

ОРГАНІЗАЦІЯ ГІБРИДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗАДАЧАХ УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Бурдо О.Г., д.т.н., професор, Терзієв С.Г., д.т.н., доцент, Бурдо А.К., к.т.н., доцент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

Анотація. Наведено розвиток глобальної прогнозовної моделі «Римського клубу». Аналізуються шляхи її переведення у практичну площину. Обґрунтовується доцільність впровадження ідей РК у харчові нанотехнології. Показано, що саме там можна в комплексі вирішувати проблеми і енергії, і екології, і їжі. Основним науковим результатом роботи є моделі гібридних процесів. Підкреслено їх місце у розробленій авторами класифікації технологій адресної доставки енергії. Аналізуються можливості електродинамічних систем та апаратів. Проведено порівняння ефективності високочастотних, інфрачервоних та мікрохвильових джерел енергії. Показано революційну перспективу мікрохвильових джерел енергії. Наведено класифікацію гібридних процесів, умови ініціювання за їх допомогою бародифузійних, механодифузійних та пародифузійних потоків. Дана фізична та термодинамічна моделі, які обґрунтовують питання можливості здійснювати роботу та транспортувати рідину із об'єму твердого капілярно-пористого тіла. А це – нові можливості суттєвої інтенсифікації масообмінних процесів. Дано аналіз ефективності гібридних процесів в задачах дегідратації та екстрагування. Головний прикладний результат роботи в тому, що показана можливість переходу харчової індустрії на технології глибокої переробки сировини на безвідходні технології при умовах застосування нанотехнологічних принципів, організації гібридних процесів. Наведено схему переробки зерен кави та отримання рідкого концентрату кави, вилучення із шлему послідовно: кофейну, кофеолу та наливних пелет. Така технологія в умовах лабораторії реалізована. Наведено приклади переробки харчової сировини, в основі яких технології адресної доставки енергії.

Ключові слова: харчові нанотехнології, електродинамічні мікрохвильові апарати, тепломасоперенесення, глобальні прогнози моделі, гібридні процеси, зневоднення, екстрагування.

Вступ. При визначенні перспективних напрямків розвитку науки та техніки ключову роль має розуміння глобальних змін у майбутньому людства в світі, в Європі та в Україні. Серед глобальних прогнозних моделей виділяються моделі Римського клубу (РК) та індустріального розвитку [1]. Системний аналіз проблем планетарного масштабу, яким відрізняється модель РК, став засадами теоретичних основ глобалістики. Методологія та принципи, що розроблені в моделях РК, мають широко використовуватись при прогнозі напрямків розвитку суспільства, його впливу на довкілля в конкретній країні.

На протязі 50 років в РК видано 44 доповіді. Вражає глибина та проблематика цих доповідей. Роботи РК навіть за заголовками визначають їх суттєву актуальність. Авторитет РК завоювала вже перша доповідь за назвою «Границі росту» [Meadows et al. 1972]. Разом із тим, засновник РК А. Печчеї писав, що глобальні проблеми, які визначені в РК, ніяк не вирішуються. Всі високо цинили створення РК, але ніхто не виявив готовності жертвувати своїми інтересами, повсякденними справами на благо всього людства. Ніхто не готовий був надати навіть якусь долю свого часу, грошей, суспільного статусу на благо майбутнього людства. Визначилась тенденція олігархічної меншості управляти більшістю за допомогою страху, пандемії й, навіть, війни.

Але, виникає питання, а як мала спільнота реагувати на прогнози РК. Чи було запропоновано чітку програму дій, який план мав реалізовуватись? Такі пропозиції досить відсутні. Зрозуміло, що такі пропозиції не можуть бути загальними для всього людства, для всіх країн та для різних галузей економіки. Їх мають розробляти відповідні фахівці. Але, на жаль, естафети від РК отримано не було.

В [1] зроблена пропозиція поєднати модель РК із моделлю індустріального розвитку планети, та перейти від послідовної схеми вирішення проблем «енергія – екологія – їжа» до паралельної. Тобто, вирішення всіх цих проблем почати уже зараз, одночасно. Запропонована ідея почати з агропромислової галузі, де зазначені проблеми стоять найбільш гостро.

Аналіз літературних джерел та формулювання науково-технічної ідеї. Наразі розвиток теоретичних положень глобалізації, які запропоновано РК, пов'язано із переходом в площину практичних додатків. Доцільно починати практичні перетворення в харчовій індустрії. Саме ця галузь є ярким прикладом, де і енергетика, і екологія, і їжа потребують негайних інновацій в усіх країнах. Впровадження безвідходних технологій переробки харчової сировини дозволить вирішити екологічні проблеми та отримати нові резерви повноцінної їжі. А біомаса стане основою для отримання паливних елементів, пелет. Саме харчові виробництва працюють із створеними природою нанорозмірними структурами [2, 3].

Звісно, визначене завдання потребує залучення сучасних, інноваційних принципів. Серед таких розглядаються: принципи адресної доставки енергії до елементів харчової сировини; наноенерготехнології; вакуу-

мні та хвильові технології; комбіновані й гібридні технології; ініціювання бародифузії; механодифузійні та пародинамічні явища.

В [1] проведено порівняння традиційних та інноваційних технологій. Показано, що традиційна схема екстрагування із міжклітинного простору за рахунок дифузійних механізмів складається із етапів: «заповнення каналів екстрагентом – дифузія розчинних речовин в стиснених умовах капіляру – конвективна дифузія від границі розділу в середу». В інноваційних електродинамічних технологіях схема інша: «формування центру пароутворення – підвищення тиску в каналі – вихід компонентів у середу». При цьому, за рахунок дії інерційних сил із каналу виходять не тільки розчинні компоненти, а й нерозчинні, навіть тверді мікрочастинки.

Ініціюють такі процеси технології адресної доставки енергії (рис. 1), які поділяють на градієнтні та безградієнтні. Градієнтні поділяються на технології ЗТП (змішаного теплопідведення), ФС (фільтраційне сушіння), КЕ (кріоелектричні системи) та ДВКС (двофазні випарно-конденсаційні системи). Засновниками ЗТП є харківська наукова школа Потапова В.О. та Погожих М.І., а ФС – львівська Атаманюк В.М. та Гумницького Я.М.

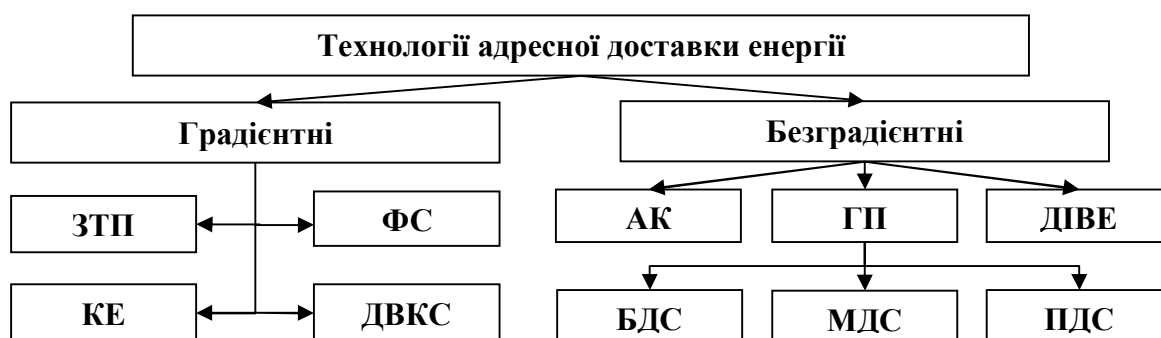


Рис. 1 – Класифікація технологій адресної доставки енергії.

Безградієнтні об'єднують технології об'ємного підведення енергії та направлені на активацію клітини (АК), дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) й гібридні процеси (ГП). Авторами ДІВЕ технологій є вчені інституту технічної теплофізики [4-7]. АК процеси запропоновано для обробки насіння перед посівом (розвиток напрямку дав проф. Калінін Л.Г. [8]), для інактивації й активації процесів життєдіяльності мікроорганізмів [9-10], для переробки відходів харчових виробництв [11-13]. Активні дослідження впливу мікрохвильового поля на інтенсивність процесів тепломасоперенесення проводяться наразі в світі [14-22]. Всі ці дослідження розглядають електромагнітне поле як альтернативний традиційним джерелам енергії засіб.

В роботі формулюється гіпотеза «узгодження параметрів сировини із характеристиками мікрохвильового поля дасть можливість організувати точковий підвід енергії в локальній зоні сировини, що приведе до дисипації електромагнітної енергії у теплоту та точковому скачку тиску із подальшому використанню надлишкового тиску для здійснення роботи по переміщенню рідини із об'єму сировини до середовища».

Аналітичне та експериментальне моделювання гібридних процесів. Революційні можливості проявили процеси, які ми назвали «гібридні» (ГП). Вони ініціюють процеси в бародифузійних системах (БДС), механодифузійних (МДС) й пародинамічних (ПДС) [14]. Механізм гібридних процесів – це комплекс електродинамічних, механічних, теплових і гідродинамічних процесів, що направлені на рішення задач масопереносу. Саме гібридні процеси будуть предметом подальших досліджень. Розглянемо інноватику систем з електродинамічними джерелами енергії в технологіях тепломасоперенесення.

Комплексні дослідження систем зневоднення з використанням мікрохвильових джерел енергії [3, 14], що проведені авторами, дають змогу вважати, що справедливі 2 висновки.

1. Процеси зневоднення в електромагнітних полях не завжди відповідають уявленням класичного «сушіння». Це більш загальні та різноманітні процеси, які більш коректно називати «дегідратація».
2. Можлива класифікація процесів дегідратації в електромагнітному мікрохвильовому полі по рушійним силам.

Запропонована класифікація (рис. 2) визначає умови, коли діє звичайна дисипація електромагнітної енергії в теплоту, без додаткових ефектів та рушійних сил. Це проста дегідратація, яку можна розглядати як сушіння. Далі розглядаються комбіновані процеси, коли об'єднуються позитивні можливості конвективного сушіння (КС), інфрачервоного поля (ІК), фільтраційного сушіння (ФС). Виходячи із загальних закономірностей кінетики масоперенесення, комбінація різних принципів зневоднення буде ефективною, якщо в результаті підвищиться значення величини рушійної сили або коефіцієнта переносу. Важливим критерієм є, також, й енергетика процесу, значення питомих затрат енергії на вилучення вологи. При цьому, особливий інтерес представляють способи механічного зневоднення.

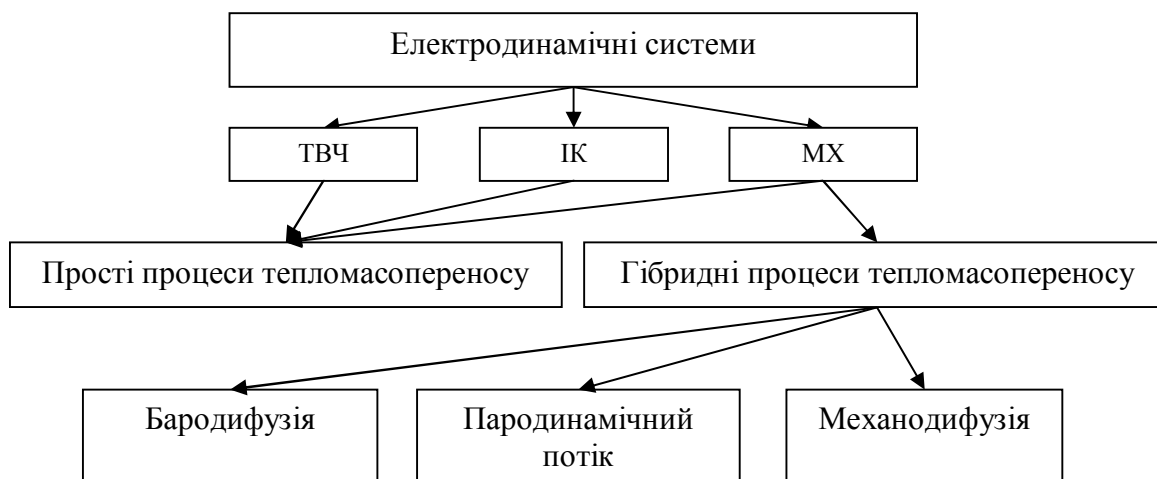


Рис. 2 – Класифікація гібридних процесів масопереносу в електродинамічних системах.

Є можливим механічне відведення вологи з поверхні твердої фази сировини при її доставці до поверхні бародифузійним механізмом, який ініціюється дією імпульсного електромагнітного поля (ІЕМ). В цьому випадку необхідно по-перше, зняти з повітря задачу теплоносія, а залишити тільки задачу «приймальника» вологи. По-друге, організувати зневоднення продукту із мінімальним випаровуванням із нього вологи, тобто підключити бародифузійні процеси. По-третє, використати механічне відведення вологи з поверхні продукту за рахунок продування його повітрям із довкілля. По-четверте, організувати бародифузії із об'єму продукту за допомогою ІЕМ. За такою схемою відведення вологи буде проводитись методами фільтраційного сушіння, а підведення енергії – хвильовими технологіями. Такий комбінований спосіб має ряд суттєвих переваг. По-перше, в традиційних підходах градієнт вологовмісту має напрямок в глибину продукту, а температури – до поверхні. При ІЕМ градієнт температури має напрямок в середину продукту. Саме цей факт дозволяє ініціювати бародифузійний потік вологи до поверхні. По-друге, на нагрів сухої частини продукту витрачається менше енергії. А це – передумова енергетичної ефективності ІЕМ способу дегідратації [3, 14].

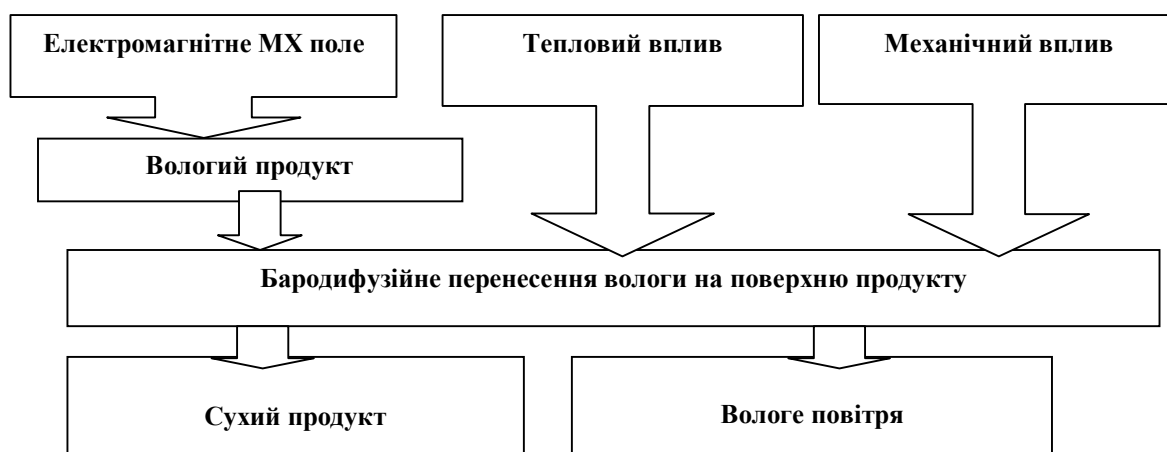


Рис. 3 – Схема комбінованих процесів дегідратації.

Суша частина продукту для більшості рослинної сировини є радіопрозорою. Механізм ІЕМ дегідратації в тому, що електромагнітне випромінювання активно поглинається водою в продукті, тому суха частина безпосередньо від цих променів не нагрівається. Звісно, вода віддає деяку долю теплової енергії сухій частині продукту, але це значно менше, ніж при конвективному сушінні.

Гібридні процеси в електродинамічних системах мають загальні фізичні закономірності. Розглянемо теоретичні основи гібридних процесів транспортування та масопереносу.

Технічна ідея формування гібридного процесу базується на специфічному характері градієнтів температури та вологовмісту в продукті при об'ємному, електромагнітному підведенні енергії (рис. 4).

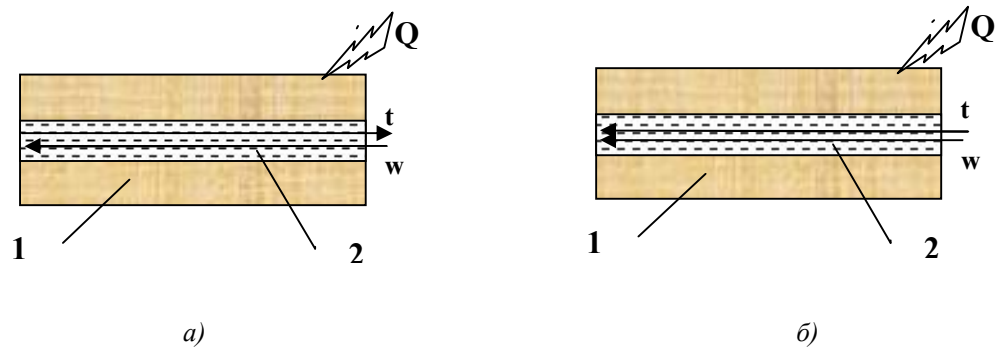


Рис. 4 – Градієнти температур (t) і вологовмістів (w) при традиційному сушінні (а) та гібридних процесах дегідратації (б).

Для аналізу залучимо I закон термодинаміки, по якому вся підведена енергія (Q) витрачається на підвищення внутрішньої енергії (U) та здійснення роботи (A).

$$Q = \Delta U_T + A_T \quad (1)$$

Зміна внутрішньої енергії пропорційна об'єму продукту (V), його щільності (ρ) і різниці ентальпій в кінці (i_K) та на початку процесу (i_H).

$$\Delta U_T = V \rho (i_K - i_H) \quad (2)$$

Індекс (T) в рівняннях (1 і 2) відповідає традиційним процесам, де робота не здійснюється ($A_T = 0$). У випадку інноваційного, гібридного процесу (індекс I).

$$Q = \Delta U_I + A_I \quad (3)$$

Відмінності як в характері джерела енергії $Q = \eta N_E$, потужності магнетрону (N) та його ККД (η), так і в розподілі потоку енергії. Частка його витрачається на підвищення внутрішньої енергії (2), а частка на здійснення роботи.

$$A_I = FL = \frac{\Delta P}{S} L \quad (4)$$

Величина роботи пропорційна силі, що діє на рідину (F) та довжині її транспортування (L). Сила (F) визначається зміною тиску в капілярі (ΔP)

$$\Delta P = \frac{\rho w^2}{2} \left[\frac{\lambda l}{d} + \sum \xi \right] + \rho g l + \frac{\sigma}{d} \quad (5)$$

Відоме рівняння гідравліки доповнено останнім додатком, який враховує сили поверхневого натягу, через коефіцієнт поверхневого натягу (σ) та діаметр капіляру (d) (5). Результируюча цих сил визначить швидкість потоку. З урахуванням сил поверхневого натягу, що характерно для мікро капілярів, значення різниці тисків в капілярі (ΔP) визначається швидкістю руху рідини (w), її щільністю (ρ), сумою місцевих опорів (ξ), силами поверхневого натягу (σ).

Добуток при множенні ΔP на величину об'єму рідини (V), що транспортується, дасть необхідну для реалізації гібридного процесу енергію. Тобто, значення енергії, яка необхідна при механічному впливі на рідину для формування бародифузійного, механодифузійного чи пародинамічного потоку. Значення ΔP визначається потужністю електромагнітного поля й електрофізичними параметрами рідини в капілярі. Саме потужністю МХ поля можна управляти гібридним процесом.

Завдяки гібридним процесам вдалось запропонувати безвідходну технологію переробки зерен кави (рис. 5). Після традиційних операцій смаження, помелу та екстрагування, екстракт подається на другу ступень у МХ апарат, де його концентрація зростає вдвічі. Шлам поступово обробляється у МХ екстракторах, де вилучається кофеїн та кофеоль. Із знежиреного шламу в екструдері формуються паливні пелети.

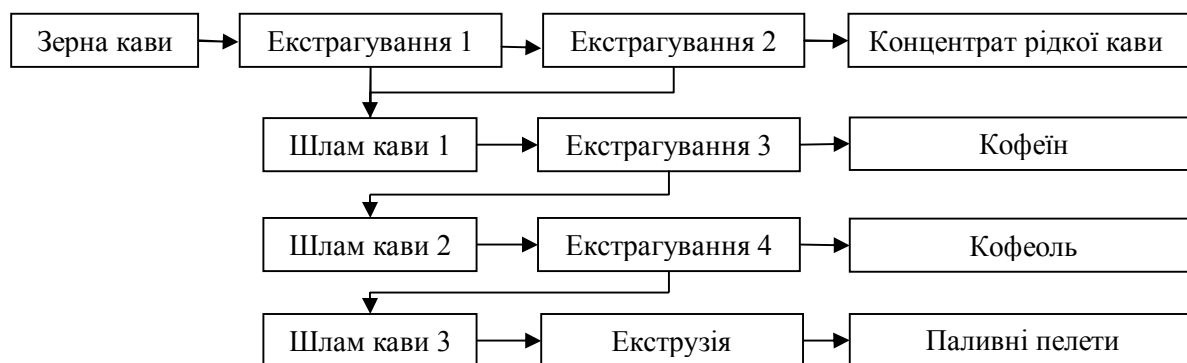


Рис. 5 – Схема безвідходної переробки зерен кави.

Таким чином, без забруднення літосфери здійснено безвідходну технологію: отримано рідкий концентрат кави, кофеїн, олія кави (аналог олії какао) та паливні пелети, теплотворна здатність яких на рівні деревини. Комерційну вартість вилучених за принципами нанотехнологій кофеїну та кавової олії важко переоцінити. Відсутність у технології розпилювальної сушарки дозволяє отримати концентрат кави, який не втратив смакових та функціональних компонентів зерен. Більш за те, в разі зменшуються витрати енергії.

В лабораторних умовах така технологія реалізована.

Висновки. На цей час вже сформульовано та доказано парадигму наноенерготехнологій, наукову концепцію гібридних процесів тепломасоперенесення, які ініціюють ефекти: «пародинамічний», «бародифузійний» та «механодифузійний». Ці концепції є основою системи технологій, які спроможні вирішувати актуальні проблеми сьогодення – переведення харчових виробництв на безвідходні технології. Дозволяють в комплексі вирішувати глобальні проблеми людства – підвищити енергетичну ефективність виробництв, суттєво знизити навантаження на довкілля та отримати резерви повноцінної їжі. Для практичної реалізації технологій розроблено та апробовано унікальне обладнання, яке здійснює процеси адресної доставки енергії. Це конструкції електродинамічних апаратів: дегідраторів та екстракторів. Електродинамічний випарний апарат не має обмежень по кінцевій концентрації готового продукту, від має стабільні параметри по продуктивності випаровування до $(90 - 95)^{\circ}\text{brix}$. У нього відсутні традиційні проблеми теплопередачі. Апробовано апарат для отримання безалкогольного вина, зневоднення морепродуктів. Створено стрічкова ІЧ сушарка, тепломасоутилізатор, піролізер, кріоконцентратор та ін.

Дослідні зразки інноваційних продуктів, що отримано на цьому обладнанні, мають високі смакові показники. Отримано сушені овочі, фрукти (у вигляді чіпсів, слайсів), пасти, рідкий концентрат кави, кріоконцентрати соків, молока, екстрактів, порошок м'яса.

Із відходів харчоконцентратних, консервних, виноробних виробництв отримано фруктову безглютенову муку, паливні пелети. Отримано порошки цибулі, часнику, екологічно безпечний концентрат рідкого диму, олії, концентрат екстракту кофеїну, фруктові есенції, гідролати, бальзами. Отримані на інноваційному обладнанні продукти практично повністю зберігають функціональні властивості сировини, їх виробництво потребує менших витрат енергії, а безвідходні технології доведуть до мінімуму навантаження на довкілля.

Тому, революційні технологічні перетворення доцільно починати тут. Більш за те, саме в цьому напрямку в Україні вже є перспективні напрацювання. А успіхи та досягнення в галузі еко- і наноіндустрії харчових виробництв мають бути ефективним стимулом впровадження інновацій в інших сферах діяльності людства.

References

- Burdo O.H. (2021). Innovatyka enerhotekhnologiy kharchovoyi industriyi v umovakh hlobal'nykh problem lyudstva [Innovation of energy technologies of the food industry in the context of global problems of humanity]. *Scientific Works*, 85(1), 4-14. doi: 10.15673/swonaft.v85i1.2082 [in Ukrainian].
- Burdo O.G. (2005). Nanoscale Effects in Food-production Technologies. *J. Eng. Phys. Thermophys.*, 78(1), 90-96.
- Burdo, O.G. (2013). *Pishchevyie nanoenergotekhnologii [Food nanotechnologies]*. Kherson [in Russian].
- Dolinskiy A.A., Maletskaya K.D. (2011). *Raspylitel'naya sushka [Spray drying]* (Vol. 1). Akademperiodika.
- Dolinskiy A.A., Maletskaya K.D. (2011). *Raspylitel'naya sushka [Spray drying]* (Vol. 2). Akademperiodika.
- Snyezhkin Yu.F., Shapar R.O. (2021). Enerhoefektyvni protsesy sushinnya [Energy-efficient drying process] (Vol. 1).
- Snyezhkin Yu.F., Shapar R.O. (2021). Enerhoefektyvni protsesy sushinnya [Energy-efficient drying process] (Vol. 1).
- Kalinin L.G. (1996). Nauchno-tehnicheskiye aspekty shirokogo primeneniya mikrovolnovykh tekhnologiy. [Scientific and technical aspects of the widespread use of microwave technologies. The status of the issue, prob-

- lems, solutions.] Mikrokhvyl'ovi tekhnolohiyi v narodnomu hospodarstvi: Vprovadzhennya. Problemy. – Odesa: OKFA. 62-68.
9. Burdo O.G., Rybina O.B. (2010). *Protsessy inaktivatsii mikroorganizmov v mikrovolnovom pole.* [Processes of inactivation of microorganisms in the microwave field]. Poligraf.
 10. Burdo O.G., Rybina O.B. (2011). Vliyanie mikrovolnovogo elektromagnitnogo polya na rost mikroorganizmov [Influence of a microwave electromagnetic field on the growth of microorganisms]. *Scientific Works* 39(2), 272-276.
 11. Cherny N.K., Burdo O.H., Naumenko K.I. (2016). Vykorystannya nadvysokochastotnoho vyrominyuvannya pry vydilenni polisakharydiv klitynykh stinok drizhdzhiv [The use of ultrahigh-frequency radiation in the isolation of polysaccharides of yeast cell walls.]. *Food science and Technology*, 10 (2).
 12. Burdo, O.G., Sirotyuk, I.V., Shcherbich, M.V., Akimov A.V., Poyan A.S. (2021). Innovation of Energy Technologies of Food Raw Material Dehydration and Extraction. *Problemele Energeticii Regionale*, 1(49), 86-98. doi: 10.52254/1857-0070.2021.1-49.13
 13. Burdo O.G., Zykov A.V., Terziev S.G., Ruzhitskaya N.V. (2016). The Nanotechnological Innovation in Food Industry. *International Journal of Engineering Research and Applications* 6(3), 144-150.
 14. Burdo O.G., Syrotyuk I.V., Alhury U., Levtrinska J.O. (2018). Microwave Energy as an Intensification Factor in the Heat-Mass Transfer and the Polyextract Formation. *Problemele Energeticii Regionale*, 1(36), 58-71. doi: 10.5281/zenodo.1217259
 15. *Za pyat' let prodazhi sushenykh ovoshchey i fruktov v mire uvelichilis' na 10%* [In five years, sales of dried vegetables and fruits in the world have increased by 10%]. Available at: <https://east-fruit.com/novosti/za-pyat-let-prodazhi-sushenykh-ovoshchey-i-fruktov-v-mire-uvelichilis-na-10/> (14.10.2022).
 16. Horuz E., Bozkurt H., Karataş H., Maskan M. (2017). Effects of Hybrid (Microwave-Convectional) and Convectional Drying on Drying Kinetics, Total Phenolics, Antioxidant Capacity, Vitamin C, Color and Rehydration Capacity of Sour Cherries. *Food Chemistry*, 230, 295-305. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.046
 17. Yildiz G., Izli G. (2019). Influence of Microwave and Microwave-Convectional Drying on the Drying Kinetics and Quality Characteristics of Pomelo. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(6). doi: 10.1111/jfpp.13812
 18. Bahlul N., Balti M., Guellouze M.S., Kechaou N. (2018). Coupling of Microwave Radiations to Convective Drying for Improving Fruit Quality. *IDS'2018: 21st International Drying Symposium*, 699. doi: 10.4995/ids2018.2018.7794
 19. De Faria R. Q., dos Santos A. R. P., Gariepy Y., da Silva E. A. A., Sartori M. M. P., Raghavan V. (2019). Optimization of the Process of Drying of Corn Seeds with the Use of Microwaves. *Drying Technology*, 38(5-6), 676-684. doi: 10.1080/07373937.2019.1686009
 20. Liu H., Liu H., Liu H., Zhang X., Hong Q., Chen W., Zeng X. (2021). Microwave Drying Characteristics and Drying Quality Analysis of Corn in China. *Processes*, 9(9). doi: 10.3390/pr9091511
 21. Zielinska M., Zielinska D., Markowski M. (2018). The Effect of Microwave-Vacuum Pretreatment on the Drying Kinetics, Color and the Content of Bioactive Compounds in Osmo-Microwave-Vacuum Dried Cranberries (*Vaccinium Macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology*, 11(3), 585-602. doi: 10.1007/s11947-017-2034-9
 22. Qu F., Qiu F., Zhu X., Ai Z., Ai Y., Ni D. (2019). Effect of Different Drying Methods on the Sensory Quality and Chemical Components of Black Tea. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 99, 112-118. doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.036

ORGANIZATION OF HYBRID PROCESSES IN THE TASKS OF FOOD TECHNOLOGIES IMPROVEMENT

Burdo O.G., d.t.s., professor, Terziev S.G., d.t.s., associate professor, Burdo A.C., c.t.s., associate professor
Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine

Abstract. The development of the global forecasting model of the "Club of Rome" is presented. The ways of its transfer into the practical plane are analyzed. The expediency of implementing the ideas of the "Club of Rome" in food nanotechnology is substantiated. It is shown that it is there that the problems of energy, ecology, and food can be solved in a complex manner. The main scientific results of the work are models of hybrid processes. Their place in the classification of address energy delivery technologies developed by the authors is emphasized. The capabilities of electrodynamic systems and devices are analyzed. A comparison of the efficiency of high-frequency, infrared, and microwave energy sources was made. The revolutionary perspective of microwave energy sources is shown. The classification of hybrid processes, the conditions for their initiation of barodiffusion, mechanodiffusion and vapordynamic flows are given. Physical and thermodynamic models are given, which substantiate the issue of the possibility of carrying out work and transporting liquid from the volume of a solid capillary-porous body. And these are new opportunities for significant intensification of mass exchange processes. An analysis of the effectiveness of

hybrid processes in the tasks of dehydration and extraction is given. The main practical result of the work lies in the possibility of the food industry transition to technologies of raw material deep processing and waste-free technologies under the conditions of nanotechnological principles application and hybrid processes organization. The scheme for processing coffee beans and obtaining a liquid coffee concentrate, extracting caffeine, coffee oil and fuel pellets from the sludge is presented. This technology has been implemented in the laboratory. Examples of food raw material processing based on address energy delivery technologies are presented.

Keywords: food nanotechnologies, electrodynamic microwave apparatuses, heat and mass transfer, global forecasting models, hybrid processes, dehydration, extraction.

Список використаної літератури

1. Бурдо О.Г. (2021). Інноватика енерготехнологій харчової індустрії в умовах глобальних проблем людства. Scientific Works, 85(1), 4-14. doi: 10.15673/swonaft.v85i1.2082
2. Burdo O.G. (). Nanoscale Effects in Food-production Technologies. J. Eng. Phys. Thermophys., 78(1), . – pp. 90-96.
3. Бурдо О.Г. Пищевые наноэнерготехнологии. Херсон, 2013.
4. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка (Т. 1). Академперіодика, 2011
5. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка (Т. 2). Академперіодика, 2015.
6. Снежкін Ю.Ф. (Ред.), Шапар Р.О. (Ред.). (2021). Енергоефективні процеси сушіння (Т. 1).
7. Снежкін Ю.Ф. (Ред.), Шапар Р.О. (Ред.). (2021). Енергоефективні процеси сушіння (Т. 2).
8. Калинин Л.Г. (1996). Научно-технические аспекты широкого применения микроволновых технологий. Состояние вопроса, проблемы, решения. Мікрохвильові технології в народному господарстві: Впровадження. Проблеми. – Одеса: ОКФА. 62-68.
9. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. (2010). Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле. Полиграф.
10. Бурдо О.Г. Рыбина О.Б. (2011). Влияние микроволнового электромагнитного поля на рост микроорганизмов. Наукові праці ОНАХТ, 39(2), 272-276.
11. Черно Н.К., Бурдо О.Г., Науменко К.І. (2016). Використання надвисокочастотного випромінювання при виділенні полісахаридів клітинних стінок дріжджів. Харчова наука та технологія, 10(2).
12. Burdo, O.G., Sirotiyuk, I.V., Shcherbich, M.V., Akimov A.V., Poyan A.S. (2021). Innovation of Energy Technologies of Food Raw Material Dehydration and Extraction. Problemele Energeticii Regionale, 1(49), 86-98. doi: 10.52254/1857-0070.2021.1-49.13
13. Burdo O.G., Zykov A.V., Terziev S.G., Ruzhitskaya N.V. (2016). The Nanotechnological Innovation in Food Industry. International Journal of Engineering Research and Applications 6(3), 144-150.
14. Burdo O.G., Syrotiyuk I.V., Alhury U., Levtrinska J.O. (2018). Microwave Energy as an Intensification Factor in the Heat-Mass Transfer and the Polyextract Formation. Problemele Energeticii Regionale, 1(36), 58-71. doi: 10.5281/zenodo.1217259
15. Електронний ресурс: <https://east-fruit.com/novosti/za-pyat-let-prodazhi-sushenykh-ovoshchey-i-fruktoy-v-mire-uvlechilis-na-10/> (Дата звернення: 14.10.2022).
16. Horuz E., Bozkurt H., Karataş H., Maskan M. (2017). Effects of Hybrid (Microwave-Convectional) and Convectional Drying on Drying Kinetics, Total Phenolics, Antioxidant Capacity, Vitamin C, Color and Rehydration Capacity of Sour Cherries. Food Chemistry, 230, 295-305. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.046
17. Yildiz G., Izli G. (2019). Influence of Microwave and Microwave-Convectional Drying on the Drying Kinetics and Quality Characteristics of Pomelo. Journal of Food Processing and Preservation, 43(6). doi: 10.1111/jfpp.13812
18. Bahlul N., Balti M., Guellouze M.S., Kechaou N. (2018). Coupling of Microwave Radiations to Convective Drying for Improving Fruit Quality. IDS'2018: 21st International Drying Symposium, 699. doi: 10.4995/ids2018.2018.7794
19. De Faria R. Q., dos Santos A. R. P., Gariepy Y., da Silva E. A. A., Sartori M. M. P., Raghavan V. (2019). Optimization of the Process of Drying of Corn Seeds with the Use of Microwaves. Drying Technology, 38(5-6), 676-684. doi: 10.1080/07373937.2019.1686009
20. Liu H., Liu H., Liu H., Zhang X., Hong Q., Chen W., Zeng X. (2021). Microwave Drying Characteristics and Drying Quality Analysis of Corn in China. Processes, 9(9). doi: 10.3390/pr9091511
21. Zielinska M., Zielinska D., Markowski M. (2018). The Effect of Microwave-Vacuum Pretreatment on the Drying Kinetics, Color and the Content of Bioactive Compounds in Osmo-Microwave-Vacuum Dried Cranberries (Vaccinium Macrocarpon). Food and Bioprocess Technology, 11(3), 585-602. doi: 10.1007/s11947-017-2034-9
22. Qu F., Qiu F., Zhu X., Ai Z., Ai Y., Ni D. (2019). Effect of Different Drying Methods on the Sensory Quality and Chemical Components of Black Tea. Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie, 99, 112-118. doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.036

Отримано в редакцію 17.06.2022

Прийнято до друку 26.09.2022

Received 17.06.2022

Approved 26.09.2022