

УДК 621.717

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-1

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ
ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ****Калетнік Григорій Миколайович**, академік НААН України, д.е.н., професор**Полєвода Юрій Алікович**, к.т.н., доцент**Токарчук Олексій Анатолійович**, к.т.н., доцент

Вінницький національний аграрний університет

Grygorii Kaletnik, Academician of NAAS of Ukraine, Doctor of Economic Sciences, Professor**Yurii Polievoda**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor**Oleksii Tokarchuk**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Vinnytsia National Agrarian University

Відокремлення вологих дисперсних матеріалів стає актуальним завданням для промисловості України та інших країн, особливо у галузях харчової та переробної промисловості. Розв'язання цього завдання може ефективно вирішити проблему ефективного поводження з відходами, такими як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий та ячмінний шлам. Після відокремлення рідкої фази від відходів (зневоднення) тверда фаза може слугувати покращувачем ґрунту, корисною добавкою до сільськогосподарських кормів, використовуватися як висококалорійне паливо та мати інші корисне використання як в переробній, так і в сільськогосподарській галузях.

Найбільш перспективним методом сепарування вологих дисперсних відходів є механічне зневоднення. Цей метод забезпечує високу продуктивність, низьке енергоспоживання, що в сотні разів менше, ніж при використанні теплових методів для досягнення необхідного рівня вологості відходів.

Перспективним видом обладнання для механічного розділення вологих дисперсних відходів є преси з гідравлічним приводом. Вони відзначаються компактністю за розміри, високою енергоефективністю і надійністю, а також можливістю точної регуляції параметрів обробки відходів. У статті представлена схема вдосконаленої та високоефективної установки з гідравлічним приводом для розділення вологих дисперсних матеріалів. Представлено математичну модель, яка пов'язує параметри процесу розділення, конструктивні характеристики установки і фізико-механічні властивості матеріалу, що обробляється. Знайдені рівняння можуть бути використані для встановлення зв'язків між робочими параметрами процесів, конструктивними параметрами обладнання для ефективності запропонованої технології біоенергетичного рециклінгу відходів.

Ключові слова: утилізація відходів, дисперсні матеріали, процес сепарування, продуктивність, енергоспоживання, гідравлічний привод, біоенергетичний рециклінг.

Ф. 19. Рис. 1. Літ. 12.

1. Постановка проблеми

Механічні методи часто є ефективними для розділення вологих матеріалів, таких як сировинний матеріал або відходи харчових виробництв. Вони можуть забезпечувати високу продуктивність і швидкість обробки.

Багато механічних методів є відносно простими в експлуатації та обслуговуванні, що дозволяє їх використовувати в різних виробничих умовах. Деякі механічні методи можуть бути менш витратними з точки зору обладнання порівняно з іншими технологіями розділення. Механічні методи часто легко піддаються автоматизації, що дозволяє знизити витрати на робочу силу і підвищити продуктивність.

Але разом з тим, висока інтенсивність механічної обробки може призводити до швидкого зносу обладнання та вимагати регулярного обслуговування, що може збільшити загальні витрати. Механічні методи можуть призводити до пошкодження чутливих матеріалів під час обробки через великі сили, що діють на них. Також дані методи можуть вимагати значних енергетичних ресурсів для своєї роботи, що може впливати на загальну ефективність процесу.

Загалом, вибір між механічними методами розділення та іншими технологіями залежить від конкретних вимог процесу та властивостей оброблюваних матеріалів.



Тому необхідно провести математичне моделювання досліджуваного процесу, що дозволить визначити оптимальні конструктивні параметри обладнання і робочі параметри процесу сепарування в залежності від фізико-механічних характеристик матеріалу.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Один із перспективних видів обладнання для механічного відокремлення вологих дисперсних відходів – це преси з гідравлічним приводом. Вони вирізняються компактними розмірами, високою енергоефективністю та надійністю, а також надають можливість точно налаштувати режим обробки відходів у широкому діапазоні основних параметрів. У статті приведено схему вдосконаленої та ефективної установки із гідравлічним приводом для відділення вологих дисперсних матеріалів.

Проводились дослідження, де розглядалися різні типи моделей ковальсько-пресових машин, включаючи гідравлічні преси, такі як ідеальні, жорсткі зосереджені, пружні концентровані і хвильові розподілені моделі. При виборі відповідного типу моделі необхідно було враховувати потрібну точність результатів досліджень, частотні характеристики системи, рівень декременту, співвідношення мас виконавчих елементів устаткування та робочої рідини гідравлічної системи. Зокрема, для аналізу динаміки гідравлічних пресів і машин ударної дії з насосом і приводом використовується жорстка модель з концентрованими параметрами [1, 7].

Обладнання для пресування, що працює за допомогою гідравлічного імпульсного привода, включаючи установки для віброударного видалення вологих дисперсних відходів, характеризується швидкими динамічними процесами в їх гідравлічній системі. Частота періодичного впливу вібробуджувача гідроімпульсного приводу на гідравлічну систему цього обладнання менша за його першу резонансну частоту, тому для аналізу машин з таким типом приводу може бути використана пружна концентрована модель [2, 3, 12].

3. Мета та завдання досліджень

Математично змоделювати процес механічного зневоднення вологих дисперсних відходів харчових виробництв. Дослідити зв'язки між робочими параметрами процесів, конструктивними параметрами обладнання для його реалізації та показниками ефективності запропонованої технології біоенергетичного рециклінгу відходів.

4. Виклад основного матеріалу

Для математичного моделювання використовувалась установка з гідравлічним приводом для високоефективного сепарування вологих дисперсних матеріалів [4-11].

Оброблюваний матеріал з початковою вологістю 90-95% завантажується з ємності. Після завершення завантаження засувка закривається і за допомогою гідроциліндра опускається пуансон, що забезпечує пресування частини оброблюваного матеріалу у відповідній прес-формі. У порівнянні зі звичайними циліндричними прес-формами аналогічного об'єму прес-форма установки має більшу площу робочої поверхні і забезпечує більш рівномірне і ефективне завантаження частини оброблюваного матеріалу не тільки в нижній і верхній секціях, але і в середніх шарах. Все це сприяє більш інтенсивному видаленню рідкої фази оброблюваного матеріалу, що витікає назовні через дрібні отвори в стінках прес-форми і в пуансоні в стічний резервуар. Отвори закриваються зсередини фільтруючою металевою сіткою. Після чого, видалена рідина відкачується з внутрішніх порожнин пуансона через гнучкий шланг за допомогою насоса.

Для підвищення ефективності процесу сепарування рекомендується час від часу переривати завантаження порції матеріалу, виводити пуансон вгору для перерозподілу рідини в порції і подальшого її кращого видалення.

Для кращого протікання процесу відділення рекомендується періодично припиняти завантаження матеріалу, піднімати пуансон вгору для перерозподілу рідини в порції та забезпечення більш ефективного видалення.

Після зневоднення частина обробленого матеріалу, що видаляється з прес-форми направляється на стрічковий конвеєр. Після цього все повертається в початкове положення і в прес-форму завантажується наступна порція оброблюваного матеріалу. Робочий цикл установки повторюється.

Для створення математичної моделі установки використовуються схеми навантаження поршня гідроциліндра 1 (рис. 1), для першого етапу (рис. 1, а) – завантаження з вилученням вільної рідини

(пресування рідкої фази порції) і для другого етапу (рис. 1, б) – завантаження з вилученням рідини, що має структурні і адсорбтивні зв'язки з твердими частинками (пресування рідкої і твердої фаз порції). На схемах позначаються: $p_c(t)$ – тиск в поршневій порожнині циліндра, що змінюється в проміжку часу в залежності від навантаження на шток, p_o – тиск в штоковій порожнині циліндра, що відповідає тиску переливу в зливній системі установки; m_p – маса поршня з урахуванням мас штока і пуансона; S_p – ефективна площа перерізу поршня (вона однакова з боку поршневої порожнини і штокової порожнини циліндра); $R(t)$ – сила сухого тертя при робочому русі поршня (тертя в ущільненні поршня і штока циліндра); a_p – прискорення поршня; b_1, b_2 – ширина горизонтальної і похилої поверхонь пуансона; $F_{r,l}(t)$ – сила пружного опору рідкої фази ділянки в робочому русі пуансона; $F_{r,h}(t)$ – сила стійкого опору твердої фази ділянки в робочому русі перфоратора; $F_{f,l}(t)$ – сила в'язкого тертя рідкої фази ділянки в робочому русі пуансона; $F_d(t)$ – рушійна сила з боку поршня; F_p – сила пластичної деформації твердої фази ділянки в робочому русі пуансона; α – кут нахилу поверхонь пуансона.

Рівняння руху поршня гідроциліндра на першому етапі навантаження (рис. 2, а) можна представити у вигляді:

$$m_p \ddot{z}_p = F_d(t) + m_p g - F_{r,l}(t) \cos \alpha - F_{f,l}(t) \cos \alpha - R(t); 0 \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

де t_1 – тривалість першого ступеня навантаження.

Рівняння (1) подаємо в іншому вигляді::

$$m_p \ddot{z}_p = S_p(p_c(t) - p_o) + m_p g - \cos \alpha (\Delta p_m(t) S_p + \beta_l \dot{z}_p) - 0,1 \cdot S_p(p_c(t) - p_o); 0 \leq t \leq t_1, \quad (2)$$

де β_l – коефіцієнт в'язкого тертя рідкої фази; $\Delta p_m(t)$ – зміна тиску всередині ділянки оброблюваного матеріалу в процесі її стискання пуансоном. При отриманні рівняння (2) була використана припущення, що $R(t)$ за значенням становить приблизно 10% від значення $F_d(t)$.

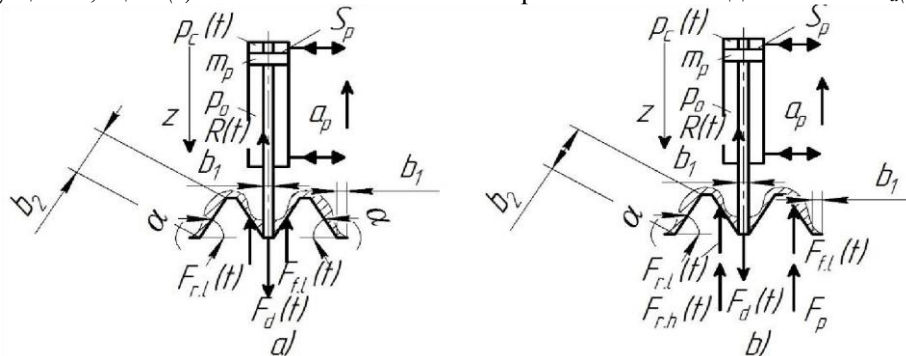


Рис. 1. Схеми навантаження поршня гідроциліндра установки для першого етапу (а) і для другого етапу (б) навантаження

Зміну тиску $\Delta p_m(t)$ можна визначити за формулою:

$$\Delta p_m(t) = \frac{\Delta V_p(t)}{V_p} E_w; 0 \leq t \leq t_1, \quad (3)$$

де $\Delta V_p(t)$ – зміна об'єму порції оброблюваного матеріалу в результаті його пресування;

V_p – початковий об'єм порції перед пресуванням;

E_w – модуль об'ємної пружності рідкої фази оброблюваного матеріалу (на першому етапі сепарування, коли вологість матеріалу становить 90 - 95%, можна вважати, що в прес-формі пресується ньютонівська рідина).

Зміну обсягу $\Delta V_p(t)$ можна розрахувати за формулою:

$$\Delta V_p(t) = 5 \cdot b_1 l \cdot z_p + 4 \cdot b_2 l \cdot z_p \cos \alpha = l \cdot z_p (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha); 0 \leq t \leq t_1, \quad (4)$$

де l – довжина робочої поверхні пуансона. Початковий об'єм порції ми можемо знайти за формулою:

$$V_p = h_p l (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) - 2 \cdot b_2 l \cos \alpha \cdot b_2 \sin \alpha - 2 \cdot l \cdot b_2 \sin \alpha = l \cdot [h_p (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) - 2 \cdot b_2 (b_2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha + \sin \alpha)]. \quad (5)$$

Подачу екстрагованої рідкої фази оброблюваного матеріалу ми визначаємо як:

$$Q_l(t) = \mu_o \frac{\pi d_o^2}{4} n_o [2 \cdot l \cdot (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) + l \cdot (h_p - \dot{z}_p t)] \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_m(t)}{\rho_w}}; 0 \leq t \leq t_1, \quad (6)$$

де μ_o – коефіцієнт витрати фільтруючих отворів в стінках пуансона і прес-форми; d_o – діаметр фільтруючих отворів; n_o – кількість фільтруючих отворів на одиницю площі внутрішніх поверхонь пуансона і прес-форми; ρ_w – густина рідкої фази, що екстрагується (води).



У формулі (6) враховується зменшення кількості відкритих фільтруючих отворів при просіданні пуансона.

Подачу робочої рідини, що забезпечується гідроприводом в поршневу порожнину гідроциліндра, ми можемо знайти як:

$$Q_{w,l}(t) = S_p \dot{z}_p; 0 \leq t \leq t_l. \quad (7)$$

Відповідно до рівняння балансу:

$$Q_{w,l}(t) = Q_l(t); 0 \leq t \leq t_l. \quad (8)$$

Отже, можна прирівняти ліві частини рівнянь (6) і (7):

$$S_p \dot{z}_p = \mu_o \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} n_o [2 \cdot l \cdot (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) + l \cdot (h_p - \dot{z}_p t)] \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_m(t)}{\rho_w}}; 0 \leq t \leq t_l. \quad (9)$$

Тривалість t_l першого етапу ми можемо приблизно знайти з урахуванням об'ємного вмісту $W_{f,l}$ вільної рідкої фази в початковому оброблюваному матеріалі. Отже, тоді умова для розрахунку t_l буде представлена як:

$$\Delta V_p(t) = V_p W_{f,l}; 0 \leq t \leq t_l. \quad (10)$$

Після спільного розв'язку попередніх рівнянь можна знайти основні робочі параметри запропонованої установки в ході першого етапу процесу сепарування: рухи z_p , швидкості \dot{z}_p і прискорення \ddot{z}_p виконавчого елемента установки в кожен момент етапу, його тривалість t_l . Потім за допомогою рівнянь (3, 4, 6) можна визначити зміну тиску $\Delta p_m(t)$, зміну об'єму $\Delta V_p(t)$ і подачу екстрагованої рідкої фази оброблюваного матеріалу – $Q_l(t)$ в ході першого етапу.

Для забезпечення можливості розв'язку рівняння (2) можна прийняти, що $p_c(t)$ є постійним і дорівнює попередньо відрегульованому тиску $p_{f,l}$ робочої рідини в силовій магістралі гідроприводу установки:

$$p_c(t) = p_{f,l}. \quad (11)$$

Рівняння руху поршня гідроциліндра 1 на другому етапі навантаження (рис. 1, б) можна представити у вигляді:

$$m_p \ddot{z}_p = F_d(t) + m_p g - F_{r,l}(t) \cos \alpha - F_{f,l}(t) \cos \alpha - F_{r,h}(t) \cos \alpha - F_p \cos \alpha - R(t); t_l < t \leq t_{II}, \quad (12)$$

де t_{II} – тривалість другого етапу навантаження. Рівняння (12) в іншому викладі:

$$m_p \ddot{z}_p = S_p(p_c(t) - p_o) + m_p g - \cos \alpha (\Delta p_m(t) S_p + \beta_i \dot{z}_p) - c_h z_p - \sigma_h - 0,1 \cdot S_p(p_c(t) - p_o); t_l < t \leq t_{II}, \quad (13)$$

де c_h – коефіцієнт жорсткості твердих частинок оброблюваного матеріалу; σ_h – межа пластичності твердих частинок [2].

Зміну тиску $\Delta p_m(t)$ можна визначити за формулою:

$$\Delta p_m(t) = \frac{\Delta V_p(t)}{V_p - \Delta V_p(t_l)} E_w; t_l < t \leq t_{II}, \quad (14)$$

де $\Delta V_p(t_l)$ – зміна обсягу порції оброблюваного матеріалу в момент фінішної обробки першого етапу.

Зміна об'єму $\Delta V_p(t)$ в ході другого етапу може бути розрахована за формулою

$$\Delta V_p(t) = 5 \cdot b_1 l \cdot z_p + 4 \cdot b_2 l \cdot z_p \cos \alpha = l \cdot z_p (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha); t_l < t \leq t_{II}. \quad (15)$$

Початковий обсяг порції в рівнянні (14) ми можемо знайти за формулою (5).

Рівняння подачі рідкої фази оброблюваного матеріалу, що екстрагується для другого етапу (див. формули (6 – 9):

$$S_p \dot{z}_p = \mu_o \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} n_o [2 \cdot l \cdot (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) + l \cdot (h_p - z_p(t_l) - \dot{z}_p t)] \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_m(t)}{\rho_w}}; t_l < t \leq t_{II}, \quad (16)$$

де $z_p(t_l)$ – рух пуансона з початкового положення і до моменту часу $t = t_l$.

Тривалість t_{II} другого етапу ми можемо приблизно знайти з урахуванням об'ємного вмісту $W_{sa,l}$ структурно-адсорбційної рідкої фази в початковому оброблюваному матеріалі ($W_{sa,l}$ може бути визначений експериментальним методом для кожного виду перероблених відходів). Отже, тоді умова для розрахунку t_{II} може бути представлена у вигляді:

$$\Delta V_p(t) = V_p W_{sa,l}; t_l < t \leq t_{II}. \quad (17)$$

Після спільного розв'язку рівнянь (13-17) можна знайти основні робочі параметри запропонованої установки в ході другого етапу процесу сепарування: z_p , \dot{z}_p , \ddot{z}_p , t_l , $\Delta p_m(t)$, $\Delta V_p(t)$.

Подача екстрагованої рідкої фази оброблюваного матеріалу – $Q_l(t)$ в ході другого етапу визначаємо за допомогою рівняння:

$$Q_l(t) = \mu_o \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} n_o [2 \cdot l \cdot (5 \cdot b_1 + 4 \cdot b_2 \cos \alpha) + l \cdot (h_p - z_p(t_l) - \dot{z}_p t)] \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_m(t)}{\rho_w}}; t_l < t \leq t_{II}, \quad (18)$$



Для забезпечення можливості розв'язку рівняння (13) можна прийняти, що $p_c(t)$ є постійним і дорівнює раніше відрегульованому тиску $p_{г.1}$ робочої рідини в силовій магістралі гідропривода установки.

Потужність насоса для гідроприводу головного гідроциліндра установки може бути розрахована як:

$$N_d = Q_{l.max} \Delta p_{m.max} \eta_p, \quad (19)$$

де $Q_{l.max}, \Delta p_{m.max}$ – є максимальною подачею екстрагуваної рідкої фази оброблюваного матеріалу і зміною тиску всередині частини оброблюваного матеріалу в ході першого і другого етапів процесу сепарування за результатами розрахунку цих параметрів за допомогою рівнянь (3, 6, 14, 18); η_p – ККД приводного насоса.

5. Висновки

Механічне розділення вологих дисперсних матеріалів визнається найбільш ефективним методом, оскільки воно забезпечує вищу продуктивність, ніж хіміко-біологічні методи, і вимагає менше енергії порівняно з термічним способом розділення. Однією з перспективних форм механічного розділення є використанням гідропресів.

Для оптимізації процесу пресування вологих дисперсних матеріалів на установці з гідравлічним приводом необхідна точна та адекватна математична модель. Відомі математичні моделі для пресового обладнання не відповідають вимогам для вивчення запропонованої вдосконаленої установки з гідравлічним приводом для сепарування вологих дисперсних матеріалів, оскільки вони є занадто складними і не враховують особливостей вивченого процесу сепарування та характеристик оброблюваного матеріалу.

Запропоновано математичну модель вдосконаленої установки з гідравлічним приводом для сепарування вологих дисперсних матеріалів. Рівняння математичної моделі визначають зв'язки між робочими параметрами сепарування, конструктивними параметрами установки і фізико-механічними характеристиками оброблюваного матеріалу. Ці рівняння можуть бути використані для оптимізації конструкції установки і проектного розрахунку технології біоенергетичного рециклінгу відходів.

Список використаних джерел

1. Севостьянов І. В. Теорія технічних систем : підручник. Вінниця : ВНТУ, 2014. 181 с.
2. Севостьянов І. В. Технологія та обладнання для віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів : монографія. Вінниця: ВНАУ, 2020. 345 с.
3. Севостьянов І. В., Луцук В. Л. Установка для багатоступеневого зневоднення відходів харчових виробництв. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №1. 105–113.
4. Sevostianov I., Ivanchuk Ya. Modelling of working process of equipment with hydraulic drive for separation of damp dispersive materials. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 78–84. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-9
5. Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. *Процеси і машини для вібраційних і вібропродувних технологій* : монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 342 с.
6. Севостьянов І., Краєвський С., Севостьянов В. Установки з гідравлічним приводом для сепарування вологих дисперсних систем. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 3 (114). С. 104–112. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-3-12
7. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. XI, Summer, № 3 (43) P. 513-522. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3(43).02)
8. Токарчук О. А., Токарчук Д. М., Пазюк В. М. Сучасний стан проблеми енергоефективності в світі та в Україні. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 1 (112). С. 88–99. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-11
9. Tokarchuk O. Prospects for the use of agricultural waste for biogas to reliably provide the industry with energy resources. *Global trends and prospects of socio-economic development of Ukraine: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 291–318. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-193-0-10>
10. Tokarchuk O., Sosnovska L. Directions of use of food and processing industry waste. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 2 (121). С. 32–39. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-4



11. Пазюк В. М., Токарчук О. А. Основні характеристики осадів стічних вод. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 96–104. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-11
12. Пришляк Н.В., Токарчук Д.М., Паламаренко Я.В. Передумови та організаційно-економічний механізм формування та реалізації стратегії поводження з відходами аграрних підприємств. *Економіка та держава*. 2021. № 3. С. 104–117. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.3.104

References

- [1] Sevostianov, I.V. (2014). *Teoriia tekhnichnykh system : pidruchnyk [Theory of technical systems: textbook]*. Vinnytsia : VNTU. [in Ukrainian].
- [2] Sevostianov, I.V. (2020). *Tekhnolohiia ta obladnannia dlia vibroudarnoho znevodnennia volohykh dyspersnykh materialiv : monohrafiia [Technology and equipment for vibration shock dehydration of wet dispersed materials: monograph]*. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].
- [3] Sevostianov, I.V., Lutsyk, V.L. (2017). Ustanovka dlia bahatostupenevoho znevodnennia vidkhodiv kharchovykh vyrobnytstv [Installation for multi-stage dehydration of food production waste.]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, 1*, 105–113. [in Ukrainian].
- [4] Sevostianov, I., Ivanchuk, Ya. (2022). Modelling of working process of equipment with hydraulic drive for separation of damp dispersive materials. *Engineering, Energy, Transport AIC, 1 (116)*, 78 – 84. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-9. [in English].
- [5] Iskovych-Lototskyi, R.D., Obertiukh, R.R., Sevostianov, I.V. (2006). *Protsesy i mashyny dlia vibratsiinykh i vibroproduvnykh tekhnolohii : monohrafiia [Processes and machines for vibration and vibration-blasting technologies : monograph]*. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia. [in Ukrainian].
- [6] Sevostianov, I., Kraievskyi, S., Sevostianov, V. (2021). Ustanovky z hidravlichnym pryvodom dlia separuvannia volohykh dyspersnykh system [Installations with a hydraulic drive for separating wet dispersed systems]. *Engineering, Energy, Transport AIC, 3 (114)*, 104–112. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-3-12. [in Ukrainian].
- [7] Kaletnik, G., Honcharuk, I., & Okhota, Yu. (2020). The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism, XI (Summer), 3 (43)*, 513-522. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3\(43\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.3(43).02). [in English].
- [8] Tokarchuk, O.A., Tokarchuk, D.M., Paziuk, V.M. (2021). Suchasnyi stan problemy enerhoefektyvnosti v sviti ta v Ukraini [Current state of the energy efficiency problem in the world and in Ukraine.]. *Engineering, Energy, Transport AIC, 1 (112)*, 88–99. DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-11. [in Ukrainian].
- [9] Tokarchuk, O. (2022). Prospects for the use of agricultural waste for biogas to reliably provide the industry with energy resources. *Global trends and prospects of socio-economic development of Ukraine: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 291–318. DOI : <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-193-0-10>. [in English].
- [10] Tokarchuk, O., Sosnovska, L. (2023). Directions of use of food and processing industry waste. *Engineering, Energy, Transport AIC, 2 (121)*, 32–39. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-4. [in English].
- [11] Paziuk, V.M., Tokarchuk, O.A. (2022). Osnovni kharakterystyky osadiv stichnykh vod [Basic characteristics of sewage sludge]. *Engineering, Energy, Transport AIC, 1 (116)*, 96–104. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-11. [in Ukrainian].
- [12] Pryshliak, N.V., Tokarchuk, D.M., & Palamarenko, Ya.V. (2021). Peredumovy ta orhanizatsiino-ekonomichniy mekhanizm formuvannia ta realizatsii stratehii povodzhennia z vidkhodamy ahrarnykh pidpriemstv [Prerequisites and organizational and economic mechanism of formation and implementation of waste management strategy of agricultural enterprises]. *Ekonomika ta derzhava – Economy and the state, 3*, 104-117. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.3.104. [in Ukrainian].

STUDY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL DEHYDRATION OF FOOD PRODUCTION WASTE THROUGH MATHEMATICAL MODELING

The separation of wet dispersed materials is becoming an urgent task for the industry of Ukraine and other countries, especially in the food and processing industries. Solving this task can effectively solve the problem of efficient management of wastes such as alcohol grounds, beer grounds, beet pulp, coffee and barley sludge. After separation of the liquid phase from the waste (dewatering), the solid phase can serve as a soil



conditioner, a useful additive to agricultural feed, be used as a high-calorie fuel, and have other beneficial uses in both the processing and agricultural industries.

After separation of the liquid phase from the waste (dehydration), the solid phase can serve as a useful additive to agricultural feed or be used as a high-calorie fuel. The most promising method of separating wet dispersed waste is mechanical dehydration. This method provides high productivity, low energy consumption, which is hundreds of times less than when using thermal methods to achieve the required moisture level of waste.

A promising type of equipment for the mechanical separation of wet dispersed waste is presses with a hydraulic drive. They are characterized by compact size, high energy efficiency and reliability, as well as the possibility of precise regulation of waste processing parameters. The article presents a diagram of an improved and highly efficient installation with a hydraulic drive for the separation of wet dispersed materials. A mathematical model is presented that connects the parameters of the separation process, the design characteristics of the installation and the physical and mechanical properties of the material being processed. The found equations can be used to establish relationships between the working parameters of the processes, the design parameters of the equipment for the efficiency of the proposed bioenergy waste recycling technology.

Key words: waste disposal, dispersed materials, separation process, productivity, energy consumption, hydraulic drive, bioenergy recycling.

F. 19. Fig. 1. Ref. 12.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Калетнік Григорій Миколайович – академік НААН України, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри адміністративного менеджменту та альтернативних джерел енергії Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: rector@vsau.org, <https://orcid.org/0000-0002-4848-2796>).

Полєвода Юрій Алікович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).

Токарчук Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).

Grygorii Kaletnik – Academician of the NAAS of Ukraine, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Administrative Management and Alternative Energy Sources of Vinnitsa National Agrarian University (Soniachna Str., 3, Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: rector@vsau.org, <https://orcid.org/0000-0002-4848-2796>).

Polievoda Yurii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Industries of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: vinyura36@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2485-0611>).

Oleksii Tokarchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Productions of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).