

УДК 66.063

ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИХ АПАРАТІВ В ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Колобашкін Л.В., Семінський О.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У роботі підтверджено перспективність промислового впровадження роторно-пульсаційних апаратів. Проаналізовані варіанти їх застосування у сучасних інноваційних технологіях. Встановлені переваги використання та деякі особливості роботи роторно-пульсаційних апаратів у виробничих умовах. Визначені тенденції апаратного оформлення виробництв з використанням обладнання цього типу. Зазначені можливі напрями вдосконалення технологій.

Ключові слова: виробництво, інновація, ефективність, роторно-пульсаційний апарат, технологія.

Постановка проблеми. Роторно-пульсаційні апарати (РПА) – високоефективні компактні універсальні апарати, що поєднують функції диспергатора, гомогенізатора, насоса, і призначені для приготування однорідних суспензій та емульсій (у тому числі із високим вмістом дисперсної складової), інших комплексних рідинних систем із компонентів, що важко змішуються, а також для інтенсифікації гідромеханічних та тепло- і масообмінних процесів.

Технологічна досконалість РПА зумовлена тим, що при обробці рідке гетерогенне середовище піддається багатофакторному впливу: механічний вплив елементів конструкції, зсувні напруження та зрізаючі зусилля у зазорах між робочими органами, акустична і гідродинамічна кавітація, гідравлічні удари і турбулентні пульсації, пульсації тисків в локальних об'ємах рідини при пульсаціях та зхлопуванні кавітаційних бульбашок, кумулятивний вплив, все це дає змогу значно інтенсифікувати хіміко-технологічні процеси і досягнути великих значень щільності гідродинамічної та гідроакустичної енергії [1].

Переваги РПА зумовлюють постійне вдосконалення їх конструкцій та знаходження нових шляхів застосування, що відкриває подаль-

ші перспективи для впровадження цього типу апаратів як складових інноваційних технологій і прогресивних виробництв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. РПА широко застосовуються у промисловості, насамперед, у харчовій, фармацевтичній, хімічній галузях, сільському господарстві, виробництві будівельних матеріалів. Впровадження РПА у промислових технологіях дозволяє значно скоротити тривалість виробничого циклу, кількість операцій та використаного обладнання, підвищити якість продукції та вихід цільових компонентів. У деяких випадках використання РПА дозволяє зменшити частку дефіцитних або дорогих компонентів в оброблюваних продуктах або замінити їх менш дефіцитними та недорогими складовими [2].

Питанням промислового застосування РПА приділено увагу в [1; 2; 3; 4], де розглянуто конструкції таких апаратів, варіанти їх компонування у технологічних лініях, приклади роботи у реальних виробництвах. Проте, наведені у цих джерелах відомості розкривають особливості діючих тривалий час виробництв і не відображають сучасного стану розвитку технологій з використанням РПА.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Сталий розвиток технологій з використанням РПА вимагає проведення огляду новітніх розробок з виявленням тенденцій вдосконалення у цьому напрямі. Особливої уваги потребують дані щодо промислового застосування РПА в останні 10-15 років та їх порівняння з результатами проведених раніше впроваджень, оскільки відзначається недостатня кількість таких відомостей. Особливий інтерес викликає аналіз компонування РПА в технологічних лініях і оцінка можливостей підвищення ефективності виробництва.

Мета статті. Мета дослідження полягає у аналізі і систематизації інформації щодо застосування роторно-пульсаційних апаратів у сучасних інноваційних технологіях.

Виклад основного матеріалу дослідження. При виготовленні агрохімікатів традиційно застосовують різні типи перемішувачів пристроїв, що не забезпечують повною мірою якісне емульгування та диспергування рідких добрив. Заміна апаратів з перемішувачами пристроями на РПА дозволяє отримати високу якість продукту при мінімальних енергетичних, фінансових і матеріальних витратах.

За результатами дослідження [5] встановлено, що за оптимальних параметрів роботи РПА (зазор між ротором і статором – 0,27...0,29 мм, частота обертання ротора – 2200 об/хв., швидкість зсуву потоку (3,1...4,1) 10⁵ с⁻¹) зменшується час обробки компонентів, необхідний для забезпечення заданої гомогенності продукту, та на 18...28% скорочуються витрати енергії.

Агрохімікати виготовлені з використанням РПА дозволяють істотно підвищити врожайність і якість зерна озимої пшениці: приріст валової продукції щорік в середньому склав 3,3%; збільшився вміст клейковини в зерні озимої пшениці до 31,4%; збільшився вміст білка до 14,8%.

Використання РПА при виготовленні комбікормів для тварин дозволяє отримати безвідходні, високоякісні, легкозасвоювані кормові суміші з дрібнодисперсною однорідною структурою з розміром частинок менше 500 мкм, що збільшує засвоюваність суміші на 17%, порівняно із засвоюваністю сухих кормів. Схема приготування комбікормів на основі зерноовочевих сумішей наведена на (рис. 1). Технологія виробництва передбачає попереднє подрібнення складових сумішей до розміру частинок 1...5 мм, їх подачу у завантажувальний бункер і додавання води, циркуляційну багатоциклову обробку в РПА, що включає насосну ступінь і пульсаційний вузол, до утворення продукту заданої якості. Перевагою застосування технологій виготовлення кормів на базі РПА є збереження корисних поживних речовин у кінцевому продукті, а також підвищення продуктивності на 10...15% при зменшенні на 15...18% енерговитрат, у порівнянні з існуючими технологіями [6].

Застосування РПА в технології бродильного виробництва при виготовленні спирту з крохмальовмісної сировини дозволяє скоротити тривалість процесу з 72 до 40 годин, збільшити міцність бражки від 9,0% до 10,4%, зменшити витрати електроенергії а також покращити на 20...30% фізико-хімічні показники бражки за ра-

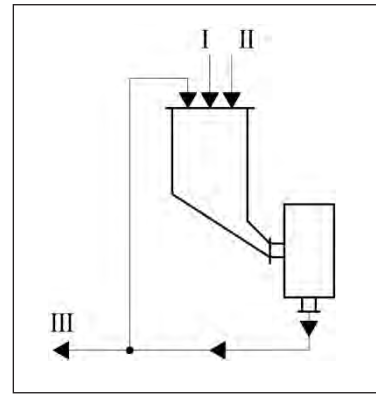


Рис. 1. Схема приготування комбікормів:
1 – завантажувальний бункер; 2 – РПА;
I – вода; II – сировина; III – продукт.

хунок суттєвого збільшення поверхні контакту між активними центрами ферментів дріжджів та субстратом, що у свою чергу дає можливість збільшити вихід спирту з одиниці сировини [7].

Використання РПА при дріжджовому виробництві (рис. 2) на стадії змішування та культивування мікроорганізмів забезпечує збільшення коефіцієнта дифузії, поверхні контакту фаз та рушійної сили процесу, що сприяє збільшенню швидкості розчинення кисню та швидкому транспортуванню його та інших поживних речовин в дріжджову клітину. Це призводить до підвищення питомої швидкості росту дріжджів на 35...45% та збільшенню їх біомаси і виходу готової продукції з одиниці сировини. Виробництво може проводитись як у режимі безперервної рециркуляції за визначену кількість циклів, так із зупинками або в проточному режимі за один прохід [8].

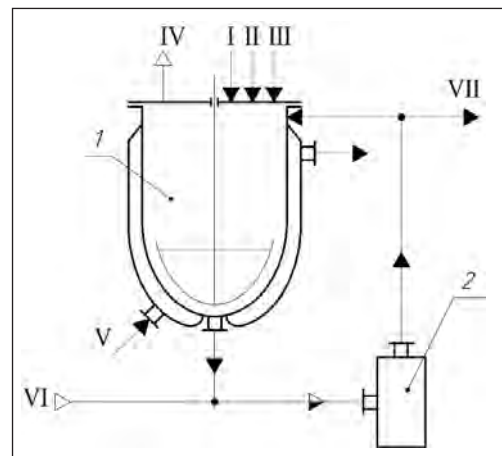


Рис. 2. Схема дріжджових виробництв:
1 – перемішувач; 2 – РПА; I – водний розчин солей і кислот; II – меласне сусло;
III – дріжджова суспензія; IV – вуглекислий газ;
V – технологічна вода; VI – повітря; VII – продукт.

Використання РПА для активації дріжджів у хлібопекарському виробництві збільшує їх підйомну силу на 12...14% і тим самим на цю ж величину знижує їх масову долю при випуску одиниці готової продукції, що дозволяє знизити собівартість продукту [9].

Застосування РПА у технологічних схемах спиртових виробництв для виготовлення суспен-

зій сула на стадії тонкого подрібнення зерна та змішування з водою (рис. 3) дозволяє знизити витрати енергії на 30%, скоротити тривалість процесу у двічі, зменшити втрати при збродженні з 8...10% до 2...4%, у порівнянні з традиційними схемами. Подрібнення в РПА дозволяє отримати частинки з розмірами менше ніж 250 мкм, що збільшує вихід спирту в залежності від виду зерна на 2...5%, це пояснюється тим, що при тонкому диспергуванні зерна піддаються деструкції некрохмальні полісахариди з утворенням зброджуючих сахаридів, за рахунок чого різко збільшується вихід спирту. Отриманий розмір частинок також дозволяє знизити температуру при розварюванні на 10 °С, що в свою чергу призводить до зменшення витрати пари [10].

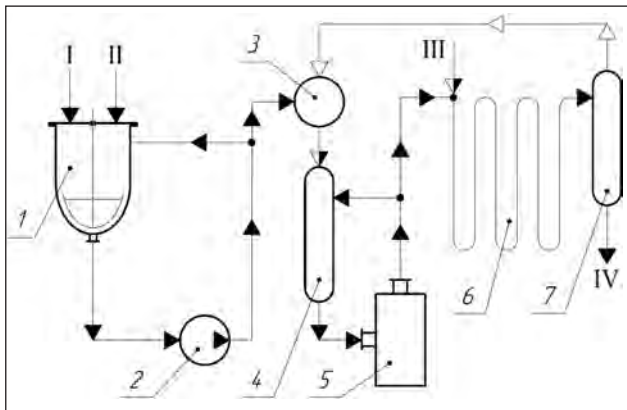


Рис. 3. Схема спиртового виробництва:

1 - завантажувальний бункер; 2 - плунжерний насос; 3 - парові контактні головки; 4 - розширювач; 5 - РПА; 6 - пропарювач; 7 - витримувач паросепаратор; I - вода; II - сировина; III - пара; IV - продукт.

Виготовлення згущеного молока на установці, до складу якої входить РПА (рис. 4) дозволяє скоротити тривалість процесу на 35...40%, поліпшити технологічні показники, збільшити тривалість зберігання продукту з 12 до 16 місяців, знизити енерговитрати на 15...17%. Оптимальні параметри роботи РПА у режимі рециркуляції - частота обертання ротора 46...50 с⁻¹, швидкість зсуву потоку суміші (100...400) 10³ л/с, частота імпульсів прискорень і тисків 10...20 кГц. розрідження (2,5...5,5)·10⁴ Па. Середній розмір кристалів лактози при обробці в РПА не перевищує 7 мкм, а розмір жирних кульок - 1,5...2 мкм, тоді як при використанні інших технологій приготування ці розміри на 30...35% більші. Це дозволяє отримати однорідну, гомогенну нероздільну емульсію (напівфабрикат для виготовлення згущеного молока). Для отримання однорідної суміші, що в подальшому з часом не розділяється на компоненти потрібно 15...17 циклів [11].

Використання РПА у лінії приготування майонезу (рис. 5) для гомогенізації емульсії дозволяє підвищити зручність в експлуатації та надійність, компактність робочих модулів, знизити енерговитрати на виробництво продукту та покращити його якість. Вказана лінія відрізняється універсальністю і за допомогою доведення окремих робочих модулів легко переналаштовується для виготовлення кетчупу або ягідного пюре. Використання

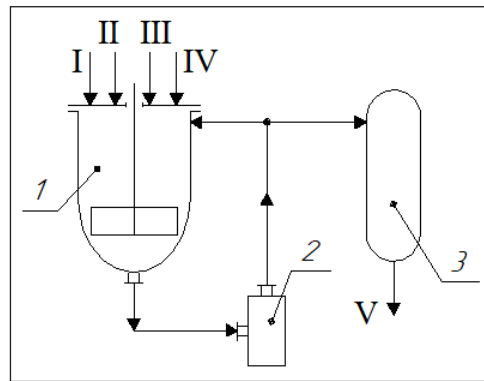


Рис. 4. Схема установки для виготовлення згущеного молока з використання РПА:

1 - купаажний апарат; 2 - РПА; 3 - збірник готового продукту; I - інші складові; II - цукор; III - кондитерський жир; IV - сухе молоко; V - продукт на пастеризацію.

вакуумного приготування майонезу дає декілька переваг, таких як, введення в продукт соняшникової олії тонкою цівкою через циркуляційний канал, що з'єднує РПА та перемішувач, що дозволяє скоротити час приготування продукту та забезпечити отримання стійкої емульсії [12].

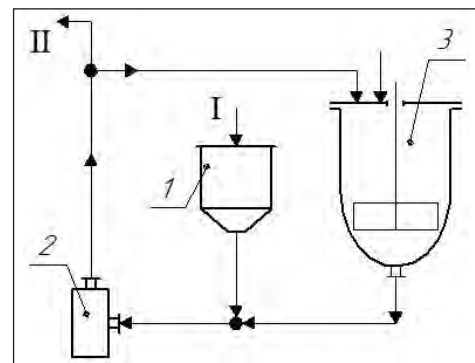


Рис. 5. Схема виготовлення ягідного пюре, кетчупу та майонезу:

1 - завантажувальний пристрій; 2 - РПА; 3 - апарат з перемішувачим пристроєм; I - вихідні компоненти; II - продукт.

Для інтенсифікації екстрагування цільових компонентів з різних видів рослинної сировини в технологічних лініях використовують РПА, оскільки вони забезпечують високу швидкість вилучення цільового компонента, подрібнення сировини та можливість проведення процесу при більш низькій температурі. Важливою умовою для інтенсифікації процесу екстракції в схемах з РПА є подрібнення частинок крупних фракцій сировини. Для підвищення ефективності подрібнення рослинної сировини та найбільш повного вилучення цільового компонента за мінімальний проміжок часу необхідно використовувати багаторівнісну РПА. У більшості випадків для проведення екстрагування застосовують технологічні схеми із зовнішньою циркуляцією оброблюваного середовища через РПА, замкнений на ємкість або апарат з перемішувачим пристроєм [13].

Виготовлення пастоподібних сирів з використанням РПА передбачає застосування двостадійного виробничого циклу: на першій стадії готується знежирена емульсія з сухих інгредієнтів

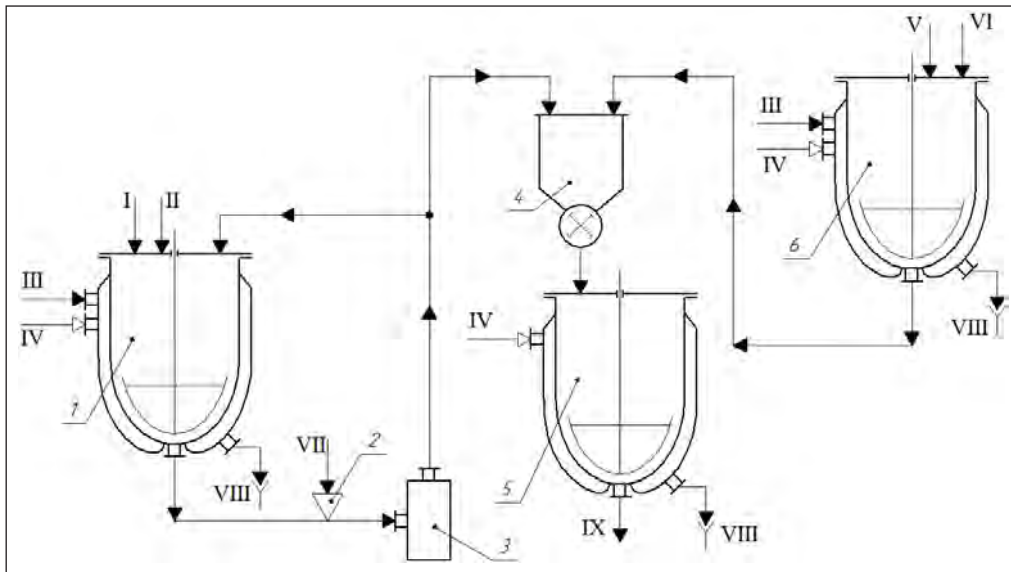


Рис. 6. Схема виготовлення сирів:

1, 6 – бункер довготривалої пастеризації с перемішуючим пристроєм та гідроконтуром; 2 – воронка для загрузки сухих компонентів; 3 – РПА; 4 – дозуючий бункер; 5 – сироплавник; I – сухі компоненти; II – вода живильна; III – вода холодна; IV – гостра пара; V – твердий жир; VI – розплавлений жир або вершкове масло; VII – додаткові сухі інгредієнти; VIII – вода технічна; IX – готовий продукт.

і води, на другій стадії додається твердий або розплавлений жир або вершкове масло і формується сирна емульсія. Лінія, у якій втілено такий спосіб виробництва (рис. 6) відрізняється простотою, легкістю обслуговування та достатньо високою продуктивністю. Тривалість одного виробничого циклу складає 5...10 хвилин [14].

Установка для обробки сиру на базі РПА (рис. 7) дозволяє покращити однорідність готового продукту при одночасному зменшенні часу обробки, позбавитись проблем пов'язаних з перекиданням згустку. Закритий тип обробки в РПА дозволяє мінімізувати піноутворення. Розігрівання сиру в РПА, що відбувається внаслідок дисипації підведеної енергії дозволяє проводити подрібнення нерозмороженого сиру, тим самим значно скорочуючи час розморожування і підвищуючи якість продукту. Установка відрізняється малою металемністю і габаритами, а також простотою технологічного і санітарного обслуговування, у порівнянні з обладнанням аналогічного призначення [15].

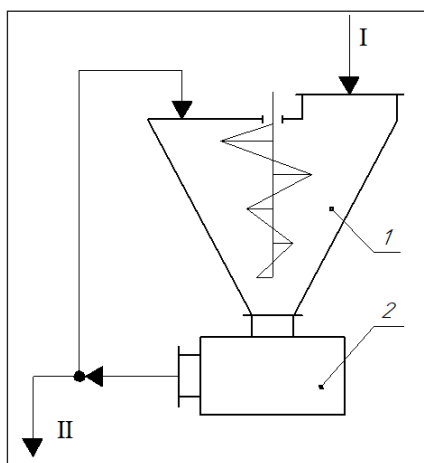


Рис. 7. Схема установки для виробництва сирної маси:
1 – бункер-живильник; 2 – РПА;
I – необроблений сир; II – сирна маса.

Технологія виготовлення водо-вугільного палива за схемою, наведеною на (рис. 8), передбачає попереднє подрібнення вугілля у молотковому млині до розмірів частинок 3...5 мм, їх змішування з водою та спільну обробку у РПА у циркуляційному режимі з прокачуванням через апарат з перемішувальним пристроєм [16].

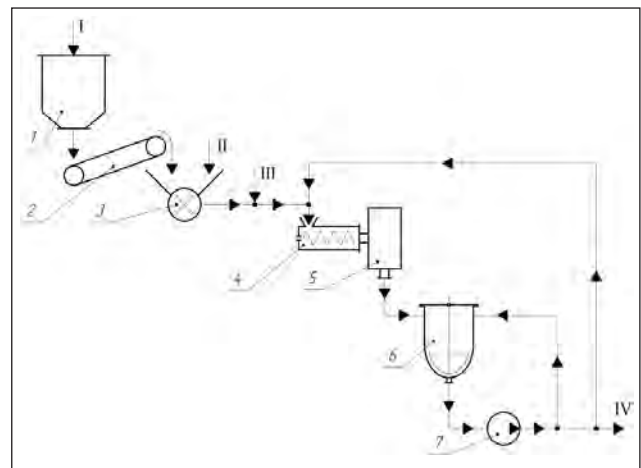


Рис. 8. Схема виготовлення водо-вугільних палив:

1 – завантажувальний бункер; 2 – конвеєр;
3 – молотковий млин; 4 – шнековий живильник;
5 – РПА; 6 – перемішуючий пристрій;
7 – насос подачі палива; I – вугілля;
II – стиснене повітря; III – вода; IV – продукт.

Використання РПА для тонкого подрібнення твердих частинок з утворенням стабільної суспензії дозволяє отримати однорідну по консистенції та стійку при зберіганні суміш з часткою вологи 30...35% (мас.) та калорійністю до 17...20 МДж/кг.

Вказана технологія дає можливість виготовляти водо-вугільне паливо без використання присадок або подрібнення у декількох послідовно

встановлених дезінтеграторах. При цьому забезпечується середній розмір частинок до 10 мкм та стабільність паливної суміші – більше 24 годин при виготовленні без використання присадок.

Використання РПА в технологічних схемах виготовлення біодизельного палива (рис. 9) дозволяє ефективно проводити перемішування компонентів та інтенсифікувати процес переетерифікації без значних витрат енергії та часу на виготовлення палива, що зумовлене безперервним протіканням виробничого циклу. Обробка та змішування в РПА забезпечує дроблення капель рідини та їх гомогенізацію, що дозволяє отримати емульсії з розміром капель 3...8 мкм [17].

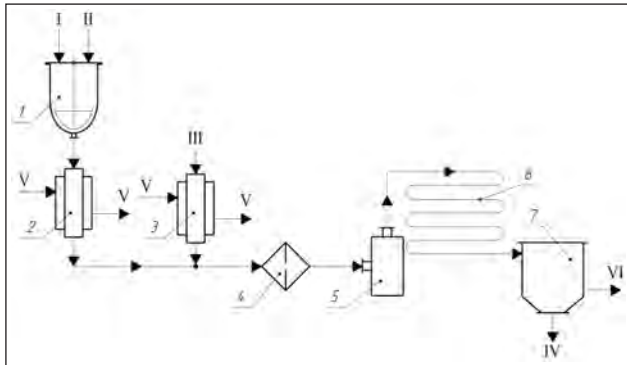


Рис. 9. Схема виробництва біодизельного палива:
1 – реактор змішувач; 2, 3 – підігрівачі; 4 – фільтр;
5 – РПА; 6 – трубчастий реактор; 7 – відстійник;
I – спирт; II – каталізатор; III – олія; IV – гліцерин;
V – теплоносії; VI – біопаливо.

Застосування установок, створених на базі РПА при одержанні емульсійних мастил (рис. 10) дозволяє підвищити продуктивність виробництва, виготовляти в одному апараті прями та зворотні емульсії, що зберігають стабільність протягом 3...6 місяців, знизити в'язкість і наносити мастило більш тонким шаром [18].

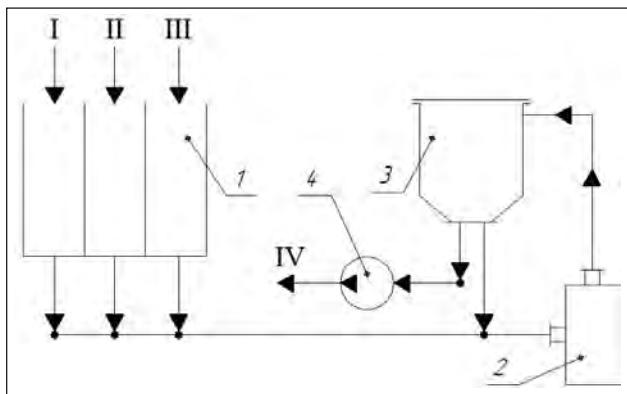


Рис. 10. Схема виробництва емульсійних мастил:
1 – дозуюча ємність; 2 – РПА; 3 – циркуляційна ємність; 4 – насос; I, II, III – компоненти емульсії;
IV – продукт.

Для диспергування паперової маси в промисловості застосовуються РПА прохідного типу. При цьому обробка середовища здійснюється за 1...3 проходи. Зміна степеню помелу для довговолокнистої суспензії складає приблизно 1 °ШР за один прохід, а для коротковолокнистих суспензій – 0,2 °ШР за прохід. У промислових умовах

в рамках вдосконалення технології масопідготовчого відділу макулатурної маси використання РПА дозволяє підвищити ступінь диспергування паперової маси, що в свою чергу підвищує однорідність фарбування паперу. РПА встановлюється в потік, після попереднього розпуску макулатури на гідророзбивачах та очищення на центриклинерах, для одночасно перекачування та диспергування макулатурної маси разом з фарбником, що подається по окремому патрубку з дозатором в РПА [19].

Забезпечення технологічної лінії виробництва нітроцелюлози проміжним реактором і РПА, послідовно встановленими між нітратором і центрифугою таким чином, що проміжний реактор з'єднаний з РПА, а РПА з'єднаний з проміжним реактором і центрифугою (рис. 11) дозволяє підвищити питому поверхню частинок нецелюлозних домішок целюлозовмісного матеріалу при його етерифікації з подальшим прискореним хімічним руйнуванням диспергованих частинок домішок при стабілізації і отриманням високоякісної нітроцелюлози [20].

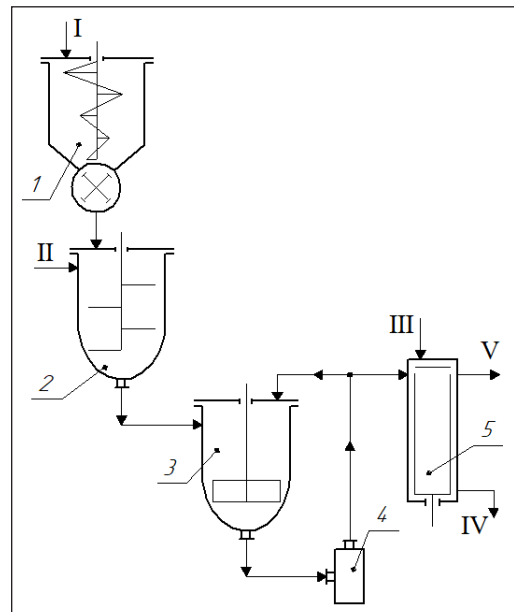


Рис. 11. Схема виробництва високоякісної нітроцелюлози:

1 – бункер дозатор; 2 – нітратор; 3 – проміжний реактор; 4 – РПА; 5 – центрифуга; I – целюлозовмісний матеріал; II – нітросуміш; III – транспортна кислота; IV – нітроцелюлоза; V – вугат.

Створення на базі РПА установок для виробництва будівельних матеріалів (пінобетону) дозволяє проводити механічну активацію цементно-піщаного розчину та готової пінобетонної суміші в одному апараті. Варіант такої установки, зображений схематично на (рис. 12). Технологія виробництва пінобетону з її застосуванням передбачає подачу до герметичного бункера води і її циркуляцію у контурі «бункер-РПА» під дією перепаду тиску, що створює РПА; дозування у бункер цементу і піску з утворенням у циркуляційному контурі їх суміші з водою та її механічну активацію; приготування піни і її додавання до суміші; поризацію піною суміші в умовах їх багаторазового пропускання через РПА; відливання пінобетону у формуючі пристрої.

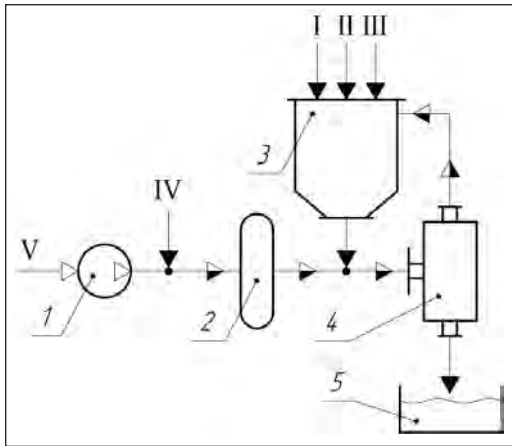


Рис. 12. Схема виробництва пінобетону:

1 – компресор; 2 – піногенератор; 3 – герметичний бункер; 4 – РПА; 5 – форм; I – вода; II – цемент; III – пісок; IV – піноутворювач; V – повітря.

Установка забезпечує підвищення продуктивності на 10...15%, покращення якості готового продукту, зниження витрат цементу та часу на отримання суміші при виготовленні пінобетону заданої щільності, здійснення транспортування суміші на відстань до зони заливки без використання допоміжного обладнання. При використанні цієї технологічної схеми значно (на 15...20%) зменшується витрата в'язучих речовин, що значно зменшує собівартість продукту. Крім того, виробництво пінобетону за такою схемою дозволяє зменшити кількість обладнання, а отже металоємність та енерговитрати, що також позитивно впливає на собівартість продукції [21].

Дослідження [22; 23] свідчать про те, що механоактивація цементно-водної суспензії в РПА призводить до збільшення міцності бетонних виробів, що пояснюється потраплянням у водне середовище великої кількості штучних зародків кристалізації, що утворюються при руйнуванні мікрочастинок (у тому числі цементу). Це дозволяє пришвидшити процеси структуроутворення за рахунок прискорення кристалізації.

Використання РПА у лінії приготування модифікованого колоїдного цементного клею (рис. 13) дозволяє турбулізувати потік та додатково задіяти віброактивацію, що інтенсифікує диспергування частинок і прискорює їх гідратацію. Параметри роботи апарату: тиск 0,5...1 МПа, частота обертання ротора 1200 об/хв. [24].

Висновки за результатами дослідження. За результатами проведеного дослідження встановлено, що РПА посідають провідні позиції серед перспективних видів обладнання для створення новітніх виробництв, чому сприяє поєднання їх високої ефективності з рядом важливих для промислової експлуатації факторів, серед яких: невисока вартість апаратів, простота конструкції і обслуговування, низькі експлуатаційні витрати. Ці апарати легко вписуються в існуючі комунікації, що збільшує їх привабливість при виборі обладнання для модернізації технологічних ліній на діючих підприємствах. Особливої уваги заслуговує можливість організації малих підприємств з використанням компактних установок на базі РПА. Такі рішення потенційно цікаві для малого і середнього бізнесу, і можуть сприяти розвитку регіональних виробників.

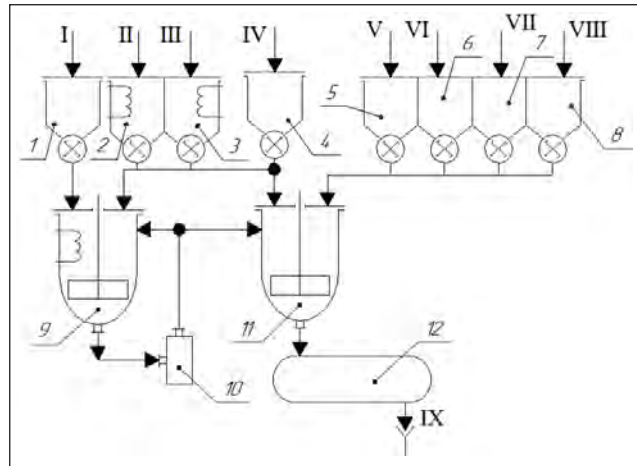


Рис. 13. Схема виготовлення модифікованого колоїдного цементного клею:

1 – бункер цементу; 2, 3, 4 – термоємності соапстока, лігносульфанатів, води; 5, 6, 7, 8 – емкості водного розчину прискорювача твердіння, волластоніту, трегера, дрібного заповнювача; 9 – емкість з підігрівом та перемішувачем; 10 – РПА; 11 – перемішувач; 12 – збірник готового продукту; I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII – компоненти цементного клею; IX – готовий продукт.

Аналіз результатів проведеного дослідження дає можливість визначити такі тенденції у застосуванні РПА в сучасних технологіях:

1. Продовжується пошук нових варіантів застосування РПА у харчовій промисловості та целюлозно-паперовому виробництві, активізуються розробки з використанням РПА в енергетиці та агропромисловому комплексі, розвиваються технології виробництва будівельних матеріалів.

2. Зростає кількість розробок, спрямована на створення компактних установок на базі РПА у різних галузях виробництва.

3. В апаратному оформленні технологічних процесів спостерігається відмова від РПА зануреного типу, що забезпечують внутрішню циркуляцію оброблюваного середовища через робочі органи пульсаційного вузла встановленого всередині емкостного обладнання. Апарати такої конструкції не використано у жодній з розглянутих схем виробництва.

Натомість слід відзначити поширення використання РПА проточного типу, встановлених у зовнішньому циркуляційному контурі, і працюючих на емкисний апарат, який у може бути оснащений перемішувальним пристроєм (як у схемах на рис. 2-6, 10-13), або ж навіть працюючих «на себе» (наприклад, схеми на рис. 1, 7).

4. Потенціал циркуляційних схем залишається не повністю задіяним. Так, не використовується схема рециркуляції з послідовним перевантаженням оброблюваного середовища через РПА у один з двох емкисних апаратів, що дозволяє досягти більш високої якості обробки, порівняно з циркуляцією на емкисний апарат, завдяки строго визначеній кратності циркуляції середовища через РПА. Робота за такою схемою у деяких випадках дозволила б інтенсифікувати масообмінні процеси. Також не використовується схема обробки в РПА з проміжною класифікаці-

єю, що передбачає рециркуляцію оброблюваного середовища з роботою РПА на гідроциклон. Робота за цією схемою відкриває можливості для підвищення ефективності процесів, що проводяться, насамперед, у рідких потоках з твердою дисперсною фазою.

5. Тільки у двох з чотирнадцяти розглянутих технологій, у яких використано РПА проточного типу, організовано роботу апарата на прохід, хоча саме цей режим дозволяє досягти максимальної продуктивності виробництва.

Таким чином в ході дослідження встановлено, що важливим напрямом подальшого розвитку технології є вдосконалення схем включення РПА у технологічні лінії, що дозволить підвищити їх ефективність і забезпечити високу якість продукції. Рациональний вибір конструкцій пульсаційних вузлів та конфігурації робочих органів на основі науково обґрунтованих залежностей і рекомендацій відкриває нові можливості для подальшого розвитку технологій та актуалізує продовження проведення досліджень протікання процесів у РПА.

Список літератури:

1. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.
2. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М.А. Балабудкин. – М.: Медицина, 1983. – 159 с.
3. Технологія лікарських препаратів промислового виробництва: Навчальний посібник / Д.І. Дмитрієвський, Л.І. Богуславська, Л.М. Хохлова та ін.; Ред. Д.І. Дмитрієвський. – Вид. 2-е. – Вінниця: Нова книга, 2008. – 280 с.
4. Чуешов В.И. Промышленная технология лекарств: Учебник в 2-х томах, Том 2 / В.И. Чуешов, М.Ю. Чернов, Л.М. Хохлова и др. – Х.: МТК-Книга; Издательство НФАУ, 2002. – 716 с.
5. Войтюк В.Д. Обоснование применения и параметров роторно-пульсационных аппаратов для приготовления жидких удобрений / В.Д. Войтюк, Ю. А. Борхаленко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 148. – С. 244–249. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_148_40.
6. Ободович А.Н. Совершенствование технологии приготовления жидких комбикормов для сельскохозяйственных животных с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) / А.Н. Ободович, А.Ю. Лымарь, В.В. Сидоренко, И.Н. Миронец, А.С. Бачинский // Науковий вісник НУБІП України. Серія: техніка та енергетика АПК. № 174–2, 2012. – С. 148–153.
7. Ободович А.Н. Дискретно-импульсный ввод энергии для интенсификации биотехнологических процессов в спиртовом и хлебопекарном производстве / А.Н. Ободович, А.И. Чайка, А.Н. Недбайло, А.Ю. Лымарь // Биотехнология. – Т. 4. – № 2, 2011. – С. 68–71.
8. Ободович А.Н. Устройство для оптимизации массообменных процессов за счёт дискретно-импульсного ввода энергии при культивировании микроорганизмов / А.Н. Ободович, С.И. Костик, В.В. Сидоренко // Энергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2014. – № 4(38). – С. 23–26.
9. Ободович А.Н. Дискретно-импульсный ввод энергии в технологии броидильного и хлебопекарного производства / А.Н. Ободович // Вібрації в техніці та технологіях. – 2008. – С. 68–77.
10. Совершенствование технологии приготовления сусле из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии / А.Н. Ободович, Т.Л. Грабова, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т. 29, № 4. – С. 59–63. – Бібліогр.: 5 назв. – рос. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/61267>.
11. Басок Б.И. Интенсификация технологии производства згущеного молока с цукром з використанням роторно-пульсаційних апаратів / Б.И. Басок, А.Н. Ободович, М.П. Мартиненко, А.Р. Коба, О.А. Горячев // Пром. теплотехника. – 2005. – Т. 27. – № 1. – С. 38–41. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://scholar.google.com/scholar_host?q=info:pSe3UbKWZwQJ:scholar.google.com/&hl=ru&as_sdt=0,5&output=viewport&pg=38.
12. Технологічна схема приготування майонезу. [Электронный ресурс] / Компания «Молпромлайн». – Режим доступа: URL: <http://molpromline.ru/katalog/oborudovanie-dlja-proizvodstva-mayoneza/>.
13. Кухленко А.А. Исследование процесса экстракции в установке с роторно-пульсационным аппаратом / Кухленко А.А., Орлов С.Е., Василишин М.С., Макарова Е.И., Будаева В.В. // Ползуновский вестник. – 2013, № 3. С. 248–256. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2013_03/pdf/248kuhlenko.pdf.
14. Бутаков К.А. Производство плавленых сыров на основе сухих ингредиентов. Компания BelKa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.belka-co.com/product/ispolsovanie_cheese.html.
15. Будрик В.Г. Апаратное оформление процесса переработки творога и производства творожных продуктов / Будрик В. Г., Агаркова Е.Ю. / Институт молочной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://vnimi.org/product_info.php?products_id=491.
16. Романцов В.П. Технология приготовления водоугольного топлива (ВУТ) для сжигания его в топках котельных / В.П. Романцов, А.Ю. Петров, В.Л. Ломака, Б.И. Бондаренко, И.Н. Карп, В.А. Великодний, В.С. Пикашов // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – Днепропетровск: НППК "Триакон". – 2011. – Вып. 1(6). – С. 13–15.
17. Долінський А.А. Получение биодизельного топлива и моторных топливных смесей методом направленного дискретно-импульсного влияния / Долінський А.А., Грабов Л.М., Шматок О.І. // Журнал «Промышленная теплотехника». – 2011, Т. 33, № 7, С. 158–159.
18. Эмульсионная смазка. Бетонные и железобетонные работы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://arxipedia.ru/betonnye-i-zhelezobetonnye-raboty/emulsionnaya-smazka-2.html>.
19. Мидуков Н.П. Повышение эффективности процесса диспергирования волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров // ISSN 0536-1036 Известия высших учебных заведений. Лесной журнал – 2008, № 4, С. 117–120. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=821.
20. Пат. № 2299215 С1 Російська Федерація, МПК (2006.01) C08B5/06, C08B17/04. Технологическая линия производства нитроцеллюлозы из целлюлозосодержащего материала. А.В. Сухырев, Р.Н. Яруллин, Ф.Ш. Самигуллин, А.И. Архипов, Н.Х. Гиниятов, М.Г. Тухватуллин, Х.З. Гиниятов, Р.Х. Халиуллин (RU); патенто-

- обладатель – Федеральное казенное предприятие "Казанский государственный казенный пороховой завод" (ФКП КГ КПЗ) (RU) – 2006103326/04, заявл. 06.02.2006; опубл. 20.05.2007 Бюл. № 14.
21. Щербина О.А. Способ и оборудование для производства пенобетонной смеси с использованием механо-активированного вяжущего: дисс. канд. техн. наук: 05.02.13 / Щербина Ольга Александровна. – Белгород, 2014. – 147 с.
 22. Грушко И.М. Влияние обработки цементных суспензий на ускоренное твердение бетонов [Текст] / И.М. Грушко, В.А. Бирюков, И.И. Селиванов, И.Ф. Киселев // Бетон и железобетон. – 1981. – № 3. – С. 38–40.
 23. Солдатенко С.Е. Механохимическая активация малоцентрированных цементно-водных суспензий для интенсификации твердения бетона при тепловой обработке: дисс. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Солдатенко Сергей Евгеньевич. – Харьков, 1990. – 288 с.
 24. Соловьев В.И. Способы изготовления модифицированного коллоидного цементного клея. / Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф. // Карагандинский государственный технический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.rusnauka.com/33_NIEK_2008/Stroitelstvo/36644.doc.htm.

Колобашкин Л.В., Семинский А.О.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ПРИМЕНЕНИЕ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОГО АППАРАТА В ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация

В работе подтверждено перспективность промышленного внедрения роторно-пульсационных аппаратов. Проанализированы варианты их применения в современных инновационных технологиях. Установлены преимущества использования и некоторые особенности работы роторно-пульсационных аппаратов в производственных условиях. Определены тенденции аппаратного оформления производств с использованием оборудования этого типа. Указаны возможные направления совершенствования технологий.

Ключевые слова: производство, инновация, эффективность вакуумные пульсационный аппарат, технология.

Kolobashkin L.V., Seminskyi O.O.

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

APPLICATION OF ROTOR-PULSATING APPLIANCES IN INNOVATION TECHNOLOGIES

Summary

The work confirms the promise of industrial introduction of rotary-pulsating apparatus. The variants of their application in modern innovative technologies are analyzed. The advantages of using and some features of rotor-pulsating apparatus operation in production conditions are established. The trends of hardware design of production using the equipment of this type are determined. The indicated possible directions of technology improvement.

Keywords: production, innovation, efficiency, rotary-pulsation apparatus, technology.