

- проводить расчет и компоновку максимально эффективных систем аспирации;
- снизить потребление электроэнергии на предприятиях;
- исключить человеческий фактор во время работы;
- улучшить качественные показатели работы;
- улучшить санитарное состояние зерноперерабатывающих предприятий.

Литература

1. Веселов С.А. Проектирование вентиляционных установок предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос. – 1974. – 228 с.
2. Веденягин Т.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос. – 1973. – 159 с.
3. Гапонюк О.И., Коротнян А. Энергоэффективные системы пылеподавления нового поколения // Зернові продукти і комбікорми. – № 2, 2012. – С. 47.
4. Гапонюк О.І., Опришко О.В., Шевченко П.І. Дослідження пилоповітряних потоків морських зернових терміналів // Зернові продукти і комбікорми. – № 2, 2006. – С. 47.
5. Гончарук А.А., Опришко А.В., Шальгин А.В. Обоснование целесообразности исследования оптимальных режимов эксплуатации эжекторов для подачи сипучих продуктов в аэрозольтранспортные системы // Зернові продукти і комбікорми. – № 1, 2013. – С. 44.
6. Правила проектування та налагодження аспіраційних і пневмотранспортних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. – Одеса-Київ : Зернова столиця. – 2014. – 130 с.

УДК 664.8.047

СПОСОБИ ОТРИМАННЯ СУХИХ ПОРОШКІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**Бичков Я.М., канд. техн. наук, доцент, Дмитрюк Т.І., здобувач
Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»**

У статті розкрито актуальність використання процесу сушіння для отримання високоякісних продуктів довгого зберігання, а саме сухих рослинних порошків. З метою пошуку нових методів виробництва рослинних порошків проведено аналіз інформаційних джерел сучасних способів сушіння, а також обладнання для відтворення цього процесу. Враховуючи всі переваги та недоліки існуючих видів обладнання, запропоновано для отримання сухих рослинних порошків розробити НВЧ-вакуумну розплювальну сушиарку.

The article reveals the relevance of the drying process to produce high quality products with extended shelf life, namely dry vegetable powders with the purpose of search of new methods of manufacture of vegetable powders, we analysed the information sources of modern methods of drying, as well as equipment to operate in this process. We took into account all the advantages and disadvantages of the existing equipment, we suggested to develop SHF-vacuum spray dryer for obtaining dry vegetable powders.

Ключові слова: сушіння, обладнання для сушіння, рослинні порошки.

Одним із завдань харчової промисловості України є раціональне використання сільськогосподарської продукції з метою зменшення її втрат. Рослинна сировина характеризується коротким терміном зберігання. Актуальним є необхідність переробки великої кількості даної сировини за малі проміжки часу. Традиційні способи переробки рослинної сировини характеризуються або високими енерговитратами та низькою продуктивністю, або великою кількістю відходів та низькою якістю отриманого продукту.

Високий вміст вологи в рослинній сировині є причиною їх нестійкості при зберіганні, внаслідок бактеріального, ферментативного та хімічного псування. Сушіння є найбільш раціональним способом консервування, оскільки в сушених продуктах сповільнюються мікробіологічні процеси, а склад поживних та біологічно цінних речовин залишається близьким до природного.

Сушіння – це видалення рідини (найчастіше вологи-води, рідше інших рідин, наприклад летючих органічних розчинників) з речовин і матеріалів тепловими способами. Здійснюється шляхом випаровування рідини і відведення утворених парів при підводі до матеріалу, який піддається сушінню, теплоти, найчастіше з допомогою так званих сушильних агентів (нагріте повітря, топкові гази та їх суміші з повітрям,

інертні гази, перегрітий пар). Сушінню піддають вологі тіла: тверді-колоїдні, зернисті, порошкоподібні, кускові, гранульовані, листові, тканні та ін.; пастоподібні; рідкі суспензії, емульсії, розчини [1].

Відомі різні способи сушіння рослинної сировини: сонячно-повітряне (природне), штучне в сушарках, сублімацією, інфрачервоним випромінюванням тощо. Кожне з них має свої переваги та недоліки. У масовій переробці використовують штучний спосіб сушіння за допомогою сушарок. Так, наприклад, вакуум-сушильна шафа має просту будову, можливість сушіння одночасно різних матеріалів, недоліком її є мала продуктивність, можливий перегрів матеріалу, періодичність дії. Одновальцеві сушарки із зануреним вальцем придатні лише для розведених розчинів або екстрактів, а одновальцеві з зануреним вальцем використовуються для сушіння пастоподібних продуктів. У сушарках двовальцевих можливо проводити інтенсивне сушіння при низьких температурах, у них є можливість уловлювати пари цінних розчинників шляхом конденсації. Поряд з цим висушені продукти мають велику залишкову вологість, сушарка є енергозатратною. Камерна (шафна) сушарка має просту будову, але недоліком є великі втрати тепла через її періодичність і нерівномірність висушування продукту, тривалість процесу. У стрічкових багатоярусних сушарок максимально використовується насичувальна здатність сухого повітря і його теплота, але можливий перегрів матеріалу. Позитивним барабанної сушарки є її компактність, інтенсивне і рівномірне сушіння, недоліком – неможливість оброблення термолабільних матеріалів. Пневматична сушарка характеризується інтенсивним сушінням та можливістю сушіння при високих температурах за рахунок короткочасного секундного перебування продукту в сушильній камері. Поряд із цим є складність у регулюванні процесу, можливість вибуху при сушінні легкозаймистих матеріалів та велика витрата енергії. Розпиловальна сушарка проводить швидке сушіння з можливим використанням для термолабільних продуктів, її можна застосовувати для одержання порошку без подрібнення. Недоліком розпиловальної сушарки є її складність у будові за рахунок пилоуловлювачів, а також значна витрата електроенергії на її роботу. Сушарка з киплячим (псевдозрідженим) шаром забезпечує інтенсивне сушіння термолабільних продуктів при високих температурах за рахунок короткочасного зіткнення продукту з сушильним агентом, високий ступінь використання тепла сушильного агента. Позитивним в її конструкції є можливість автоматичного регулювання параметрів процесу, але вона є непридатна для сушіння продуктів, які важко піддаються псевдозрідженню, в ній проходить стирання тонкоподрібнених матеріалів і винесення їх з повітрям (особливо у аерофонтанних сушарках). У сушарках з пульсуючим киплячим шаром проходить інтенсивне сушіння термолабільних продуктів при високих температурах. Недоліком у її роботі є винесення до 5 – 7 % матеріалу з відпрацьованим повітрям, вона непридатна для сушіння продуктів, які важко піддаються псевдозрідженню. Радіаційна (інфрачервоними променями) сушарка характеризується швидкістю процесу з малими втратами тепла. Недолік – неможливість сушіння товстого шару у продукті та великі енергозатрати. Діелектрична (струмами високої частоти) сушарка характеризується рівномірністю сушіння, прискоренням сушіння за рахунок дифузії вологи до поверхні матеріалу. Недоліком її є складність установки та великі енергозатрати; необхідність підбирання режимів сушіння (частоти струму, потужності, довжини хвилі). Високоякісне сушіння лабільних матеріалів, якістю яких залежить від окиснення і температури, можливе на ультразвуковій (акустичній) сушарці. Великим недоліком є її дуже висока вартість. У сорбційній сушарці проводять сушіння з мінімальними затратами тепла, але постає необхідність у регенерації колонок, які входять до її будови. Сублімаційна (молекулярна) сушарка дає можливість отримати високоякісне сушіння, але з великими енергозатратами. Недоліком її є складна установка.

Багато науковців займаються проблемами поліпшення якості сушених харчових рослинних продуктів та зменшення питомих енергозатрат, які пов'язані зі скороченням тривалості сушіння, тобто тривалості теплового впливу на продукт і залежить від рівномірності нагріву матеріалу, максимального зниження вологості в процесі сушіння. Для досягнення такої мети розробляються нові способи сушіння, які засновані на вже існуючих способах. Цього досягають завдяки великому внеску в розвиток теорії тепло-та масообміну таких вчених як, О.В. Ликов, А.С. Гінзбург, М.О. Гришин, А.А. Долинський, Ю.Ф. Снежкін та ін. Актуальним на сьогодні є знаходження шляхів раціонального використання сільськогосподарської сировини, що можливо вирішити за рахунок виробництва рослинних порошоків. Порошки, вироблені з рослинної сировини, дозволяють істотно розширити харчові ресурси та асортимент харчових виробів, адже в них у концентрованому вигляді збережені всі компоненти вихідної сировини. Зважаючи на те, що вологість у висушеному продукті становить 5...8 %, біохімічні реакції майже повністю припиняються в рослинних порошках, що дозволяє тривалий час зберігати такий продукт.

Зараз порошки отримують кількома способами [3], які об'єднані за групами. Однією з них є перероблення рослинної сировини до пастоподібного або пореподібного стану з подальшим висушуванням до низької кінцевої вологості, подрібненням до одержання порошку і розфасовуванням у герметичну тару. Інша передбачає одержання порошоків, за якими рослинна сировина безпосередньо зневоднюється, потім висушений до низької вологості продукт подрібнюють до порошкоподібного стану, розподіляють на

фракції, які мають різний вміст цінних харчових речовин, і герметично упаковують. Остання група заснована на одержанні порошків з рослинної сировини, у яких використовуються два або більше способів сушіння. Так, наприклад, метою наукової роботи російської вченої Писаревої О. В. було дослідження впливу вакуум-імпульсної сушки (спін-вакуумної сушки-СВС) на якість плодоовочевих порошків та м'ясних паштетів з їх використанням, враховуючи, що актуальним є питання необхідності внесення до технології виробництва окремих продуктів харчування (паштетів, ковбас) інгредієнтів в особливій формі – в рідкій чи у вигляді порошку, а використання рослинної сировини дає можливість збагатити продукт корисними нутрієнтами [4].

Литвинюк Н.Ю. [5], займаючись питаннями вдосконалення процесу сублімаційного НВЧ-сушіння плодово-ягідних соків, створила нову сушильну техніку для комплексної переробки сільськогосподарської сировини з метою підтримки народного господарства Росії для отримання функціональних продуктів харчування з плодів та овочів, споживання яких ефективно ліквідує дефіцит мікронутрієнтів. Метод вакуум-сублімаційного сушіння (ВСС) заснований на принципі низькотемпературного зневоднення, що дозволяє повністю зберегти біологічно активні і поживні речовини, які містяться у вихідній сировині, для отримання якісних нових продуктів функціонального призначення. Для досягнення мети роботи було розроблено установку, досліджено кінетику ВСС плодово-ягідних соків, розпилені у вакуумному середовищі в полі інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, які піддаються сублімації з використанням НВЧ-енергії і примусового потоку газу на стадії досушування залишком вологи (комбінований енергопідвід), математичну модель процесу та технологію.

Перспективний напрям переробки рослинної сировини Шутюк В.В. вбачав у сушінні концентрованого екстракту топінамбура, оскільки застосування розчинного порошку у виробництві значно спрощують умови зберігання та транспортування [6]. Для отримання порошку науковцем було вивчено основні теплофізичні характеристики концентрованого екстракту топінамбура та розроблено математичні моделі зміни його густини і теплопровідності залежно від зміни температури та концентрації, які забезпечили якісне оброблення дослідних даних із сушіння екстракту топінамбура; експериментально визначено раціональні параметри сушильного процесу (початкова концентрація екстракту топінамбура становить 30-33 %, початкова температура сушильного агента – 140...180 °С); розроблено математичну модель сушіння екстракту топінамбура в розпилювальній сушарці; розроблено теплогенератор контактного типу, який дає можливість одержувати сушильний агент з низьким вмістом окислів азоту.

Крім того, сушінням з отриманням порошків рослинного походження займалася Шапар Р.О. [7]. Досліджуючи потреби у пектині, які значно перевищують обсяги його імпортованих поставок, запропонувала отримувати пектиновмісні фруктово-овочеві порошки, які отримані шляхом сушіння. Метою її роботи була інтенсифікація процесів сушіння рослинних пектиновмісних матеріалів для розробки енергоефективного способу одержання порошків. В основу технології покладено двоетапний процес сушіння пектиновмісної сировини – спочатку до рівноважної з навколишнім середовищем вологості, потім досушування до низької кінцевої вологості, використовуючи тунельну сушильну установку.

Дисертаційна робота Турчиної Т.Я. [8] обґрунтовує методи інтенсифікації процесів тепловологопереносу, поліпшення властивостей порошків та підвищення ефективності висушування методом розпилювання термопластичних матеріалів з рослинної сировини. Дискретно-імпульсне введення енергії (ДІВЕ) та структуруюча добавка впливає на змінення властивостей матеріалів і сприяє мікрокапсулюванню термолабільних складників рослинного матеріалу при сушінні, значному зменшенню вологості та гігроскопічності порошків. Все це сприяє інтенсифікації тепловологопереносу, підвищенню ефективності висушування рослинних термопластичних матеріалів, зниженню енерговитрат, отриманню якісних відновлювальних продуктів та наповнювачів для кондитерської, хлібобулочної та ін. галузей харчових виробництв.

Петрова Ж.О. [9], займаючись розробкою технологічних процесів отримання гарбузового, морквяного, соєво-гарбузового та соєво-морквяного каротиновмісних порошків, запропонувала ефективні методи сушіння: конвективно-вакуумний та конвективний із двоступеневим режимом, при яких збереження каротиноїдів у каротиновмісній сировині найбільше.

Дисертація Саті Я.А. Аль Далаін присвячена науковому обґрунтуванню формування споживчих властивостей нових барвників – біологічно активних добавок із столового буряка у вигляді дрібнодисперсного порошку [10]. Доведено можливість та доцільність використання вакуумного сушіння, мікрохвильової НВЧ-обробки та «тонкого» подрібнення (без застосування холоду), яке призводить до ефекту «збагачення» кінцевого продукту, а також розробки на його основі разом з фітодобавками з імпортованих натуральних прянощів (кориці, кардамону, померанцевої кірки, калгану) нових жировмісних кондитерських виробів та сумішей для молочних коктейлів з потенційною імуномодулюючою дією. Подібною є робота Макаренко О.Г., яка присвячена науковому обґрунтуванню формування споживчих властивостей нових С-вітамінних біологічно активних добавок із перцю солодкого у вигляді порошку, показано мож-

лівість та доцільність використання бланшування, вакуумного сушіння та дрібнодисперсного подрібнення (без застосування холоду), яке призводить до ефекту «збагачення» кінцевого продукту, а також розробки на його основі разом із фітодобавками з натуральних прянощів (базиліку, мускатного горіху, перцю червоного, лаврового листа) нових смакових добавок та вітамінізованих майонезів з потенційною імуномодулюючою дією [11].

У роботі Горбатюк Л.О. встановлено основні кінетичні закономірності конвективного сушіння стружки топінамбура в умовах постійного і змінного температурного режиму і одержано математичні залежності для розрахунку кінетики сушильного процесу; визначено оптимальні параметри сушіння стружки в умовах постійного температурного режиму для отримання високоякісного порошку топінамбура дієтичного призначення [12].

У міжнародному реєстрі патентів зазначається про новий метод вакуум-розпилювального сушіння та розроблення апарату для сушіння термолабільної харчової та медичної сировини, яка піддається денатурації. Принципова будова полягає у наявності розпилювальних форсунок та дії сушильного агента у вигляді перегрітої водяної пари за зниженого тиску [13].

Серед інших науковців на міжнародному рівні, що займалися отриманням порошків, є Такабаяші Тей Ямада Ясуші [14]. Вирішити проблему отримання порошку з рослинного екстракту, який містить активні речовини, вбачав з допомогою екстрагування за допомогою органічного розчинника та подальшого висушування в розпилювальній сушарці.

Висновки

Таким чином, можна стверджувати, що актуальним питанням сьогодення є отримання сухого рослинного порошку. Аналізуючи різні способи сушіння та обладнання, яке їх реалізує, можна зробити висновок, що альтернативним для отримання порошків є розпилювальні сушарки. Зважаючи на отриману інформацію щодо різноманітності режимів сушіння різних рослинних матеріалів та отримання з них високодисперсних порошків, відкритим залишається питання щодо комбінації процесів сушіння, подрібнення тощо. Тому перспективним може бути застосування для інтенсифікації процесу розпилювального сушіння з використанням НВЧ-вакууму.

Отже, подальші дослідження передбачають розробку процесу та апаратного оформлення НВЧ-вакуумної розпилювальної сушарки.

Література

1. Хімічна енциклопедія у 5-ти т., Т. 4. Підлога – Три : [ред. В. Л. Кнуляц]. – К.: Варта, 2001. – 642 с.
2. Зберігання і переробка продукції рослинництва / [Подпрятков Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М., Хилевич В.С.]. – К.: Мета, 2002. – 495 с.
3. Снежкин Ю.Ф. Научные основы разработки ресурсосберегающих теплотехнологий производства фруктово-ягодных порошков : дисс. ... доктора техн. наук : 05.14.04, 05.18.12 / Ю.Ф. Снежкин. – К., 1993. – 356 с.
4. Писарева Елена Витальевна. Влияние вакуумно-импульсной сушки на качество плодоовощных порошков и мясных паштетов с их использованием : автореферат дис. на соискание наук. канд. техн. наук : 05.18.15 / Е.В. Писарева. – Кемерово, 2012. – 19 с.
5. Литвинюк Надежда Юрьевна. Совершенствование процесса сублимационной СВЧ-сушки плодово-ягодных соков : дисс. ... кандидата техн. наук : 05.20.02 / Н.Ю. Литвинюк. – Ижевск, 2001. – 198 с.
6. Шутюк В.В. Дослідження тепломасообмінних процесів отримання розчинного порошку з топінамбура : дис. кандидата техн. наук : 05.18.12 / В.В. Шутюк. – К., 1998. – 196 с.
7. Шапар Р.О. Інтенсифікація процесів сушіння рослинних пектиновмісних матеріалів : дис. ... кандидата техн. наук : 05.14.06 / Р.О. Шапар. – К., 2004. – 178 с.
8. Турчина Т.Я. Інтенсифікація тепловологопереносу при розпилювальному сушінні термопластичних матеріалів з рослинної сировини : дис. ... кандидата техн. наук : 05.14.06 / Т.Я. Турчина. – К., 2011. – 192 с.
9. Петрова Ж.О. Розробка технологій одержання каротиновмісних продуктів : дис. ... кандидата техн. наук : 05.18.12 / Ж.О. Петрова. – К., 2004. – 178 с.
10. Саті Я. А. Аль Далаін. Формування якості дрібнодисперсних порошкоподібних барвників – БАД із столового буряка та їх використання в продуктах харчування : дис. ... кандидата техн. наук : 05.18.15 / Я.А. Саті. – Харків, 2004. – 198 с.
11. Макаренко О.Г. Формування якості порошкоподібних С-вітамінних біологічно активних добавок із перцю солодкого : дис. ... кандидата техн. наук : 05.18.15 / О.Г. Макаренко. – Харків, 2006. – 186 с.
12. Горбатюк Л.О. Розроблення технології високовуглеводного порошку біологічно активної дії із стружки топінамбура : дис. ... кандидата техн. наук : 05.18.05 / Л.О. Горбатюк. – К., 2003. – 176 с.

13. Пат. US2013126102 (A1) США, МПК В 01 D 1/14. Vacuum-pressure spray-drying method and vacuum-pressure spray-drying device / Kitamura Yutaka, Yamazaki Kazuhiko ; заявник Kitamura Yutaka, Yamazaki Kazuhiko. – № 20130126102; заявл. 07.2010 ; опубл. 23.05.2013.
14. Пат. JP2011055811 (A) Японія, МПК А 23 К 1/16, А 23 К 1/20, А 23 К 1/30. Method for producing plant extract powder / Takabayashi Tei Yamada Yasushi ; заявник Ogawa & Coltd; заявл.14.09.2009 ; опубл. 24.03.2011.

УДК 621.001.2:519.168

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Амбарцумянц Р.В., д-р техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Введено понятие n -дольные графы и доказана теорема о числе простых циклов, позволяющая вести направленный поиск оптимального решения задач проектирования технических систем, независимо от их назначения.

The concept of n -partite graphs has been introduced and the theorem of the prime cycles number, allowing to conduct direct search of the tasks optimal solution of technical systems design, regardless of their function, has been proved.

Ключевые слова: система, поиск, оптимальный, граф, простые цепи, параметр, оптимизация.

Проектирование различных технических систем предусматривает определение значений некоторых параметров данной системы, обеспечивающих заданные или требуемые их качественные показатели. Например, высокий коэффициент полезного действия, точность позиционирования рабочего органа захвата или точность воспроизведения его кинематических параметров (положение, скорость, ускорение), экологическая безопасность, высокая производительность и др. Зачастую многие из таких параметров являются взаимоисключающими (противоречивыми), поэтому приходится искать некоторое компромиссное решение, удовлетворяющее усредненным (оптимальным) значениям параметров оптимизации. Ранее считалось, что наиболее удачным является точное решение поставленных задач. Однако, как показывает опыт проектирования и конструирования точное решение любой технической задачи может привести проектировщику в тупик, а именно, невозможность разработки работоспособной конструкции устройства по полученным, в результате точного решения задачи, числовым значениям основных ее параметров.

При проектировании сложных технических систем число параметров, определяющих как конструктивные, так и возможные технологические параметры, для реализации чего и проектируется данное устройство, может достигать несколько десятков, а то и сотен. Учитывать в математической модели всех параметров устройства вряд ли удастся. Если такая модель возможна, то она может получиться сложной, численная ее реализация может стать нецелесообразной (с точки зрения затраты времени на ее решение) или невозможной.

Ниже предлагается новый подход для решения различных технических задач, позволяющий найти наиболее приемлемое решение из множества возможных путем направленного поиска значений части параметров.

Известно, что сложность решения задач по оптимизации, и ее продолжительность в основном зависит не только от границ значений варьируемых параметров, но и их шагов варьирования. Поэтому для уменьшения количества вычислительных операций необходимо разрабатывать некоторую стратегию варьирования так называемых свободных параметров математической модели. При этом, необходимо стремиться учесть все варианты возможных сочетания варьируемых параметров. Невзирая на то, что все технические задачи решаются на современных компьютерах, уменьшение времени вычисления имеет, кроме всего, большое экономическое значение, в виду высокой стоимости машинного времени, что иногда может превышать стоимости даже самого устройства.

Отметим, что при математическом моделировании задачи проектирования любой технической системы не всегда удается получить простую адекватную математическую модель, удобной для решения поставленной задачи. Стремление приблизить математическую модель к реальному процессу зачастую приводит к слишком сложным выражениям, иногда не подающим решениям. В таких случаях целесооб-