

Іскович-Лотоцький Р.Д.

Севостьянов І.В.

*Вінницький національний
технічний університет*

УДК 621.979:621.768.4.06

ВІБРАЦІЙНІ ТА ВІБРОУДАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ СЕПАРУВАННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статье анализируется и обосновывается эффективность использования при сепарировании влажных дисперсных материалов, в том числе вторичных продуктов пищевых, перерабатывающих и других производств, вибрационного и виброударного инерционного нагружения. Анализируются параметры и факторы, ускоряющие и задерживающие обезвоживание продуктов, а также те, что должны учитываться при моделировании процессов сепарирования.

It is analysing and substantiating of effectiveness of the use in the process of separating of damp dispersion materials, in that number recyclable materials of the food, processing and another productions, the vibrating and vibro-blowing loading, in this article. It is analyzing the parameters and factors, that accelerating and slowing down the draining of the products, and also that must to take into account under modeling of the processes of the separating.

Харчова, переробна, спиртова, пивна та інші суміжні галузі промисловості в Україні інтенсивно розвиваються та інвестуються. Помітне місце в технологічних процесах даних виробництв займає сепарування вологих дисперсних матеріалів з метою видалення з них рідкої фракції у вигляді олії, жиру, соку тощо. Останнім часом основну увагу приділяють зневодненню вторинних продуктів вищезгаданих виробництв – спиртової барди, жому цукрових буряків, пивної дробини, тверда фракція яких може служити основою для виготовлення високопоживних і цінних сільськогосподарських кормів із забезпеченням підвищеного терміну зберігання та можливості транспортування їх на великі відстані.

Основним методом видалення з вторинних продуктів води є пресування. Недоліком даного методу є неможливість забезпечення з його допомогою повного водовідокремлення [1]. Останнє пояснюється тим, що продукт, який піддається пресуванню є складною колоїднодисперсною (колоїдною капілярно-пористою [2]) системою з розгалуженою внутрішньою поверхнею, чим і обумовлюється його висока адсорбційна спроможність до поглинання рідини. Пресуванням з продукту можна вилучити в основному ту частину води, яка

пов'язана з твердою фракцією фізико-механічними та структурними зв'язками; хімічно зв'язану воду видалити сушінням або віджиманням неможливо; що стосується води, яка має з частинками основи зв'язки фізико-хімічного характеру (адсорбційно-пов'язана рідина [2]), то у певних умовах вона вилучається випарюванням або віджиманням, однак реалізація сушіння обумовлює значні енерговитрати – як на забезпечення фазового переходу води у пару, так й на руйнування її зв'язків з частинками основи. Тому теплота випаровування води з вторинних продуктів більша питомої теплоти випаровування вільної води.

Видалення води в процесі пресування дисперсних матеріалів починається у момент, коли зусилля зовнішнього навантаження стає більшим за силу фізико-механічної взаємодії частинок твердої та вологої фракцій. Найбільша кількість води видалається на початковій стадії пресування, далі інтенсивність її сепарування падає та припиняється зовсім. Останнє обумовлено тим, що при збільшенні тиску на пресований матеріал, ущільнюється твердий скелет основи (з'єднувальна тканина) та зменшується площа поперечного перерізу капілярів.

Все викладене вище показує складність процесу зневоднення порції дисперсної суміші методом пресування і головне те, що у випадку реалізації його з використанням способу простого статичного пресування важко забезпечити достатньо повне видалення вологи.

У роботі [3] на підставі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що при сепаруванні різних дисперсних матеріалів харчових виробництв, в тому числі і вологих, ефективним є спосіб вібраційного пресування. Зокрема, відмічається, що в процесі вібраційного навантаження, внаслідок збільшення концентрації та дисперсності твердих фаз в рідких та газових дисперсійних середовищах, відповідно зростає площа активної міжфазової поверхні, на межі розділення фаз збільшується величина вільної поверхневої енергії, підвищується роль взаємного впливу молекулярних сил зчеплення між частинками матеріалу. Довільно виникають агрегати з частинок та просторові тривимірні структури. Головним фактором, що визначає поведінку таких структур в умовах впливу на них вібраційних імпульсів, є співвідношення між значеннями сил міжмолекулярної взаємодії частинок дисперсних фаз та величинами зовнішніх примусових періодичних зусиль, що передаються їм з боку виконавчих елементів обладнання.

Високу ефективність способу віброударного пресування підтверджують результати зневоднення бурякового жому, спиртової барди і пивної дробини на інерційному вібропрес-молоті з гідроімпульсним приводом [4, 5, 6, 7].

Ефективність віброударного інерційного пресування імпульсами зовнішніх сил може бути також обґрунтована за допомогою резонансно-структурної теорії [4], згідно із якою в кожному імпульсі зовнішніх сил містяться складові у вигляді пакету стискаючих напружень і деформацій, кутові частоти яких збігаються з власними кутовими частотами частинок структури основи матеріалу. В результаті накладання прямих та зворотних хвиль навантаження, частинки матеріалу починають коливатись з резонансними частотами і в порції матеріалу під впливом зусиль значно менших, ніж при статичному пресуванні, відбуваються інтенсивні деформації зсуву і руйнування зв'язків структури основи. Це пояснюється достатньою шириною діапазону кутових частот хвиль напруг та деформацій, що містяться в кожному імпульсі віброударного навантаження. Таким чином, власна частота коливань частинок матеріалу, незалежно від стану його структури та інших параметрів гарантовано влучатиме у вказаний діапазон.

Як й при вібраційному навантаженні у продовж віброударного пресування вологих

високодисперсних матеріалів потрібно забезпечити віброзрідження та віброкипіння оброблюваного матеріалу [3], оскільки в цьому випадку істотно знижуються енергетичні витрати, підвищується продуктивність зневоднення а сам матеріал веде себе подібно в'язкій ньютонівській рідині, основні параметри якої визначаються ступенем руйнування структури [3]. Для приведення вологого дисперсного матеріалу у стан віброкипіння необхідно, щоб тверді частинки мали прискорення, які значно перевищують прискорення сили земного тяжіння. В процесі віброударного імпульсного навантаження краще відбувається процес змішування, підвищується рівногустина матеріалу, а отже інтенсифікується й витікання вологи назовні. Створення вказаних величин прискорень під час віброударного пресування не представляє особливих труднощів, оскільки при роботі гідроімпульсного привода промислових зразків інерційних вібропрес-молотів (ІВПМ) віброприскорення їх виконавчих елементів сягають $(8...10) \cdot g$ [4].

В загальному випадку фактичне значення віброприскорення в процесі зневоднення вологих дисперсних матеріалів можна вважати оптимальним, якщо забезпечуються максимальне руйнування однорідності структури частинок й водночас усувається ймовірність механіко-хімічної деструкції останніх. Під час вібраційного зневоднення повного руйнування структури матеріалу, навіть й при реалізації найбільших прискорень виконавчих елементів машини домогтись неможливо; вона лише розпадається на окремі об'єми, обмежені поверхнею розриву, в яких процес структуроутворення відбувається ізольовано [3]. В процесі віброударного інерційного навантаження навпаки – структура оброблюваного середовища є постійно «зв'язаною» й такою, що від циклу до циклу ущільнюється за рахунок взаємного прослизання та повертання частинок, їх зміщення у менш заповнені твердою фракцією порожнечі, утворення та руйнування «арок», «містків» та інших мікроструктур [4]. У зв'язку із цим, потужність вібропресового обладнання у порівнянні із потужністю вібромашин може бути істотно нижчою, при умові забезпеченні адекватної і більшої ефективності зневоднення.

Негативним фактором віброкипіння як при вібраційному, так і при віброударному пресуванні є вплив на матеріал аеродинамічних сил: на етапі руху вібростолу вверх між днищем контейнера і нижніми шарами дисперсного середовища утворюється розрідження (особливо це характерно для матеріалів, що добре пропусकाють повітря), а на етапі зміщення матеріалу вниз у вказаному проміжку створюється надлишковий тиск. Величина аеродинамічних сил залежить від густини та

питомої газопроникності середовища, а також від режиму навантаження. Дія аеродинамічних сил негативно позначається на продуктивності процесу зневоднення, призводить до підвищення кінцевої вологості продукту, але позитивний ефект від застосування режиму віброкипіння є вагомим.

В цілому ж основною перешкодою для досягнення максимальної однорідності трифазних структур в процесі їх пресування є безперервне зростання густини та міцності структури. Ось чому волога з вихідного матеріалу не може бути видалена повністю.

Математичний аналіз процесів зневоднення вологих дисперсних матеріалів ускладнюється внаслідок того, що властивості середовища змінюються протягом кожного циклу навантаження.

З врахуванням результатів експериментальних досліджень [3, 7], отриманих при вібраційній та віброударній обробці різних сухих дисперсних матеріалів та на підставі теоретичного аналізу моделей протікання процесу віброударного зневоднення вологих дисперсних середовищ, можна зробити висновок, що інтенсивність видалення вологи є величиною змінною – найбільшою на початку вказаного процесу й найнижчою в момент його завершення. Останнє пояснюється тим, що в ході зневоднення підвищується величина сумарної площі контакту частинок твердої фракції в одиниці об'єму матеріалу середовища і ефективність віброударних впливів зменшується. З іншої сторони тривалість процесу до забезпечення мінімальної кінцевої вологості продукту зростає при збільшенні висоти шару, який зневоднюється.

Хід процесу видалення вологи значною мірою залежить й від гранулометричного складу та найбільших розмірів частинок твердої фракції. При великій початковій вологості продукту буде зменшуватись ступінь його ущільнення, що також приводить до збільшення часу процесу зневоднення.

Суттєво впливає на процес зневоднення демпфірування, що виникає з різних причин. Основними з них є наявність сухого та гідродинамічного тертя між твердими частинками й між частинками структури та стінками контейнера, тертя у вологій фракції, опір руху твердих частинок у рідинній та газовій фазах, проходженню рідини та газу через пори твердої фракції, деформація недостатньо пружних фаз, зміна сил зчеплення та інші. Взагалі сили демпфірування діють у будь-якому випадку, змінюються лише їх види, напрямки та величина. Наявність сил демпфірування обумовлює виникнення нелінійностей в системі, що піддається віброударній обробці. Останнє надзвичайно ускладнює аналіз системи. На

практиці застосовують різні методи апроксимації реальних видів демпфірування в'язким, що дозволяє перетворювати нелінійні системи у більш прості лінійні. Складні види опорів можна з достатньою для практичних розрахунків точністю звести до пружних, в'язких та сухих опорів. Це дає можливість практично будь-які дисперсні системи, в тому числі й багатофазні представити за допомогою відомих [8] пружно-в'язко-пластично-інерційних моделей.

В рідинних та газових високодисперсних системах внаслідок наявності між фазами значної за площею активної поверхні контакту, зростає величина вільної поверхневої енергії, а отже підвищується роль молекулярних сил зчеплення та відштовхування між частинками. В результаті з останніх утворюються окремі агрегати та просторові структури. Тому масообмінні процеси в таких системах протікають при достатньо інтенсивних віброударних впливах.

На поведінку високодисперсних систем помітно впливають також аеро- та гідродинамічні фактори. Так, на етапах переміщення вібростолу вниз і розвантаженні порції оброблюваного матеріалу спостерігається його розрихлювання, в результаті у проміжки між твердими частинками буде засмоктуватись атмосферне повітря (яке буде заходити через отвори у бокових стінках контейнера), а також волога, витиснена на етапах навантаження ближче до периферії середовища. Для запобігання подібним явищам застосовується додаткове статичне притискання відкритої поверхні дисперсного матеріалу, а також зменшення амплітуди вібрацій.

Міцність зв'язків (контактів) між частинками твердих фаз залежить від фізико-хімічної природи поверхні частинок та дисперсійного середовища. Згідно із уявленнями фізико-хімічного стану розглядуваних вологих дисперсних матеріалів останні відносяться до структур з коагуляційними контактами [3], що утворюються між частинками твердих фаз, розділених шарами рідкого дисперсійного середовища, рівноважна фіксована товщина яких відповідає мінімуму вільної поверхневої енергії. Міцність зчеплення частинок у коагуляційному контакті $F_k = 1 \text{ нН} - 10 \text{ Н}$. Інші контакти характеризуються повною оборотністю, тобто міцність їх після порушення відновлюється практично до початкового значення. Тип контакту між дисперсними частинками, величина енергії (міцності) зв'язків, деформативні властивості частинок та контактів між ними, число зв'язків між частинками (кількість контактів в одиниці об'єму оброблюваного матеріалу), враховуються при виборі оптимальних форм та значень параметрів зовнішніх механічних впливів: питомої потужності (потужності, що підводиться до одиниці маси перероблюваного дисперсного середовища).

Висновки:

1. Для сепарування вологих дисперсних матеріалів з метою видалення води найдоцільніше використовувати спосіб віброударного інерційного навантаження.

2. Залежності між основними параметрами середовищ, що віджимаються (їх вологістю, густиною, гранулометричним складом, пружними властивостями) та робочими параметрами процесу віброударного інерційного навантаження можуть бути установлені на основі положень резонансно-структурної теорії.

3. Процеси віброударного інерційного зневоднення можуть бути описані за допомогою пружно-в'язко-пластично-інерційних моделей, при розробці яких потрібно врахувати змінюваність в ході віджимання вологості, пружності та густини продукту, міцності зв'язків між його частинками, а також вплив гідродинамічних та аеродинамічних сил, сил демпфірування та інших факторів.

Література

1. Прессы пищевых и кормовых производств. Под ред. А. Я. Соколова. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.

2. Федоткин И. М., Клочков В. П. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности. – К.: Техніка, 1974. – 320 с.

3. Гончаревич И. Ф., Урьев И. Б., Талейсник М. А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 279 с.

4. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.

5. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В., Андрощук В. Д. Вібропресова машина для обезводнювання відходів харчових виробництв// Вибрації в техніці і технологіях. - 2002. - №3 (24). - С. 48 - 50.

6. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В. Розрахунок параметрів вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів переробних та харчових виробництв// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №3 (109), 2007. – Ч. 1. – С. 105 – 108.

7. Севостьянов І. В., Іскович-Лотоцький Р. Д., Поліщук О. В. Особливості віброударного зневоднення продуктів переробних виробництв// Наукові нотатки. Межвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – Випуск 20 (травень, 2007). – С. 443 – 446.

8. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологии. – М.: Наука, 1981. – 320 с.