

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 66.066

І. В. Севостьянов, канд. техн. наук, доц.

ДИНАМІКА КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У СЕРЕДОВИЩІ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ЇХ ВІБРОУДАРНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ

Розглянуто закономірності процесів віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів. Наведено рівняння для визначення основних параметрів коливань у середовищі оброблюваного матеріалу під час його зневоднення.

Вступ

Однією з актуальних проблем вітчизняних підприємств харчової промисловості є проблема утилізації їх відходів, в тому числі спиртової барди, пивної дробини, бурякового жому, кавового та ячмінного шלאму, що відносяться до вологих дисперсних матеріалів. Найраціональнішим варіантом утилізації цих відходів є їх зневоднення до рівня вологості 20—25 %, що дозволяє використовувати тверду фазу (концентрат) відходів як добавку до сільськогосподарських кормів або як паливо. Як показали результати проведених експериментів [1], одним з найефективніших способів зневоднення вологих дисперсних матеріалів за продуктивністю, енергоємністю та забезпечуваною кінцевою вологістю концентрату є спосіб віброударного інерційного навантаження у прес-формі закритого типу на вібропресі з гідроімпульсним приводом (ГІП) типу ІВПМ [2—4]. Але для отримання вказаних параметрів ефективності віброударного зневоднення потрібно визначити закономірності його перебігу, зокрема розглянути динаміку коливальних процесів у середовищі оброблюваного матеріалу.

Основний текст

З метою спрощення аналізу досліджуваних процесів доцільно здійснювати його окремо для кожного етапу циклу спрацювання ГІП вібропреса, кожної фази оброблюваного матеріалу та кожної ділянки його порції [3]. Найінтенсивніше навантаження матеріалу створюється на І-му етапі циклу спрацювання ГІП з віброзбуджувачем «на вході» [4], під час різкого збільшення тиску у порожнині гідроциліндра ГІП від зливного p_z до максимального $p_{г. \max}$. На рис. 1 показані схеми навантаження та руху твердих частинок матеріалу на цьому етапі у осьовому та поперечному перерізах прес-форми. На схемах позначені: m_I — маса нижнього виконавчого елемента вібропреса (прес-форми і пов'язаних з нею рухомих елементів [3]); m_{II} — маса верхнього виконавчого елемента (пуансона і пов'язаних з ним рухомих елементів [3]); z_I, z_{II} — переміщення мас m_I, m_{II} відносно осі z ; F_{mzI}, F_{mzII} — зусилля, що діють на оброблюваний матеріал з боку m_I та m_{II} відносно осі z ; $F_{mx\Sigma}, F_{my\Sigma}$ — сумарні навантаження, що діють на матеріал відносно осей x, y .

У продовж розглядуваного етапу під час переміщення маси m_I вгору з прискоренням (8...10)g [4] матеріал у прес-формі піддається динамічному навантаженню знизу, а також інерційному і статичному навантаженню зверху. В результаті у середовищі порції від днища прес-

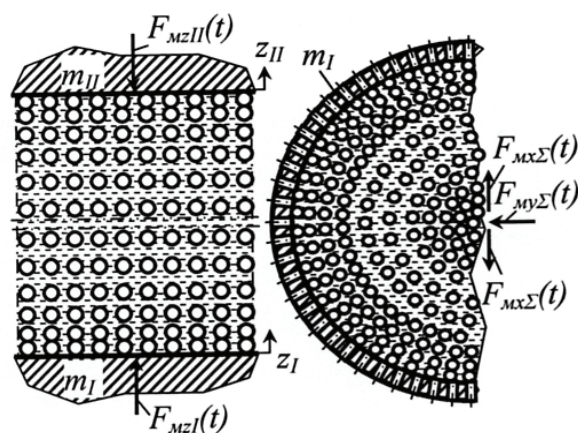


Рис. 1. Схеми навантаження та руху твердих частинок вологого дисперсного матеріалу під час його віброударного зневоднення на І-му етапі циклу спрацювання ГІП у осьовому та поперечному перерізах прес-форми

форми вверх, а від пуансона вниз проходять хвилі стискаючих напружень (див. рис. 1). У середніх за висотою шарах порції ці хвилі взаємно накладаються, продовжують переміщуватись до пуансона і днища прес-форми, відбиваються від них і рухаються у протилежних напрямках, з повторенням цієї послідовності. Одночасно у поперечних перерізах порції від її осі до периферії і у протилежному напрямку проходять прямі та зворотні хвилі дотичних напружень. Рідинна фаза матеріалу, що витискається з каналів між твердими частинками внаслідок їх зближення, витікає через отвори у стінках прес-форми, закриті з середини фільтрувальною сіткою. При цьому концентрація твердих частинок біля стінок прес-форми буде збільшуватись.

Рівняння руху твердої частинки матеріалу, що контактує з днищем прес-форми на I-му етапі циклу віброударного зневоднення має вигляд [3]

$$m_m \frac{\rho_p(t)}{\rho_m(t)} (\ddot{z}_m + g) + \alpha_{mz} \dot{z}_m + c_{mz} z_m + \sigma_{0z} = F_{mzI}(t), \quad 0 < t \leq t_I, \quad (1)$$

де m_m — маса середньої за розмірами твердої частинки у повітрі; $m_m \frac{\rho_p(t)}{\rho_m(t)}$ — маса тієї самої частинки під час віброударного зневоднення у прес-формі у разі дії на неї сили виштовхування; $\rho_m(t)$, $\rho_p(t)$ — поточні значення густини твердої та рідинної фаз порції [3]; z_m — переміщення твердої частинки відносно осі z ; α_{mz} — коефіцієнт в'язкості частинки під час її переміщення відносно осі z ; c_{mz} — коефіцієнт жорсткості твердої частинки відносно осі z ; σ_{0z} — межа текучості твердої частинки відносно осі z ; t_I — тривалість I-го етапу — відповідає тривалості t_o відкриття віброзбуджувача ГПП [4].

Зусилля $F_{mzI}(t)$ можна визначити з рівняння руху маси m_I [3]

$$F_{mzI}(t) = p_{\Gamma.max} S_z - m_I (\ddot{z}_I + g) - (\alpha_{\Gamma} + \alpha_{mz} + \alpha_{pz}) (\dot{z}_I - \dot{z}_{II}) - c_y (z_I + z_{0y}) - (c_{mz} + c_{pz}) (z_I - z_{II}) - \sigma_{0z} - F_k, \quad 0 < t \leq t_I, \quad (2)$$

в якому S_{Γ} — площа поперечного перерізу плунжера гідроциліндра ГПП; α_{Γ} — коефіцієнт в'язкого демпфірування при переміщенні плунжера гідроциліндра ГПП; α_{pz} — коефіцієнт в'язкого демпфування під час переміщення рідинної фази в каналах між твердими частинками відносно осі z ; c_y , z_{0y} — жорсткість та попереднє стискання пружин повернення нижнього виконавчого елемента вібропреса; F_k — зусилля опору під час проходження рідинної фази по капілярах твердих частинок [3].

Рівняння (1), (2) разом з рівнянням для розрахунку зусилля $F_{mzI}(t)$, рівнянням руху рідинної фази та рівнянням балансів енергії для виконавчих елементів вібропреса на I-му етапі [3] можуть бути розв'язані в середовищі Matlab Simulink [3]. Розв'язуючи ці рівняння для моменту часу початку I-го етапу отримуємо дані для визначення параметрів ударної взаємодії твердої частинки нижнього шару порції, що безпосередньо прилягає до днища прес-форми з частинкою другого шару (див. рис. 1). На рис. 2, а показана схема цієї взаємодії, де частинка нижнього шару в момент удару зображена пунктирною лінією. При цьому з урахуванням періодичного рівномірного перерозподілення твердих частинок по об'єму порції матеріалу під час його віброударного зневоднення [5] припускаємо, що початкова відстань між частинками сусідніх шарів для розглядуваного моменту часу $t = t_{n1}$ n -го циклу ГПП є величиною стабільною. Ця відстань відповідає діаметру $d_{k,n}(t)$ каналів між твердими частинками (див. рис. 2а), який можна визначити, виходячи з маси порції m_m , масового вмісту ε_m в ній твердої фази, густини ρ_m останньої, діаметра d_m середньої за розмірами твердої частинки (визначається методом ситового аналізу), площі поперечного перерізу S_m та початкової висоти H_m порції [5]. Тоді тривалість t_{n1} переміщення частинки нижнього шару до її взаємодії з частинкою другого шару визначаємо як

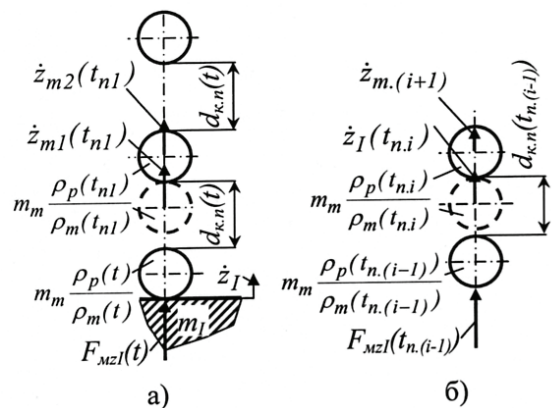


Рис. 2 Схеми для розрахунку динамічних параметрів коливального процесу у середовищі волого дисперсного матеріалу під час його віброударного зневоднення

$$t_{n1} = \sqrt{\frac{2 \cdot d_{к.н}(t)}{\ddot{z}_{mz}}}. \quad (3)$$

З використанням рівнянь математичної моделі досліджуваного процесу (див. вище) можна визначити швидкість $\dot{z}_{m1} = \dot{z}_{m1}(t_{n1})$ частинки нижнього шару в момент її ударної взаємодії з частинкою другого шару. Останній після взаємодії передається частина енергії маси m_I , в результаті чого ця частинка набуває швидкості $\dot{z}_{m2} = \dot{z}_{m2}(t_{n1})$ (див. рис. 2а). Щодо частинки нижнього шару, то її швидкість \dot{z}_{m1}' після удару розраховується за рівнянням збереження імпульсу, з урахуванням коефіцієнта відновлення швидкості R [6]. Але для спрощення розрахунків величину \dot{z}_{m1}' можна з високим ступенем наближення брати рівною швидкості переміщення маси m_I : $\dot{z}_{m1}' = \dot{z}_I(t_{n1})$. Тоді рівняння збереження імпульсу під час ударної взаємодії нижньої і верхньої частинок можна представити у вигляді

$$m_m \frac{\rho_p(t)}{\rho_m(t)} \dot{z}_{m1} = m_m \frac{\rho_p(t)}{\rho_m(t)} \dot{z}_I + m_m \frac{\rho_p(t)}{\rho_m(t)} \dot{z}_{m2}; \quad t = t_{n1}. \quad (4)$$

Звідки
$$\dot{z}_{m2} = \dot{z}_{m1} - \dot{z}_I; \quad t = t_{n1}. \quad (5)$$

Після описаної взаємодії частинок, внаслідок зближення мас m_I , m_{II} (див. рис. 1) та витікання частини рідинної фази порції через отвори прес-форми, діаметр каналів між сусідніми твердими частинками дещо зменшується до величини $d_{к.н} = d_{к.н}(t_{n1})$. Параметри наступних ударних взаємодій твердих частинок верхніх шарів порції — другого і третього, третього та четвертого і так до останнього k -го шару частинок, що прилягає до пуансона – визначаємо за допомогою рівнянь математичної моделі досліджуваних процесів, а також з використанням формул (див. рис. 2б)

$$t_{n,i} = \sqrt{\frac{2 \cdot d_{к.н}(t_{n,(i-1)})}{\ddot{z}_{mz}}}; \quad t = t_{n,(i-1)}; \quad i = 2 \dots k; \quad (6)$$

$$\dot{z}_{m(i+1)} = \dot{z}_m - \dot{z}_I; \quad t = t_{n,i}; \quad i = 2 \dots k; \quad (7)$$

де $t_{n,(i-1)}$ — момент часу попередньої ударної взаємодії частинок.

Число шарів k твердих частинок, яке вважаємо незмінним для всього розглядуваного етапу циклу віброударного зневоднення визначаємо як

$$k = \frac{H_m}{d_m + d_{к.н}(t_{n1})}. \quad (8)$$

Таким чином, створення на частинках оброблюваного матеріалу імпульсного силового навантаження $F_{mz}(t)$ зумовлює виникнення в його середовищі хвилі стискаючих напружень, що проходить від днища прес-форми до пуансона, відбивається від нього та рухається у зворотному напрямку. У поперечних перерізах прес-форми під впливом зусиль $F_{m\Sigma}(t)$, $F_{m\Sigma}(t)$ (див. рис. 1) від осі до периферії порції і в зворотному напрямку проходять хвилі стискаючих напружень. За допомогою рівнянь аналогічних вищенаведеним можна показати, що на цьому етапі, внаслідок дії зусилля $F_{mzII}(t)$, хвилі стискаючих напружень проходять й від пуансона до днища прес-форми, при цьому у середніх поперечних перерізах порції вони накладаються на зустрічні хвилі, які йдуть від днища. Крім цього, згідно з формулами (5, 7), коливання твердих частинок порції мають згасальний характер.

Власна частота твердих частинок під час таких коливань може бути наближено визначена за формулою [7]

$$v_m = \frac{\sqrt{\frac{c_{mz}}{m_m \cdot \rho_p / \rho_m} - \left(\frac{\alpha_{mz}}{2m_m \cdot \rho_p / \rho_m} \right)^2}}{2\pi}. \quad (9)$$

Власна частота коливань нижнього виконавчого елемента вібропреса після його удару в момент повернення у вихідне нижнє положення на етапі холостого ходу [4] (ці коливання передаються прес-формі та порції оброблюваного матеріалу) розраховується як [6]

$$v_I = \frac{1}{2b_I} \sqrt{\frac{K_{ст}}{\rho_{cm}}}, \quad (10)$$

де b_I — товщина вібростолу і днища прес-форми; $K_{ст}$, $\rho_{ст}$ — модуль об'ємної пружності та густина матеріалу вібростолу та прес-форми (сталь).

В результаті розрахунку за формулами (9, 10) частоти ν_m (для концентрату кавового шламу [3]) та частоти ν_I (для вібропреса ІВПМ-16 [4]) отримуємо

$$\nu_m = 16,36 \text{ кГц}; \quad \nu_I = 36,4 \text{ кГц}.$$

Отже, під час кожного удару нижнього виконавчого елемента вібропреса на етапі повернення його у вихідне нижнє положення, у середовищі порції оброблюваного матеріалу генеруються високочастотні коливання. При цьому оскільки частота ν_I цих збурень є значно вищою за власну частоту ν_m частинок середовища, останні упродовж розгону і приведення їх у стан коливання обов'язково проходять й через стан резонансу [7]. В результаті частинки отримують вищу рухомість, ефективно і рівномірно перерозподіляються по об'єму прес-форми із взаємними поворотами, зсувами, прослизанням, щільнішим укладанням та видаленням рідини з проміжків між ними. Таким чином, у порівнянні зі статичним пресуванням підвищується продуктивність робочого процесу, зменшується його енергоємність, із забезпеченням досить низької кінцевої вологості концентрату оброблюваного матеріалу.

Висновки

1. Для спрощення аналізу закономірностей перебігу та ефективності процесів віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів у прес-формі закритого типу на вібропресі з ГПП доцільно здійснювати його окремо для кожної фази оброблюваного матеріалу, кожної ділянки його порції і кожного етапу циклу ГПП.

2. Висока ефективність віброударного зневоднення зумовлена створенням у середовищі оброблюваного матеріалу при його реалізації хвиль дотичних та стискаючих, прямих і зворотних напружень і деформацій. В результаті тверді частинки матеріалу періодично і рівномірно розподіляються по об'єму прес-форми із взаємними поворотами, зсувами, прослизаннями, щільнішим укладанням та видаленням рідини з проміжків між ними.

3. Коливання твердих частинок матеріалу під час його віброударного зневоднення мають затухаючий характер. При цьому наприкінці кожного робочого циклу розглядуваних процесів на частинки матеріалу діє ударний імпульс, що зумовлює їх перехід у стан резонансу і забезпечує додаткову рухомість частинок, а отже й інтенсифікацію процесу зневоднення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Севостьянов І. В. Експериментальні дослідження процесів потокового віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів / І. В. Севостьянов // Промислова гідраліка і пневматика : матер. XIII міжнародної науково-технічної конференції. — Чернігів, 19—20 вересня 2012 р. — Вінниця : ГЛОБУС-ПРЕС, 2012. — 117 с.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Аналіз способів сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування, 2009. — № 57. — С. 50—55. — ISSN 0201 – 744X.
3. Севостьянов І. В. Теоретичні дослідження гідроімпульсного вібропреса для потокового віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів / І. В. Севостьянов // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування, 2012. — № 64. — С. 119—126. — ISSN 0201 — 744X.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування : моногр. / Р. Д. Іскович-Лотоцький. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. — 338 с. — ISBN 966-641-178-4.
5. Севостьянов І. В. Визначення робочих параметрів процесів віброударного сепарування вологих дисперсних матеріалів / І. В. Севостьянов, Р. Д. Іскович-Лотоцький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»), 2008. — Випуск 23. — С. 282—292. — ISBN 5-7763-8653-5.
6. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. — М. : Наука, 1977. — 224 с.
7. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. — М. : Высшая школа, 1980. — 408 с.

Рекомендована кафедрою металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва

Стаття надійшла до редакції 8.05.2013

Рекомендована до друку 28.05.2013

Севостьянов Іван В'ячеславович — доцент кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця