

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРАЦІЙНОГО ТА ВІБРОУДАРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У статті запропоновано шляхи обґрунтування ефективності зневоднення вторинних продуктів харчової та переробної промисловості за рахунок використання вібрацій та ударів. Розглянуті особливості протікання віброударного пресування та виведено рівняння руху частинки оброблюваного матеріалу по одній з координат.

В статті предложены пути обоснования эффективности обезвоживания вторичных продуктов пищевой и перерабатывающей промышленности за счет использования вибраций и ударов. Рассмотрены особенности протекания виброударного прессования и выведено уравнение движения частички обрабатываемого материала по одной из координат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для використання вторинних продуктів харчової промисловості, зокрема при виготовленні спирту (спиртова барда), пива (пивна дробина), цукру (жом), фруктових та ягідних соків (жмих), а також у сільському господарстві (при приготуванні кормів) досить розповсюдженими є технологічні процеси видалення вологи з відходів та їх подальшого сушіння [1]. Створене для реалізації цих процесів обладнання не у всіх випадках забезпечує потрібні параметри зневоднених відходів, що змушує збільшувати тривалість сушіння і приводить до додаткових витрат енергії та часу. Розв'язати вказану проблему можна, як це підтверджують попередні експерименти, за допомогою вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом [2], яке забезпечує інтенсивний режим видалення вологи з відходів при їх віброударному навантаженні та дозволяє регулювати робочі режими обробки для досягнення заданих параметрів обезводнювання за порівняно короткий час. В залежності від характеру зміни тиску в робочій порожнині гідроциліндра гідроімпульсного привода (визначається способом підключення віброзбуджувача “на вході” або “на виході” [2]) розрізняють “імпульсний” з проміжками повного розвантаження та “трикутний” віброударні режими. При необхідності максимально повного видалення вологи з великооб’ємних порцій суміші можливо застосування багатокомпонентного віброударного навантаження [3], яке реалізується як на спеціальному вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом так і на машинах, створених на основі промислових зразків ІВПМ [3, 4].

Виклад основного матеріалу

В результаті аналізу особливостей характеру зміни фізико-механічних властивостей зневоднюваного матеріалу в процесі його віброударного пресування при інерційному навантаженні було відзначено, що пресування відбувається дискретно зі збільшенням поточного значення густини матеріалу для кожного наступного циклу навантаження. Враховуючи, що матеріал який зневоднюється, є сукупністю безлічі водяних крапель які утримуються структурою матеріалу, можна припустити, що процес зневоднення має характер руйнування структури, оскільки для досягнення заданої остаточної густини матеріалу(без вологи) потрібне динамічне зусилля навантаження $F_{zi \max}$ значно (в десятки разів) менше відповідного статичного.

Для ударно-вібраційних режимів навантаження відзначено додаткове зростання густини матеріалу під впливом повторного імпульсу зусилля, коли первинний імпульс викликав в матеріалі тільки пружні деформації.

Крім цього, для перших циклів навантаження відзначено певне запізнювання імпульсу зусилля з боку пуансона по відношенню до часу початку імпульсного зростання зусилля на днищі контейнера, що свідчить про залежність швидкості передачі імпульсу навантаження в середовищі матеріалу від його фізико-механічних властивостей. Така особливість передачі імпульсу зусилля через зневоднюваний матеріал може бути пояснена його хвильовим характером.

Для обґрунтування виявлених особливостей протікання процесу зневоднення, реалізованого при інерційній схемі навантаження під впливом імпульсів зовнішніх сил, на нашу думку, необхідно глибше дослідити даний процес з урахуванням характеру взаємодії водяних крапель та матеріалу структури основи. В загальному випадку процес зневоднення, як було відзначено вище, супроводжується пружними та пластичними деформаціями.

Пружні деформації визначаються величиною напруг в зонах контакту матеріалу структури основи та водяних крапель. Тому процес зневоднення можна розглядати як процес руйнування пружних зв'язків матеріалу структури та вільному виходу водяних крапель.

При періодичному імпульсному прикладанні навантаження до контейнера, в матеріалі виникають хвилі дотичних і стискаючих напруг, що біжать та переміщуються у бік пуансона, і які викликають вимушені коливання водяних крапель відносно початкового положення рівноваги, а в разі достатньої амплітуди впливів, що періодично змінюються, руйнують зв'язки між матеріалом структури основи та водяних крапель між частинками оброблюваного матеріалу. Дані хвилі (для розглядуваного випадку циліндрична та плоска) переміщуються з фазовими швидкостями, що обумовлюється безперервними в часі актами пластичних деформувань зсуву в структурі заготовки або руйнуваннями частинок основи її матеріалу. Можливі переміщення хвиль напруг в оброблюваному матеріалі визначаються граничними умовами, величинами фазових швидкостей та імпульсів зовнішніх сил. Під впливом імпульсів зовнішніх сил збільшується густина матеріалу за рахунок видалення вологи.

Відзначено вище явище зростання величини густини структури матеріалу для сталого режиму навантаження під впливом повторного імпульсу, на нашу думку, може бути обумовлено створенням в матеріалі нової хвилі напруг при ударі інерційної маси. Дана хвиля проходить через матеріал і відбивається від днища контейнера. При накладенні прямої і зворотної хвиль інтенсифікується процес зневоднення, що в результаті створює умови аналогічні двосторонньому пресуванню. Слід вказати на можливість накладення хвилі напруг повторного імпульсу на хвилю напруг, що виникає в зневоднюваному матеріалі в момент гальмування робочої ланки машини з контейнером в разі повернення в початкове положення.

Для спрощеного представлення даного положення можна розглянути ряд станів зневоднюваного матеріалу у вигляді циліндричної заготовки з постійним діаметром в межах зміни її висоти від $h_{з0}$ до $h_{зк}$ ($h_{з0} > h_{зк}$) і густини від $\rho_{з0}$ до $\rho_{зк}$ ($\rho_{з0} > \rho_{зк}$). Кожному стану заготовки відповідає фазова швидкість $v_{\phi i}$ розповсюдження, наприклад, плоскої ударної хвилі напруг (аналогічно відносним деформаціям), що дорівнює швидкості розповсюдження звуку в даному середовищі, а також мінімальна амплітуда σ_{0i} коливань напруг, що забезпечують резонансний режим навантаження. Торці заготовки біля днища контейнера та пуансона можна вважати межами

розповсюдження плоскої хвилі напруг (висотою h_{zi}). Закон зміни амплітуди σ_{oi} коливань напруг в часі можна подати у вигляді

$$\sigma_i = \sigma_{oi} \cos\left(\frac{\pi v_{\phi i}}{h_{zi}} t + \varphi_i\right), \quad (1.1)$$

де $v_{\phi i}/h_{zi}$ – частота коливань напруг в заготовці і-го стану для фазової швидкості $v_{\phi i}$; φ_i – фазовий зсув коливань, що визначається початковими умовами.

В даному випадку процес зневоднення можна розглядати як послідовний вплив на заготовку моногармонійних імпульсів зовнішніх сил, що тривають нескінченно, у вигляді косинусоїдальних (або синусоїдальних) хвиль з кутовими частотами ω_i , результатом якого є суперпозиція гармонійних коливань, що відповідає складному імпульсу зовнішніх сил кінцевої тривалості. Якщо уявити циліндричну заготовку як обмежену ділянку середовища, що є набором резонаторів, то в результаті впливу на неї складного імпульсу в заготовці виникатимуть резонансні явища на тих частотах, які містяться в цьому імпульсі. Величини значень частот гармонійних коливань, їх амплітуд та фаз визначаються частотою і формою початкової негармонійної хвилі кінцевої тривалості, а енергія даної хвилі розподіляється між гармонійними хвилями, що виникають, з вирахуванням енергії, яка витрачається на подолання сил внутрішнього тертя [3]. В загальному випадку розподілення енергій носить дискретний характер і залежить від процесу утворення структурних змін в заготовці. Проте, достовірно визначити закономірність невизначеного за своєю природою механізму утворення дискретних змін для кожної гармонійної складової нам не вдалося і, тому, процес і-го циклу навантаження було запропоновано оцінювати за результатом впливу на заготовку складного імпульсу зовнішніх сил у вигляді пакету n гармонійних хвиль з частотами від ω_1 до ω_n , амплітуда якого визначається величиною енергії, що витрачається на кожний цикл пресування, а швидкість перенесення енергії відповідає швидкості максимальної амплітуди пакету, або його груповій швидкості [2].

Згідно із теоремою про ширину частотної смуги, можна стверджувати, що додавання компонентів імпульсу до частотної ширини $\Delta\omega = \omega_n - \omega_1$ – дає значну

амплітуду $\sum_{i=1}^n \sigma_i$ тільки протягом часу Δt , а потім імпульс затухає через випадкові різниці фаз компонентів. Збільшення ширини хвильового пакету характерне для ударного імпульсу ($\Delta t \rightarrow 0$), а зменшення відповідає переходу на гармонійне одночастотне навантаження ($\Delta\omega \rightarrow 0$). У зв'язку з вищевикладеним, цікавою є можливість кількісної оцінки потрібної тривалості впливу на заготовку складного імпульсу зовнішніх сил, що забезпечує виникнення в обмеженому середовищі заготовки резонансних хвильових явищ. Тому для визначення тривалості одиночного імпульсу τ_0 , гармонійні частотні компоненти якого лежать в інтервалі $\Delta\omega$, можна скористатися відомою залежністю у вигляді

$$\tau_0 = \frac{2\pi}{\Delta\omega} = \frac{2\pi}{\omega_n - \omega_1}. \quad (1.2)$$

Проте для визначення амплітудного значення імпульсу необхідно знати амплітудні значення σ_{oi} гармонічних коливань плоских хвиль напруг або деформацій, які, у свою чергу, можуть бути визначені за величиною енергії, що витрачається на деформування заготовки з конкретними геометричними параметрами і фізико-

механічними властивостями.

Заготовка в замкненому об'ємі контейнера в загальному випадку представляє собою складну систему структурних утворень, що складається з простих окремих умовно твердих частинок (водяних крапель) з r ступенями вільності. Коливальні рухи в складній системі описуються r координатами, вибір яких довільний, а число ступенів вільності визначається мінімальним числом змінних, що описують рух простих систем. Можливі переміщення в складній системі визначаються відносним впливом простих систем одна на одну. Фактичний рух частинок основи заготовки є "зв'язаним", тобто коливання в будь-якій з простих систем впливають на коливання в іншій і навпаки.

Для фізичного аналізу коливальних явищ в складній системі заготовки необхідно знати характер коливань в окремих простих, як їх прийнято називати, "парціальних" системах, з яких вона складається. З цією метою слід визначити: "парціальні" системи, що утворюють складну систему; встановити "зв'язок" – взаємодію між коливаннями в "парціальних" системах; оцінити величину даного "зв'язку" за ступенем його впливу на характер коливань.

Для виділення "парціальної" системи в складній системі заготовки скористаємося відомим правилом, згідно з яким, "парціальна" система, поведінка якої описується даною узагальненою координатою, виходить з системи, якщо решту координат беремо рівними нулю. Тоді частоти коливань виділених "парціальних" систем називаються парціальними частотами складної системи і завжди лежать між її власними частотами. Зменшення інтенсивності "зв'язку" між "парціальними" системами збільшує ступінь збіжності власної частоти системи з найближчою парціальною частотою. Тому у ряді випадків для оцінювання власних частот складної системи, що має слабкі зв'язки, достатньо визначити її парціальні частоти.

Таке допущення можливо для наближеного визначення власних частот q – масової складної системи заготовки, яка складається з умовно-твердих частинок (крапель вологи), що важко деформуються в замкнутому об'ємі контейнера. В початковому стані, тобто перед початком зневоднення матеріал навантажений тільки результуючим осьовим статичним зусиллям $P_{\Sigma} = P_{cm} + m_2g$ з боку пуансона.

В складній системі зневоднюваний матеріал умовно названої "зв'язаної" структури, стан якої відповідає стану матеріалу в контейнері прес-форми під дією результуючого статичного зусилля P_{Σ} , типова "парціальна" система може бути показана у вигляді елементарного просторового анізотропного осцилятора – твердої краплі вологи масою m_i , що взаємодіє з нерухомими частинками основи, що оточують її.

Можна вважати, що найефективнішому резонансному руйнуванню будуть піддаватися "парціальні" системи, в яких відсутній будь-який пружний зв'язок в одному з напрямів можливого переміщення. В такому напрямку частинка може отримати максимальний зсув у момент збігання змущувальної частоти зовнішнього впливу з парціальною частотою системи.

Виділення парціальних систем в складній системі заготовки ускладнюється для структурних утворень. Прикладом такої "парціальної" системи може служити "зв'язаний" ланцюжок частинок зневоднюваного матеріалу, характер силової взаємодії між якими визначається контактною жорсткістю матеріалу частинок структурної основи і відстанню між центрами їх мас. Відстані між центрами мас a залежать від зусиль, що діють у напрямку осі ланцюжка і замикають його кінці. Кожна "парціальна" система такого типу може мати ряд парціальних частот $\nu_{s(x,y,z)i}$, що визначаються формою коливань.

Як приклад можна розглянути можливі коливання "зв'язаного" ланцюжка „r” частинок без уточнення вибору напрямку узагальненої координати q та величини замикаючого зусилля P_0 , яке в загальному випадку є проекцією на вісь ланцюжка складової результуючого осевого статичного зусилля P_Σ . Можливі переміщення i -ої частинки в такій ідеалізованій "парціальній" системі за умови наявності лінійних пружних зв'язків з $(i-1)$ -ою та $(i+1)$ -ою частинками "зв'язаного" ланцюжка відбуваються вздовж q_x та перпендикулярно q_y – за нормальними координатами коливальної системи. Зсув частинки m_i по координаті q_y відносно сусідніх частинок ланцюжка визначається зусиллям $P_{0,y}$

$$P_{0,y} = P_0 \sin \Theta_1 + P_0 \sin \Theta_2, \quad (1.3)$$

де

$$\sin \Theta_1 = \frac{q_{yi} - q_{y(i-1)}}{a}; \sin \Theta_2 = \frac{q_{yi} - q_{y(i+1)}}{a}.$$

Отже, рівняння руху i -ої частинки по координаті q_{yi} має вигляд

$$m_i \frac{dq_{yi}}{dt^2} = -P_{0y} = -P_0 (\sin \Theta_1 + \sin \Theta_2) = -P_0 \left(\frac{q_{yi} - q_{y(i-1)}}{a} + \frac{q_{yi} - q_{y(i+1)}}{a} \right). \quad (1.4)$$

Висновки

1. При зневодненні вторинних продуктів харчової промисловості доцільно використовувати ударно-вібраційне навантаження.
2. Досліджуваний матеріал, який зневоднюється, є сукупністю безлічі водяних крапель, що утримуються структурою матеріалу, тому висловлене припущення, що процес зневоднення має характер руйнування зв'язаної структури.
3. Зневоднюваний матеріал представлений у вигляді циліндричної заготовки постійного діаметра в об'ємі контейнера, характеризується крайніми значеннями.
4. Для фізичного аналізу коливальних явищ в складній системі матеріалу заготовки виділено "парціальні" системи, з яких вона складається.
5. Виведено рівняння можливого переміщення i -ої частинки в ідеалізованій "парціальній" системі за координатою q_{yi} .

Бібліографія

1. Искович-Лотоцкий Р.Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Искович-Лотоцкий Р.Д., Матвеев И.Б., Крат В.А. - Киев: Техніка, 1982. - 208 с.
2. Лунцен М. Основные процессы пищевых производств / М. Лунцен, Р. Мерсон; пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 384 с.
3. Искович-Лотоцкий Р.Д. Перспективы розвитку вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для багатокомпонентного складнопросторового навантаження / Р.Д. Искович-Лотоцкий, І.В. Севостьянов // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – Вып. 42. – Том 1. – Киев. – 2002. – С. 169 – 174.
4. Севостьянов І.В. Синтез схем вібропресів для багатокомпонентного пресування заготовок / І.В. Севостьянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - №1 (18). – С. 93 – 96.

Відомості про авторів

Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович – доктор технічних наук; професор; завідувач кафедрою «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв» Вінницького національного технічного університету; контактні телефони: (0432) 59-80-51 (роб), (0432) 46-16-78 (дом); адреса для листування: 21021, м. Вінниця, вул.Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, кафедра «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованих виробництв».

Любин Володимир Святославович – асистент кафедри Загальнотехнічних дисциплін та професійної освіти Вінницького національного аграрного університету; контактні телефони: 80978300139 електронна пошта: vovalu88@ukr.net.