

І.В.Севостьянов к.т.н., доц.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

РЕОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ ТА РІВНЯННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ЇХ ПОТОКОВОГО ВІБРОУДАРНОГО ФАЗОВОГО РОЗДІЛЕННЯ

Найбільш ефективним способом утилізації відходів харчових виробництв, в тому числі, спиртової барди, пивної дробини, бурякового жому, кавового шламу, що відносяться до вологих дисперсних матеріалів, є їх розділення на тверду фазу – концентрат і рідинну фазу – фільтрат. Фільтрат після очищення являє собою звичайну воду, що може зливатись у водоймища без негативних для природи наслідків. Концентрат після зневоднення до вологості 20 – 25% може служити як добавка до сільськогосподарських кормів або в якості палива.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень автора встановлено, що висока продуктивність процесів потокового зневоднення і очищення вологих дисперсних матеріалів, при достатньо низькій енергоємності, заданій кінцевій вологості концентрату оброблюваного матеріалу та якісному очищенні його фільтрату, забезпечуються у випадку їх реалізації в полі віброударних інерційних навантажень, на машинах з гідроімпульсним приводом. Але для досягнення вказаних параметрів ефективності необхідно забезпечити оптимальні параметри навантаження оброблюваного матеріалу, з врахуванням його фізико-механічних характеристик: пружності та в'язкості твердої і рідинної фаз, пластичності твердих частинок та сухого тертя між ними.

Відомі реологічні моделі харчових матеріалів при реалізації різноманітних технологічних процесів їх перероблення (зокрема, моделі Шведова-Бінгама, Кельвіна, Максвела, Бінгама) – є непридатними під час досліджень процесів потокового віброударного зневоднення і очищення вологих дисперсних матеріалів, оскільки не відображають деякі їх важливі властивості (наприклад, сухе тертя твердих частинок, наявність у матеріалі вільної рідини та її взаємодію з твердою фазою).

Тому, нами були розроблені безінерційні реологічні моделі вологого дисперсного матеріалу під час його попереднього потокового віброударного зневоднення у прес-формі закритого типу на гідроімпульсному вібропресі, представлені на рис. 1. На моделях позначені: m_I – маса нижнього виконавчого елемента вібропреса, що включає маси плунжера гідроциліндра ГПП, вібростолу, прес-форми та порції оброблюваного матеріалу у ній; m_{II} – маса верхнього виконавчого елемента – враховує маси пуансона, рухомої траверси та змінних інерційних вантажів; $C_{mx}, C_{my}, C_{mz}, C_{px}, C_{py}, C_{pz}$ - коефіцієнти жорсткості твердої та рідинної частинок оброблюваного матеріалу відносно осей x, y, z ; $\alpha_{mx}, \alpha_{my}, \alpha_{mz}, \alpha_{px}, \alpha_{py}, \alpha_{pz}$ - коефіцієнти в'язкості твердої та рідинної частинок при їх переміщенні відносно осей x, y, z ; μ_x, μ_y, μ_z - коефіцієнти сухого тертя твердої частинки об стінки прес-форми та інші частинки твердої фази відносно осей x, y, z ; $\tau_{0x}, \tau_{0y}, \sigma_{0z}$ – межі текучості твердої частинки відносно осей x, y, z ; $F_{mzI}(t), F_{mzII}(t)$ – поточні значення зусиль, створюваних виконавчими елементами на частинках порції матеріалу у прес-

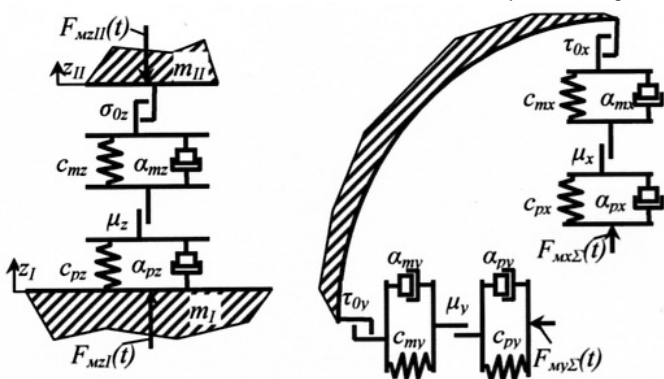


Рис. 1. Безінерційні реологічні моделі вологого дисперсного матеріалу в процесі його потокового віброударного зневоднення

формі матеріалу відносно осей x, y, z ; μ_x, μ_y, μ_z - коефіцієнти сухого тертя твердої частинки об стінки прес-форми та інші частинки твердої фази відносно осей x, y, z ; $\tau_{0x}, \tau_{0y}, \sigma_{0z}$ – межі текучості твердої частинки відносно осей x, y, z ; $F_{mzI}(t), F_{mzII}(t)$ – поточні значення зусиль, створюваних виконавчими елементами на частинках порції матеріалу у прес-

формі відносно осі z ; $F_{mx\Sigma}(t)$, $F_{my\Sigma}(t)$, $F_{mz\Sigma}(t)$, – поточні значення зусиль сумарного навантаження, створюваного на частинках матеріалу відносно осей x , y , z .

На підставі даних моделей можна скласти системи реологічних рівнянь зміни дотичних і стискаючих напружень та деформацій порції оброблюваного матеріалу у продовж i -го циклу його віброударного інерційного навантаження у прес-формі, на етапі переміщення виконавчих елементів вібропреса з граничного нижнього у граничне верхнє положення, відносно осей x , y , z . Система даних рівнянь для осі z має вигляд

$$\begin{cases} \sigma_{p.np} + \sigma_{p.v.m} = \sigma_{m.c.m} = \sigma_{m.np} + \sigma_{m.v.m} = \sigma_{m.tek}; \\ z_{\Sigma} = z_p + z_m, \end{cases} \quad (1)$$

де $\sigma_{p.np}$, $\sigma_{m.np}$, $\sigma_{p.v.m}$, $\sigma_{m.v.m}$, $\sigma_{m.c.m}$, $\sigma_{m.tek}$ – стискаючі напруження, створювані силами пружності та в'язкого тертя рідинних та твердих частинок матеріалу, силами сухого тертя твердих частинок, а також стискаючі напруження їх текучості; z_{Σ} , z_p , z_m – сумарна деформація порції матеріалу, а також деформації його рідинної та твердої фаз.

У верхньому рівнянні системи (1) прирівнюються напруження послідовно з'єднаних груп елементів опору, при цьому в першій і четвертій за порядком групах напруження паралельно сполучених елементів додаються. У нижньому рівнянні сумарна деформація порції матеріалу визначається як сума деформацій послідовно з'єднаних груп елементів опору (див. рис. 1).

Система (1) перетворюється далі до вигляду

$$\begin{cases} \frac{c_{pz}z_p + \alpha_{pz}\dot{z}_p}{S_M} = \frac{\mu_z F_{Mz\Sigma}(t)}{S_M} = \frac{c_{mz}z_{m.np} + \alpha_{mz}\dot{z}_m}{S_M} = \frac{\sigma_{0z}}{S_M}; \\ z_I - z_{II} = z_p + z_{m.np} + z_{m.nl}; \\ z_m = z_{m.np} + z_{m.nl}, \end{cases} \quad (2)$$

де $z_{m.nl}$, $z_{m.np}$ – пластичні та пружні деформації твердої фази порції відносно осі z ; S_M – площа поперечного перетину порції.

Домножаючи всі частини верхнього рівняння системи (2) на S_M і здійснюючи певні перетворення, отримуємо

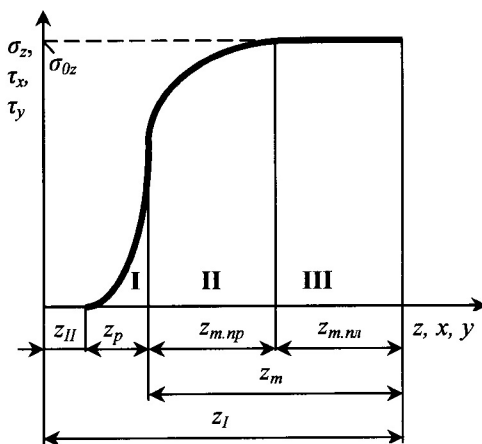


Рис. 2. Залежність напружень від деформацій у середовищі вологого дисперсного матеріалу під час його навантаження

$$\begin{cases} \frac{c_{pz}z_p + \alpha_{pz}\dot{z}_p - c_{mz}z_{m.np} - \alpha_{mz}\dot{z}_m - \sigma_{0z}}{\mu_z} = F_{Mz\Sigma}(t); \\ z_I - z_{II} = z_p + z_{m.np} + z_{m.nl}; \\ z_m = z_{m.np} + z_{m.nl}. \end{cases} \quad (3)$$

Підставляючи у рівняння (3) $F_{Mz\Sigma}(t)$, z_I , z_{II} , z_m , z_p , визначені за допомогою диференціальних рівнянь руху виконавчих елементів вібропреса, твердої і рідинної частинок порції оброблюваного матеріалу, визначаємо пластичні $z_{m.nl}$ і пружні $z_{m.np}$ деформації твердої фази.

На рис. 2 наведена аналітична залежність напружень від деформацій у середовищі матеріалу під час його навантаження. На графіку можна виділити: ділянку I, що характеризує зміну дотичних та стискаючих напружень у рідинній фазі порції, обумовлених її пружною деформацією та в'язким тертям, а також сухим тертям твердих частинок; ділянку II, що дозволяє визначити напруження під час пружної деформації і в'язкого тертя твердих частинок; ділянку III, яка характеризує напруження, що є результатом пластичної деформації частинок твердої фази.