

## РОЗПИЛЮВАЛЬНІ СУШАРКИ В БІОТЕХНОЛОГІЇ



Ю. І. СИДОРОВ

Національний університет «Львівська політехніка»

E-mail: sydorowy@rambler.ru

Отримано 02.09.2011

Проведено техніко-економічний аналіз технологічних процесів розпилювального сушіння, яке застосовують у багатьох галузях промисловості, зокрема в біотехнологічній. Показано, що основним стимулом розвитку є енергозбереження. У результаті еволюції з'явилися двоступеневі сушарки з додатковою стадією розпилювального сушіння за допомогою віброфлюїдизатора (інстантайзера), а також триступеневі — із псевдозрідженим шаром (флюїдне днище). Це дало змогу підняти їх ККД з 54 до 80%. Економічні сушарки, які застосовують у виробництві харчових продуктів, можна використовувати й для одержання багатотоннажних продуктів мікробіологічного синтезу. Головним критерієм використання сушарок для виготовлення фармацевтичних субстанцій є відповідність їх вимогам GMP і наявність валідаційних документів. Такі сушарки випускають багато фірм, провідними з яких є GEA Niro Atomizer і компанія Anhydro (Данія).

**Ключові слова:** розпилювальна сушарка, віброфлюїдизатор, флюїдне днище, біотехнологічна промисловість.

Розпилювальне сушіння, як і ліофільне, є найпоширенішим способом одержання продуктів мікробіологічного синтезу з нативних розчинів, оскільки забезпечує сушіння рідин протягом декількох секунд. Конкретно розпилювальні сушарки застосовують для одержання сухих бактеріальних препаратів, антибіотиків, вакцин та інших продуктів фармацевтичної групи.

Апарати цього типу почали застосовувати ще на початку ХХ ст. для сушіння молока і крові. Принцип їх дії полягає в тонкому розпилюванні розчинів, що підлягають сушінню, за допомогою розпилювальних дисків (атомайзерів — сушарки Краузе) або форсунок (системи Siccaton) за контакту аерозолу з гарячим повітрям у спеціальній камері; одержані тверді частинки зсідають на днище камери і відокремлюються від відпрацьованого вологого повітря. За часів СРСР в країні було налагоджено випуск цих апаратів з об'ємом сушильних камер від 0,9 до 1 500 м<sup>3</sup> з плоскими і конічними днищами, які використовували в різноманітних сферах виробництва: від сушіння молока до сушіння суспензій мінеральних добрив і керамічних прес-порошків. Опис цих апаратів, методи технологічних розрахунків можна знайти, наприклад, у роботах [1–7].

На сьогодні від сушарок 1-го покоління перейшли до досконаліших апаратів 2-го і 3-го покоління, змінилися принципові схеми, тому надання інформації про сучасні типи розпилювальних сушарок, що їх застосовують у біотехнологічній промисловості, вважаємо актуальним завданням.

### Еволюція розвитку технологічного процесу

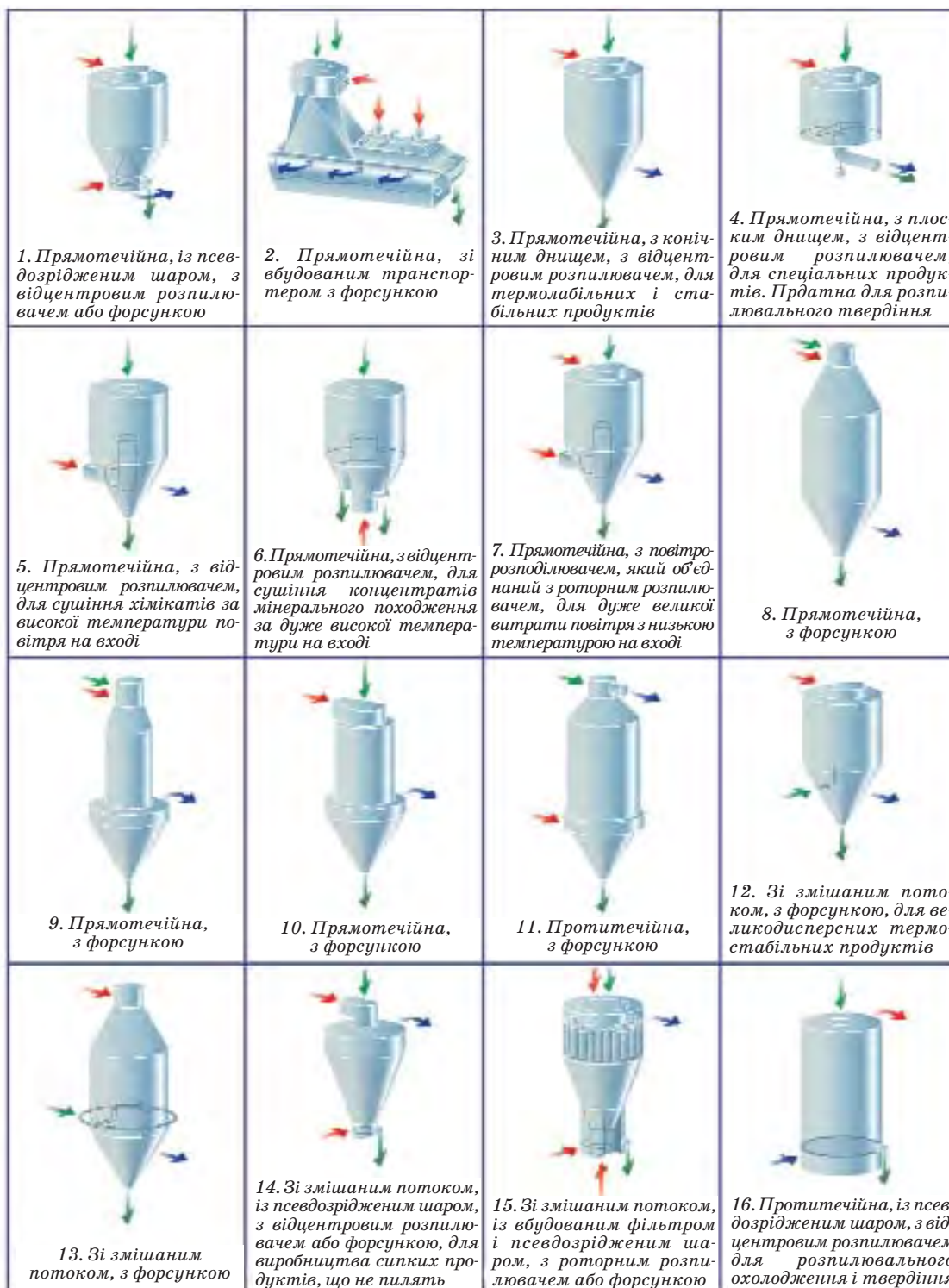
Сушаркам 1-го покоління притаманна низка недоліків. Це стосується:

- конструкційних особливостей сушильних башт, зокрема їх геометричні співвідношення були не оптимальними;
- розподілу технологічного повітря;
- усіх вузлів, що входять до складу установок, таких як розпилювачі, гомогенізатори, шлюзові живильники системи нагрівання і очищення технологічного повітря, арматура, мийні системи, системи контролю і керування.

У середині 60-х років ХХ ст. низка чинників, зокрема зростання цін на енергоносії, спонукала провідні фірми-розробники сушильного устаткування переглянути концепцію всього технологічного процесу сушіння, що, у свою чергу, зумовило необхідність модернізації старого або створення нового устаткування.

Передусім варто звернути увагу на сучасну номенклатуру корпусів (камер) розпилювальних сушарок, яку пропонує світова провідна компанія в цій галузі GEA Niro Atomizer (рис. 1) [8].

Світовий багаторічний досвід показав, що в тих випадках, коли придатні декілька способів розпилювання, насамперед доцільно застосовувати відцентрове дискове. Переваги цього способу полягають у можливості



 Горяче повітря   
  Подача в розпилювач   
  Відпрацьоване повітря   
  Вивантаження порошку

Рис. 1. Типи корпусів сучасних розпилювальних сушарок

оброблення абразивної сировини і суспензій та в простому регулюванні розмірів крапель зміною швидкості обертання диску.

Самі конструкції дисків постійно удосконалюють. На рис. 2 показано сучасні патентовані диски фірми Niro.



Рис. 2. Сучасні розпилювальні диски

Проте сьогодні в біотехнології набуває застосування і ультразвукове розпилювання, яке дає змогу одержувати краплі з діаметром 25 мкм і менше з більш рівномірним розподілом крапель за діаметром [9, 10].

Для збільшення термічного ККД потрібно було передусім знизити температуру повітря, що виводиться із сушарки. За одностадійного процесу це було неможливо, оскільки зростала вологомісткість готового продукту, яка перевищувала норму. В результаті на початку 60-х рр. було запропоновано принципово нове рішення, що полягало в послідовному використанні двох різних способів сушіння в єдиному циклі зневоднення продукту.

Сучасний технологічний процес здійснюють так. Першою стадією є розпилювальне сушіння за дуже короткий проміжок часу. Цей період характеризується високими швидкістю сушіння й інтенсивністю дифузії вологи з частинок порошку, а також підвищеною вологомісткістю продукту (6–8% вільної вологи і більше), що вивантажується з розпилювальної сушарки.

Друга стадія процесу (досушування продукту до потрібної вологомісткості та його подальше охолодження) відбувається в окремому апараті за більш м'яких режимів термооброблення (сушіння — за температури не вище 120 °С і охолодження за 15 °С) і більшої тривалості.

Для проведення другої стадії було зроблено вібраційні конвективні сушарки (так звані інстантайзери або віброфлюїдизатори), в яких порошок переводять у псевдозріджений стан за допомогою вібрації, а також потоком гарячого або холодного повітря, при цьому повітря є одночасно теплоносієм, що забезпечує термооброблення продукту до необхідних параметрів. На рис. 3 показано зовнішній вигляд віброфлюїди-

затора, а на рис. 4 — принципову схему двостадійної сушарки.

Спроби подальшого збільшення термічного ККД за двостадійною схемою сушіння за ще більшого зниження температури вихідного повітря не мали успіху через труднощі, пов'язані з розвантаженням продукту підвищеної вологості із сушильної башти. Цю проблему було розв'язано в середині 80-х рр. завдяки створенню нового устаткування — так званого апарату вбудованого киплячого шару (флюїдного днища). Апарат є циліндричною стаціонарною конвективною сушаркою, що її вмонтовано в нижній частині сушильної башти. Використання такого апарату дало змогу також збільшити і температуру теплоносія, що подається в сушильну башту, до 220 °С (рис. 5, 6).

Наступним етапом розвитку технологічного процесу на шляху збільшення термічного ККД було створення в 1990-ті рр. установки, в якій сушіння продукту здійснювалося за тристадійною схемою з одночасним підвищенням температури теплоносія, що подає-



Рис. 3. Віброфлюїдизатор

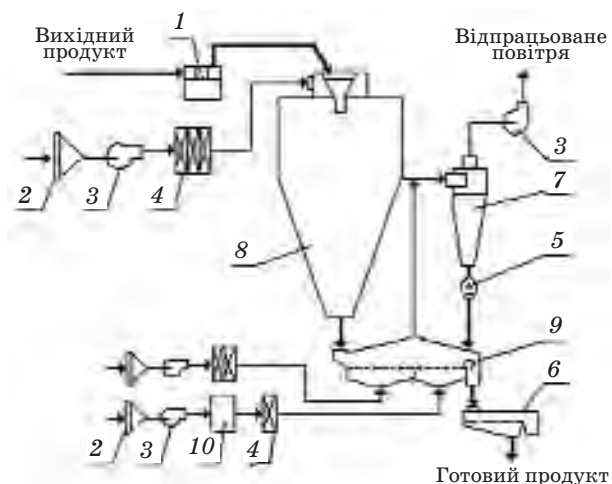


Рис. 4. Принципова схема двостадійної установки з віброфлюїдизатором:

- 1 — насос; 2 — повітряний фільтр; 3 — вентилятор; 4 — калорифер; 5 — шлюзовий підживлювач; 6 — вібраційне сито; 7 — циклон; 8 — розпилювальна сушарка; 9 — віброфлюїдизатор; 10 — охолоджувач



Рис. 5. Розпилювальна сушарка компанії Niro для одержання порошку розчинної кави зі вбудованою сушаркою киплячого шару (тип FSD)

ться в сушильну башту, до 260 °С з одночасним зниженням температури відхідного повітря. Апаратурне оформлення високотемпературної тристадійної сушильної установки наведено на рис. 7.

У зазначеній установці перша стадія сушіння здійснюється в сушильній башті, а друга і третя стадії — відповідно в апараті вбудованого киплячого шару та в першій секції інстантайзера. Друга секція інстантайзера призначена для охолодження продукту. Цю секцію в компанії Niro називають «віброфлюїдайзер».

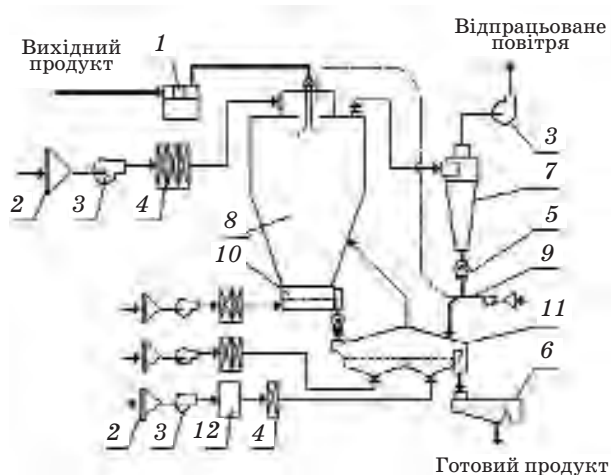


Рис. 7. Принципова схема тристадійної розпилювальної сушарки:

1 — насос; 2 — повітряний фільтр; 3 — вентилятор; 4 — калорифер; 5 — шлюзовий підживлювач; 6 — вібраційне сито; 7 — циклон; 8 — розпилювальна сушарка; 9 — лінія пневмотранспорту; 10 — сушарка киплячого шару; 11 — сушарка вібраційна конвективна (інстантайзер); 12 — охолоджувач



Рис. 6. Флюїдне днище двоступеневої сушарки А1-ОР2С для сушіння молока (Калинівський машзавод, Україна)

На рис. 8 показано тристадійну розпилювальну сушарку А1-ОР2С для сушіння молока і молочних продуктів (ЗАТ «Калинівський машзавод», Вінницька обл., Україна).

Сьогодні фірма Niro пропонує 75 схем розпилювального сушіння. На рис. 9 показано чотири основних, які використовують у практичній діяльності.

ККД різних типів розпилювальних сушарок: одноступенева сушильна установка із системою пневмотранспортування — 54%; двоступенева сушильна установка з інстантайзером — 62%; двоступенева сушильна установка з апаратом вбудованого киплячого шару і пневмотранспортуванням — 75%; триступенева високотемпературна су-



Рис. 8. Тристадійна розпилювальна сушарка (1) з флюїдним днищем (2) і віброфлюїдайзером (3) А1-ОР2С

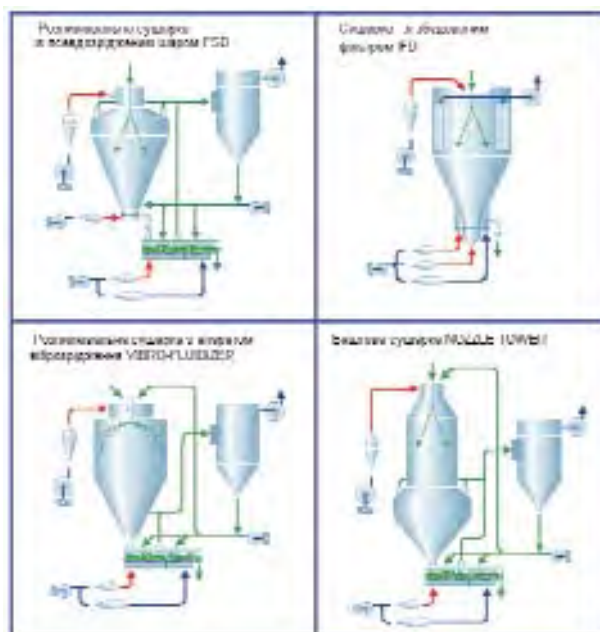


Рис. 9. Схеми розпилювальних сушарок компанії Niro

шильна установка з апаратом вбудованого киплячого шару та інстантайзером — 80%.

Усі зазначені сушарки, застосовувані в харчовій промисловості, можна використовувати і для сушіння багатотоннажних продуктів мікробіологічного синтезу невідомого призначення.

### Сучасне інфраструктурне обладнання

До інфраструктурного обладнання насамперед слід віднести системи нагрівання теплоносія (повітря або інертних газів) і циклони.

Для нагрівання повітря, використовуюваного в розпилювальних сушарках будь-якого типу як теплоносії, застосовують калорифери, в які подають пару або перегріту воду. За допомогою пари можна нагрівати повітря до температури не вище 110–140 °С. Для нагрівання до вищих температур потрібна пара високого тиску (1,2 МПа).

Як правило, сушарки комплектують спеціально спроектованими калориферами, але іноді їх споряджають і стандартними апаратами. До таких апаратів, зокрема, належать калорифери КСК (калорифери спірально-катані) і КП-СК (калорифери парові спірально-катані) (ВАТ «Калориферний завод», Кострома, Росія). Як теплоносії для калориферів КСК використовують перегріту воду з температурою не вище 180 °С, а для калориферів КП-СК — водяну пару з температурою не вище 190 °С. В обох випадках тиск в трубах не повинен перевищувати 1,2 МПа (рис. 10).

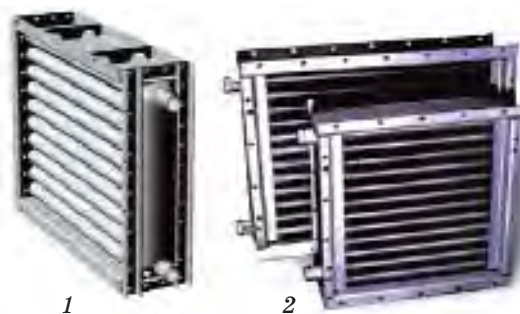


Рис. 10. Водопарові калорифери КСК (1) і КП-СК (2)

Сьогодні замість зазначених калориферів почали випускати більш досконалі апарати типів ВНВ 113 (ВН) і ПНП 113 (ВНП).

Електрокалориферами, як правило, споряджують сушарки невеликої потужності. Тільки останнім часом з'явилися потужні електрокалорифери-теплогенератори, які можна застосовувати і для великих сушарок. До таких, зокрема, належать електротеплогенератори потужністю до 1 200 кВт ТзОВ «Посейдон» (Росія) для нагрівання повітря до 250 °С. На рис. 11 показано зовнішній вигляд цих апаратів.

Нагрівання повітря паром не можна вважати економічно доцільним, оскільки тепло одержують ланцюгом: природний газ → паровий котел → калорифер → гаряче повітря. На кожному етапі тепло втрачається. Більш досконалим способом є використання газових теплогенераторів, в яких гаряче повітря одержують за схемою: природний газ → газовий котел → гаряче повітря. Саме такими теплогенераторами сьогодні обладнано сучасні розпилювальні сушарки великої потужності, а в діючих проводять заміну парових калориферів на газові теплогенератори.

Таким шляхом пішли конструктори Калинівського машзаводу (Україна), які розробили і успішно реалізують теплогенератори двох модифікацій: ТГ-0,95-200 (максимальна продуктивність за гарячим повітрям 24 тис. м<sup>3</sup>/год) і ТГ-1,9-200 (44 тис. м<sup>3</sup>/год) (рис. 12).



Рис. 11. ТЕНи і електрокалорифери ТОВ «Посейдон»



Рис. 12. Теплогенератор  
Калинівського машзаводу

Обидва теплогенератори здатні нагрівати повітря до 200 °С.

Відомий ще простіший і економічно ефективний спосіб нагрівання повітря. Він полягає у спалюванні в потоці повітря природного газу, пропанбутанової суміші або рідкого палива. Використання тепла, що утворюється під час згоряння палива, при цьому досягає майже 100%. Такий спосіб є незамінним за умови одержання топкового газу з температурою 250–650 °С. Однак метод є доцільним за умови, якщо в процесі згоряння палива не утворюватимуться побічні продукти (наприклад, сажа), які можуть забруднювати кінцевий продукт. Такі теплогенератори змішування з тепловою потужністю від 300 до 3 000 кВт і максимальною температурою нагрівання до 800 °С серійно випускає, зокрема, ТзОВ «Посейдон» (рис. 13).

Для відокремлення висушених частинок від відпрацьованого повітря у розпилювальних сушарках використовують циклони, які часто об'єднують у батареї (рис. 14).

Найпоширеніми циклонами, які застосовують у розпилювальних сушарках і які не втратили актуальності, є циклони НІІО-ГАЗ типу ЦН (ЦН-24, ЦН-15, ЦН-11) [11]. Проте сьогодні в Уральському ДТУ (Єкате-



Теплогенератор ТДГ



Теплогенератор ТДЖ

Рис. 13. Теплогенератори змішування  
ТзОВ «Посейдон»

ринбург, Росія) на базі циклонів ЦН розроблено досконаліші моделі, а саме СЦН-40, СЦН-50, СЦН-40М, СДК-ЦН-33, в яких через підвищення інтенсивності обертального руху газового потоку винесення порошу в 1,5 раза менше, ніж у циклонах ЦН (рис. 14).



Рис. 14. Циклони СЦН

### Розпилювальні сушарки для одержання фармацевтичних субстанцій та біологічних препаратів

Розпилювальні сушарки для біотехнологічної промисловості виготовляють, як правило, за традиційними одноступеневими схемами, оскільки фактор економії енергоресурсів не відіграє суттєвої ролі (це не стосується багатотоннажних виробництв, таких, наприклад, як виробництво кормових амінокислот). Головними факторами можливості застосування устаткування для виготовлення фармацевтичних субстанцій є якість устаткування, наявність протоколів валідації. Пункт 3.36 GMP, наприклад, прямо наголошує: «Технологічне обладнання має бути сконструйоване так, щоб його можна було легко і ретельно прибирати і мити. Операції з прибирання і очищення обладнання слід виконувати відповідно до детальних письмових інструкцій, а обладнання має міститись у сухих і чистих приміщеннях». Заокруглені форми сприяють легкому чищенню апаратів, а хромована полірована поверхня заважає затриманню бруду й дає змогу легко виявити забруднення візуальним способом. Для такого обладнання має значення навіть зовнішній вигляд (рис. 15, 16).

Провідною компанією з виробництва дослідницьких розпилювальних сушарок або просто сушарок малої потужності, що відповідають вимогам GMP і можуть застосовуватись у виробництві фармацевтичної продукції, є данська компанія Anhydro. Сушильні установки розпилювального Anhydro для фармацевтичної промисловості виготовляють відповідно до стандарту системи



Рис. 15. Виготовлення сушарки, яка відповідає вимогам GMP (GEA Niro Atomizer)



Рис. 16. Хімічний уловлювач-осаджувач, який відповідає вимогам GMP

керування і оброблення даних Управління за санітарним наглядом за харчовими продуктами і медикаментами США (англ. FDA) згідно з правилом 21 CFR (частина 11) з урахуванням індивідуальних вимог замовників. На рис. 17 показано зразки цієї апаратури.

Вітчизняні дослідницькі сушарки РС-20 (ЭВЗ-01РЦ-1,2-0,9-НК-21) і СР-80 також можуть працювати в стерильних умовах (Коростеньхіммаш, Україна), однак відомостей про наявність протоколів валідації для цих установок ми не маємо (рис. 18).

Окрім зазначених малопотужних сушарок MicroSpray для фармацевтичної промисловості компанія Anhydro випускає і потужніші сушарки моделей MasterSpray, найбільшою з яких є MasterSpray 2500 Multi-stage, що має потужність за випареною вологою 463 кг/год, діаметр сушильної камери 2 700 мм. Сушарку виконано за традиційною одноступеневою схемою, однак повітря на атомайзер подається як зверху, так і знизу (рис. 19).

Розпилювальні сушарки для виробництва біотехнологічних препаратів, що відповідають вимогам GMP, випускають також фірми Buchi, DGM Pharma Apparate (Швейцарія), Luxun International Group (сушарки серії LPG продуктивністю за випареною вологою від 5 до 150 кг/год, Гонконг, Китай), Биохиммаш (сушарки Лаура-05, УРС-1, УРС-10/50, Росія).



Рис. 17. Розпилювальні сушарки компанії Anhydro малої потужності:

- а — Anhydro MicroSpray (потужність за випареною вологою 1 кг/год; діаметр 300 мм);
- б — Anhydro MicroSpray 150 (потужність за випареною вологою 14 кг/год; діаметр 900 мм);
- в — SFD 47 (для наукових досліджень);
- г — Anhydro Spray Dryer 75 (потужність за випареною вологою 2 кг/год, діаметр 600 мм)

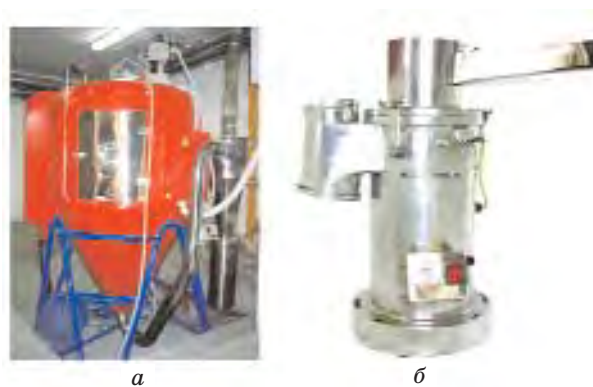


Рис. 18. Дослідницькі установки РС-20 (а) і СР-80 (б)

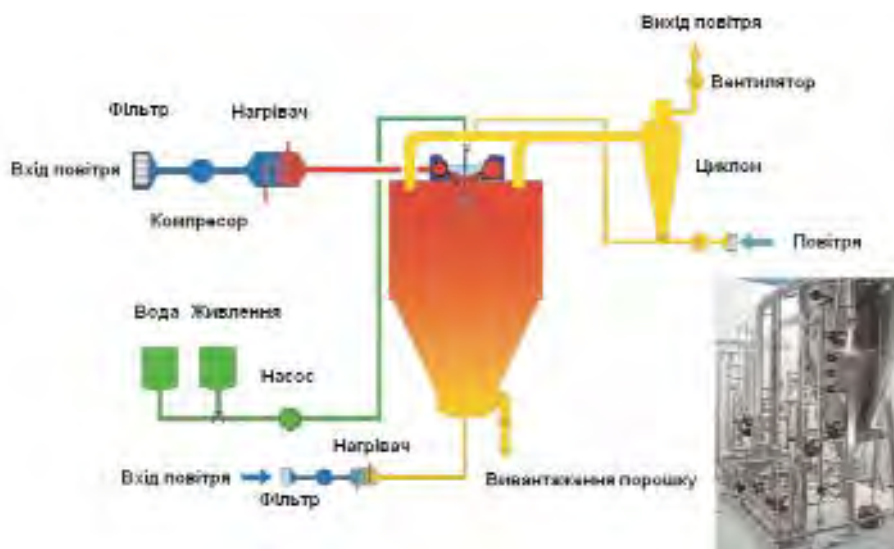


Рис. 19. Принципова схема сушарки MasterSpray 2500 Multi-stage



Рис. 20. Сушарки серії LPG

Таким чином, на підставі наданого в огляді фактичного матеріалу можна зробити висновок про важливість розпилювальних сушарок в біотехнологічній промисловості. Також наведені дані дають чітку уяву про основні фірми-виробники цього виду біотехнологічного устаткування, а також про переваги і недоліки кожного його конкретного представника порівняно з іншими.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности. — М.: Химия, 1970. — 432 с.
2. Лыков М. В., Леончик Б. И. Распылительные сушилки. — М.: Машиностроение, 1966. — 331 с.
3. Долинский А. А., Ивануцкий Г. К. Оптимизация процессов распылительной сушки. — К.: Наук. думка, 1984. — 240 с.
4. Питерских Г. П. Метод расчета сушилки с центробежно-дисковым распылением // Теор. основы хим. технологии. — 1979. — Т. 13, № 4. — С. 546–553.
5. Белопольский М. С. Разработка технологии получения пресс-порошка в распылительных сушилках // Труды НИИ стройкерамики. — 1967. — Вып. 27. — С. 161–172.
6. Голубев Л. Г., Сажин Б. С., Валашек Е. Р. Сушка в химико-фармацевтической промышленности. — М.: Медицина, 1997.
7. Сидоров Ю. И., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. — Львів: Інтеллект-Захід, 2008. — 736 с.
8. Технологии сушки и грануляции для мировой химической промышленности. Проспект фирмы Niro Atomizer. — [webadmin.geap.net/.../Chemical\\_brochure\\_GB-2-2.pdf](http://webadmin.geap.net/.../Chemical_brochure_GB-2-2.pdf).
9. Хмелев В. Н., Шалунов А. В., Шалунова А. В. Разработка ультразвуковых диспергаторов жидких сред для распылительной сушки. — [sonic.com/downloads/2009/atomize.pdf](http://sonic.com/downloads/2009/atomize.pdf).
10. Хмелев В. Н., Шалунов А. В. и др. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности. — Барнаул: АлтГТУ, 2007. — 400 с.
11. Циклоны НИИОГаз. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. — Ярославль, 1971.



## РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ СУШИЛКИ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Ю. И. Сидоров

Национальный университет  
«Львовская политехника»

*E-mail: sydorowy@rambler.ru*

Проведен технико-экономический анализ технологических процессов распылительной сушки, применяемой во многих отраслях промышленности, в частности в биотехнологической. Показано, что основным стимулом развития является энергосбережение. В результате эволюции появились двухступенчатые сушилки с дополнительной стадией распылительной сушки с помощью виброфлюидизатора (инстантайзера), а также трехступенчатые — с псевдосжиженным слоем (флюидное дно). Это позволило поднять КПД с 54 до 80%. Экономичные сушилки, применяемые в производстве пищевых продуктов, можно использовать и для получения многотоннажных продуктов микробиологического синтеза. Главным критерием сушилок для изготовления фармацевтических субстанций является соответствие их требованиям GMP и наличие валидационных документов. Такие сушилки выпускают многие фирмы, ведущими из которых являются Niro Atomizer и компания Anhydro (Дания).

**Ключевые слова:** распылительная сушилка, виброфлюидизатор, флюидное днище, биотехнологическая промышленность.

## SPRAY DRYERS IN BIOTECHNOLOGY

Yu. I. Sidorov

«Lviv's Polytechnica»  
National University

*E-mail: sydorowy@rambler.ru*

Cost-effectiveness analysis of technological processes of the spray drying, which is used in many branches of industry, in particular in biotechnological one, is done. It is shown that the basic stimulus of development is an energy-saving. As a result of evolution, two-stage dryers appeared having an extra stage spray drying with vibrofluidizatore (instantayzer) and three-stage dryers with the pseudo fluidized layer (fluid-bottom) came as well. It enabled to improv coefficient of efficiency from 54 to 80%. Cost-dryers used in food production, could also be used for large-tonnage products of microbiological synthesis. The main criterion for dryers in manufacture of pharmaceutical substances is their compliance with the GMP requirements and availability of the validation documents.

A lot of companies produce such kind of dryers, among which Niro Atomizer and Anhydro (Denmark) are at the top.

**Key words:** spray dryer, vibrofluidizator, fluid-bottom, biotechnological industry.