

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-19>

УДК 004.652.4664:637.521:637.04

І. П. Паламарчук^{1,2}, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-0441-6586

О. А. Дьомін^{1,2}, д-р пед. наук

ORCID: 0000-0002-3907-0992

Д. О. Науменко¹, аспірант

ORCID: 0009-0008-5631-0012

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandr.domin@tsatu.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ СИПКОЇ ПРОДУКЦІЇ ІЗ ЦЕНТРАЛЬНИМ ВІБРОМЕХАНІЧНИМ РУШІЄМ

Анотація. Перспективи розвитку сушильних технологій сьогодні пов'язані з кількома ключовими напрямками: зниженням енергетичних витрат, підвищенням якості готової продукції, забезпеченням процесу зневоложення у безперервному циклі, створенням універсального обладнання з високим рівнем ефективності та забезпеченням екологічної безпеки виробничих процесів. Порівняльний аналіз досліджуваних барабанних сушарок виявив перспективи їх розвитку у застосуванні комбінованої механічної, вібраційної, пневмодинамічної, фізико-хімічної дії на технологічне середовище, вдосконалення конструктивних схем робочих контейнерів із застосуванням пасивних та активних турбулізаторів сипкої продукції, застосування прогресивних методів генерації коливального руху виконавчих органів сушарки за умови узгодженості технологічних рішень та їх конструктивної реалізації. Вібромеханічна інтенсифікація процесів сушіння набуває усе більшого попиту через можливість істотного поліпшення умов контакту з конвективним потоком енергоносія та можливість зменшення енерговитрат під час вологовидалення. Центральне розташування вібробуджувача у розробленій барабанній сушарці дає можливість фактично нівелювати «застійні зони» у робочій ємкості, що істотно збільшує рухливість технологічного завантаження та, відповідно, поверхню тепломасообміну. Різниця між статичною та динамічною осями використаного кінематичного приводного механізму дає змогу забезпечити коливальний рух виключно робочого барабану та, відповідно, призводить до зменшення енерговитрат на процес в 1,8 рази порівняно з класичним дебалансним вібробуджувачем.

Ключові слова: вібраційні сушарки, тепломасообмінна обробка, зернова сировина, теплоносії, кінематичний вібробуджувач, коливальна маса, псевдорозріджений шар.

Постановка проблеми. Сушіння матеріалів є одним із найважливіших технологічних процесів, який широко застосовується у харчовій, сільськогосподарській та переробній промисловості [1–3]. Його основне завдання полягає у видаленні вологи для забезпечення стабільності продукції під час зберігання та подальшої переробки. Процес сушіння являє собою один із найпоширеніших у харчових виробництвах та найскладніших серед тепломасообмінних процесів, що складається з послідовних етапів передачі теплоти до продукції через граничний шар на стадії тепловіддачі; фазового перетворення на стадії випаровування; перенесення вологи та теплоти всередині матеріалу на стадії тепло- та масоперенесення; передачі вологи та теплоти з поверхні матеріалу в навколишнє середовище через граничний шар на стадії тепломасообміну [4–6].

В Одеському національному технологічному університеті під керівництвом О.Г. Бурдо проводяться розробки [7–9] енергоефективних методів дегідратації харчової сировини, створення інноваційного обладнання для інтенсифікації тепломасообмінних процесів. Основні напрями досліджень цієї школи включають комбіновані термомеханічні схеми сушіння під час



використання бароімпульсного дифузійного ефекту, механічної інтенсифікуючої дії, електромагнітного підведення енергії у стрічкових і модульних сушарках, упровадження енергоощадних схем сушіння зерна та продуктових компонентів у харчовій промисловості.

Можна відзначити фундаментальні підходи до математичного й експериментального аналізу кінетики процесів сушіння та методів управління режимами сушіння В.О. Потапова [10; 11] у Харківському державному університеті харчових технологій, що дасть змогу розробити аналітичні моделі кінетики масо- та теплообміну з метою здійснення якісного аналізу механізмів відведення вологи та визначення режимних параметрів для забезпечення заданої якості продукту.

В Інституті технічної теплофізики НАН України під керівництвом Ю.Ф. Снежкіна [12; 13] закладено фундаментальні основи нестационарного тепло- і масопереносу в процесах сушіння та розроблено енергоощадні технології, зокрема застосування теплонасосних схем і комплексної модернізації конвективних сушарок.

Характерні дослідження В.М. Атаманюка, Я.М. Гумницького [14] Національного університету «Львівська політехніка» дали змогу розробити наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних і капілярно-пористих матеріалів та методики визначення коефіцієнтів масоперенесення, зокрема реалізовані у побудованих математичних моделях внутрішньої дифузії; отримати підтвердження ефективності фільтраційних режимів на низці рослинних і техногенних матеріалів.

Перспективи розвитку сушильних технологій сьогодні пов'язані з кількома ключовими напрямками: зниженням енергетичних витрат, підвищенням якості готової продукції, створенням універсального обладнання з високим рівнем ефективності та забезпеченням екологічної безпеки виробничих процесів [15; 16]. Серед різноманітних типів сушильного обладнання особливу увагу привертають барабанні сушарки, що відзначаються простотою конструкції, можливістю обробки великих обсягів матеріалів і відносною надійністю в експлуатації [17; 18]. Проте, незважаючи на поширеність, такі машини мають низку недоліків, що стимулює пошук нових інженерних рішень для підвищення їх ефективності та розширення функціональних можливостей.

Основними недоліками традиційних барабанних сушарок є їхня відносно низька продуктивність, що зумовлена низкою чинників. Зокрема, не забезпечується повне використання теплової енергії сушильного агента, а надмірна довжина робочого барабана знижує компактність конструкції. Окрім того, площа контакту між теплоносієм і матеріалом є недостатньою, а перемішування продукту напрямними пластинами відбувається неефективно. Додаткові втрати пов'язані з падінням швидкості сушильного агента під час входу та виходу з барабана через різку зміну перерізів каналів його руху. Внутрішнє перемішування матеріалу також є обмеженим через відсутність підйомно-лопатевих елементів у зовнішньому циліндричному барабані. Окрім того, складність конструкції часто ускладнює експлуатацію й може призводити до збільшення тривалості процесу сушіння.

Аналіз останніх досліджень. До сучасних барабанних сушарок можна віднести багатоходовий апарат із трьома проходами (рис. 1), які сконцентровані та послідовно з'єднані між собою, забезпечуючи більш тривалий час перебування матеріалу в робочій зоні за значно меншої робочої площі.

Технологічний рух у барабанах здійснюється за допомогою опорних роликів, що сприяє повільності системи обертання, знижує рівень зношування та подовжує експлуатаційний ресурс обладнання. Порівняно з однопрохідною схемою зовнішній барабан одночасно виконує функцію додаткової теплоізоляції, що зумовлює вищу теплову ефективність; приблизно на 30–35% зменшуються довжина конструкції та площа, необхідна для її розміщення. Проте подавання вологого продукту безпосередньо у центральну частину барабана створює ризик

локального перегріву; безперервний рух продукту під інтенсивним нагріванням може спричинити його пересушування, обвуглювання або навіть займання; вологі тверді матеріали у центральній зоні ущільнюються у відносно вузькому просторі; незважаючи на дію підйомників, зменшення висоти падіння частинок сприяє утворенню злиплених мас; швидкість сушильного агента є високою на початку руху, однак знижується під час проходження кільцевих каналів, що зменшує його транспортуючу здатність.

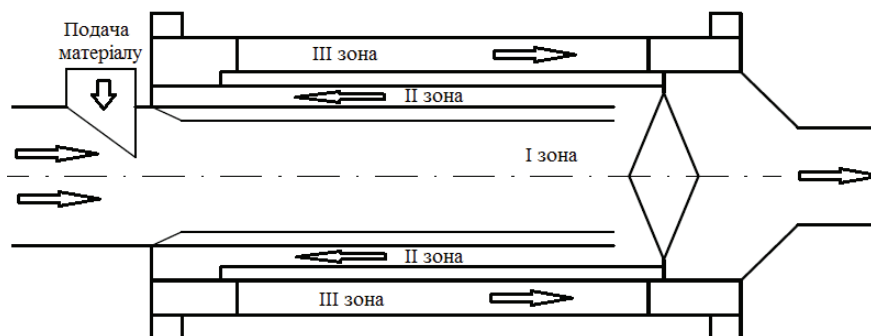


Рис. 1. Схематичне зображення трихолової барабанної сушарки

Нівелювання останніх проблем спостерігається у ротаційній барабанній сушарці Dupps Independence [19] (рис. 2) із чотирма робочими зонами, що працює за іншим принципом: процес сушіння починається за нижчої швидкості, а потім швидкість руху повітря поступово збільшується, що забезпечує більш рівномірне видалення вологи та стабільну роботу обладнання.

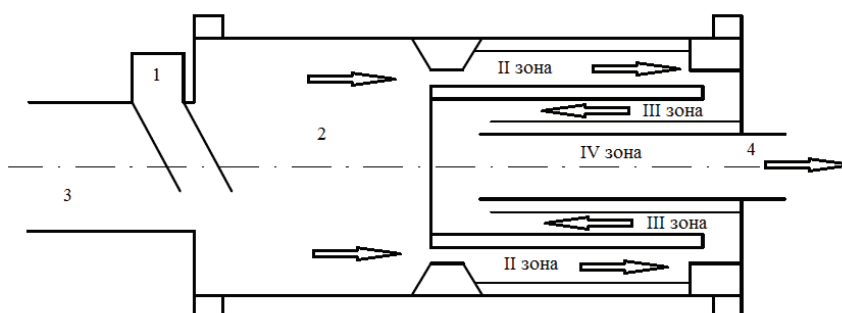


Рис. 2. Схематичне зображення чотирьохлової сушарки Dupps Independence, США:
1 – подача матеріалу; 2 – зона початкової сушки; 3 – зона подачі теплоносія; 4 – вихід

Така конструкція забезпечує індивідуальний режим сушіння для кожної частинки матеріалу відповідно до її розміру, щільності та початкової вологості. Завдяки цьому висушені частинки залишають барабан без ризику перегрівання чи пошкодження структури. Подача сировини здійснюється у віддалену від пальника гарячих газів зону, що зменшує ризик її локального перегрівання, при цьому швидкість руху теплоносія у першій зоні є мінімальною, а в кожній наступній поступово зростає, що не лише інтенсифікує сушіння, а й полегшує транспортування матеріалу всередині барабана. Зона завантаження охоплює весь діаметр барабана, тому матеріал рівномірно розподіляється, рухаючись окремими частинками, а не грудками. Великі вертикальні відстані падіння сприяють повному охопленню поверхонь частинок сушильним агентом. Частинки більшого розміру або з підвищеною вологістю довше утримуються в барабані, поступово вивільняючи вологу під дією повітряного потоку. Кожна частинка залишає сушарку тоді, коли досягає оптимального вмісту вологи. Проте реалізація даного процесу

сушіння передбачає високоточне дотримання етапів обробки, вимагає складного технологічного обладнання, достатньо дорогих систем контролю.

У даній науковій роботі пропонується забезпечити підвищення ефективності барабанних сушарок, спрощення конструктивного виконання, мінімізацію енерговитрат на процес шляхом застосування вібраційних та хвильових ефектів як факторів інтенсифікації, терморегуляції та ефективної інфільтрації енергетичного потенціалу у шарах продукції. *Основною гіпотезою роботи є те, що в умовах коливального руху робочого контейнера разом із підвищенням степені вільності часток технологічного завантаження центральне розташування джерела вібрації забезпечує практично нівелювання «застійних зон» у робочій ємкості, призводить до постійного оновлення поверхонь контакту за конвективного теплообміну та, відповідно, до зростання поверхні тепломасообміну, збільшуючи швидкість сушіння, що опосередковано зменшує енерговитрати на процес.*

Формулювання мети статті (постановка завдання). Систематизація вібраційних барабанних сушарок та обґрунтування ефективної конструктивно-технологічної схеми барабанної конвективної сушарки із центральним вібромеханічним приводом шляхом аналізу досліджень наукових шкіл з означених напрямів, оцінки технологічних особливостей реалізації процесів зневоложення у барабанних робочих ємкостях. Для виконання поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- аналіз сучасних конструкцій сушарок барабанного типу;
- формування тенденцій розвитку технологічних схем та конструктивного виконання вібраційних барабанних сушарок;
- обґрунтування конструктивно-технологічної схеми барабанної сушарки із центральним механічним віброзбуджувачем.

Для порівняльної оцінки досліджуваних барабанних сушарок із вібромеханічною інтенсифікацією процесу обробки застосовували апаратуру Robotron, аналізатори спектру, вимірювачі рівня та віброметри, які дають змогу прослідкувати динаміку зміни амплітуди коливань, віброшвидкості та віброприскорення, траєкторії коливань, що дають змогу визначити техніко-економічні параметри досліджуваного процесу, оцінити ефективні режими використання низькочастотних коливань.

Основна частина. Застосування низькочастотної інтенсифікації процесів видалення вологи у безперервному режимі достатньо ефективно можна реалізувати за використання двобарабанної схеми робочого контейнера. У «Львівській політехніці» розроблено низку схем подібних установок. Двокамерна сушарка безперервної дії з шнековим механізмом та віброприводом (рис. 3) [20] містить робочі контейнери, які монтуються з можливістю змінювати своє положення відносно джерела коливань. Таким чином, за зміни відстані між віброзбуджувачем та осями робочих камер отримують різні амплітуди коливань для кожного з контейнерів за рахунок зміни інерційного моменту системи, що впливає на величину параметрів вібрації іншої робочої камери. Конструкція виконавчих органів даної вібраційної машини (рис. 3) передбачає можливість забезпечення індивідуальних коливань робочих камер 1 і 2 з необхідною амплітудою унаслідок різної жорсткості елементів пружної системи, що й визначає специфіку їхніх динамічних характеристик. Такий жорсткий взаємозв'язок ускладнює індивідуальне налаштування параметрів вібраційного режиму для окремих камер. Окрім того, реалізація транспортних функцій за безперервного режиму обробки потребує використання досить складного технологічного обладнання. Тому більш раціональною можна назвати конструкцію без додаткових транспортних засобів у машинах з безперервною циркуляцією завантаження в контейнері. Двокамерна схема вібраційної машини безперервної дії забезпечує сприятливі умови для реалізації подібної технології.

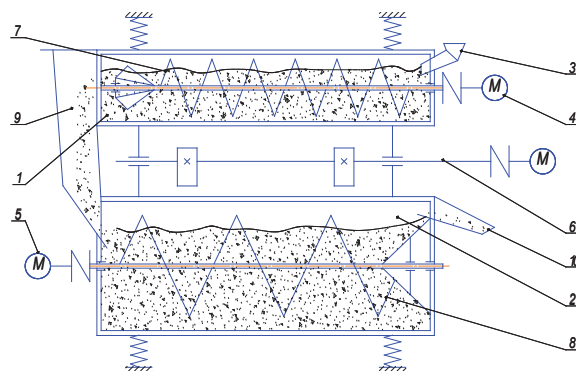


Рис. 3. Двокамерна машина безперервної дії зі шнековим механізмом транспортування технологічного завантаження та вібромеханічною інтенсифікацією

Частково вирішив дану проблему американський інженер Гунтер В. Балз у двокамерній конструкції вібраційної машини із замкненою формою робочої камери [21]. Розроблена установка містить два однакові контейнери 6 з індивідуальними віброзбуджувачами 4 (рис. 4), які вмонтовані на нерухомій основі та опираються на пружні елементи 5. Транспортна система сушарки утворена шнеками 3, які установлені всередині робочої камери вздовж контейнерів. Незважаючи на певну компактність, така вібраційна машина відзначається порівняно високими енерговитратами та металоємкістю конструкції.

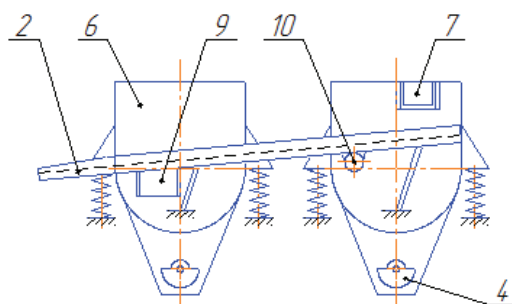


Рис. 4. Схема двоконтейнерної вібраційної сушарки безперервної дії з перехідним лотком

Для спрощення транспортної системи у вібраційній сушарці [22] робочі контейнери 1 і 2 (рис. 5) містять спеціальні жолоби 3, 4, які відповідно опускаються під дією ваги продукції, що переміщуються з однієї робочої ємкості в іншу. Таким чином, реалізується безперервне видалення вологи до потрібної величини за переміщення технологічного завантаження по чергово з одного контейнера до іншого по відповідних вібраційних жолобах. Проте значна металоємкість залишається основним недоліком даної конструкції.

У вібраційній сушарці [23] транспортування продукції забезпечується наявністю перехідного каналу 7 (рис. 6) між робочими камерами 1, які встановлені на нерухомій основі та пружних елементах 2. Торці камери з'єднані між собою перехідними лотками, утворюючи замкнуту робочу порожнину, а вертикальний канал установлено у зоні найбільшої швидкості обертання робочого середовища у робочій зоні. Порівняно з попередньою схемою конструкція транспортної системи спрощується, проте контейнери вібраційного барабану відзначаються достатньо високою конструктивною складністю та металоємкістю.

Розроблена барабанна вібраційна сушарка [24] відзначається більш простою та оригінальною схемою переміщення завантаження всередині контейнера двома взаємно протилежними

коливними потоками (рис. 7). Пружна система машини складається з еластичних елементів 3, що сприяють як демпфіруванню коливань робочої ємкості, що передаються на опорні вузли, так і герметизації зони обробки.

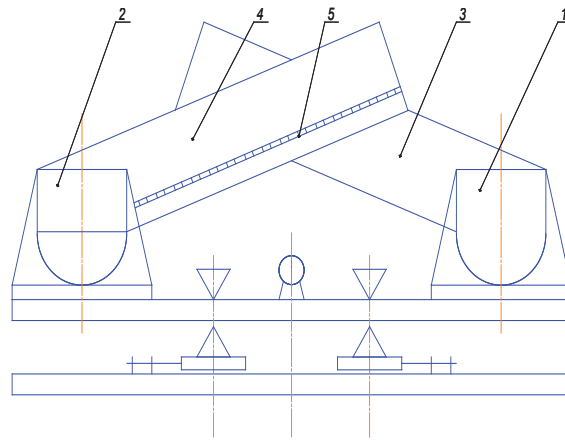


Рис. 5. Схема двоконтейнерної вібраційної сушарки з перехідними жолобами:
1, 2 – робочі контейнери; 3, 4 – вібраційні жолоби; 5 – решітчасте полотно

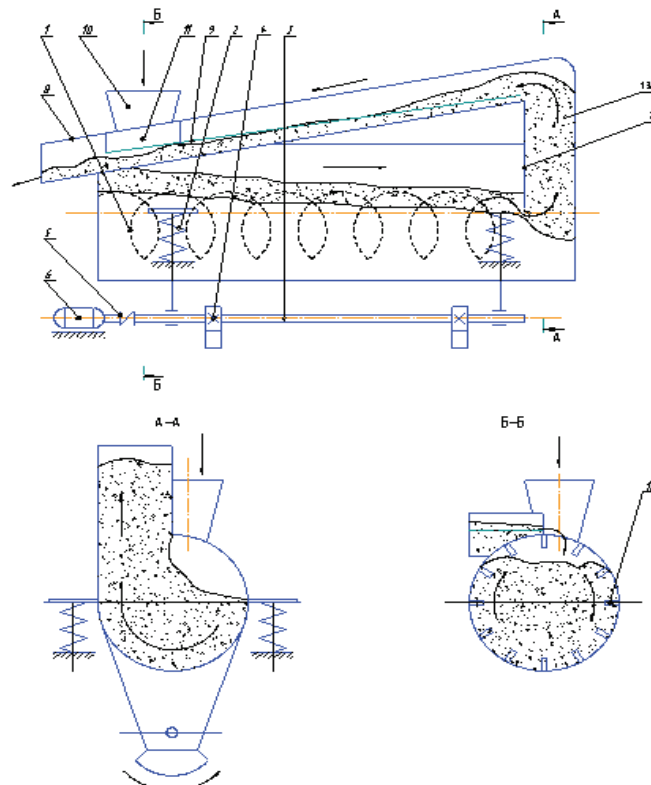


Рис. 6. Схема вібраційної барабанної сушарки з перехідним вертикальним каналом:
1 – робоча камера; 2 – пружні елементи; 3 – вал віброзбуджувача; 4 – дебаланси; 5 – еластична муфта; 6 – двигун; 7 – вертикальний канал; 8 – двоярусний лоток; 9 – решітка; 10 – вузол завантаження; 11 – вікно; 12 – радіальні стержні; 13 – матеріал

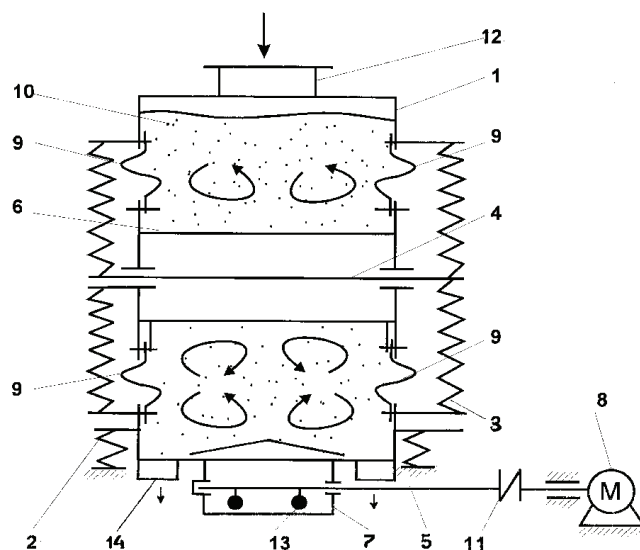


Рис. 7. Барабанна сушарка з агрегатованим вібробуджувачем та еластичними елементами контейнера: 1 – робочий контейнер; 2, 3 – пружні елементи; 4 – центральна вісь; 5 – дебалансний вал; 6 – втулка; 7 – вібробуджувач; 8 – двигун; 9 – еластичні вставки; 10 – технологічне завантаження; 11 – пружна муфта; 12, 14 – завантажувальний та розвантажувальний патрубки; 13 – дебаланс

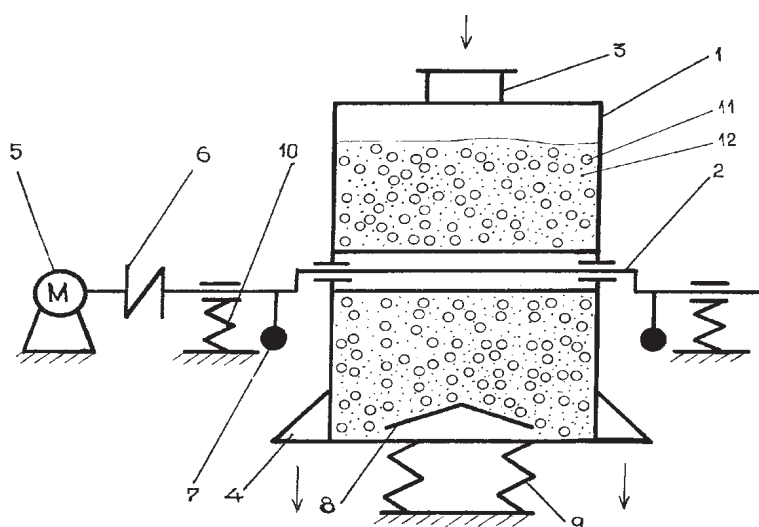


Рис. 8. Вібраційна барабанна сушарка із центрально умонтованим кінематичним приводом плоских коливань: 1 – робочий контейнер; 2 – ексцентриковий вал; 3, 4 – завантажувальний та розвантажувальний патрубки; 5 – двигун; 6 – пружна муфта; 7 – противага; 8 – напрямна; 9, 10 – пружні елементи; 11, 12 – оброблювальне середовище

Перспективним рішенням у конструкції барабанної сушарки є розроблення системи вібробудження, що об'єднує кінематичний тип генерації коливань із пружно-опорною системою та механізмом балансування стаціонарних мас (рис. 8). Порівняльна оцінка схем вібробудження виявила, що за однакової амплітуди коливань контейнера розроблена схема вібробудження зі статичним балансуванням потребувала в 1,8 рази менше загальної потужності, ніж традиційний дебалансний вібробуджувач [25].

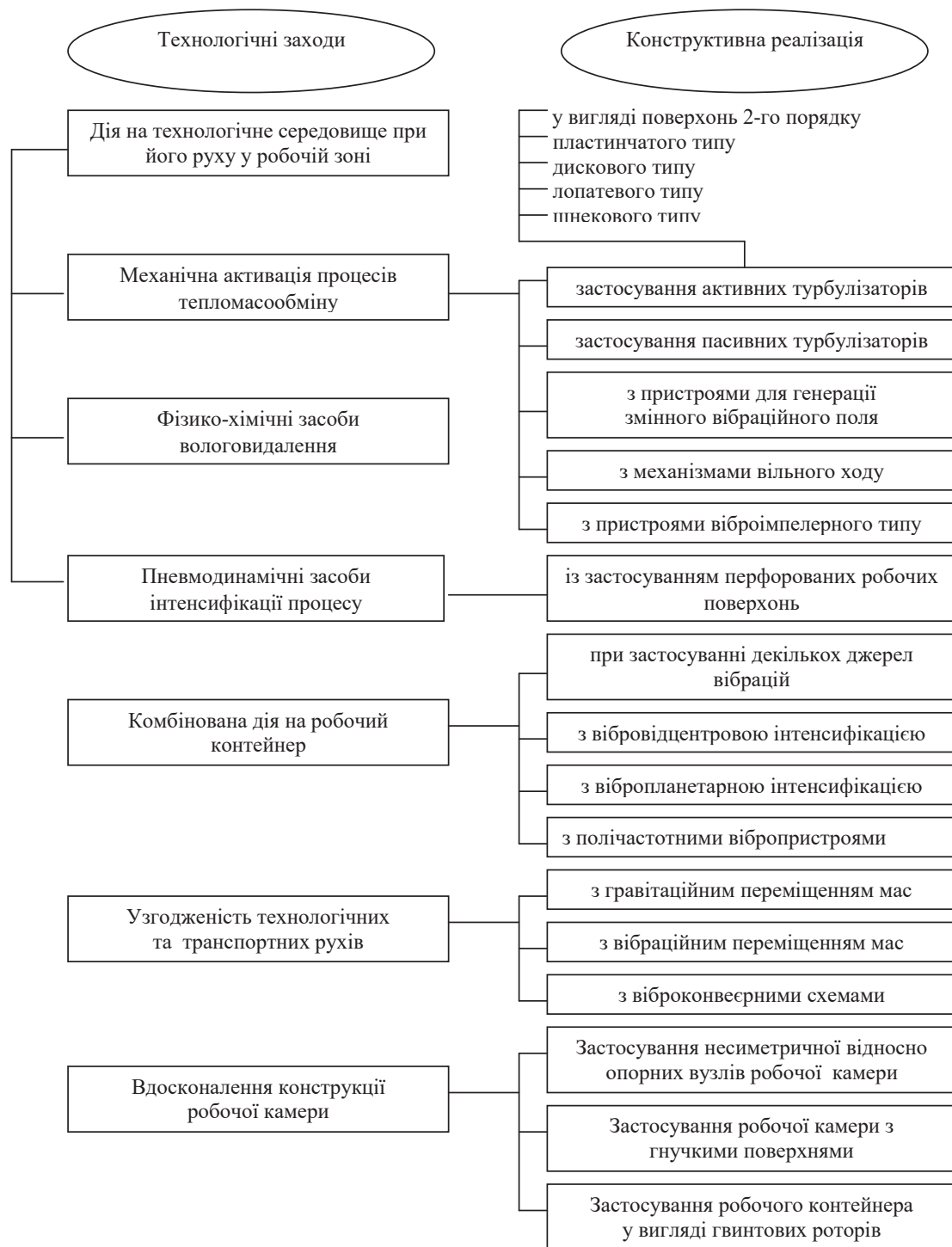


Рис. 9. Конструктивно-технологічні тенденції розвитку процесу вібраційного теплофізичного вологовидалення

Сучасні тенденції розвитку процесу конвективного сушіння сипких мас продукції спрямовані на застосування комбінованої механічної, пневмодинамічної, фізико-хімічної дії на технологічне середовище, вдосконалення конструктивних схем робочих контейнерів, застосування прогресивних методів вібраційної дії за умови узгодженості технологічних рішень та їх конструктивної реалізації, що відображено на рис. 9.

Висновки. Розроблення барабанної технічної системи із центрально розташованим кінематичним віброприводом створює ефективні умови для конвективного теплообміну з псевдорозрідженими шарами сипкої продукції, а також створює умови для забезпечення коливальним рухом лише робочого контейнера, що дає можливість збільшити поверхню тепломасообміну з конвективним потоком теплоносія, зменшити енерговитрати на генерацію плоских коливань та має широкі *перспективи та актуальність* під час використання у сучасних технологіях сушіння переробних і харчових виробництв.

Розвиток конструкцій барабанних сушарок прослідковується за рахунок взаємоузгодження технологічних та конструктивних рішень, застосування сучасних технологічних циклів для забезпечення безперервного режиму обробки продукції, використання вископродуктивного обладнання. Додаткова дія на технологічне середовище та на робочий контейнер пасивних турбулізаторів суміші у вигляді спеціальних напрямних, що надають технологічному середовищу складних траєкторій руху, або активних турбулізаторів лопаткового, шнекового, дискового, кулачкового типу дає змогу істотно підвищити поверхню тепломасообміну.

Список використаних джерел

1. Hürdoğan E., Çerçi K.N., Saydam D.B., Ozalp C. Experimental and Modeling Study of Peanut Drying in a Solar Dryer with a Novel Type of a Drying Chamber. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2021, 44(2), 5586–5609. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1974126>.
2. Charmongkolpradit S., Somboon T., Phatchana R., Sang-aroon W., Tanwanichkul B. Influence of drying temperature on anthocyanin and moisture contents in purple waxy corn kernel using a tunnel dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2021, 61, 241–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.03.003>.
3. Billah M.T., Hossain M.A., Zannat N.E., Roy J., Sarker M.S.H. Integrated design and optimization of a conceptual double drum dryer for drying of wheat flour slurry: Experimental validation and computational analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 2024, 47(8), e14701. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14701>.
4. Hossain A., Jayadeep A. Drum drying of whole maize flour enhances bioaccessibility of zeaxanthin, α -tocopherol, phytosterols, phenolics and flavonoids. *Journal of Cereal Science*, 2024, 116, 103879. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103879>.
5. Billah M.T., Hossain M.A., Zannat N.E., Roy J., Sarker M.S.H. Integrated design and optimization of a conceptual double drum dryer for drying of wheat flour slurry: Experimental validation and computational analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 2024, 47(8), e14701. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14701>.
6. Hidayat D.D., Sagita D., Darmajana D.A., Indriati A., Rahayuningtyas A., Sudaryanto A., Kurniawan Y.R., Nugroho P. Development And Thermal Evaluation Of Double Drum Dryer For Ready-To-Eat Food Products To Support Stunting Prevention. *Inmateh-Agricultural Engineering*, 2021, 2(64), 43–53. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-64-04>.
7. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Одесса : Полиграф, 2010. 368 с.
8. Burdo O.G., Bandura V.N., Levtrinskaya Y.O. Electrotechnologies of targeted energy delivery in the processing of food raw materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2018. 54(2), 210–218.
9. Burdo O.G., Sirotiyuk I.V., Shcherbich M.V., Akimov A.V., Poyan A.S. Innovation of Energy Technologies of Food Raw Material Dehydration and Extraction. *Problemele Energeticii Regionale*, 2021, 1(49), 86–98. DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.1-49.13>
10. Потапов В.О., Погожих М.І. Молекулярно-кінетичний метод аналізу кінетики сушіння колоїдних капілярно-поруватих матеріалів. *Scientific Works ONAFT*, 2003, 26, 270–274.
11. Погожих М.І., Потапов В.О., Пак А.О., Жеребкін М.В. Енергоефективні технології та техніка сушіння харчової сировини. Харків : ХДУХТ, 2016. 264 с.
12. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Енергоефективність процесів сушіння. *Тематичний збірник статей*. Т. 1. Київ, 2021. 343 с.
13. Снежкин Ю.Ф. Пути интенсификации процессов сушки. *Промышленная теплотехника*. 2009. Т. 31. № 7. С. 89–90.



14. Атаманюк В.М., Гумницький Я.М. *Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів* : монографія. Львів : Львівська політехніка, 2013. 304 с.
15. Chryat Y., Esteban-Decloux M., Labarde C., Romdhana H. A concept and industrial testing of a superheated steam rotary dryer demonstrator: Cocurrent-triple pass design. *Drying Technology*, 2019. 37(4), 468–474.
16. Mujumdar A.S. Classification and selection of industrial dryers. *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments*. Brossard, Canada: Exergex Corporation, 2000. 23–36.
17. Olejnik T.P., Mysakowski T., Tomtas P., Mostowski R. Optimization of the Beef Drying Process in a Heat Pump Chamber Dryer. *Energies*, 2021, 14(16), 4927. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14164927>.
18. Friso D. Conveyor-Belt Dryers with Tangential Flow for Food Drying: Development of Drying ODEs Useful to Design and Process Adjustment. *Inventions*, 2021, 6(1), 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions6010006>.
19. Friso D. Mathematical Modelling of Conveyor-Belt Dryers with Tangential Flow for Food Drying up to Final Moisture Content below the Critical Value. *Inventions*, 2021, 6(2), 43. DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions6020043>.
20. Bandura V., Zozuliak I., Palamarchuk V. Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower. *Ukrainian Journal of Food Science*, 2014. Vol. 2. Issue 2. P. 305–311.
21. Друкований М., Бандура В., Коляновська Л., Паламарчук В. Удосконалення теплотехнології під час виробництва олії та біодизельного пального : монографія. Вінниця : ПВВ ВНАУ, 2019. 254 с.
22. Bandura V., Zozuliak I., Palamarchuk V. Description of heat exchange in the similarity theory of vibrating drying process of sunflower. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2014. Vol. 2. P. 305–311.
23. Palamarchuk I., Mushtruk M., Stadnyk I., Derkach A., Boyko Y. Heat. Exchange Optimization in Transport and Technological Machines Using Vibromechanical Intensification Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2025, pp. 792–805. DOI: 10.1007/978-3-031-82746-4_70.
24. Palamarchuk I., Palamarchuk V., Zheplinska M. Evaluation of the energy characteristics of the infrared drying process of rapeseed and soybeans with a vibrating wave driver | Ocena charakterystyki energetycznej procesu suszenia podczerwienią nasion rzepaku i soi przy użyciu wirnika wibracyjnego. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 2024. 14(2), 42–46. DOI: <http://doi.org/10.35784/iapgos.5846>.
25. Palamarchuk I., Palamarchuk V., Paziuk V., Kalizhanova A., Sarsembayev M. Analysis of power and energy parameters of the conveyor infrared dryer of oil-containing raw materials | Analiza mocy i parametrów energetycznych przenośnikowej, działającej na podczerwień suszarni surowców zawierających olej. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 2023. 13(2), 10–14. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791>

Стаття надійшла до редакції. 22.09.2025

Стаття прийнята 10.10.2025

Статтю опубліковано 25.11.2025



I. Palamarchuk^{1,2}, O. Domin^{1,2}, D. Naumenko¹

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

² Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL DIAGRAM OF A DRUM DRYER FOR BULK PRODUCTS WITH A CENTRAL VIBROMECHANICAL DRIVE

Summary

The prospects for the development of drying technologies today are associated with several key areas: reducing energy costs, improving the quality of finished products, ensuring the dehumidification process in a continuous cycle, creating universal equipment with a high level of efficiency and ensuring the environmental safety of production processes. A comparative analysis of the studied drum dryers revealed the prospects for their development in the application of combined mechanical, vibrational, pneumodynamic, physicochemical action on the technological



environment, improving the design schemes of working containers using passive and active turbulators of bulk products, using progressive methods of generating oscillatory motion of the dryer's executive bodies, provided that technological solutions are consistent and their constructive implementation. Vibromechanical intensification of drying processes is becoming increasingly in demand due to the possibility of significantly improving the conditions of contact with the convective flow of the energy carrier and the possibility of reducing energy consumption during moisture removal. The central location of the vibratory exciter in the developed drum dryer makes it possible to actually level out «stagnant zones» in the working capacity, which significantly increases the mobility of the technological load and, accordingly, the heat and mass exchange surface. The difference between the static and dynamic axes of the used kinematic drive mechanism allows for oscillatory motion of only the working drum and, accordingly, leads to a reduction in energy consumption for the process by 1.8 times compared to the classic unbalanced vibratory exciter.

Keywords: vibrating dryers, heat and mass transfer processing, grain raw materials, coolant, kinematic vibrator, vibrating mass, pseudofluidized layer.