижується і тому волога швидко випаровується при відносно низьких температурах. Це дозволяє різко

інтенсифікувати процес сушіння та знизити його довготривалість в кілька разів у порівнянні з іншими способами (конвекційним, аеродинамічним, кондуктивним та ін.).

Обезводнення сільськогосподарських продуктів у вакуумі – це процес, який забезпечує фракціонування вологого продукту на три складові: суха речовина, вологістю від 1 до 14%; воду, придатну у технічному використанні та незначний екологічно чистий газоподібний вихід. Області застосовування цього процесу визначаються супутніми йому фізичними явищами, насамперед кінематикою та динамікою тепло - і масообміну. Процес обезводнення у вакуумі, як і термічний процес включає в собі нагрів первинного продукту до температури випаровування, дифузії, сорбції та випаровування. Цей метод сушіння виключає які - небудь хімічні реакції, які змінюють склад первинного продукту та припускає тільки зниження вологовмісткості.

Інтенсивність процесу випаровування при одному і тому ж потоці теплоти, яка підводиться до первинного продукту може бути збільшена шляхом підвищення теплообміну речовини з навколишнім середовищем. Це може бути досягнуто, по-перше, за рахунок збільшення площі випаровування  $F_1$  (м<sup>2</sup>) і по-друге, за рахунок прискорення оновлення поверхні. Перше забезпечує кількість лотків, на яких одночасно розташовується випаровуємий продукт. Друге – якісним постійним перемішуванням первинного матеріалу в процесі його нагріву.

Процес обезводнення у вакуумі використовується у наступних випадках: коли необхідно зберегти початковий склад матеріалу, котрий він мав у вологому або рідкому стані. До цього випадку відносяться процеси отримання сухих харчових та медичинських продуктів; коли доцільно при отриманні кінцевого продукту виділити водний дистилат, придатний для подальшого використання. Наприклад, утилізація виробничих та побутових шлаків, коли кінцевий сухий продукт несе в собі небезпечні речовини, потрапляння яких в рідкі або газоподібні відходи технологічного процесу недопустиме. Це процеси утилізації та переробки посліду птахів та свиней на добриво з виділенням чистої води, яка може бути використана для поливу, технічних потреб птахофабрик та свиноферм, або у котельнях, як теплоносій.

Обезводнення продуктів сировини та відходів у вакуумі, насичених водою, є не тільки технофізичним, але і технологічним процесом, при цьому у відмінності від звичайного сушіння, при якому змінюються структурно-механічні, технологічні та біохімічні властивості матеріалів, у даному випадку таких змін не відбувається та обезводнений матеріал відрізняється від первинного тільки

відсотковим вмістом вологи, зберігаючи свою структуру та відсотковий склад біологічно корисних складових. У зв'язку з тим, що процес проходить у вакуумі, є можливість проводити випарювання води у діапазоні температур від  $35^{\circ}\text{C}$  до  $45^{\circ}\text{C}$ , у якому вода має саму низьку питому тепломісткість. Це надасть можливість зберегти у недоторканості органічну складову первинного продукту та підвищити економічність процесу.

На початку процесу сушіння (початкова стадія прогріву матеріалу – I період) швидкість обезводнення швидко збільшується, досягаючи постійного значення (сушіння при постійній швидкості, ділянка ВС – II період). Це область вологого стану матеріалу. Починаючи з критичної точки С з вологозбереженням  $W_{\text{кр}}$ , швидкість сушіння зменшується з різних законів та при досягненні рівноважної вологовмісткості  $w_p$  стає рівною нулю (відрізок СЕ – швидкості, яка падає – III період).

Зменшення тиску різко збільшує інтенсивність випаровування за рахунок підвищення коефіцієнту масообміну, який у першому наближенні зворотно пропорційний тиску. Щоб підтримати значну інтенсивність обезводнення у вакуумі, теплота, яка необхідна для випарювання рідини, підводиться до первинного матеріалу у результаті теплопровідності від нагрітої поверхні. Таким чином вакуумне обезводнення по способу підведення теплоти до матеріалу є контактним сушінням.

Так як масообмін в процесі вакуумного обезводнення включає переніс пару в наслідок руху усієї маси рідини, який викликає вакуумна система відкачування, то процес обезводнення у вакуумі можна класифікувати, як масообмін при змушеній конвекції. Основними параметрами, якими характеризується вакуумне сушіння є:

- швидкість відкачки  $V_{\text{отк}}$  та склад відкачуючих газів, від яких залежить характеристика засобів відкачки;
- величина масопотік  $M_n$  та продуктивність з первинного матеріалу  $M_{\text{ж}}$ , яка дозволяє створювати структуру подачі первинного продукту і обґрунтовувати необхідну площину випарювання  $F$ ;
- необхідний тепловий потік  $Q$ , який визначає потужність системи нагріву  $N$  та її конструкцію.

В технологічному процесі вакуумної сушки має місце теплообмін при змушеній конвекції де джерелом руху випарюваної речовини є агрегат, що відкачує. Тому масопотік пару може бути представлений, як різниця між концентраціями на поверхні випарюваної речовини і в навколишньому середовищі

$$M_n = k_m \cdot F \cdot (C_{\Pi} - C_o),$$

де  $M_n$  – масопотік пару, кг/с;

$F$  – площа поверхні випарювання, м<sup>2</sup>;

$C_{\Pi}$  – масова концентрація пару у поверхні випарювання, кг/м<sup>3</sup>;

$C_o$  – масова концентрація пару у навколишньому середовищі, кг/м<sup>3</sup>.

Для визначення швидкості відкачки, як правило визначена необхідна продуктивність з «рідинної» речовини. Необхідно обробити кількість первинного продукту  $M_{ж}$ , кг/с за визначений період часу. При тому відома вологість первинного продукту  $W_k$ . Кількість води необхідне удалити  $M_B$

$$M_B = M_{ж}(W_{и} - W_k).$$

За допомогою рівняння Вандер Вальса, яке для водного пару має наступний вид

$$P_n \cdot (V_{\Pi} - 0,016) = R \cdot T_u,$$

де  $V_{\Pi}$  – питомий об'єм пару м<sup>3</sup>/кг;

$R = 47,06$  – газова постійна кг·м/(кг·град);

$P_n$  – тиск насичених парів кг·с/м<sup>2</sup>;

$T_u$  – температура випарювання, °К.

Можливо визначити об'ємну швидкість  $V$  виділення пару при тиску насичених парів  $P_n$  і температурі  $T_n$ . Щоб інтенсивність процесу обезводнення у вакуумі не зменшувалась швидкість відкачки  $S_{отк}$  повинна бути не менше швидкості виділення пару.

$$S_{отк} \geq V = M_{\Pi} \cdot V_{\Pi}.$$

Потужність нагрівача пропорціональна кількості теплоти  $Q$  необхідної для нагріву та випарювання води, яке забезпечує необхідний масопотік пару

$$Q = M_{\Pi} \cdot [C_v (T_{и} - T_n) + r_n],$$

де  $Q$  – необхідна кількість теплоти

$r_n$  – прихована теплота пароутворення, Дж/кг;

$T_{и}$  – температура випарювання, °К;

$T_n$  – початкова температура, °К.

Якщо тепловий потік виразити у ккал/час, то потужність нагріву буде у кВт та визначиться наступним чином

$$N = Q/860.$$

Для вибору системи нагріву необхідно знати температуру поверхні, яка гріє на якій знаходиться зволожувальний матеріал. Її можливо визначити із співвідношення Розенна (5).

$$\frac{C_o \cdot \Delta T}{r_{\Pi} \cdot P_r^{1.7}} = K_f \left[ \frac{Q/F}{\mu_B \cdot r_{\Pi}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_b - \rho_{\Pi})}} \right]^{0.33}$$

Так як ця залежність має емпіричний характер, величини, які входять в це рівняння, повинні мати наступну розмірність:

$C_B$  – теплоємність води, Дж/(кг °К);

$\Delta T = T_F - T_H$  – температурний натиск, °К;

$T_F$  – температура грючої поверхні, °К;

$T_H$  – температура випаровування, °К;

$Q/F$  – щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$r_n$  – прихована теплота пароутворення, Дж/кг;

$q$  – прискорення свобідного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_b$  – щільність води при тиску насичення, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – щільність насиченого пару, кг/м<sup>3</sup>;

$\sigma$  – поверхневий натяг на межі розділу рідина-пара, Н/м;

$\mu_b$  – коефіцієнт динамічної в'язкості для води, Нс/м<sup>2</sup>;

$K_f$  – безрозмірна емпірична постійна (залежить від шорсткості та інших властивостей поверхні нагріву, змочування її рідиною та властивостей самої рідини).

Геометрична форма поверхні нагріву не надає істотного впливу на механізм випарювання.

Знаючи властивості первинного  $W_{ж}$  і кінцевого  $W_{к}$  продуктів, а також продуктивність машини з водяного пару  $M_{п}$  потрібно розрахувати продуктивність пристрою з сухого продукту  $M_{сух}$

$$M_{сух} = M_{ж} \cdot (100 - W_{ж} + W_{к}).$$

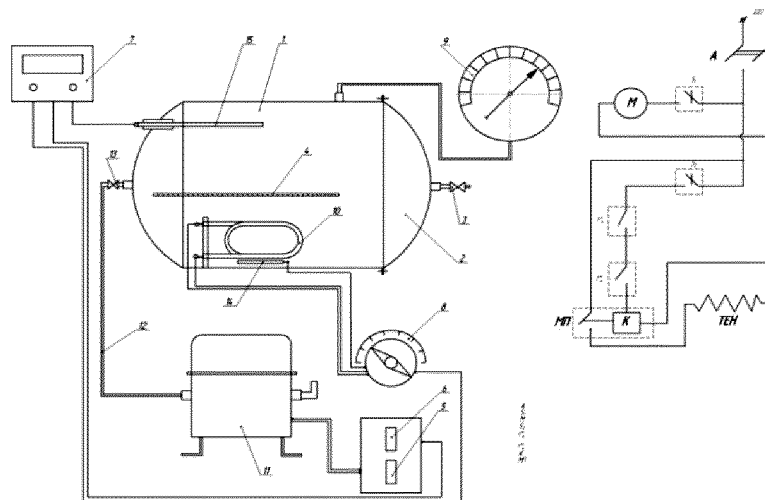


Рис. 1. Структурно-апаратна схема експериментальної вакуумної сушарки.

Грунтуючись на даних теоретичних розробках у Таврійському державному агротехнологічному університеті на кафедрі «Обладнання переробних та харчових виробництв» було спроектовано експериментальну установку для вакуумного сушіння насіння,

фруктів, овочів та вторинної сировини з сільськогосподарських продуктів. На рис. 1 представлена структурно-апаратна схема експериментальної вакуумної сушарки

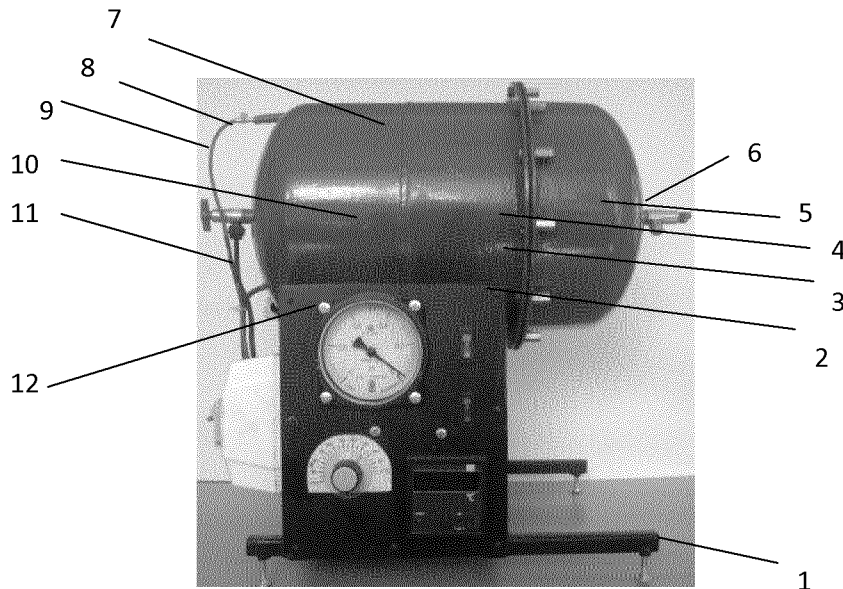


Рис. 2. Експериментальний зразок вакуумної камерної сушарки:  
 1–рама; 2- терморегулятор-термометр середі (продукту);  
 3- тумблер включення нагрівача; 4- тумблер включення вакуум-насоса;  
 5 – з’ємна кришка камери; 6- вентиль скидання вакууму; 7 - сушильна камера; 8 – вакуум трубопровід; 9 – вентиль вакуум трубопроводу;  
 10 – вакуумметр; 11 – магнітний пускач; 12 – терморегулювач ТЕНе.

Грунтуючись на дану структурно-апаратну схему був вироблений експериментальний зразок вакуумної сушарки представлений на рис.2. На даній сушарці були проведені опити по сушінню насіння соняшника, яблук, груш, картоплі та моркви. Обробка отриманих даних та будова графіків залежностей проводилась за методикою доктора технічних наук професора І.Ф. Малежика (Український державний університет харчових технологій).

*Висновки.* Відповідно зменшився час сушки з 210 до 165 хвилин, це свідчить про те, що вакуумний спосіб сушки вторинних продуктів більш ефективний і має невеликі енерговитрати.

Таким чином, для конструювання і виготовлення сушильних пристроїв невеликої продуктивності для малих приватних підприємств рекомендується використовувати вакуумну систему сушки, яка найбільш ефективна і має невеликі витрати та розміри діаметру барабану 1000 мм.

## Література

1. *Веселов Е. Л.* Обезвоживание в вакууме. Физика технологии. Применение. / *Е. Л. Веселов.* - Инженерный журнал : Справочник № 1, 1998. – 156 с.
2. *Ковалев Л. К.* Низкотемпературное обезвоживание органических веществ большой влажности в вакууме. / *Л.К. Ковалев.* – Инженерный журнал : Справочник. № 2, 1997. – 124 с.
3. *Лыков А. В.* Тепло и массообмен в процессах сушки. / *А.В. Лыков.* – М. : Госэнергоиздат, 1956. – 283 с.
4. *Дешма С. В.* Научные основы вакуумной техники. / *С.В. Дешма.* – М.:Мир, 1964. – 164 с.
5. *Крейт Ф. С.* Основы теплопередачи. / *Ф. С. Крейт, У. Н. Блек.* – М. Мир, 1983. – 257 с.

**ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ВТОРИЧНОГО  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ  
ВАКУУМНОЙ СУШКИ**

Бойко В.С., Бойко О.В., Бойко Т.Ю.

*Аннотация* – в работе проведен анализ процесса сушки в вакууме, определены основные пути решения. Разработанная конструктивно-технологическая схема позволила построить опытный образец и получить показатели экспериментальных исследований.

**DEHYDRATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS BY  
METHOD OF VACUUMING DRYING**

V. Wojko, O. Wojko, T. Wojko.

*Summary.*

The analysis of process of drying is in-process conducted in a vacuum, the basic ways of decision are certain. The developed flowsheet allowed to build a pre-production model and to get the indexes of experimental researches.