

Р.Д. Іскович-Лотоцький д-р техн. наук,
І.В. Севостьянов канд. техн. наук,
Я.В. Іванчук канд. техн. наук,
Вінницький національний технічний університет, Україна
В.С. Любин
Вінницький національний аграрний університет, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ВІБРОПРЕСА ДЛЯ ПОТОКОВОГО ВІБРОУДАРНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Содержатся математическая модель и блок-схема компьютерной Matlab-программы для расчета теоретических зависимостей изменения во времени рабочих параметров гидроимпульсного вибропресса для предварительного поточного виброударного обезвоживания влажных дисперсных материалов. Приводятся примеры рассчитанных зависимостей. Корректность предложенных формул и уравнений проверена экспериментально.

The formulas, equations and block diagram of computer Matlab-program for calculation of the theoretical dependencies of change in time of functioning parameters of hydraulic pulse vibropress for preliminary flow vibroblowing dehydration of humid dispersive materials is contains in the article. The examples of the calculated dependencies is represents. Correctness of offered formulas and equations is checked by experimentally.

Вступ

Гідроімпульсні машини є одним з найбільш ефективних видів обладнання для зневоднення вологих дисперсних матеріалів [1], що забезпечує безперервність, високу продуктивність та низьку енергоємність робочого процесу, а також задану кінцеву вологість U_{κ} твердої фази оброблюваного матеріалу (після остаточного віброударного зневоднення на валковому гідроімпульсному вібропресі $U_{\kappa} = 20 - 25\%$ [1, 2]).

Постановка задачі

Для забезпечення високих параметрів ефективності попереднього потокового віброударного зневоднення матеріалу у прес-формі закритого типу на гідроімпульсному вібропресі [2] потрібно установити взаємозв'язок конструктивних та робочих параметрів останнього з фізико-механічними характеристиками матеріалу. При цьому як робочі параметри вібропреса розглядаються: тиск p_c у порожнині гідроциліндра його гідроімпульсного привода (ГПП), вертикальні зусилля $F_{мзр}$, $F_{мзп}$ створювані верхнім і нижнім виконавчими елементами вібропреса на частинках порції оброблюваного матеріалу, а також переміщення z_p , $z_{п}$ виконавчих елементів. Основними фізико-механічними характеристиками матеріалу є: густина ρ_m , ρ_p , пружність $c_{мз}$, c_{pz} , та в'язкість $\alpha_{мз}$, α_{pz} його твердої і рідинної фаз відносно вертикальної осі z , а також пластичність σ_{0z} твердих частинок відносно осі z [3]. У подальшому, після уста-

новлення залежностей між робочими параметрами вібропреса та вказаними вище параметрами ефективності потокового віброударного зневоднення, наведені нижче формули та рівняння дозволять, розраховувати раціональні конструктивні параметри вібропреса для забезпечення максимальної ефективності робочого процесу.

Основні результати досліджень

У роботі [4] обґрунтовано, що у порожнині гідроциліндра ГПП вібропреса ІВІМ-16 [2], на базі якого може бути створений вібропрес для попереднього зневоднення, на етапі відкриття вібробуджувача «на вході» [2], має місце неповний гідравлічний удар [5]. Також у роботі [4] доведено, що зусилля, які створюються на плунжері гідроциліндра ГПП ударним тиском робочої рідини, мають короткочасний (імпульсний) характер [6]. Останнє дозволяє розглядати переміщення виконавчих елементів вібропреса на наступних етапах циклу спрацювання ГПП як вільні коливання лінійної неконсервативної системи під дією прикладеного у початковий момент часу $t = t_n$ миттєвого імпульсу сили $P_{z,max}$, при цьому помилка в обчисленнях складе менше 1% [7].

Час t_n визначаємо як тривалість проходження ударної хвилі [5] від вібробуджувача до входу у гідроциліндр ГПП

$$t_n = \frac{l_k + l_l}{c_l}; c_l = l / \sqrt{\frac{\rho_{p,t}}{K_{p,y,l}} + \frac{\rho_{p,t} \cdot d_l}{\delta_l \cdot K_{cm}}} \quad (1)$$

де l_k, l_l — довжини гідроліній, що з'єднують вібробуджувач та гідроциліндр; d_p, δ_l — діаметр та товщина стінки гідролінії довжиною l_l ; K_{cm} — модуль об'ємної пружності її матеріалу (сталь); $\rho_{p,t}$ — густина робочої рідини гідросистеми ГПП з урахуванням підвищення її температури [5]; c_l — швидкість ударної хвилі [5]; $K_{p,y,l}$ — модуль об'ємної пружності робочої рідини при ударному тиску $\Delta p_{y\delta l}$ у гідролінії довжиною l_l , що можна знайти як

$$\Delta p_{y\delta l} = p_1 - p_3 - \Delta p_{ex,l} - \Delta p_{m,k} - \Delta p_{ex,z} - \Delta p_{m,l} \quad (2)$$

де p_1 — тиск відкриття вібробуджувача (максимальний тиск в гідросистемі); p_3 — тиск у гідролінії довжиною l_l до відкриття вібробуджувача, відповідає зливному тиску; $\Delta p_{ex,l}, \Delta p_{ex,z}, \Delta p_{m,k}, \Delta p_{m,l}$ — втрати тиску на вході у гідролінію довжиною l_l та у гідроциліндр ГПП, на тертя у гідролініях довжинами l_k, l_l .

Рівняння балансів енергії вібропреса від моменту $t = t_n$ до моменту закриття вібробуджувача $t = t_o$ має вигляд

$$E_{n,l,l} + E_{k,l,l} = E_{k,l} + E_{k,l,l} + E_y \quad (3)$$

де $E_{n,l,l}$ — робота сил стискання робочої рідини і деформування стінок гідролінії довжиною l_l [4]; $E_{k,l,l}$ — зміна кінетичної енергії робочої рідини у гідролінії довжиною l_l ; $E_{k,l}, E_{k,l,l}$ — зміна кінетичної енергії виконавчих елементів; E_y — зміна потенціальної енергії при стисканні елементів пружного повернення вібростол.

У розгорнутому вигляді рівняння (3) можна записати таким чином

$$\frac{l_l \cdot f_l (\Delta p_{y\delta l}^2 - \Delta p_{y\delta l}^2) (K_{p,y,l} + K_l)}{2 \cdot K_{p,y,l} \cdot K_l} + \frac{m_{lp,3}}{2} \left(v_{lp}^2 - \dot{z}_l^2 \frac{S_2^2}{f_l^2} \right) = \frac{m_l \cdot \dot{z}_l^2}{2} + \frac{m_{ll,3} \cdot \dot{z}_{ll}^2}{2} (1 + \lambda_{3,\delta} + \zeta_{3,\delta}) + \frac{c_y \cdot (z_{0y} + z_l)^2}{2}; \quad (4)$$

$$t_n \leq t \leq t_o,$$

де f_l — площа прохідного перерізу гідролінії довжиною l_l ; v_{lp} — середня швидкість у ній робочої рідини; $\Delta p_{y\delta l}$ — ударне підвищення тиску в порожнині гідроциліндра ГПП (разом із $\Delta p_{y\delta l}$ та v_{lp} визначається за допомогою рівнянь балансів енергії для етапу відкриття вібробуджувача вібропреса в аналітичній формі, наведених у [4]); K_l — модуль об'ємної пружності гідролінії довжиною l_l [5]; $m_{lp,3}$ — зведена до перерізу S_2 плунжера гідроциліндра ГПП маса рідини у гідролінії довжиною l_l ; m_l — маса нижнього виконавчого еле-

мента вібропреса (включає маси плунжера гідроциліндра ГПП, вібростол, прес-форми та порції матеріалу); $m_{ll,3}$ — зведена до перерізу S_2 маса верхнього виконавчого елемента вібропреса (включає маси пуансона, рухомої траверси, змінних інерційних вантажів та робочої рідини у підсистемі допоміжного гідропривода вібропреса при створенні зусилля P_{cm} статичного притискання пуансона до порції матеріалу у прес-формі [2]); $\gamma_{3,\delta}, \zeta_{3,\delta}$ — зведені коефіцієнти гідравлічного тертя та місцевих опорів у підсистемі допоміжного гідропривода при створенні зусилля P_{cm} [4]; c_y, z_{0y} — жорсткість та попереднє стискання елементів пружного повернення вібростол.

Тривалість t_o визначаємо як [2]

$$t_o = T_u - t_{u,m} = \frac{1}{v} - \frac{2 \cdot E_{n,a}}{Q_{nl}(p_1 + p_2)} \quad (5)$$

де T_u — тривалість циклу ГПП; v — частота циклів; $t_{u,m}$ — тривалість набору тиску в об'ємі $W_{a,o}$ гідросистеми ГПП, що акумулює; p_2 — тиск закриття вібробуджувача; Q_{nl} — подача насоса ГПП; $E_{n,a}$ — енергія, що накопичується у продовж часу $t_{u,m}$ у об'ємі $W_{a,o}$ [4]

$$E_{n,a} = \frac{Q_{nl} \cdot t_6 (p_1 + p_2)}{2} + \frac{(p_1^2 - p_2^2) W_{a,o}}{2 \cdot K_{36,a,o}} \quad (6)$$

де t_6 — тривалість відкриття вібробуджувача — швидкодія (у середньому $t_6 = 10^{-3}$ с [2]); $K_{36,a,o}$ — зведений модуль об'ємної пружності об'єму $W_{a,o}$ [4].

Рівняння для визначення сил F_{mzI}, F_{mzII} та зусилля F_{mzI}, F_{mzII} двостороннього навантаження порції матеріалу в прес-формі на етапі відкриття вібробуджувача мають вигляд

$$F_{mzI}(t) = (\Delta p_{y\delta l} + p_3) \cdot S_2 - m_I (\ddot{z}_I + g) - (\alpha_z + \alpha_{mz} + \alpha_{pz}) (\dot{z}_I - \dot{z}_{II}) - c_y \times (z_I + z_{0y}) - (c_{mz} + c_{pz}) (z_I - z_{II}) - \sigma_{0z} - F_K; \quad (7)$$

$$F_{mzII}(t) = m_{II} (g + \ddot{z}_{II}) + (\alpha_{\delta,z} + \alpha_{mz} + \alpha_{pz}) \times (\dot{z}_{II} - \dot{z}_I) + (c_{mz} + c_{pz}) (z_{II} - z_I) + R_{\delta,z} \text{sign}(\dot{z}_{II} - \dot{z}_I) + \sigma_{0z} + P_{cm} + F_K;$$

$$F_{mz\Sigma}(t) = F_{mzI}(t) + F_{mzII}(t); t_n \leq t \leq t_o,$$

де $\alpha_z, \alpha_{\delta,z}$ — коефіцієнти в'язкого демпфірування при переміщенні плунжера гідроциліндра ГПП та поршня допоміжного гідроциліндра, що створює зусилля P_{cm} ; $R_{\delta,z}$ — сила сухого тертя при переміщенні поршня і штока допоміжного гідроциліндра; F_K — сила, що утримує рідинну фазу порції матеріалу в капілярах твердих частинок [9].

Рівняння збереження імпульсів для виконавчих елементів вібропреса [4]

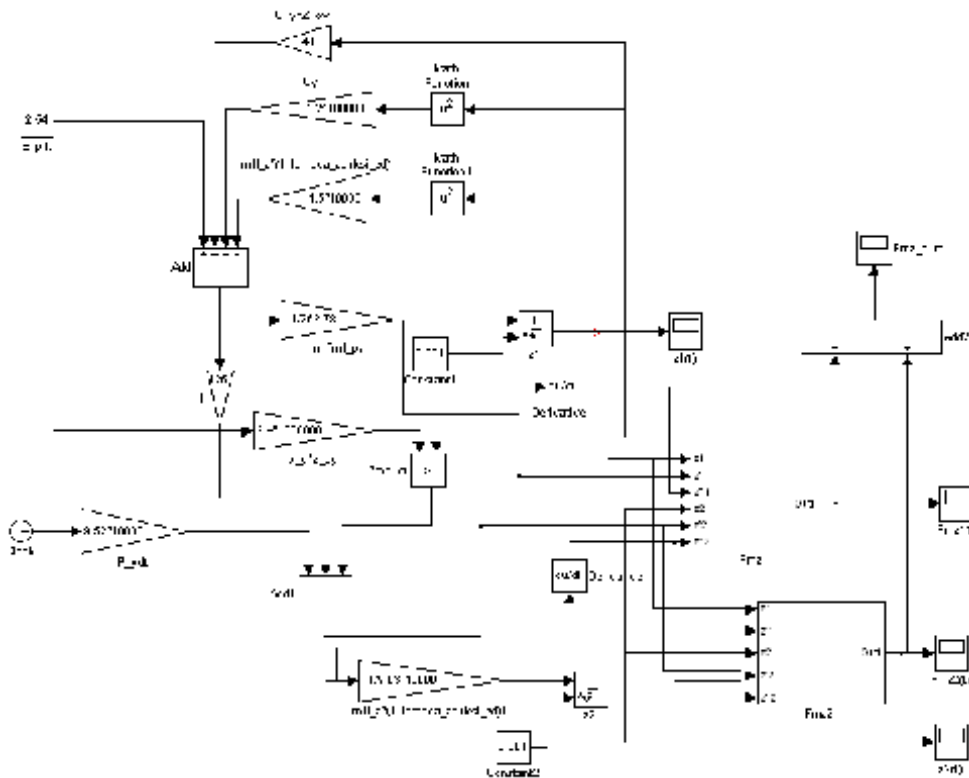


Рисунок 1 — Блок-схема Matlab-програми з розрахунку робочих параметрів гідроімпульсного вібропреса для попереднього потокового віброударного зневоднення.

$$t(S_2 \cdot \Delta p_{y\partial II} - c_y \cdot (z_{0y} + z_I)) = m_I \cdot \ddot{z}_I + m_{II3} \dot{z}_{II} (I + \lambda_{3,d} + \zeta_{3,d}); \quad t_n \leq t \leq t_o. \quad (8)$$

З використанням рівнянь (4, 7, 8), значень конструктивних параметрів вібропреса ІВПМ-16 [2] та фізико-механічних характеристик кавового шламу, як оброблюваного матеріалу, у середовищі Matlab R2007a Simulink складено програму, блок-схему якої зображено на рисунку 1. За допомогою програми розраховано і побудовано теоретичні залежності $F_{mzI}(t)$, $F_{mzII}(t)$, $F_{mzL}(t)$, $z_I(t)$, $z_{II}(t)$, представлених на рисунку 2. При різних значеннях m_{II} , z_{0y} , p_I та робочого об'єму W_a гідроакмулятора вібропреса, розраховані і побудовані залежності від даних параметрів максимальних значень зусилля F_{mzI} .

На рисунку 3 порівняно відповідні теоретичні та експериментальні залежності $F_{mzI \max}(m_{II})$, $F_{mzI \max}(W_a)$, $F_{mzI \max}(z_{0y})$, $F_{mzI \max}(p_I)$. Експериментальні залежності одержані за допомогою гідроімпульсного стенду – прототипу досліджуваного вібропреса, створеного на базі ІВПМ-16. При цьому під час одержання експериментальних залежностей використовувались такі самі режими, для яких розраховувались теоретичні залежності. Максимальна відносна величина розбіжностей теоретичних та експериментальних залежностей, не перевищувала 7,2%, що доводить коректність наведених у статті формул та рівнянь.

Висновки

Наведені у статті формули та рівняння для розрахунку робочих параметрів гідроімпульсного вібропреса для попереднього потокового віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів можуть послужити основою для розробки методики його проектного розрахунку. Остання дозволить визначати раціональні конструктивні параметри вібропреса, виходячи із заданих фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу та за умови забезпечення високої ефективності робочого процесу.

Література

1. 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». — 2009. — С. 50—55.
2. Іскович-Лотоцький, Р.Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. — 338 с.
3. Гончаревич И.Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности / И.Ф. Гончаревич, И.Б. Урьев, М.А. Талейсник. — М.: Пищевая промышленность, 1977. — 279 с.

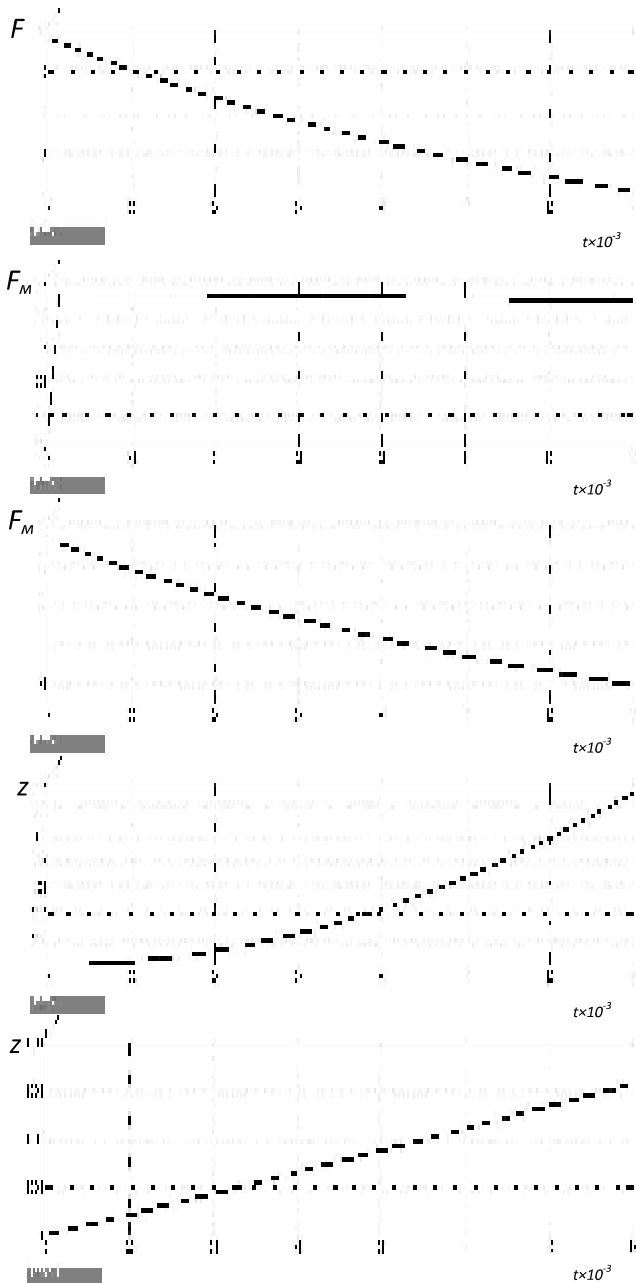


Рисунок 2 — Теоретичні залежності зусиль $F_{mz1}(t)$, $F_{mz1}(t)$, $F_{mz2}(t)$, створюваних виконавчими елементами вібропреса на частинках порції оброблюваного матеріалу у прес-формі під час його потокового віброударного зневоднення, а також переміщень $z_1(t)$, $z_2(t)$ виконавчих елементів.

4. Іскович-Лотоцький, Р.Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій: монографія / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. — 291с.

5. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашини и гидроприводы / Т.М. Башта, Б.Б. Некрасов. — М.: Машиностроение, 1982. — 423 с.

6. Бидерман, В.Л. Прикладная теория механических колебаний: учебное пособие для вузов / В. Л. Бидерман. — М.: Высшая школа, 1972. — 416 с.

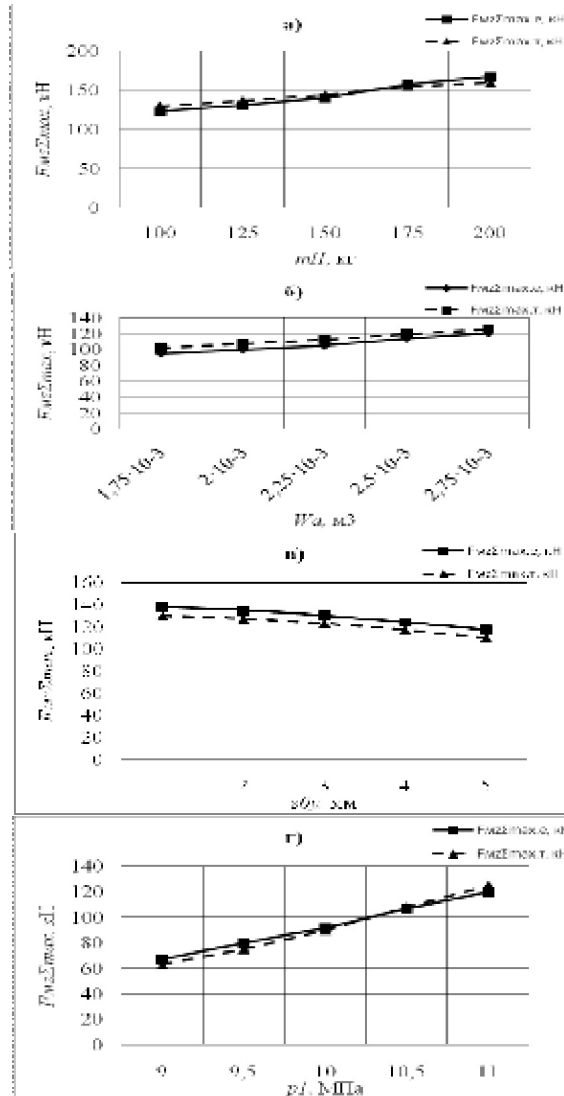


Рисунок 3 — Порівняння теоретичних (τ) та експериментальних (e) залежностей зусилля F_{mz1max} двостороннього навантаження оброблюваного матеріалу у прес-формі під час його потокового віброударного зневоднення від маси m_{II} верхнього виконавчого елемента, робочого об'єму W_a гідроаккумулятора, попереднього стиснення z_{0y} пружин повернення вібростола та тиску відкриття p_1 вібробуджувача вібропреса.

7. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механического удара: учебное пособие / Я.Г. Пановко. — М.: Наука, 1977. — 224 с.

8. Севостьянов, І.В. Математичне моделювання процесів віброударного сепарування вологих дисперсних матеріалів / І.В. Севостьянов, Р.Д. Іскович-Лотоцький // Вібрації в техніці та технологіях. — 2008. — №2 (51). — С. 39—45.

9. Лыков, А.В. Теория сушки: учебное пособие для вузов / А.В. Лыков. — М.: Энергия, 1968. — 472 с.

Надійшла 20.09.2012 року