

КІНЕТИКА СУШІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

Бандура В. М., к.т.н., професор¹, Маренченко О. І.², аспірант, Пилипенко Є. О.², магістрант,
Катасонов О.В.², магістр

¹ Вінницький національний аграрний університет
² Одеська національна академія харчових технологій

KINETICS OF OIL RAW MATERIALS DRYING IN ELECTROMAGNETIC FIELD

Bandura V. M., PhD, professor¹, Marenchenko O. I.², postgrad. stud., Pylypenko Ye. O.², master student,
Katasonov A. V.², master

¹ Vinnytsia national agrarian university, ² Odessa national academy of food technologies

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Показано, що Україна є лідером серед країн – виробників соняшникової олії і обсяги її переробки динамічно зростають. Поширюється попит і на олію із сої. Ключовим процесом в технологіях олійного виробництва є сушіння сировини. Саме сушіння в значній мірі визначає витрати енергії олійних технологій та якість продукту. В умовах енергетичної кризи скорочення витрат питомих енергії в харчових технологіях є першочерговим завданням. Обґрунтована доцільність пошуку новітніх підходів до організації процесу сушіння олійної сировини, визначення умов, які забезпечать необхідні режимні параметри при мінімальних питомих витратах енергії. В роботі пропонується інноваційний метод сушіння сої та насіння соняшника за допомогою електромагнітних генераторів енергії мікрохвильового та інфрачервоного діапазонів, а повітря має роль дифузійного середовища. Показано, що такий метод дозволяє значно підвищити енергетичну ефективність процесу сушіння та скоротити тривалість процесу видалення вологи. Наведено, що інтенсифікація процесу сушіння при комбінованому мікрохвильовому та інфрачервоному підведенні енергії досягається за рахунок послідовної дії випромінювачів. Мікрохвильове поле сприяє руху вологи із внутрішніх шарів насіння до поверхні, а інфрачервоне поле вже відводить вологу з поверхні.

Представлено схему експериментальної установки та сформовані завдання експериментальних досліджень. В досліді використано стрічкову сушарку, що має три каскади мікрохвильових та інфрачервоних випромінювачів. Наведено методику, яка дозволила коректно визначити вплив режимних параметрів на процес сушіння сої та насіння соняшника. Визначено вплив виду підведеної енергії, питомої потужності, навантаження на стрічку, виду продукту на кінетику сушіння. Представлено лінії сушіння, лінії швидкості сушіння при різних співвідношеннях потужностей випромінювачів та навантажень на стрічку для сої та насіння соняшника. Дано аналіз результатів. Проведено порівняння різних режимів сушіння та обґрунтовано доцільні, що дозволяє проектувати стрічкові сушарки з електромагнітними джерелами енергії для сої та насіння соняшника.

Abstract. It is shown that Ukraine is the leader among the countries producing sunflower oil and the volume of its processing is growing dynamically. There is also demand for soybean oil. The key process in oil production technologies is the drying of raw materials. It is drying that largely determines the energy consumption of oilseeds and the quality of the product. In the conditions of the energy crisis, reduction of specific energy consumption in food technologies is a priority task. The expediency of finding the newest approaches to the organization of the process of drying oilseeds, the definition of conditions that will provide the necessary regime parameters with minimum specific energy costs is substantiated. The paper proposes an innovative method of drying soybeans and sunflower seeds using electromagnetic energy generators of microwave and infrared ranges, and air has the role of a diffusion medium. It has been shown that this method can significantly increase the energy efficiency of the drying process and reduce the duration of the process of removal of moisture. It is shown that the intensification of the drying process with the combined microwave and infra-red energy is achieved through the successive action of the emitters. The microwave field facilitates the movement of moisture from the inner layers of the seed to the surface, and the infrared field is already removing moisture from the surface.

The scheme of the experimental installation and the formed tasks of experimental research are presented. The experiments used a tape drier, which has three cascades of microwave and infrared emitters. The methodology, which allowed to correctly determine the influence of regime parameters on the process of drying soybeans and sunflower seeds, is given. The influence of the type of the energy supplied, the specific power, the load on the tape, the type of product on the kinetics of drying has been determined. The drying lines, the drying rate line at various ratios of the

emitter capacities and loads on the soybean and sunflower seeds straw are presented. Analysis of results is given. A comparison of different drying modes is feasible and reasonably feasible, which allows designing belt dryers with electromagnetic energy sources for soybeans and sunflower seeds.

Ключові слова: електромагнітні джерела енергії, сушіння соняшнику та сої, енергоефективність.

Keywords: electromagnetic energy sources, sunflower drying and soybeans, energy efficiency.

Вступ. Енергетика є основою усього світового господарства. Приблизно чверть усіх споживаних енергоресурсів витрачається у електроенергетиці. Інші три чверті – це промислове і побутове тепло, транспорт, металургійні і хімічні та харчові процеси. Підприємства харчової галузі вважаються лідерами по об'єму споживанню енергетичних ресурсів. Серед харчових технологій потужним споживачем енергетичних ресурсів є олійно-жирові підприємства. Останні роки характеризуються динамічним підвищенням продуктивності цих виробництв, бо попит на рослинні олії в світі постійно зростає. Це призводить до збільшення посівів рослин з великим вмістом олій. На виробництво харчових олій на долю соняшника випадає 77% усього світового виробництва, Україна ж виробляє 54% соняшникової олії. Темпи виробництва зростають щорічно. Провідне місце на ринку харчових олій займає і соєва олія. Із використанням соєвої олії виробляють величезну кількість харчових продуктів, включаючи салати, маргарин, хліб, майонез, немолочні вершки для кави та ін. Крім того, в сої великий вміст лецитину, який відокремлюють з насіння сої разом із олією для використання в кондитерській та фармацевтичній промисловості [1].

Важливою є задача тривалого зберігання олійної сировини. Насіння соняшнику та сої зберігається при вологості 6-7% та 8-9% відповідно, та температурі 10-15 °С [2]. Для надійності зберігання, а також для організації ефективного вилучення олії із сировини, невід'ємною, а також найважливішою складовою, є процес сушіння.

Актуальність. Насіння олійних культур завдяки щільній оболонці витримує високі температури при нагріванні. Використовують для його сушіння шахтні сушарки, застосовуючи приблизно такі самі режими, як і для зернових. Насіння з високою вологістю сушать за кілька пропусків з проміжним (6-7 год) відлежуванням, під час якого підсохла оболонка поглинає вологу ядра, а при черговому пропуску легко видаляється (у насіння соняшнику, оскільки високі температури призводять до розтріскування оболонок).

Кращою для сушіння насіння соняшнику є швидка подача повітря з високою температурою, ніж тривала з низькою [3]. При зменшенні часу та температури сушіння підвищиться продуктивність та обсяг виготовленої продукції, крім того – збільшиться енергоефективність використання сушильної техніки.

Аналіз літературних джерел. Температура сушіння на порційних зерносушарках повинна становити 60°C. Температура сушіння на поточних зерносушарках може досягати 65°C. При сушінні зерна соняшника призначеного для посіву температура сушіння не повинна перевищувати 43°C [4, 5].

В останні роки росте цікавість до технологій зневоднення в електромагнітному полі. Одним із способів такої технології є сушка в мікрохвильовому полі. Тривалість процесу сушіння з підводом мікрохвильової енергії на 40...90 % менше тривалості сушіння традиційними способами [4, 5]. Встановлено, що обробка продуктів в МХ-полі суттєво знижує їх мікробіологічне забруднення [6]. В той ж час виділяють ряд обмежень мікрохвильового сушіння: нерівномірність електромагнітного поля усередині мікрохвильової камери, що приводить до нерівномірності нагріву продукту, обмежена глибина проникнення мікрохвильового поля в продукт, дуже висока швидкість масоперенесення, яка може визвати небажані зміни в структурі продукту [6]. Метод ІЧ-опроміювання є одним із перспективних фізичних методів обробки харчових продуктів. За умови застосування ІЧ-випроміювання значно скорочується тривалість термічної обробки, що обумовлено відсутністю термічного опору пограничного шару продукту променистому потоку, енергія якого безпосередньо поглинається поверхнею частинок сировини. При цьому ІЧ-випроміювання активно поглинається водою, яка міститься у продукті, але не поглинається тканиною продукту котрий висушується або термооброблюється. Тому видалення вологи можливе за невисоких температур (4...60°C), що дає можливість максимально зберегти вітаміни, біологічно активні речовини, природний (натуральний) колір, смак і аромат продуктів, які підлягають сушінню або термічній обробці [1].

Мета досліджень. За ціль було поставлено оцінити ефективність процесу сушіння в стрічковій сушарці з використанням електромагнітних джерел енергії. Визначити вплив потужності НВЧ та ІЧ випромінювання, виду продукту та завантаження стрічки на інтенсивність сушіння. Зробити порівняльний аналіз і визначити кращі режими процесу сушіння. **Об'єкт сушіння** – насіння соняшника та сої.

Результати експериментальних досліджень сушіння насіння соняшника й сої та їх обговорення.

НВЧ і ІЧ сушарка (рис.1) складається із бункера завантаження - 1, через який сирий продукт надходить на стрічковий конвеєр - 2, що приводиться в рух приводом – 3. Далі продукт просувається до модуля НВЧ - 4 і модуля ІЧ – 5. На технологічній лінії розміщено по три таких модуля. Далі висушений продукт вивантажується в бункер - 6. НВЧ модуль складається з магнетрона - 7, вентилятора - 8, високовольтного трансформатора - 9 і витяжний вентилятор - 10. ІЧ модуль складається з ІЧ випромінювача - 11. За допомогою панелі керування - 12 відбувається настройка потужності НВЧ випромінювання – 13. Час роботи НВЧ модуля

встановлюється за допомогою кнопок - 14, 15, 16. Дані налаштувань потужності і часу виводяться на аналоговий датчик - 17, модуль приводиться в дію кнопкою «пуск / стоп» - 18. На механічному датчику - 19 відображається потужність ІЧ випромінювання регульована за допомогою перемикача потужності - 20. Корпус установки - 21 покритий ізоляцією - 22.

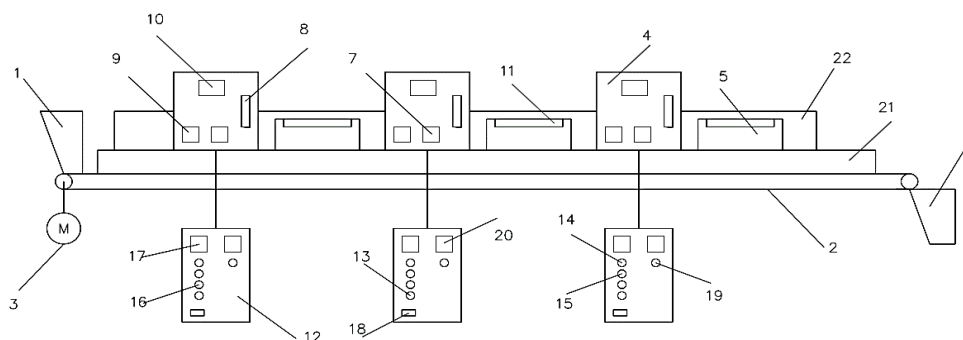


Рис. 1. Схема НВЧ і ІЧ експериментальної сушарки.

Дослідження інноваційного методу сушіння проведено в широкому діапазоні експериментальних даних (табл. 1).

Таблиця 1 - Діапазон експериментальних досліджень.

Вид сировини	Питома потужність НВЧ випромінювання $N_{НВЧ}$, кВт/м ²	Питома потужність ІЧ випромінювання $N_{ІЧ}$, кВт/м ²	Завантаження стрічки g, кг/м ²	Тривалість процесу сушіння τ , хв	Температура сушіння T, °C
Соняшник	7,5...15	7,33...11	3,96...7,92	30...45	34...39
Соя	7,5...15	7,33...11	4,8...9,6	40...70	35...41

На стрічці розміщувалось 8 касет із насінням. Маса порожніх касет та зерна визначалась електронними вагами ТВЕ-0.21-0.01. Температури продукту вимірювались дистанційно датчиками типу Dallas DS 18b20. Зміна маси зерна в касеті визначала масу вилученої вологи.

В досліді фіксувалось тривалість процесу (τ), температура (T) та маса сировини під час обробки. Питома маса матеріалу (g) показує масу (m) продукту на одиницю поверхні обробки (F), а питома потужність електромагнітну енергію, котра витрачається на 1 м² поверхні, що обробляється.

Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводились при швидкості руху стрічки транспортера 0,025 м/с, питомого завантаження 3,96 кг/м². Кількість видаленої вологи визначали по початковій і кінцевій вологості соняшника. Швидкість сушіння розраховувалась за зміною відсотку вологості за одиницю часу (1), на протязі якого на соняшник впливало електромагнітне випромінювання (рис.2-3).

$$\omega = \frac{M_g^n - M_g^k}{M_{пр}} \cdot 100\% \quad (1)$$

де, ω – відсоток поточного стану вологи, M_g^n – маса вологи початкова, M_g^k – маса вологи кінцева, $M_{пр}$ – маса продукту.

Зважування проводились з інтервалом у 7,5 хвилин, після чого за формулою (1) розраховувався поточний стан вологості продукту.

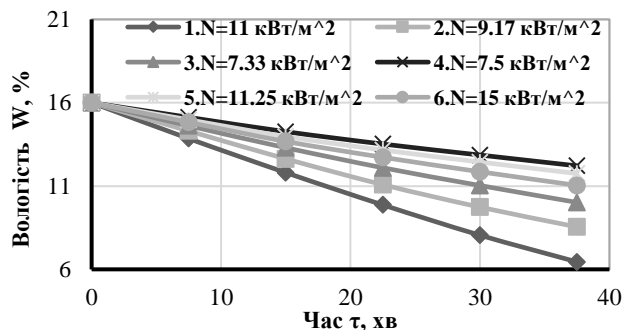


Рис. 2. Вплив питомої потужності та типу підведеної енергії на кінетику сушіння соняшника.

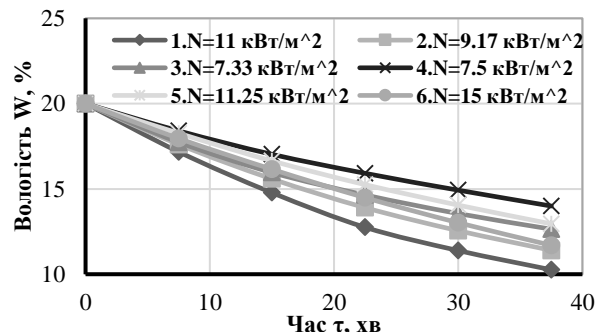


Рис. 3. Вплив типу підведеної енергії та питомої потужності на кінетику сушіння сої.

При сушінні соняшника (рис. 2), тип підведеної енергії значно впливає на процес сушіння, підведення потужності у 11 кВт/м^2 при ІЧ-випромінненні у 2,5 рази швидше видаляє вологу ніж при використанні НВЧ-випроміннення з потужністю у 11.25 кВт/м^2 . Крім того, при тій самій потужності ІЧ-випроміннення висушує у 1.7 рази швидше ніж при потужності зменшеній у 1.5 рази.

При сушіння сої (рис. 3), тип підведеної енергії майже не впливає на процес сушіння, підведення потужності у 11 кВт/м^2 при ІЧ-випромінненні у 1,5 рази швидше видаляє вологу ніж при використанні НВЧ-випроміннення з потужністю у 11.25 кВт/м^2 . Крім того, при тій самій потужності ІЧ-випроміннення висушує у 1.2 рази швидше ніж при потужності зменшеній у 1.5 рази.

Тип підведеної енергії при сушінні соняшника (рис. 4) значною мірою вплинув на швидкість сушіння. При підводі ІЧ-випроміннення швидкість сушіння у 1.8 рази більша ніж при використанні НВЧ-випроміннення, і становить $1.35 \dots 1.8 \text{ \% /хв}$ та $0.68 \dots 1 \text{ \% /хв}$ відповідно. Також, при зменшені потужності підведеної енергії при ІЧ-випромінненні у 1.5 рази, швидкість сушіння зменшиться у 1.3. рази і становитиме $0.83 \dots 1.18 \text{ \% /хв}$.

При сушінні сої тип підведеної енергії (рис. 5) має незначний вплив на швидкість сушіння. При підводі ІЧ-випроміннення швидкість сушіння у 1.2 рази більша на початку процесу сушіння ніж при використанні НВЧ-випроміннення, і становить 1.88 \% /хв та 1.38 \% /хв відповідно, а в кінці процесу швидкість сушіння майже однакова – 0.76 \% /хв та 0.88 \% /хв відповідно. Також, при зменшені потужності підведеної енергії при ІЧ-випромінненні у 1.5 рази, швидкість сушіння зменшиться у 1.2. рази і становитиме $0.6 \dots 1.52 \text{ \% /хв}$.

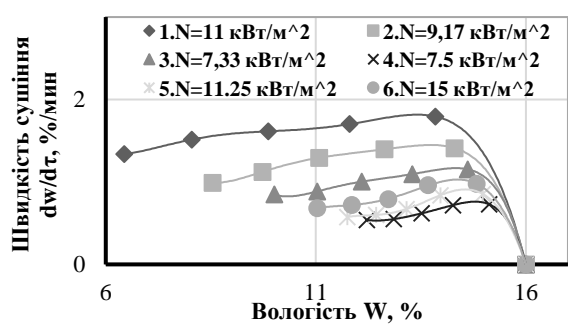


Рис. 4. Вплив типу підведеної енергії та питомої потужності на швидкість сушіння соняшника.

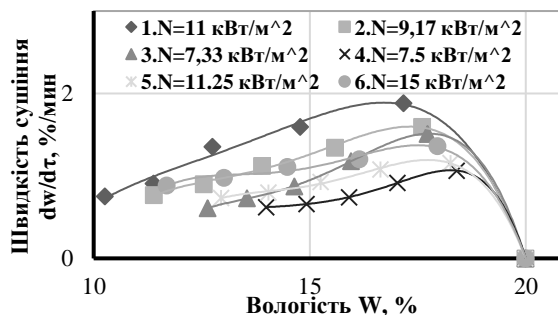


Рис. 5. Вплив типу енергії та питомої потужності на швидкість сушіння сої.

При збільшенні кількості модулів (рис. 6) спостерігаються незначні зміни у швидкості сушіння сої із застосуванням НВЧ-генератора енергії $0.7 \dots 1.7 \text{ \% /хв}$, і досить суттєві зміни швидкості сушіння відбуваються із застосуванням ІЧ-випромінювачів. При підключенні другого модулю швидкість сушіння зростає у 1.7 рази $1.7 \dots 2.95 \text{ \% /хв}$, підключення третього модулю дає результат у 2 рази кращий ніж при застосуванні одного модуля швидкість сушіння зростає із $1.1 \dots 1.7 \text{ \% /хв}$ до $1.4 \dots 3.45 \text{ \% /хв}$.

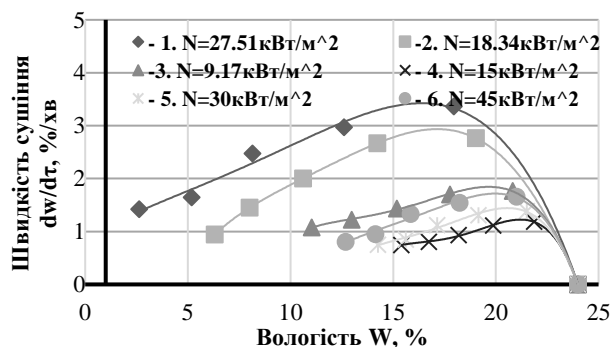


Рис. 6. Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на швидкість сушіння сої.

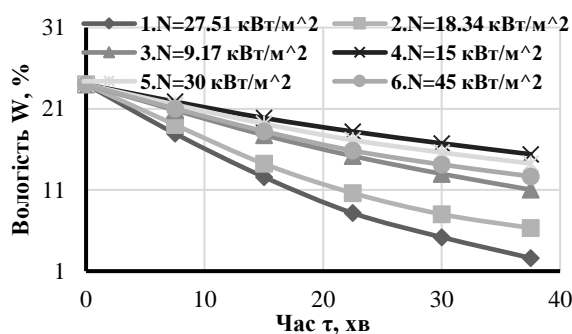


Рис. 7. Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на лінію сушіння сої.

На лінії сушіння (рис. 7) чітко спостерігається вплив типу підведеної енергії та питомої потужності на процес зневоднення. Використання трьох ІЧ-випромінювачів у двічі швидше висушує сою до необхідного рівня вологості 9% і час сушіння триває при трьох модулях 20 хвилин, а при одному модулі – близько 40 хвилин. НВЧ-генератори енергії при різній кількості модулів сприяють видаленню вологи майже однаково і для висушування сої до 9% знадобиться близько 60-70 хвилин, що у тричі більше ніж кращі показники при використанні ІЧ-генераторів енергії.

Вплив використання типу підведеної енергії та кількості модулів на швидкість сушіння соняшника (рис. 8) досить суттєвий. ІЧ-випромінювач енергії при збільшенні їх кількості значною мірою вплинули на швидкість сушіння при одному модулі швидкість сушіння 1.2...1.51 %/хв, а використання трьох модулів покращує результат у 2 рази і швидкість сушіння зростає – 1.3...3.2 %/хв. Збільшення модулів НВЧ-генераторів енергії вплинуло на швидкість сушіння у 1.3 рази, швидкість при використанні одного модуля коливалася в межах 0.6...1.95 %/хв, а при трьох модулях – 0.65...2.7 %/хв.

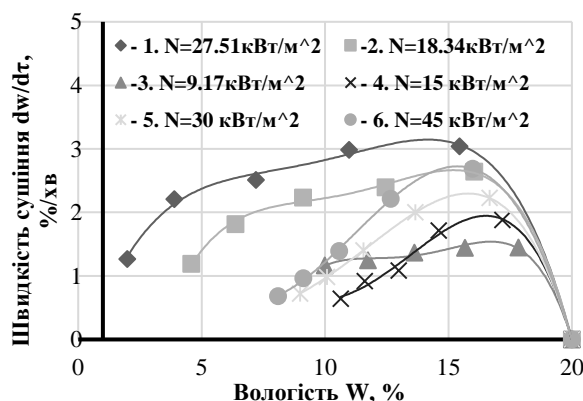


Рис. 8. Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на швидкість сушіння соняшника.

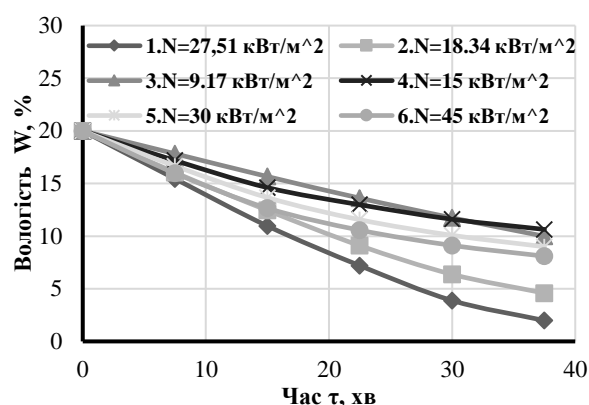


Рис. 9. Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на кінетику сушіння соняшника.

Крім того, вплив на кінетику сушіння соняшника (рис.9) типу підведеної енергії досить великий. НВЧ-генератори енергії дали кращий результат лише порівняно з використанням одного модуля з ІЧ-випромінювачем енергії. Проте, чітко видно, що при використанні трьох модулів із ІЧ-випромінювачем енергії сушить до 6% за 25 хвилин, у той час коли трьома модулями із НВЧ-генераторами енергії знадобиться близько 60-70 хвилин.

Висновок. В ході експериментальних досліджень впливу НВЧ-генераторів енергії та ІЧ-випромінювачів на процес сушіння насіння соняшнику та сої було отримано лінії швидкості та лінії сушіння, які наведені з порівнянням виду підведеної енергії та впливу питомої потужності на кожний з досліджених продуктів. Крім того було помічено, що насіння соняшнику, при ІЧ-випромінювачах енергії, проходило більш активно ніж при НВЧ-генераторах енергії при будь-якій підведеній потужності, що свідчить про те, що при сушінні насіння соняшнику краще використовувати ІЧ-випромінювачі енергії. На процес сушіння сої, тип підводу енергії суттєвого впливу не оказує, тому, можливо, використовувати комбінований метод сушіння використовуючи НВЧ-генератори енергії та ІЧ-випромінювачі.

Література.

1. Удосконалення теплотехнологій при виробництві олії та біодизельного пального. Монографія / Друкований М.Ф. та ін. РВВ ВНАУ: Вінниця, 2014. 254 с.
2. «Зберігання і переробка продукції рослинництва»/ «2.4.5. Особливості сушіння зерна окремих культур» / URL: <http://buklib.net/books/21971/>
3. Гідрофільні властивості соняшникового насіння / Манк В.В. та ін. Національний університет харчових технологій, Могилів-Подільський технологічний технікум ВДАУ: Україна, 2008. С. 2-3.
4. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Одесса: Полиграф, 2010. 368 с.
5. Бурдо О.Г., Пищевые нанотехнологии. Херсон, 2013. 294 с.
6. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М., 1981. 200 с.

References.

1. Drukovaniiy M.F., Bandura V.M., Kolyankovska L.M., Palamarchuk V.I (2014). Udoskonalennya teplotehnologiy pri virobnitstvi oliyi ta ilodizelnogo palnogo. Monografiya, Vinnitsya, RVV VNAU, 254.
2. «Zberigannya i pererobka produktsiyi roslinnitstva» «2.4.5. Osoblivosti sushinnya zerna okremih kultur»/ <http://buklib.net/books/21971/>
3. Mank V.V., Kovalevska E.I., Melnik O.P., Maksimova I.M. (2008). Hidrofilni vlastivosti sonyashnikovogo nasinnya. Natsionalniy universitet harchovih tehnologiy, Mogiliv-Podilskiy tehnologichniy tehnikum. VDAU Ukrayina, 2-3.
4. Burdo O.G. (2010). Evolyutsiya sushilnyih ustanovok, Odessa, Poligraf, 368.
5. Burdo O.G. (2013). Pischevyie nanoenergotehnologii. Herson, 294.
6. Rogov I.A., Nekrutman S.V., Lyisov G.V. (1981). Tehnika sverhvyisokochastotnogo nagreva pischevyih produktov, 200.

УДК 66.063.94:045

БАЛАНСОВІ, ЕНЕРГЕТИЧНІ, КІНЕТИЧНІ ТА ФАЗОВІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ КРІОКОНЦЕНТРУВАННЯ ГРАНАТОВОГО СОКУ

Бурдо О. Г.¹, Мординський В. П.¹, Д. Ростами Пур²

¹Одеська національна академія харчових технологій

²Фирма D.R.P, Тегеран, Іран

BALANCING, ENERGY, KINETIC AND PHASE MODELS OF PROCESSES OF THE CRYOCONCENTRATION OF GRAIN SOURCE

Burdo O. G.¹, Mordinsky V. P.¹, D. Rostami Pur²

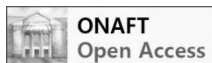
¹Odessa National Academy of Food Technologies

²Firm D.R.P, Tegeran, Iran

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Робота присвячена вивченню пристроїв блочного заморожування концентрату гранатового соку. Обговорюється перспектива концентрованих соків, місце гранатового соку на ринку. Проаналізовано традиційні принципи концентрації соків у випарниках. Показані недоліки процесів випаровування та привабливості методів низької температури зневоднення розчинів (кріоконцентрації). Визначено енергетичні та конструктивні переваги блочного морозильного обладнання. Дана методика для розрахунку балансових моделей процесів кристалізації та розділення льодового блоку. Наведено метод експериментального вивчення умов фазової рівноваги при кристалізації гранатового соку. Експериментальний стенд був розроблений на основі криостату та визначали температуру кристалізації в залежності від концентрації. У результаті отримано криоскопічну лінію для гранатового соку в діапазоні концентрацій сухої речовини 3 - 50%. Методи енергетичного менеджменту проаналізували економічну ефективність технологій випаровування та інноваційні технології блочного заморожування. Показано, що енергія інноваційної технології є кращою. Визначено вплив температури кристалізатора, початкової концентрації гранатового соку, обсягу розчину в концентраторі на інтенсивність кристалізації льодового блоку. Проаналізовано залежності параметрів льодового блоку від структурних факторів кристалізатора та концентратора. Вивчено специфіку процесу поділу, отримано вплив початкової концентрації та температурних режимів на параметри процесу розділення (об'єм стоків і їх концентрація). Експериментальний зразок блочного морозильного апарату був протестований в концентраті гранатового соку. Отримано високоякісні концентрати гранатового соку з 48 об'ємних частин. Результати роботи дають можливість проектувати промислові установки з необхідною продуктивністю. Проаналізована економічна привабливість технології концентрації гранатового соку в блочних морозильних апаратах, яка визначається технологічними, енергетичними та логістичними аспектами.

Abstract. The work is devoted to the study of block freezing devices for concentrating pomegranate juice. The prospect of concentrated juices, the place of pomegranate juice on the market is discussed. The traditional principles of concentration of juices in evaporators are analyzed. Disadvantages of evaporation processes and