

Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севастьянов

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВІБРОПРЕСОВОГО ОБЛАДНАННЯ З  
ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ ПРИ  
ЗНЕВОДНЕННЯ ВТОРИННИХ ПРОДУКТІВ  
ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті 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 харчових виробництв. Рис. 1. Джер. 6

Одним з найефективніших видів сучасного обладнання для реалізації вібраційних та віброударних технологічних процесів в різних галузях виробництва, на транспорті та у сільському господарстві є вібропресове обладнання з гідроімпульсним приводом (ГІП) [1]. Як показали попередні експерименти [2], досить перспективним є його використання і для зневоднення вторинних продуктів харчових та переробних виробництв (спиртової барди, пивної дробини, цукрового жому, фруктової та ягідної макухи), а також різних продуктів рослинного та тваринного походження під час приготування сільськогосподарських кормів.

З метою порівняння ефективності віброударного та статичного пресування при зневодненні вологих дисперсних матеріалів з використанням вказаних способів були здійснені спробні віджимання попередньо зневоднених до вологості 70% порцій концентрату спиртової барди та пивної дробини у циліндричній прес-формі закритого типу з внутрішнім діаметром 500 мм і висотою 300 мм. Як основне обладнання застосовувались гідравлічний двокошиковий прес 2П-41 [3] та інерційний вібропрес-молот з ГІП моделі ІВПМ-16 [4]. Визначались та зіставлялись: кінцева вологість зневоднених порцій (за допомогою кожного з розглянутих способів були здійснені по п'ять віджимань однакових за масою і об'ємом порцій спиртової барди та пивної дробини); тривалість статичного та віброударного пресування, а також максимальні робочі зусилля на виконавчих елементах 2П-41 та ІВПМ-16 під час зневоднення. Кінцева вологість порцій розраховувалась за результатами їх зважування (з точністю  $\pm 1$  г) до та після процесу віджимання.

Вологість порцій, зневоднених на статичному пресі при створенні в його гідросистемі максимально допустимого паспортною характеристикою тиску у 18 МПа була у 1,5...2 рази вищою вологості порцій відповідного вторинного продукту, що віджимались на ІВПМ (оптимальні значення робочих параметрів віброударного інерційного навантаження, якими є [4]: енергія  $E_n$ , що передається виконавчим елементам вібропреса протягом кожного циклу спрацьовування ГІП, амплітуда та частота коливань вказаних елементів – установлювались під час експериментів дослідним шляхом). За оцінкою авторів для забезпечення адекватної кінцевої вологості порцій при зневодненні їх способами віброударного

та статичного пресування під час реалізації останнього тиск у гідросистемі преса має складати не менше 100 МПа (для порівняння: максимальний тиск  $p_1$  робочої рідини у гідросистемі ГП ІВГМ-16 не перевищував 14 МПа).

Тривалість зневоднення з використанням способів статичного та віброударного пресування для досягнення найнижчої можливої вологості порції складала відповідно 20 хв і 20 – 25 с.

Максимальне зусилля  $F_{п.маx.ст}$  на пуансоні статичного преса при діаметрі плунжера його гідроциліндра  $d_{г.ст} = 300$  мм та тиску в гідросистемі  $p_{г.ст} = 18$  МПа буде дорівнювати

$$F_{п.маx.ст} = p_{г.ст} \frac{\pi \cdot d_{г.ст}^2}{4} = 18 \cdot 10^6 \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 1271700 \text{ Н.} \quad (1)$$

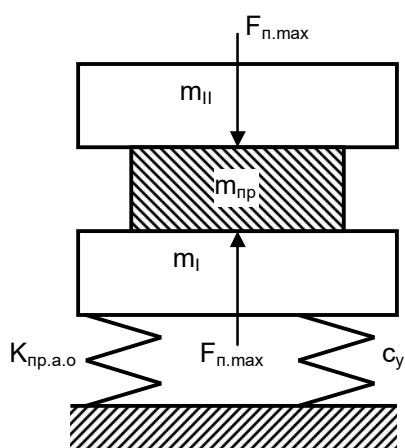


Рис. 2. Розрахункова схема ІВГМ під час зневоднення порції вторинного продукту

інерційних вантажів –  $m_{i.в}$ , поршня та штока допоміжного гідроциліндра вібропреса –  $m_{п.ш}$ ;  $c_y$  – коефіцієнт жорсткості елементів пружного повернення столу;  $K_{пp.a.o}$  – приведений модуль об'ємної пружності підсистеми ГП, що акумулює.

Для визначення максимального зусилля  $F_{п.маx.вib}$ , створюваного виконавчими елементами ІВГМ на верхньому та нижньому перерізах порції продукту, що зневоднюється, розглянемо наведену на рис. 1 розрахункову схему, на якій позначені:  $m_{пp}$  – маса продукту;  $m_I$  – маса нижнього виконавчого елемента вібропреса (столу –  $m_c$ ) та пов'язаних з ним деталей (плунжера гідроциліндра ГП –  $m_{пл}$ , контейнера прес-форми –  $m_{к.п}$ );  $m_{II}$  – маса нижнього виконавчого елемента (інерційна маса), що включає маси пуансона –  $m_п$ , рухомої траверси –  $m_{р.т}$ , змінних

Зусилля  $F_{п.маx.вib}$  можна наближено розрахувати за формулою [4]

$$F_{п.маx.вib} = m_{II} \left( \frac{\sqrt{2E_п c_y}}{m_I + m_{II} + m_{пp}} + g \right), \quad (2)$$

в якій  $g$  – прискорення вільного падіння.

Величина енергії  $E_п$  може бути наближено визначена за формулою [4]

$$E_n = \frac{Q_n \cdot \tau_p (p_1 + p_2)}{2} + \frac{(p_1^2 - p_2^2) W_{a.o}}{2 \cdot K_{пр.а.о}}, \quad (3)$$

де  $Q_n$  – подача насоса ГП;  $\tau_p$  – тривалість імпульсу тиску у порожнині гідроциліндра ГП, яка відповідає часу відкриття  $t_p$  основного запірнього елемента вібробуджувача ГП [4] ( $t_p \geq \tau_p$ );  $p_1, p_2$  – тиски відкриття та закриття вібробуджувача;  $W_{a.o}$  – об'єм підсистеми ГП, що акумулює.

За даними експериментальних досліджень [4] середнє значення часу відкриття основного запірнього елемента вібробуджувача ГП складає  $t_p = 10^{-3}$  с.

Об'єм гідросистеми ГП, що акумулює в складі сталеві гідролінії довжиною  $l_{0c}$  та площею поперечного перерізу  $f_{0c}$ , гумово-металевої гідролінії ( $l_{0гм}, f_{0гм}$ ), акумуляторної гідролінії ( $l_{г.а}, f_{г.а}$ ), рідинного гідроакумулятора з робочим об'ємом  $W_a$  визначається за формулою

$$W_{a.o} = l_{0c} \cdot f_{0c} + l_{0гм} \cdot f_{0гм} + l_{г.а} \cdot f_{г.а} + W_a. \quad (4)$$

Значення  $K_{пр.а.о}$  можна підрахувати за формулою

$$K_{пр.а.о} = \frac{1}{\left( \frac{1}{K_{г-р.а.а.сп}} + \frac{1}{K_{0c}} + \frac{1}{K_{0гм}} + \frac{1}{K_{г.а}} + \frac{1}{K_a} \right)}, \quad (5)$$

де  $K_{г-р.а.а.сп} = \frac{K_{г-р.а.а1} + K_{г-р.а.а2}}{2}$  – середня величина адіабатного модуля об'ємної пружності робочої рідини в об'ємі, що акумулює при зміні тиску від  $p_1$  до  $p_2$  з урахуванням вмісту нерозчиненого повітря.

Адіабатний модуль пружності для швидких процесів  $K_{р.а} \approx 1,5 \cdot K_p$  [5].

Об'ємний модуль пружності газорідинної суміші [6]

$$K_{г-р} = \frac{K_p \left( \frac{W_p}{W_r} + 1 \right)}{\frac{W_p}{W_r} + K_p \frac{p_0}{p^2}}, \quad (6)$$

де  $K_p$  – модуль пружності рідини, що не містить повітря (для масла АМГ-10, використаного як робоча рідина в гідросистемі ГП  $K_p = 1,33 \cdot 10^9$  Па [6];  $W_p, W_r$  – відповідно, об'єми рідинної і газової фаз при атмосферному тиску  $p_0$  (приймаємо 0,003% вміст нерозчиненого повітря);  $p$  – тиск у гідросистемі.

Приведені модулі об'ємної пружності стінок гідролінії та порожнини гідроакумулятора  $K_{0c}$ ,  $K_{0гм}$ ,  $K_{г.а}$ ,  $K_a$  визначаємо за формулою [5]

$$K_{пр} = \frac{K_M \cdot \delta}{d}, \quad (7)$$

де  $K_M$  – модуль об'ємної пружності матеріалу гідролінії або порожнини;  $\delta$ ,  $d$  – товщина її стінки та діаметр.

Визначимо  $F_{п.мах.віб}$  для конструктивних та робочих параметрів ІВПМ-16, значення яких:  $m_1 = m_c + m_{пл} + m_{к.п} + m_{пр} = 120$  кг;  $m_2 = m_{г.} + m_{р.т.} + m_{і.в.} + m_{п.ш} = 80 \div 300$  кг;  $c_y = 2,4 \cdot 10^6$  Н/м;  $l_{0c} = 2,3$  м;  $f_{0c} = 1,77 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $\delta_{0c} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м;

$$K_{0c} = \frac{K_{ст} \cdot \delta_{0c}}{d_{0c}} = \frac{2,03 \cdot 10^{11} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{0,015} = 3,38 \cdot 10^{10} \text{ Па}; l_{0гм} = 1,2 \text{ м}; f_{0гм} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \delta_{0гм} =$$

$$= 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}; K_{0гм} = \frac{K_{гм} \cdot \delta_{0гм}}{d_{0гм}} = \frac{1,7 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,016} = 7,4 \cdot 10^8 \text{ Па}; l_{г.а} = 0,71 \text{ м}; f_{г.а} = 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$\delta_{г.а} = 0,03 \text{ м}; K_{г.а} = \frac{K_{ст} \cdot \delta_{г.а}}{d_{г.а}} = \frac{2,03 \cdot 10^{11} \cdot 0,03}{0,036} = 1,69 \cdot 10^{11} \text{ Па}; W_a = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; \delta_a =$$

$$= 0,015 \text{ м}; K_a = \frac{K_{ст} \cdot \delta_a}{d_a} = \frac{2,03 \cdot 10^{11} \cdot 0,015}{0,14} = 2,03 \cdot 10^{10} \text{ Па}; p_1 = 11 \cdot 10^6 \text{ Па}; p_2 = 4 \times$$

$$\times 10^6 \text{ Па}; p_0 = 101300 \text{ Па}; K_{р.а} = 1,5 \cdot 1,33 \cdot 10^9 = 1,995 \cdot 10^9 \text{ Па};$$

$$K_{г-р.а.а1} = \frac{1,995 \cdot 10^9 \left( \frac{99,997}{0,003} + 1 \right)}{\frac{99,997}{0,003} + 1,995 \cdot 10^9 \frac{101300}{(11 \cdot 10^6)^2}} = 1,99 \cdot 10^{10} \text{ Па};$$

$$K_{г-р.а.а2} = \frac{1,995 \cdot 10^9 \left( \frac{99,997}{0,003} + 1 \right)}{\frac{99,997}{0,003} + 1,995 \cdot 10^9 \frac{101300}{(4 \cdot 10^6)^2}} = 1,98 \cdot 10^{10} \text{ Па};$$

$$K_{г-р.а.а.ср} = \frac{1,99 \cdot 10^{10} + 1,98 \cdot 10^{10}}{2} = 1,985 \cdot 10^{10} \text{ Па};$$

$$K_{пр.а.о} = \frac{1}{\left( \frac{1}{1,985 \cdot 10^{10}} + \frac{1}{3,38 \cdot 10^{10}} + \frac{1}{7,4 \cdot 10^8} + \frac{1}{1,69 \cdot 10^{11}} + \frac{1}{2,03 \cdot 10^{10}} \right)} = 6,72 \cdot 10^8 \text{ Па};$$

$$W_{а.о} = 2,3 \cdot 1,77 \cdot 10^{-4} + 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 0,71 \cdot 1 \cdot 10^{-3} + 2,75 \cdot 10^{-3} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; Q_H = 1,1 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$E_x = \frac{1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} (11 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^6)}{2} + \frac{\left[ (11 \cdot 10^6)^2 - (4 \cdot 10^6)^2 \right] 4,1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6,72 \cdot 10^8} = 328,56 \text{ Дж};$$

$$F_{п.маxвib} = 300 \left( \frac{\sqrt{2 \cdot 328,56 \cdot 2,4 \cdot 10^6}}{120 + 300} + 9,81 \right) = 31309,1 \text{ Н.}$$

Таким чином,  $F_{п.маxвib}$  є у 40 разів меншим  $F_{п.маx.ст}$ , отже витрати енергії при зневодненні вторинних продуктів способом віброударного пресування будуть істотно меншими, ніж при використанні з цією ж метою способу статичного пресування. Крім цього, як встановлено вище, перший спосіб є більш продуктивним, а обладнання для його здійснення – більш компактним та легким (маса ІВПМ-16 – 1 т, 2П-41 – 9 т).

Дослідженнями [4] встановлено, що зусилля навантаження на частинках порції дисперсної суміші збільшується від циклу до циклу при незмінному тиску у гідросистемі ІВПМ та зусилля на його столі. Останнє обумовлено ущільненням твердих частинок середовища, зближенням центрів їх мас та збільшенням сил молекулярного відштовхування, що діють між ними. Даний процес підвищення щільності укладання твердих частинок під час віброударного пресування відбувається достатньо рівномірно по висоті порції суміші, тоді як при статичному пресуванні суттєве збільшення густини, а отже і зниження вологості в основному має місце у перерізах біля днища прес-форми та біля нижнього торця пуансона, тоді як середні шари порції будуть віджатими у помітно меншій мірі.

З врахуванням вищевикладеного, високу ефективність способу віброударного пресування при інерційному навантаженні, а також обладнання з гідроімпульсним приводом для його реалізації, можна вважати теоретично обґрунтованою та експериментально доведеною.

#### Список літератури

1. Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 291 с.
2. 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.
3. Дикис М. Я., Мальский А. Н. Технологическое оборудование консервных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 777 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. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
6. Абрамов Е. И., Колесниченко К. А., Маслов В. Т. Элементы гидропривода: Справочник. – К.: Техніка, 1977. – 320 с.