

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

В статті наведено формули, рівняння та блок-схема комп'ютерної Mathlab-програми для розрахунку теоретичних залежностей змін параметрів гідроімпульсного вібропреса для попереднього поточного віброударного обезвоживання вологих дисперсних матеріалів. Приводяться приклади розрахованих залежностей. Коректність запропонованих формул та рівнянь перевірено експериментально.

The formulas, equations and block diagram of computer Mathlab-program for calculation of the theoretical dependencies of change in time of functioning parameters of hydraulic pulse vibropress for preliminary flow vibro-blowing 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_k твердої фази оброблюваного матеріалу (після остаточного віброударного зневоднення на валковому гідроімпульсному вібропресі $U_k = 20 - 25\%$ [1, 2]).

Постановка задачі

Для забезпечення високих параметрів ефективності попереднього поточного 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_z у порожнині гідроциліндра його гідроімпульсного привода (ГП), вертикальні зусилля F_{mzI} , F_{mzII} , створювані верхнім і нижнім виконавчими елементами вібропреса на частинках порції оброблюваного матеріалу, а також переміщення z_I , z_{II} виконавчих елементів. Основними фізико-механічними характеристиками матеріалу є: густина ρ_m , ρ_p , пружність c_{mz} , c_{pz} , та в'язкість α_{mz} , 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 установлення залежностей між робочими параметрами вібропреса та вказаними вище параметрами ефективності поточного віброударного зневоднення, наведені нижче формули та рівняння дозволять, розраховувати оптимальні конструктивні параметри вібропреса для забезпечення максимальної ефективності робочого процесу.

Основні результати досліджень

У роботі [4] обґрунтовано, що у порожнині гідроциліндра ГП вібропреса ІВПМ-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, створювані на плунжері гідроциліндра ГП ударним тиском робочої рідини мають короткочасний (імпульсний) характер [6]. Останнє дозволяє розглядати переміщення виконавчих елементів вібропреса на наступних етапах циклу спрацьовування ГП, 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_l, 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 врахуванням 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 вібростолу.

У розгорнутому вигляді рівняння (3) можна записати таким чином

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

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

де f_l - площа прохідного перерізу гідролінії довжиною l_l ; v_{lp} - середня швидкість у ній робочої рідини; $\Delta p_{y\delta l,l}$ - ударне підвищення тиску у 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_z плунжера гідроциліндра ГПП маса рідини у гідролінії довжиною l_l ; m_l - маса нижнього виконавчого елемента вібропреса (включає маси плунжера гідроциліндра ГПП, вібростолу, прес-форми та порції матеріалу); $m_{ll,3}$ - зведена до перерізу S_z 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]); $\lambda_{3,\delta}, \zeta_{3,\delta}$ - 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 вібростолу.

Тривалість t_o визначаємо як [2]

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

де T_u - тривалість циклу ГПП; ν - частота циклів; $t_{n,m}$ - тривалість набору тиску у 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 $t_{n,m}$ у об'ємі $W_{a,o}$ [4]

$$E_{n,a} = \frac{Q_{nl} \cdot t_e (p_1 + p_2)}{2} + \frac{(p_1^2 - p_2^2) W_{a,o}}{2 \cdot K_{3\delta,a.o}}, \quad (6)$$

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

Рівняння для визначення сил $F_{mz,l}, F_{mz,ll}$ та зусилля $F_{mz,\Sigma}$ двостороннього навантаження порції матеріалу у прес-формі на етапі відкриття вібробуджувача мають вигляд

$$F_{mz,l}(t) = (\Delta p_{y\delta ll} + p_3) \cdot S_z - m_l (\ddot{z}_l + g) - (\alpha_z + \alpha_{mz} + \alpha_{pz}) (\dot{z}_l - \dot{z}_{ll}) - c_y \times (z_l + z_{0y}) - (c_{mz} + c_{pz}) (z_l - z_{ll}) - \sigma_{0z} - F_K; \quad (7)$$

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

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

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 у капілярах твердих частинок [9].

Рівняння збереження імпульсів для виконавчих елементів вібропреса [4]

$$t(S_2 \cdot \Delta p_{y\partial II} - c_y \cdot (z_{0y} + z_I)) = m_I \cdot \ddot{z}_I + m_{II3} \ddot{z}_{II} (1 + \lambda_{3,\partial} + \zeta_{3,\partial}); \quad t_n \leq t \leq t_o. \quad (8)$$

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 складена програма, блок схема якої наведена на рисунку 1. За допомогою програми розраховані і побудовані теоретичні залежності $F_{MzI}(t)$, $F_{Mz\Sigma}(t)$, $F_{Mz\Sigma}(t)$, $z_I(t)$, $z_{II}(t)$, представлені на

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 визначити оптимальні конструктивні параметри вібропреса, виходячи із заданих фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу та за умови забезпечення високої ефективності робочого процесу.

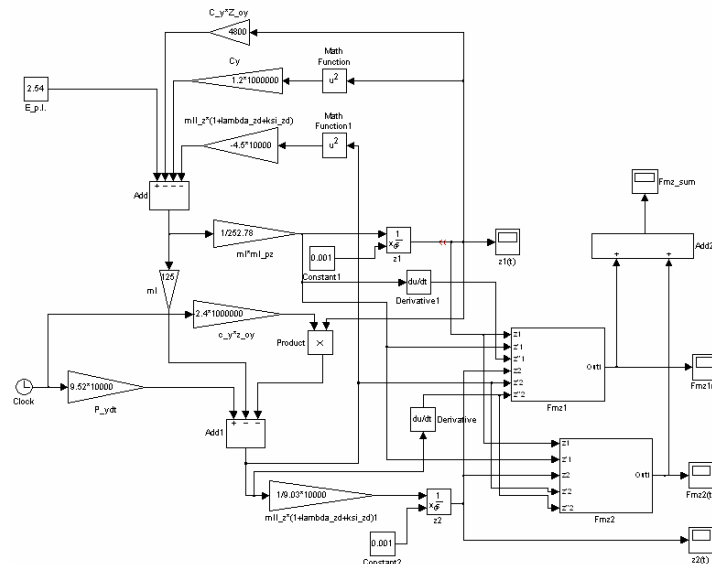


Рисунок 1 – Блок-схема Matlab-програми з розрахунку робочих параметрів гідроімпульсного вібропреса для попереднього потокового віброударного зневоднення

рисунку 2. При різних значеннях m_{II} , z_{0y} , p_1 та робочого об'єму W_a гідроаккумулятора вібропреса, розраховані і побудовані залежності від даних параметрів максимальних значень зусилля $F_{Mz\Sigma}$.

На рисунку 3 зіставлені відповідні теоретичні та експериментальні залежності $F_{Mz\Sigma max}(m_{II})$, $F_{Mz\Sigma max}(W_a)$, $F_{Mz\Sigma max}(z_{0y})$, $F_{Mz\Sigma max}(p_1)$. 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

Список літератури

1. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В. Аналіз способів сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації// Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Машинобудування. – Випуск №57, 2009. – С. 50 - 55.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.
3. Гончаревич І. Ф., Урьев І. Б., Талейсник М. А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 279 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. Башта Т. М., Некрасов Б. Б. Гидравлика, гидромашини и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

6. Бидерман В. Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: Высшая школа, 1972. - 416 с.

7. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара. - М.: Наука, 1977. – 224 с.

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

9. Лыков А. В. Теория сушки/ Лыков А. В. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

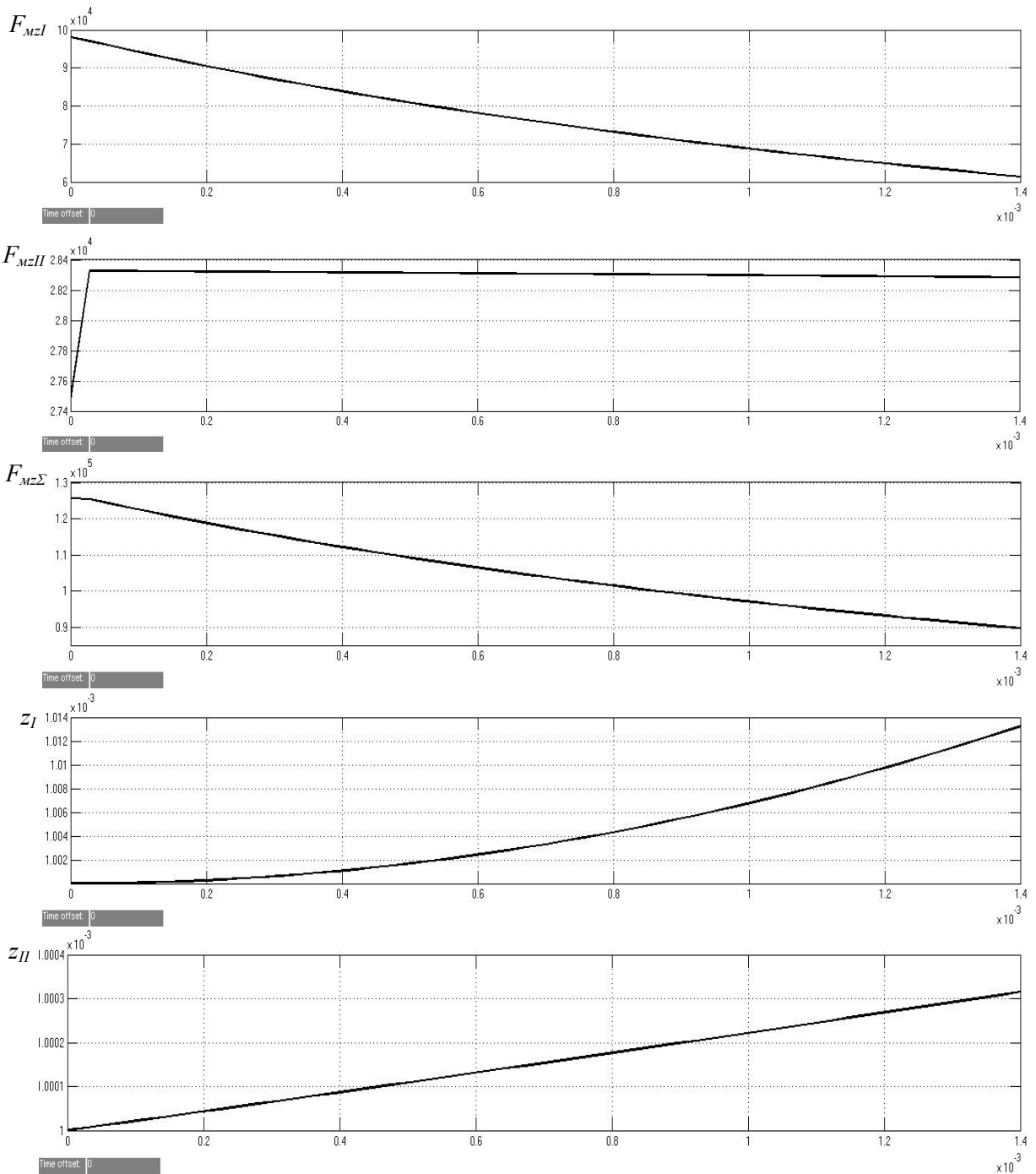


Рисунок 2 – Теоретичні залежності зусиль $F_{mzI}(t)$, $F_{mzII}(t)$, $F_{mz\Sigma}(t)$, створюваних виконавчими елементами вібропреса на частинках порції оброблюваного матеріалу у прес-формі під час його потокового віброударного зневоднення, а також переміщень $z_I(t)$, $z_{II}(t)$ виконавчих елементів

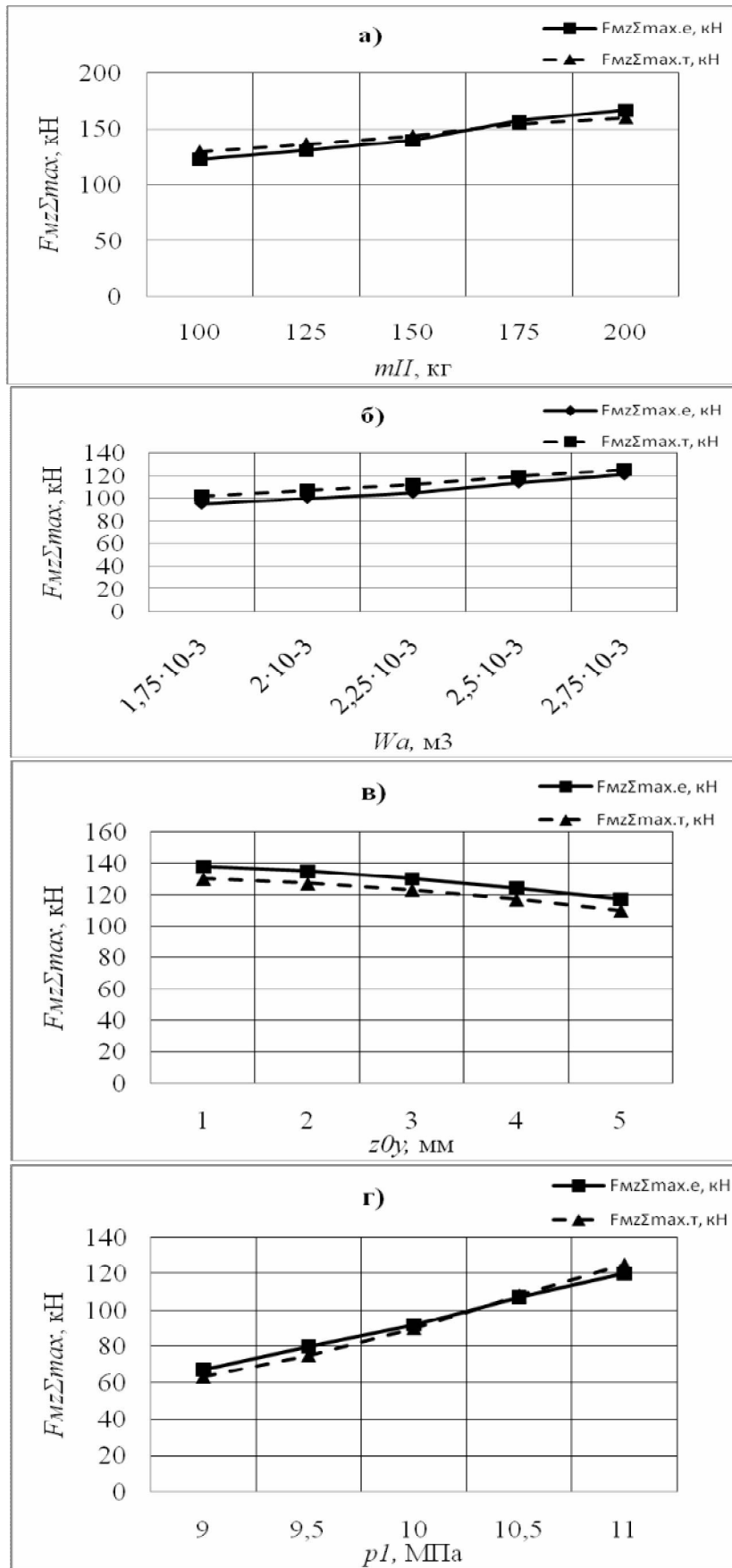


Рисунок 3 – Зіставлення теоретичних (т) та експериментальних (е) залежностей зусилля $F_{mz\Sigma max}$ двостороннього навантаження оброблюваного матеріалу у прес-формі під час його потокового віброударного зневоднення від маси m_{II} верхнього виконавчого елемента, робочого об'єму W_a гідроаккумулятора, попереднього стиснення z_{0y} пружин повернення вібростолу та тиску відкриття p_I вібробуджувача вібропреса