

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ВІБРОУДАРНОГО СЕПАРУВАННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті наводяться розрахункові залежності для визначення раціональних конструктивних параметрів вібропресової установки з гідроімпульсним приводом для здійснення віброударного інерційного сепарування вологих дисперсних матеріалів, а також оптимальних робочих характеристик процесу сепарування, виходячи із заданих початкових та кінцевих фізико-механічних параметрів оброблюваного продукту.

И. В. Севостьянов, Р. Д. Искович-Лотоцкий. Определение рабочих параметров процессов виброударного сепарирования влажных дисперсных материалов. В статье приводятся расчетные зависимости для определения рациональных конструктивных параметров вибропрессовой установки с гидроимпульсным приводом для осуществления виброударного инерционного сепарирования влажных дисперсных материалов, а также оптимальных рабочих характеристик процесса сепарирования, исходя из заданных начальных и конечных физико-механических параметров обрабатываемого продукта.

I. Sevostyanov, R. Iskovich-Lototsky. The determination of the working parameters of processes vibro-blowing separation of damp dispersible materials. It is bringing the counting dependences for the definition of rational constructive parameters of vibro-pressing plant with a hydraulic-pulse drive for the realization vibro-blowing inertia separation of damp dispersible materials, and also of optimum working characteristics of process separation, coming from initial and eventual physical-mechanical preset parameter of the processed product, in this article.

Технологічні процеси сепарування вологих дисперсних матеріалів знаходять останнім часом все більше поширення в різних галузях промисловості, на будівництві та в сільському господарстві. Зокрема, в результаті реалізації процесів видалення вологи з таких дисперсних матеріалів, як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, фруктова та ягідна макуха, що є вторинними продуктами відповідних виробництв, вони можуть застосовуватись як досить цінна кормова добавка.

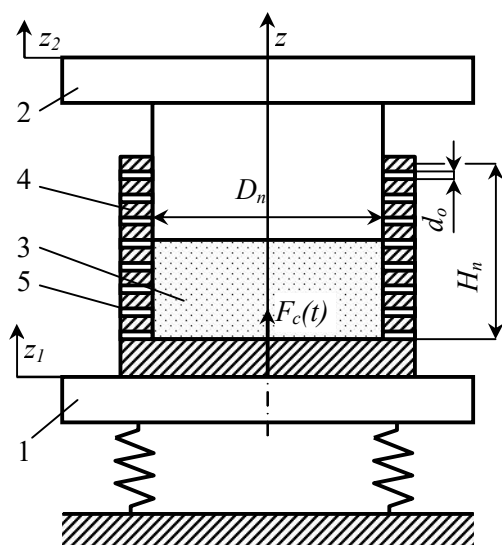


Рис. 1. Схема віброударного інерційного навантаження порції вологого дисперсного матеріалу в процесі його сепарування

На підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень, авторами встановлено, що найбільш ефективним способом сепарування вказаних вище матеріалів є спосіб віброударного інерційного навантаження, який реалізується на вібропресових установках з гідроімпульсним приводом (ГП) [1, 2, 3, 4].

Для максимально повного видалення з оброблюваного продукту вологи при мінімальних витратах енергії та часу, потрібно забезпечити раціональні конструктивні параметри вібропресового обладнання з ГП, що буде при цьому використовуватись, а також оптимальні робочі характеристики самого процесу сепарування. Вказані параметри та характеристики мають розраховуватись, виходячи із заданих початкових та кінцевих параметрів матеріалу, з якого видаляється рідина (вологості, густини, пружності, пластичності, міцності зв'язків між його частинками та гранулометричного складу).

На рис. 1 показана схема віброударного інерційного навантаження порції вологого дисперсного матеріалу в процесі його сепарування. Одним з основних робочих параметрів даного процесу є енергія E_x [1], що передається у продовж

кожного циклу спрацьовування ГПТ його нижньому 1 (див. рис. 1) та верхньому 2 виконавчим елементам [1], а через останні – і частинкам порції 3 оброблюваного продукту, яка знаходиться у прес-формі 4.

Від величини E_x залежать поточні значення зусилля $F_c(t)$, що діє на частинки з боку виконавчих елементів, в результаті чого у середовищі порції створюється надлишковий тиск $\Delta p_n(t)$ і волога з нього через фільтрувальні отвори 5 у бокових стінках прес-форми (див. рис. 1) витікає назовні. Діаметр отворів 5 вибирається за умовою не проходження через них найдрібніших частинок твердої фракції порції (передбачається виконувати у стінках прес-форми сітку отворів діаметром 1 – 2 мм, які закривати дрібною металевною сіткою або нещільною тканиною).

Величини $F_c(t)$ можуть бути визначені при розв'язанні диференціальних рівнянь руху виконавчих елементів ГПТ [1], цикл якого тривалістю T_u доцільно поділити на два етапи:

I етап ($0 < t \leq t_b$) – відкриття вібробуджувача ГПТ (t_e - тривалість відкриття) і початок переміщення виконавчих елементів під впливом зовнішньої сили; на даному етапі $F_c(t)$ змінюється від 0 до $F_{c,max}$ ($F_{c,max}$ розраховується за відомими конструктивними та робочими параметрами вібропресової установки [1, 2]);

II етап ($t_b < t \leq T_u$) – вільний коливальний рух виконавчих елементів ГПТ, їх переміщення у граничні верхні та повернення у вихідні нижні положення, при цьому навантаження на частинках порції створюється під впливом сил інерції та сил демпфірування.

При визначенні $\Delta p_n(t)$, окрім $F_c(t)$ потрібно врахувати також і втрати тиску в рідинній фракції, обумовлені її тертям по довжині каналів між твердими частинками, по яких волога переміщується до бокових стінок прес-форми, втрати тиску у місцевих опорах (при поворотах русла каналів, їх розширенні та звуженні, при витисканні рідини через фільтрувальні отвори). Необхідно взяти до уваги й те, що в процесі кожного циклу спрацьовування ГПТ, форма та лінійні розміри каналів змінюються, отже збільшується або зменшується опір переміщенню по них рідини.

Залежності для розрахунку втрат тиску при проходженні рідини по каналах між твердими частинками порції дозволять також визначати і продуктивність процесу сепарування. Остання характеризується витратами рідини, що витікає з прес-форми у продовж кожного циклу віброударного навантаження.

Сумарний об'єм, займаний твердими частинками порції при атмосферному тиску, без прикладання віброударного навантаження, а також відсутності між ними вільної вологи дорівнює

$$\Sigma W_T = \Sigma m_T \rho_T = m_n \varepsilon_T \rho_T, \quad (1)$$

де Σm_m – маса твердої фракції порції – добуток маси порції m_n та масового вмісту ε_m у ній твердих частинок; ρ_m – густина твердої фракції при вказаних вище умовах.

Середній об'єм твердої частинки порції

$$W_T = \frac{4}{3} \pi \cdot r_T^3 = \frac{\pi \cdot d_T^3}{6}, \quad (2)$$

де r_m , d_m – відповідно радіус та діаметр середньої за розмірами твердої частинки порції (визначаються методом ситового аналізу).

Тоді наближене число твердих частинок порції, яке є незмінним у продовж всього процесу віброударного інерційного навантаження (умовно вважаємо, що фільтрувальні отвори прес-форми пропускають тільки рідинну фракцію), складає

$$n_{r.ч} = \frac{\Sigma W_T}{W_T} = \frac{6 \cdot m_n \varepsilon_T \rho_T}{\pi \cdot d_T^3}. \quad (3)$$

Згідно із резонансно-структурною теорією процесів віброударного інерційного навантаження сухих непластичних порошкових матеріалів [1], в процесі їх реалізації відбувається періодичне перерозподілення частинок основи із забезпеченням рівномірної укладки останніх по об'єму порції. У роботі [4] було обґрунтовано, що у випадку сепарування за допомогою розглядуваного способу вологих дисперсних матеріалів, процес рівномірного перерозподілення твердих частинок порції буде відбуватись ще інтенсивніше, ніж при ущільненні сухих дисперсних сумішей. Таким чином, можна прийняти припущення, що у будь-який момент циклу віброударного навантаження питома кількість твердих частинок у порції вологого дисперсного продукту $n_{m.ч.n}(t)$ або їх число в одиниці об'єму, є величиною постійною. Значення $n_{m.ч.n}(t)$ знаходимо за формулою

$$n_{т.ч.п.}(t) = \frac{n_{т.ч.}}{W_n(t)} = \frac{6 \cdot m_n \varepsilon_t \rho_t}{\pi \cdot d_t^3 S_n (H_n - \Delta z(t))}; 0 < t \leq T_{ц}, \quad (4)$$

де $W_n(t)$, S_n , H_n – поточне значення об'єму порції, площа її поперечного перерізу (S_n дорівнює площі поперечного перерізу порожнини прес-форми) та початкова висота порції; $\Delta z(t) = z_1(t) - z_2(t)$ – переміщення верхнього виконавчого елемента вібропресової установки відносно нижнього виконавчого елемента; $z_1(t)$, $z_2(t)$ – абсолютні переміщення нижнього та верхнього виконавчих елементів (див. рис. 1).

Питома кількість твердих частинок у одиниці лінійного розміру порції

$$n_{т.ч.п.л.}(t) = \sqrt[3]{n_{т.ч.п.}(t)} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m_n \varepsilon_t \rho_t}{\pi \cdot d_t^3 S_n (H_n - \Delta z(t))}} = \frac{1}{d_t} \sqrt[3]{\frac{6 \cdot m_n \varepsilon_t \rho_t}{\pi \cdot S_n (H_n - \Delta z(t))}}; 0 < t \leq T_{ц}. \quad (5)$$

Тоді середнє значення діаметра каналу між двома сусідніми частинками твердої фракції, по яких рідина із середніх шарів порції рухається до її периферії, можна знайти як

$$d_{к.}(t) = \frac{1 - n_{т.ч.п.л.}(t) \cdot d_t}{n_{т.ч.п.л.}(t)} = d_t \cdot \left(\frac{1}{\sqrt[3]{\frac{6 \cdot m_n \varepsilon_t \rho_t}{\pi \cdot d_t^3 S_n (H_n - \Delta z(t))}}} - 1 \right); 0 < t \leq T_{ц}. \quad (6)$$

В процесі віброударного навантаження частина вологи порції знаходиться біля самих стінок прес-форми, тому для витікання їй потрібно пройти порівняно невеликий шлях по каналах між твердими частинками. Але інша частина рідини розташовується в шарах ближчих до осі прес-форми і для того, щоб вийти назовні їй потрібно досить довго протискатись по цих каналах. Точно визначити довжину останніх у будь який момент часу процесу сепарування неможливо, оскільки, як вказувалось вище, тверді частинки, між якими утворюються канали періодично перерозподіляються в об'ємі прес-форми. У зв'язку із цим, лінійні розміри та форма кожного з каналів є змінними, окремі з них можуть перекриватись, перетинатись з іншими каналами, розгалужуватись. Тому, при визначенні основних робочих параметрів процесу відокремлення вологи потрібно прийняти ряд припущень. Зокрема, будемо вважати, що вся вільна рідина порції в середині прес-форми проходить по каналах, частина яких починається на колі діаметром $D_n/2$ (D_n – внутрішній діаметр прес-форми) і закінчується біля її бокових стінок (рис. 2). Середня довжина кожного з цих каналів дорівнює $l_{к.с} = D_n/4$. Наближене загальне число каналів, які починаються на колі діаметром $D_n/2$ визначається за формулою

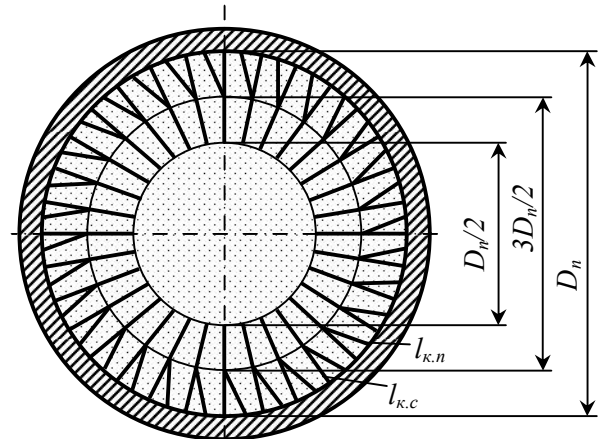


Рис. 2. Схема для визначення наближеної загальної довжини каналів між твердими частинками у порції вологого дисперсного матеріалу під час його віброударного інерційного сепарування

$$n_{к.с.}(t) = n_{т.ч.п.л.}(t) \frac{\pi \cdot D_n}{2} n_{т.ч.п.л.}(t) \cdot (H_n - \Delta z(t)) = (n_{т.ч.п.л.}(t))^2 \frac{\pi \cdot D_n}{2} (H_n - \Delta z(t)); 0 < t \leq T_{ц}. \quad (7)$$

Наближена загальна кількість каналів, що закінчуються на периферії прес-форми

$$n_{к.п.}(t) = n_{т.ч.п.л.}(t) \cdot \pi \cdot D_n n_{т.ч.п.л.}(t) \cdot (H_n - \Delta z(t)) = (n_{т.ч.п.л.}(t))^2 \pi \cdot D_n (H_n - \Delta z(t)); 0 < t \leq T_{ц}. \quad (8)$$

З врахуванням наведених вище міркувань, вважаємо, що друга половина каналів, які закінчуються біля стінок, починаються на колі діаметром $\frac{3}{2}D_n$ (див. рис. 2). Середня довжина кожного з цих каналів може бути прийнятою рівною $l_{к.п} = D_n/8$; вони є відгалуженнями каналів довжиною $l_{к.с}$.

Тоді наближена загальна довжина каналів порції може бути визначена як

$$\begin{aligned} \Sigma l_k(t) = n_{к.с}(t) \cdot l_{к.с} + n_{к.п}(t) \cdot l_{к.п} = (n_{т.ч.п.л}(t))^2 \frac{\pi \cdot D_n}{2} (H_n - \Delta z(t)) \frac{D_n}{4} + \\ + (n_{т.ч.п.л}(t))^2 \pi \cdot D_n (H_n - \Delta z(t)) \frac{D_n}{8} = (n_{т.ч.п.л}(t))^2 \pi \cdot D_n (H_n - \Delta z(t)) \frac{D_n}{4}; \end{aligned} \quad 0 < t \leq T_{ц}. \quad (9)$$

Сумарні втрати тиску на тертя по довжині каналів при проходженні по них рідини, що видаляється з прес-форми, визначаємо за відомою [5] формулою з врахуванням формул (6, 9)

$$\Delta p_{\tau}(t) = \lambda(t) \frac{\Sigma l_k(t) \dot{x}_p^2}{d_k(t) 2g}; \quad 0 < t \leq T_{ц}, \quad (10)$$

де $\lambda(t) = \frac{64}{Re}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя рідинної фракції; $Re = \frac{\dot{x}_p d_k(t)}{\nu}$ – середнє для

струменів рідини у каналах порції поточне значення числа Рейнольдса; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини; g – прискорення сили земного тяжіння; x_p – переміщення частинки рідини в процесі віброударного навантаження відносно осі Ox в напрямку до бокової стінки прес-форми (може бути знайдено з відповідного диференціального рівняння руху частинки).

Як місцеві опори у порції оброблюваного матеріалу, під час руху по каналах між його твердими частинками вологи, враховуємо тільки розгалуження (див. рис. 2). Зміну місцеположення та розмірів розширень, звужень та поворотів каналів в процесі віброударного навантаження врахувати з достатньою точністю практично неможливо. Але це й не є доцільним, оскільки в результаті періодичного та рівномірного пере розподілення твердих частинок порції, площа поперечного перерізу каналів залишається по її об'єму приблизно однаковою. Крім цього, рідина намагається рухатись до отворів у стінках як найкоротшим шляхом, сітка каналів, внаслідок малих розмірів твердих частинок, є достатньо густою, у зв'язку із чим, повороти русла каналів можна не брати до уваги.

Тоді при кількості розгалужень каналів $n_{к.с}(t)$, сумарні втрати тиску на них складатимуть [5]

$$\Delta p_{м.р}(t) = \zeta_p n_{к.с}(t) \frac{\dot{x}_p^2}{2g}; \quad 0 < t \leq T_{ц}, \quad (11)$$

де ζ_p – середнє значення коефіцієнта місцевого опору розгалуження.

Поточні значення перепаду тиску рідинної фракції у порції у продовж циклу віброударного пресування, під впливом якого вона витікає назовні знаходимо таким чином

для I-го етапу спрацьовування ГПП (див. формули (10, 11))

$$\Delta p_I(t) = \Delta p_{п.макс} - \Delta p_{\tau}(t) - \Delta p_{м.р}(t) = \frac{F_{с.макс}}{S_{п}} - \lambda(t) \frac{\Sigma l_k(t) \dot{x}_p^2}{d_k(t) 2g} - \zeta_p n_{к.с}(t) \frac{\dot{x}_p^2}{2g}; \quad 0 < t \leq t_B; \quad (12)$$

для II-го етапу спрацьовування ГПП

$$\Delta p_{II}(t) = \Delta p_{п}(t) - \Delta p_{\tau}(t) - \Delta p_{м.р}(t) = \frac{F_c(t)}{S_{п}} - \lambda(t) \frac{\Sigma l_k(t) \dot{x}_p^2}{d_k(t) 2g} - \zeta_p n_{к.с}(t) \frac{\dot{x}_p^2}{2g}; \quad t_B < t \leq T_{ц}. \quad (13)$$

Поточне значення витрат рідини, що витікає з прес-форми в процесі віброударного інерційного навантаження [5]

для I-го етапу спрацьовування ГПП (див. формулу (12))

$$Q_I(t) = \mu_o S_o n_o(t) \sqrt{\frac{2\Delta p_I(t)}{\rho_{pImax}}}; \quad 0 < t \leq t_B; \quad (14)$$

для II-го етапу спрацьовування ГПІ (див. формулу (13))

$$Q_{II}(t) = \mu_o S_o n_o(t) \sqrt{\frac{2\Delta p_{II}(t)}{\rho_{pII}(t)}}; t_b < t \leq T_{II}, \quad (15)$$

де $n_o(t)$ – поточне значення кількості фільтрувальних отворів у стінках прес-формі, через які рідина виходить назовні – може бути визначено як добуток питомого числа отворів $n_{o,n}$ на одиниці площі внутрішньої поверхні стінок прес-формі та площі відкритої на даний момент поверхні (в міру ущільнення твердих частинок порції та зменшення її об'єму, все більше число фільтрувальних отворів у верхній частині прес-форми буде перекриватись пуансоном); μ_o , S_o - коефіцієнт витрат та площа поперечного перерізу фільтрувального отвору.

Значення $n_o(t)$ знаходимо за формулою

$$n_o(t) = n_{o,\pi} \pi \cdot D_{\pi} (H_{\pi} - \Delta z(t)). \quad (16)$$

Значення густини вологої фракції порції $\rho_{pl}(t)$ на I-му етапі спрацьовування ГПІ є практично незмінним і максимальним для циклу спрацьовування ГПІ: $\rho_{pl}(t) = \rho_{plmax}$, оскільки на даному етапі зусилля $F_c(t)$, від якого залежить $\rho_{pl}(t)$, у продовж досить короткого проміжку часу $t_e = 10^{-3}$ с [6] різко збільшується від 0 до $F_{c,max}$.

Величину ρ_{plmax} розраховуємо за формулою [5]

$$\rho_{plmax} = \frac{\rho_p}{1 - \beta_p \Delta p_{n,max}} = \frac{\rho_p}{1 - \beta_p \frac{F_{c,max}}{S_{\pi}}}, \quad (17)$$

де ρ_p – густина рідинної фракції при атмосферному тиску і температурі 20°C; β_p – коефіцієнт її об'ємного стискання [5]; $\Delta p_{n,max}$ – максимальний перепад тиску рідини у прес-формі, створюваний зусиллям $F_{c,max}$.

При виведенні формули (17) було прийняте припущення, що за такий короткий час, яким є t_e , з прес-форми виділяється мінімальна кількість вологої фракції, якою можна знехтувати й вважати, що на I-му етапі роботи ГПІ, маса даної фракції залишається постійною.

Поточні значення $\rho_{pII}(t)$ на II-му етапі спрацьовування основного привода установки знаходимо за допомогою рівняння

$$\rho_{pII}(t) = \frac{\rho_b}{1 - \beta_b \Delta p_{II}(t)} = \frac{\rho_b}{1 - \beta_b \frac{F_c(t)}{S_{\pi}}}; t_b < t \leq T_{II}, \quad (18)$$

Об'єм сепарованої у продовж i -го циклу віброударного навантаження рідини (див. формули (14, 15))

$$W_{p,c,i} = \int_0^{t_b} Q_I(t) dt + \int_{t_b}^{T_{II}} Q_{II}(t) dt. \quad (19)$$

Загальний об'єм видаленої під час всього процесу пресування вологи

$$\Sigma W_{p,c} = \sum_{i=1}^n W_{p,c,i}, \quad (20)$$

де n – загальне число циклів віброударного інерційного навантаження порції.

В загальному випадку вологість дисперсного матеріалу являє собою відношення маси рідинної фракції порції до всієї маси останньої [7]. Тоді з врахуванням формул (1, 20) величину кінцевої вологості порції оброблюваного матеріалу після завершення процесу її віброударного пресування можна визначити за формулою

$$U_k = \frac{m_{\pi} - \Sigma m_T - \rho_p \Sigma W_{p,c}}{m_{\pi} - \rho_p \Sigma W_{p,c}} = 1 - \frac{\Sigma m_T}{m_{\pi} - \rho_p \Sigma W_{p,c}}. \quad (21)$$

При цьому величина U_k не повинна перевищувати значення максимально допустимої кінцевої вологості продукту U_0 .

На підставі запропонованих формул та загальної методики проектного розрахунку вібропресового обладнання з ГПП [1] можуть бути, як вказувалось на початку статті, виведені залежності для визначення оптимальних параметрів віброударного навантаження вологих дисперсних матеріалів, виходячи із їх початкових та кінцевих фізико-механічних показників, а також формули для вибору раціональних конструктивних параметрів вібропресової установки, на якій буде реалізований процес сепарування.

Висновки

1. Для забезпечення високої ефективності процесів сепарування вологих дисперсних матеріалів способом віброударного інерційного навантаження на вібропресових установках з гідроімпульсним приводом (з максимально повним видаленням з продуктів вологи і мінімальними витратами часу та енергії), необхідно розрахувати та забезпечити раціональні конструктивні параметри обладнання та оптимальні робочі характеристики процесу сепарування, виходячи із заданих початкових та кінцевих фізико-механічних параметрів оброблюваного матеріалу.

2. До основних робочих параметрів процесу сепарування способом віброударного навантаження відносяться: енергія, що передається виконавчим елементам вібропресової установки з ГПП у продовж кожного циклу його спрацьовування (від величини цієї енергії залежать поточні значення зусиль, створюваних на частинках порції продукту), а також витрати рідинної фракції, яка витискається з прес-форми за цей же самий період (визначає продуктивність процесу сепарування). Вказані робочі параметри процесу сепарування є взаємозв'язаними.

3. При визначенні робочих зусиль, що створюються на частинках порції під час її пресування, враховуються конструктивні параметри вібропресової установки, розрахунок же продуктивності сепарування здійснюється після прийняття ряду припущень та спрощень щодо механізму протікання процесу видалення з оброблюваного матеріалу вологи, з використанням результатів динамічного аналізу даного процесу та загальних положень гідравліки.

Література

1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.

2. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В. Розрахунок параметрів вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів переробних та харчових виробництв// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №3 (109), 2007. – Ч. 1. – С. 105 – 108.

3. Іскович-Лотоцький Р. Д., Севостьянов І. В., Андрощук В. Д. Вібропресова машина для обезводнювання відходів харчових виробництв// Вибрації техніки та технологіях. - 2002. - №3 (24). - С. 48 - 50.

4. Севостьянов І. В., Іскович-Лотоцький Р. Д., Поліщук О. В. Особливості віброударного зневоднення продуктів переробних виробництв// Наукові нотатки. Межвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – Випуск 20 (травень, 2007). – С. 443 – 446.

5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы/ Т. М. Башта, Б. Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

6. Іскович-Лотоцький Р. Д., Матвеев І. Б., Крат В. А. Машины вибратионного и виброударного действия. - Киев: Техніка, 1982. - 208 с.

7. Гончаревич І. Ф., Урьев І. Б., Талейсник М. А. Вибратионная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 279 с.