

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОУДАРНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті на підставі результатів проведених раніше теоретичних та експериментальних досліджень аналізується та обґрунтовується ефективність способу віброударного пресування при інерційному навантаженні, а також вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для його реалізації при використанні їх у технологічних процесах зневоднення вторинних продуктів переробних виробництв.

И. В. Севостьянов, Р. Д. Искович-Лотоцкий, А. В. Полищук. Особенности виброударного обезвоживания продуктов перерабатывающих производств. *В статье на основании результатов проведенных ранее теоретических и экспериментальных исследований анализируется и обосновывается эффективность способа виброударного прессования при инерционной нагрузке, а также вибропресового оборудования с гидроимпульсным приводом для его реализации при их использовании в технологических процессах обезвоживания вторичных продуктов перерабатывающих производств.*

I. Sevostyanov, R. Iskovich-Lototsky, A. Polischuk. The peculiarities of the vibro-blowing draining of the products of the processing productions. *It is conducted analysis and substantiation of the effectiveness of the method of the vibro-blowing pressing under inertia loading and also vibro-pressing equipment with the hydraulic pulse drive for its realization under using their in the technological processes of the draining of the recyclable products of the processing productions on the bases of the results of theoretical and experimental researches in this article.*

Достатнє поширення у наш час одержали технологічні процеси переробної та комбикормової промисловості, для підвищення ефективності яких потрібно зменшувати частку відходів (або забезпечувати їх часткове чи повне використання), покращувати якість основного продукту, знижувати енерговитрати на реалізацію процесу та скорочувати його тривалість, підвищувати ступінь механізації та автоматизації застосовуваного при цьому обладнання. Очевидно, що таке удосконалення вищезгаданих технологій дозволить суттєво зменшити собівартість основної продукції і разом з тим, в результаті обробки та переробки вторинних продуктів додатково отримувати напівфабрикати чи сировину для інших виробництв. Зокрема, такими вторинними продуктами можуть бути спиртова барда та пивна дробина – при виготовленні спирту та пива, жом у цукровому виробництві, макуха при приготуванні фруктових та ягідних соків, а також різні продукти рослинного та тваринного походження у сільському господарстві під час заготівлі кормів. Переробка вказаних продуктів у напівфабрикати або сировину можлива при здійсненні видалення з них вологи та додаткового сушіння із застосуванням механічного, термічного, хімічного, біологічного та інших відомих методів [1]). Однак створені для реалізації даних методів обладнання та оснащення не у всіх випадках забезпечують потрібні вихідні параметри зневоднених відходів, що змушує збільшувати тривалість сушіння і приводить до додаткових витрат енергії та часу.

Основним способом механічного методу видалення вологи з дисперсних матеріалів є статичне пресування, яке у вказаних вище галузях здійснюється в наш час на гідравлічних, пневматичних та механічних – ексцентрикових, ротаційних, валкових, гвинтових, відцентрових, стрічкових та шнекових пресах [2]. Деякі з перелічених пресів, особливо шнекові є достатньо продуктивним та зручним в експлуатації обладнанням, однак, як доводиться у даній статті, заміна статичного пресування віброударним, що реалізується на вібропресових установках з гідроімпульсним приводом (ГІП) дає можливість істотно покращити основні параметри зневоднення дисперсних сумішей при зниженні витрат часу та енергії.

Відомо [3, 4], що вібраційні та віброударні навантаження забезпечують досить високу ефективність при використанні їх в різних технологічних процесах. Зокрема, при реалізації вібраційного

або віброударного навантаження для ущільнення порошкових матеріалів відмічено зменшення максимального потрібного зусилля на об'єкті пресування у 2,5 – 10 разів [3] у порівнянні із значенням даного параметра в процесі звичайного пресування при забезпеченні адекватної густини та міцності, вищої рівногустини та кращої якості поверхонь готових виробів. Крім цього, зменшується знос прес-форм і з'являється можливість виготовлення їх з тонкішими стінками. Така ефективність вібраційних та віброударних процесів обумовлюється зменшенням при їх реалізації коефіцієнтів тертя між частинками порошкового матеріалу, та між частинками і прес-формою, збільшенням їх рухомості в напрямку прикладеного зусилля та кращим прослизанням одних твердих частинок відносно інших. При цьому ущільнення дисперсного середовища найефективніше відбувається у випадку збігу частоти зовнішнього вібраційного впливу з власною частотою частинок порошкового матеріалу, оскільки в останньому випадку мають місце резонансні явища.

У роботі [3] встановлено, що найраціональнішим способом забезпечення резонансу частинок порошкової заготовки в процесі її ущільнення є віброударне пресування, а найкращим обладнанням для його здійснення – інерційні вібропрес-молоти з гідроімпульсним приводом (ІВПМ) [3]. Згідно із резонансно-структурною теорією процесів віброударного пресування при інерційному навантаженні [3], у випадках прикладання до контейнера прес-форми ударних імпульсів в заготовці виникають прямі (у напрямку пунсона) та зворотні (відбиті від нього) хвилі дотичних і стискаючих напружень та деформацій, які при достатній їх амплітуді та накладанні викликають вимушені коливання частинок основи порошкового матеріалу біля положення рівноваги, руйнування зв'язків між ними та відносні зсуви частинок. У випадках прикладання віброударних впливів більшої амплітуди, пружні деформації можуть супроводжуватись незначними руйнуваннями частинок основи, головним чином, в зонах контактів, що не призводить до підвищення їх дисперсності. Такий характер ущільнення обумовлений наявністю у складному імпульсі зовнішніх сил складових у вигляді пакету гармонійних хвиль з кутовими частотами, що збігаються з власними частотами частинок оброблюваної заготовки. Останнє, як вже відмічалось, забезпечує виникнення у дисперсному середовищі резонансних явищ з руйнуванням зв'язків між частинками, а отже й краще ущільнення порошкового матеріалу. Даний процес зростання залишкових деформацій в заготовці є дискретним, а їх величина змінюється зі збільшенням поточного значення густини заготовки для кожного наступного циклу навантаження, основні параметри якого (ширину пакету $\Delta\omega$ моногармонійних n хвиль в складному імпульсі зовнішнього силового впливу, його тривалість τ_0 , амплітудне значення складного імпульсу напружень σ_{max} на заготовці та ряд інших [3]) можна розрахувати виходячи із граничних значень фізико-механічних та геометричних параметрів заготовки у початковий та кінцевий моменти пресування, в тому числі густини ρ_{30} , $\rho_{зк}$, висоти h_{30} , $h_{зк}$, та динамічного модуля пружності K_{30} , $K_{зк}$ [3].

Теоретично можна обґрунтувати, що при використанні вібрацій та ударів у технологічних процесах зневоднення вологих дисперсних продуктів результати будуть ще кращими, ніж при здійсненні з їх допомогою ущільнення сухих порошкових матеріалів, оскільки в першому випадку частинки продукту знаходяться у зваженому зануреному у рідинній фракції стані, отже мають додаткову рухомість в напрямку прикладеного зусилля, більшу схильність до ущільнення та зменшення займаного об'єму, завдяки чому і забезпечується витікання вологи. До цього ж, коефіцієнти в'язкого тертя одних твердих частинок вторинного продукту відносно інших та тертя частинок відносно внутрішніх поверхонь прес-форми завдяки наявності у просторах між ними вологи, є меншими у порівнянні із аналогічними коефіцієнтами при ущільненні сухих сумішей. З іншої сторони, відмічене тертя частинок під час динамічного навантаження є значно інтенсивнішим, ніж при статичному, у зв'язку із чим їх температура, а разом з нею і рухомість частинок є вищими.

Проведені на інерційному вібропрес-молоті з ГПП моделі ІВПМ-16 попередні експерименти з видалення вологи зі спиртової барди та пивної дробини [5] підтвердили високу ефективність способу віброударного пресування та вказаного обладнання і при зневодненні відходів харчових виробництв. Зокрема, вологість вторинного продукту після зневоднення на вібропресі є у двічі меншою його вологості після статичного пресування. Крім цього, відзначене суттєве підвищення продуктивності процесу та кращі можливості для роздільного і точного регулювання основних параметрів навантаження (амплітуди та частоти вібрацій столу, енергії, яка передається порції матеріалу, що зневоднюється протягом одного робочого циклу пресування) і досягнення в результаті заданих параметрів зневоднення.

Для пояснення отриманих результатів розглянемо деякі основні положення процесів пресування, а також механізм їх протікання на гідравлічних пресах.

Як відомо [2], рідину у пресованих продуктах можна умовно розділити на вільну та зв'язану. Вільна рідина порівняно легко відокремлюється від сухого залишку матеріалу (особливо легко при віброударному навантаженні), тоді як для віджимання зв'язаної (молекулярної або адсорбованої) рідини

потрібні значні енергетичні витрати на подолання сил зчеплення, зусилля опору при переміщенні рідини по каналах, а також на деформування структури твердої фази. При цьому вказаний опір при переміщенні збільшується зі зростанням сили стискання, внаслідок зменшення перетинів каналів. Сили зчеплення, внаслідок наявності яких частинки дисперсної суміші притягуються одна до одної та утримують навколо себе рідинні оболонки, називаються молекулярними або адсорбційними.

Очевидно, що для видалення з вторинних продуктів переробки вологи і забезпечення її витікання назовні необхідно порушити молекулярні зв'язки, що є між твердими частинками основи суміші та рідиною, тобто подолати міжмолекулярні сили. Відомо також, що окрім сил взаємного притягання, між молекулами рідини та твердих частинок діють і сили відштовхування, в результаті чого молекули при відсутності зовнішнього навантаження коливаються біля положень рівноваги. Проблема полягає у тому, що для стискання як твердих тіл, так і рідин необхідно прикласти величезні статичні зусилля, оскільки зі зменшенням відстаней r між молекулами сили їх відштовхування F наростають значно інтенсивніше, ніж сили притягання $-F$ (рис. 1) [4]. На відстанях r порядку 10^{-9} м діють сили притягання, а на відстанях 10^{-10} – сили відштовхування. Сила міжмолекулярної взаємодії F є рівнодіючою вказаних сил і може бути розрахована за формулами [4]

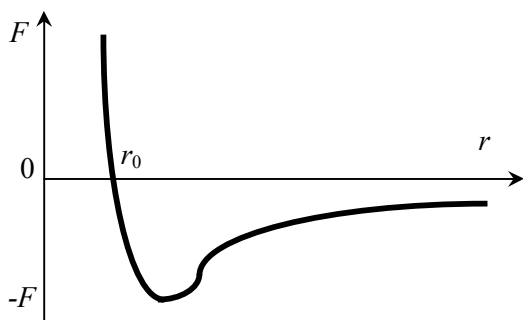


Рис. 1. Залежність сили взаємодії F молекул рідини та твердого тіла від відстані r між ними

$$F(r) = -\frac{a}{r^7} \text{ при } r > r_0,$$

$$F(r) = 0 \text{ при } r = r_0, \quad (1)$$

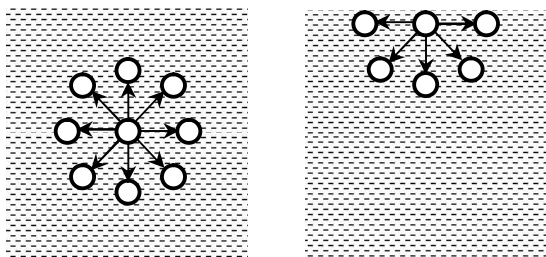
$$F(r) = -\frac{b}{r^m}, \quad 9 < m < 15 \text{ при } r < r_0.$$

Значення коефіцієнтів a і b у формулах (1) залежать від структури молекул. Взагалі, проста модель, в якій молекули рідини вважаються твердими кулями в більшості дослідженнях дозволяє отримати правильні результати. У зв'язку із цим, однією з основних властивостей рідини, яку слід враховувати при розробці такої моделі є її стисливість. Наприклад, для зменшення початкового об'єму порції води $W = 1$ л лише на 5% за

рахунок тиску його необхідно підвищити на

$$\Delta p = \frac{\Delta W \cdot K}{W} = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 10^3}{1} = 100 \text{ МПа}. \quad (2)$$

У формулі (2) ΔW – зменшення об'єму; K – модуль об'ємної пружності рідини (у розглядуваному прикладі для води $K = 2 \cdot 10^3$ МПа).



а) б)

Рис. 2. Зв'язки молекул рідини, розташованих в середині об'єму матеріалу (а) та на межі рідкої фази (б)

Як вже вказувалось, при відсутності зовнішнього навантаження, молекули в середині об'єму рідини коливаються біля власних положень рівноваги, оскільки сили притягнення, що діють з боку інших молекул взаємно врівноважуються (рис. 2, а). Щодо молекул розташованих на межі рідкої фази біля внутрішньої поверхні прес-форми, то вплив на них з боку інших молекул має місце тільки з однієї сторони і рівнодіюча сила притягнення таких молекул спрямована в середину об'єму рідини (рис. 2, б). Тому, для переміщення молекул рідини із внутрішніх її шарів до будь-якої із зовнішніх поверхонь (при видаленні вологи з порції відходів), необхідно виконати роботу проти вказаної рівнодіючої сили. Іншими словами, кожна молекула

рідини, що знаходиться поблизу її поверхні, має у порівнянні із молекулами, розташованими в середині об'єму певний надлишок потенціальної енергії, внаслідок чого, рідину поверхневих шарів називають зв'язаною, на відміну від незв'язаної рідини серединних шарів. Таким чином, при збільшенні загальної площі поверхні порції рідини певної маси (наприклад, при видаленні її з прес-форми у вигляді крапель) енергія вологої фази буде зростати. Окрім зв'язків з іншими молекулами рідини, деякі молекули рідкої фази мають зв'язки і з твердими частинками дисперсної суміші, відносно яких вони також здійснюють коливальні рухи. Такі зв'язки між твердими і рідкими частинками є менш міцними, ніж чисто рідинні, але й для їх порушення необхідно прикласти величезні статичні зусилля. Очевидно, що суттєво вища

ефективність руйнування вказаних зв'язків у вологому дисперсному матеріалі забезпечується при реалізації віброударного інерційного навантаження, в чому можна перекопати на елементарному прикладі, якщо сито зі зневоднюваним матеріалом під час вертикального переміщення вниз різко зупинити (з ударом) об край столу або іншої твердої поверхні. При цьому й у випадку прикладання відносно невеличкого зусилля ударного навантаження видалиться помітно більше вологи, ніж при стисканні порції матеріалу у ситі аналогічним статичним зусиллям.

Ущільнення продукту під час пресування супроводжується подрібненням та відносним зміщенням його частинок, що відбувається внаслідок їх пластичного деформування. Параметри, що достатньо повно характеризують той чи інший процес пресування, можна розділити на дві групи [2].

До першої групи відносять параметри, що визначають фізико-механічні властивості пресованого матеріалу, в тому числі: модуль спресованості – здатність порції суміші до ущільнення під впливом прикладеного до неї зовнішнього тиску при відсутності втрат на тертя; коефіцієнт бокового тиску – відношення бокового тиску зі сторони пресованого матеріалу до діючого вертикального тиску навантаження; густина; вологість, температура та гранулометричний склад матеріалу.

Друга група включає параметри, що установлюють умови власне процесу пресування: тиск навантаження; силу тертя продукту об поверхні виконавчих елементів машини; форму порції продукту та співвідношення її розмірів; вид режиму пресування – безперервний або циклічний; число поверхонь порції суміші, на яких створюється тиск пресування (залежно від останнього параметру, пресування може бути одностороннім, двостороннім або багатостороннім).

Навіть поверхневий аналіз величин вказаних вище параметрів, визначених під час статичного та віброударного пресування доводить нам переваги другого способу. Як вже вказувалося, тиск навантаження дисперсних матеріалів у випадку їх віброударного пресування може бути в десятки разів меншим тиску в процесі пресування видавлюванням, при адекватних чи навіть кращих результатах обробки. Значення сил тертя між частинками дисперсної суміші та поверхнями виконавчих елементів машини під час віброударного пресування також менші, ніж при статичному пресуванні. Далі, якщо режим простого пресування або пресування видавлюванням за своєю природою є безперервним, то при віброударному навантаженні кожна з частинок оброблюваного продукту піддається впливу періодичних синусоїдальних імпульсів зовнішніх сил, що містять складові у вигляді гармонійних хвиль, кутові частоти яких збігаються з власними частотами частинок. Останнє обумовлює виникнення резонансних коливань частинок, що сприяє їх значно кращому, ніж при статичному пресуванні ущільненню. До цього ж, реалізація та використання розроблених конструкцій прес-форм для багатокомпонентного навантаження дисперсних мас при їх віброударному пресуванні [6] дозволить здійснювати і багатосторонню обробку в процесі зневоднення.

Підвищити ефективність простого пресування (збільшити інтенсивність диференціального вичавлювання вологи з порції відходів) можна шляхом її нагрівання або збільшення сумарної площі контакту виконавчих елементів машини з сумішшю. При реалізації першого з вказаних способів підвищується кінетична енергія молекул рідини і вони легше, ніж при відсутності нагрівання зміщуються із положення рівноваги та видаляються з прес-форми. Другий спосіб передбачає розділення всього об'єму суміші, що зневоднюється на декілька порцій і далі здійснення їх одночасного статичного стискання між відповідним числом паралельних горизонтальних дренажних решіток пакетних пресів, що досить широко застосовуються у виноробній промисловості [2]. В останньому випадку для досягнення достатньої ефективності процесу зневоднення потрібно забезпечити індивідуальний привод для кожної з решіток. Очевидно, що для реалізації кожного з двох розглянутих способів необхідні додаткові енергетичні витрати та досить складне обладнання.

Висновки

З врахуванням наведених вище результатів порівняння способів статичного пресування зі способом віброударного пресування при застосуванні їх у технологічних процесах переробної та комбікормової промисловості, можна вважати теоретично обґрунтованою вищу ефективність способу віброударного пресування за більшістю основних критеріїв.

Спосіб віброударного пресування та ІВПМ можуть використовуватись і в ряді інших галузей харчової промисловості, в тому числі: макаронній – для формування сирих виробів, олійно-жировій – для віджимання олії із олійних зернят; цукровій – для зневоднення та пресування сирого жому, брикетування сухого жому; м'ясній – для нагнітання м'ясного фаршу, віджимання жиру з м'ясної шквари; дріжджовій, молочній, маргариновій – для нагнітання продукту у сопла автоматів, його розфасовування та упакування, а також у рибній – при виробництві рибної муки – одного з найважливіших інгредієнтів комбікормів.

Список літератури

1. Лунцен М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 384 с.
2. Прессы пищевых и кормовых производств. Под ред. А. Я. Соколова. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 291 с.
5. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В., Андрощук В. Д. Вібропресова машина для обезводнювання відходів харчових виробництв// Вибрации в технике и технологиях. - 2002. - №3 (24). - С. 48 - 50.
6. Іскович-Лотоцький Р.Д., Севост'янов І.В. Гідрофіковані прес-форми для багатоконпонентного віброударного інерційного навантаження дисперсних мас// Наукові нотатки. Межвузівський збірник (за напрямом „Інженерна механіка”). – Луцьк: ЛДТУ. – Вип. 14, 2004. – С. 107-116.