

УСТАНОВКА ДЛЯ БАГАТОСТАДІЙНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

¹Вінницький національний технічний університет

У статті наведено схему високоефективної установки для чотирьохстадійного зневоднення відходів харчових виробництв (спиртової барди, пивної дробини, бурякового жому, ячмінного шлему), що можуть після цього використовуватись як цінні високопоживні добавки до сільськогосподарських кормів або в якості палива. На останній стадії зневоднення установка забезпечує комбіноване статичне та віброударне інерційне навантаження відходів, в результаті чого кінцева вологість відходів не перевищує 20–25 %, що істотно менше, ніж при використанні іншого відомого обладнання для механічного зневоднення. В той же час у порівнянні із запропонованими автором раніше установками для віброударного інерційного зневоднення розглянута у статті установка має більш прості – привод та конструкцію, більш високі – надійність та технологічність. У статті наведено також рівняння для визначення основних робочих параметрів установки.

ВСТУП

Відходи харчових виробництв, такі як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, ячмінний шлам тощо після їх зневоднення можуть використовуватись як цінні високопоживні добавки до сільськогосподарських кормів. Розробці різних способів зневоднення цих відходів та обладнання для їх реалізації присвячено багато праць. При цьому механічне зневоднення на шнекових пресах або декантерних центрифугах не дозволяє досягнути кінцевої вологості відходів нижчу 30–76 % [1] (менші значення забезпечуються при суттєвому зниженні продуктивності процесу та збільшенні його енергоємності), що змушує здійснювати додаткове сушіння відходів. Термічне зневоднення у сушарках різних типів є досить енергоємним (740–2500 кВт·год/т), а хімічне та біологічне зневоднення – малопродуктивним (тривалість очищення порції фільтрату відходів – 10–40 год), крім цього для здійснення таких способів потрібно дуже громіздке та дороге обладнання [1]. У зв'язку із вищевикладеним, найбільш ефективними, принаймні для попереднього зневоднення відходів харчових виробництв, слід вважати механічні способи.

За результатами проведених автором експериментів та розрахунків досить раціональним є спосіб тристадійного двокомпонентного віброударного зневоднення на установці з гідроімпульсним приводом [2], який також відноситься до механічних способів і забезпечує продуктивність за зневодненими відходами – 20–25 т/год, енергоємність – 2,7 кВт·год/т, при кінцевій вологості відходів – 20–25 %. Але установка для здійснення цього способу є досить складною конструктивно, дорогою у виготовленні та недостатньо надійною при її використанні в умовах потокового виробництва.

У задачі даного дослідження входила розробка схеми установки для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв з підвищенням від стадії до стадії інтенсивності навантаження відходів та послідовного видалення вільної, капілярно-зв'язаної та адсорбційно-зв'язаної рідкої фази [3]. При цьому така установка повинна бути достатньо компактною (забезпечувати суміщення у просторі не менше, ніж двох стадій зневоднення), мати високу надійність та мінімальну енергоємність, реалізовувати зневоднення до вказаної вище кінцевої вологості відходів при необхідній продуктивності робочого процесу. Також у статті запропоновано залежності для визначення основних робочих параметрів процесів зневоднення на розробленій установці, на підставі яких у подальшому може бути створена методика її проектного розрахунку.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Розроблена авторами схема установки для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв показана на рис. 1. Відходи з початковою вологістю $U_n = 90–95\%$ надходять через заслінку 17, що піднімається за допомогою гідроциліндра 16, у циліндричний бак 19. Після заповнення останнього заслінка 17 опускається та вмикається гідропривод гідроциліндра 12, поршень якого здійснює хід вниз. Пов'язаний зі штоком гідроциліндра поршень 13 витискає відходи у конічне звуження 20, де вони, внаслідок зменшення площі прохідного перерізу стискаються, що спричиняє зближення твердих частинок відходів та видалення з проміжків між ними рідкої фази. Остання витискається через дрібні отвори у стінках звуження 20, закритих з середини фільтрувальною сіткою (на схемі не показані) та стікає у бак 15. Далі поршень гідроциліндра разом з поршнем 13 піднімаються у верхнє положення. При цьому для запобігання піднімання разом з поршнем 13

відходів з нижньої частини бака 19 у поршні попередньо відкриваються секторні пази, що зв'язують бак 19 з атмосферою [4] (на схемі пази не показані).

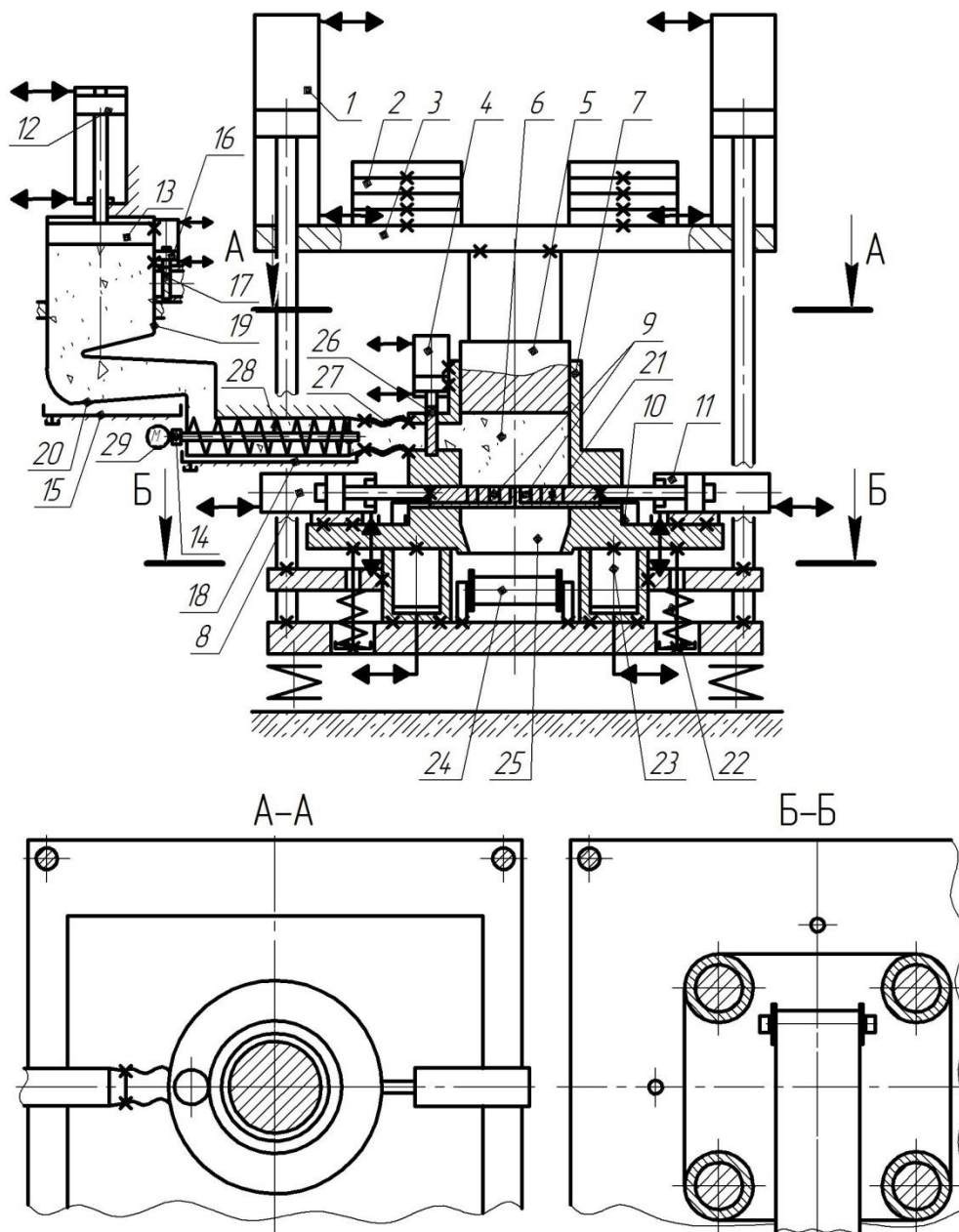


Рисунок 1 – Схема установки для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв

Заслінка 17 піднімається, відходи знову заповнюють бак 19. Тим часом попередньо зневоднені у звуженні 20 до вологості $U_I = 85-90\%$ відходи подаються у шнековий прес 28, шнек якого приводиться від електродвигуна 29 через редуктор 14. Стискання відходів у пресі здійснюється за рахунок сил тертя та внаслідок поступового зменшення кроку шнека від входу до виходу у прес. Витиснена з відходів рідка фаза витікає через дрібні отвори у стінках циліндра преса 28, закритих з середини фільтрувальною сіткою (на схемі не показані) та накопичується у баку 18. Вологість відходів на виході з шнекового преса, за нашими оцінками, складатиме $U_{II} = 70-75\%$. Далі відходи через гумовотканинний рукав 27, через відкриту заслінку 26 (керується гідроциліндром 4) завантажуються у прес-форму 7. Після заповнення прес-форми 7 заслінка 26 опускається, а робота гідроциліндра 12 та шнекового преса 28 припиняється. Вмикається гідропривод чотирьох гідроциліндрів 1; робоча рідина подається у поршневі порожнини гідроциліндрів. В результаті траверса 3 з інерційними масами 2 та пуансоном 5 опускається. Пуансон стискає порцію відходів 6 у прес-формі 7. Видалена з відходів рідина витікає через дрібні отвори і канали 21 у заслінках 9 днища

та стінках прес-форми 7, закриті з середини фільтрувальною сіткою (отвори у стінках прес-форми не показані). Видалена з порції рідина збирається у баку 10. Статичне пресування забезпечує вологість відходів $U_{III} = 60\text{--}70\%$. Після її досягнення вмикається гідроімпульсний привод (ГП) чотирьох гідроциліндрів 23, плунжери яких здійснюють зворотно-поступальні вертикальні переміщення з частотою до 60 Гц і амплітудою 2–3 мм. Разом з ними переміщуються прес-форма 7 з відходами 6, пуансон 5 та траверси 3 з інерційними вантажами 2. На переміщення прес-форми 7 вгору накладають обмеження пружини 22, тоді як переміщення її вниз обмежують торці корпусів гідроциліндрів 23. В результаті при роботі гідроімпульсного та гідравлічного приводів установки забезпечується найбільш інтенсивне віброударне інерційне навантаження порції відходів 6 у поєднанні з їх статичним навантаженням, створюваним гідроциліндрами 1 [1]. Після зневоднення порції 6 до вологості $U_{IV} = 20\text{--}25\%$ приводи гідроциліндрів 1 і 23 вимикаються. За допомогою гідроциліндрів 8, 11 заслінки 9 днища розсуваються в протилежні сторони. Запускається привод гідроциліндрів 1, що забезпечують опускання пуансона 5 у нижнє положення та витискання зневодненої порції 6 через отвір 25 на стрічковий конвеєр 24 (далі цей конвеєр транспортує відходи до контейнера-збірника). За допомогою гідроциліндра 11 заслінки 9 засуваються у прес-форму 7, пуансон 5 піднімається у верхню позицію. Починається цикл зневоднення наступної порції відходів.

Робочий цикл установки можна поділити на три етапи. На I-му етапі відбувається опускання поршня 13, в результаті відходи витискаються з бака 19, зневоднюються під час проходження через звуження 20, у шнековому пресі 28 та заповнюють прес-форму 7. Хід та діаметр поршня 13, внутрішні розміри звуження 20, шнекового преса 28, рукава 27, прес-форми 7 та частота обертання $n_{ш}$ шнека преса 28 підбрані таким чином, щоб під час переміщення відходів від бака 19 до прес-форми не було розривів їх потоку. Таким чином, за час опускання поршня 13 через звуження 20, шнековий прес та рукав 27 проходить однаковий об'єм відходів з врахуванням зменшення їх вологості, а наприкінці етапу відбувається заповнення прес-форми 7. На II-му етапі реалізується зневоднення відходів у прес-формі 7 методом статичного пресування. У продовж III-го етапу здійснюється комбіноване статичне та віброударне інерційне навантаження відходів у прес-формі. Тривалість вказаних етапів позначаємо відповідно t_I , t_{II} та t_{III} .

Запишемо залежність для визначення тиску $p_{I-1}(t)$ у середовищі відходів на вході у звуження 20 на I-му етапі робочого циклу установки

$$p_{I-1}(t) = p_{I-1cm}(t) + p_{I-1d}(t) - \Delta p_{зв1} - \Delta p_{ноє1} = \\ = \rho_{в.н} \cdot g \cdot h_{\sigma}(t) + E_{\sigma} \frac{\Delta W_{\sigma}(t)}{W_{\sigma,n}} - \zeta_{зв1} \frac{\rho_{в.н} v_{зв1}^2}{2} - \zeta_{ноє1} \frac{\rho_{в.н} v_{ноє1}^2}{2}, \quad 0 \leq t \leq t_I, \quad (1)$$

де $p_{I-1cm}(t)$, $p_{I-1d}(t)$ – статична та динамічна складові тиску; $\Delta p_{зв1}$, $\Delta p_{ноє1}$ – втрати тиску у середовищі відходів при їх проходженні звуження на виході з бака та повороту русла на вході у звуження 20 [5]; $\rho_{в.н}$ – густина відходів з $U_n = 90\text{--}95\%$; g – прискорення сили тяжіння; $h_{\sigma}(t)$ – змінна висота стовпа відходів у баку 19 при опусканні поршня 13; E_{σ} – модуль об'ємної пружності відходів [1, 5]; $W_{\sigma}(t)$ – зміна об'єму відходів, обумовлена опусканням поршня 13 та стисканням відходів; $W_{\sigma,n}$ – початковий об'єм відходів у баку 19 до початку опускання поршня 13; $\zeta_{зв1}$, $\zeta_{ноє1}$ – коефіцієнти місцевих опорів звуження та на повороті русла; $v_{зв1}$, $v_{ноє1}$ – середня швидкість потоку відходів у звуженні та на повороті русла, які можна виразити за допомогою рівнянь витрат через швидкість $v_{з.о}$ опускання поршня гідроциліндра 12. При цьому зміною $\rho_{в.н}$ на I-му етапі зневоднення можна знехтувати, у зв'язку із тим, що під час проходження звуження з відходів видаляється всього 5–10 % рідини (див. вище). Крім цього, після зневоднення на I-му етапі відходи мають вологість 85–90 % і за своїми властивостями наближаються до Ньютонівських рідин, густина яких у широкому діапазоні тисків практично не змінюється [5].

Час t_I можна знайти як відношення

$$t_I = \frac{l_z}{v_{з.о}},$$

де l_z – довжина ходу поршня гідроциліндра 12.

В свою чергу $v_{з.о}$ можна розрахувати, виходячи з номінальної подачі насоса $Q_{н1}$ та ефективної площі $S_{н,з}$ поршня гідроциліндра 12 з боку поршневої порожнини

$$v_{z.o} = \frac{Q_{nI}}{S_{n.z}}$$

З урахуванням вищевикладеного рівняння (1) перепишеться у вигляді

$$\begin{aligned} p_{1-1}(t) &= \rho_{e.n} \cdot g \cdot v_{z.o} t + E_{\sigma} \frac{S_{\sigma} v_{z.o} t}{W_{\sigma.n}} - \zeta_{3\sigma 1} \frac{\rho_{e.n} (S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2 \cdot S_{3\sigma 1}^2} - \zeta_{no\sigma 1} \frac{\rho_{e.n} (S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2 \cdot S_{no\sigma 1}^2} = \\ &= v_{z.o} t \cdot \left(\rho_{e.n} \cdot g + E_{\sigma} \frac{S_{\sigma}}{W_{\sigma.n}} \right) - \frac{\rho_{e.n} (S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2} \left(\frac{\zeta_{3\sigma 1}}{S_{3\sigma 1}^2} - \frac{\zeta_{no\sigma 1}}{S_{no\sigma 1}^2} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

де S_{σ} , $S_{3\sigma 1}$, $S_{no\sigma 1}$ – площі поперечного перерізу бака 19, звуження на виході з бака та повороту русла.

Рівняння для визначення тиску у середовищі оброблюваних відходів на виході зі звуження на I-му етапі робочого циклу установки

$$p_{2-2}(t) = p_{1-1}(t) - \zeta_{3\sigma 2} \frac{\rho_{eI} (S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2 \cdot S_{3\sigma 2}^2}; \quad 0 \leq t \leq t_I, \quad (3)$$

де $S_{3\sigma 2}$ – площа кінцевого поперечного перерізу звуження; $\zeta_{3\sigma 2}$ – коефіцієнт його місцевого опору; ρ_{eI} – густина відходів після I-го етапу зневоднення з $U_I = 85-90\%$, що може бути визначена за формулою

$$\rho_{eI} = \frac{m_p \left(1 - \frac{U_n - U_I}{100} \right) - m_m \left(1 + \frac{U_n - U_I}{100} \right)}{V}, \quad (4)$$

в якій m_p , m_m – маси рідкої та твердої фаз у порції відходів з U_n , об'ємом V .

Зміну тиску $p_{3-3}(t)$ у середовищі оброблюваних відходів у перерізі на виході з шнекового преса на I-му етапі робочого циклу установки, з врахуванням підвищення тиску за довжиною циліндра преса [6] визначаємо як

$$\begin{aligned} p_{3-3}(t) &= \frac{e^{A l_{II}}}{\rho_{eII} \cdot g} \left(p_{2-2}(t) - \zeta_{no\sigma 2} \frac{v_{no\sigma 2}^2}{2} \rho_{eII} \right) = \frac{e^{A l_{II}}}{\rho_{eII} \cdot g} \left(p_{2-2}(t) - \zeta_{no\sigma 2} \frac{(S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2 \cdot S_{no\sigma 2}^2} \rho_{eII} \right) = \\ &= \frac{e^{A l_{II}}}{\rho_{eII} \cdot g} \left(p_{2-2}(t) - \zeta_{no\sigma 2} \frac{(S_{\sigma} v_{z.o})^2}{2 \cdot S_{no\sigma 2}^2} \rho_{eII} \right); \quad 0 \leq t \leq t_I, \end{aligned} \quad (5)$$

де A – постійний коефіцієнт [6]; l_{II} – довжина внутрішньої порожнини циліндра шнекового преса 28; $\zeta_{no\sigma 2}$ – коефіцієнт місцевого опору повороту русла на вході у шнековий прес; $v_{no\sigma 2}$ – середня швидкість потоку відходів на повороті русла; $S_{no\sigma 2}$ – площа поперечного перерізу повороту русла; ρ_{eII} – густина відходів після II-го етапу, що обчислюється за формулою

$$\rho_{eII} = \frac{m_p \left(1 - \frac{U_n - U_{II}}{100} \right) - m_m \left(1 + \frac{U_n - U_{II}}{100} \right)}{V}. \quad (6)$$

Тиск у середовищі відходів у поперечному перерізі $S_{n,\phi}$ прес-форми 7 на етапі статичного пресування відходів тривалістю t_{II} визначаємо за формулою

$$p_{4-4c} = \frac{4 \cdot p_{p.c} S_n + g (4 \cdot m_{n,II} + m_m + m_{i.g} + m_n)}{S_{n,\phi}}, \quad (7)$$

в якій $p_{p.c}$ – номінальний тиск робочої рідини у порожнинах гідроциліндрів 1 під час статичного пресування; S_n – ефективна площа поршня гідроциліндра 1 з боку штокової порожнини; $m_{n.u}$, m_m , $m_{i.6}$, m_n – маси штока та поршня гідроциліндра 1, рухомої траверси 3, інерційних мас 2 та пуансона 5. Тиск у середовищі відходів у перерізі $S_{n.ф}$ під час віброударного зневоднення на етапі переміщення прес-форми 7 вгору при використанні у ГПП установки віброзбуджувача, приєднаного за схемою «на виході» [7], знаходимо як

$$p_{4-4.6}(t) = \frac{4 \cdot p_{p.c} \cdot S_n + (g + \ddot{z}) (4 \cdot m_{n.u} + m_m + m_{i.6} + m_n) + 4 \cdot p_{nл.6}(t) \cdot S_{nл} - 4 \cdot c_n z - R_n}{S_{n.ф}}; 0 \leq t \leq k_u T_u, \quad (8)$$

де z – переміщення прес-форми; $p_{nл.6}(t)$ – зміна тиску у порожнинах гідроциліндрів 23 на етапі переміщення прес-форми вгору (рис. 2) [7]; $S_{nл}$ – площа поперечного перерізу плунжера гідроциліндра 23; c_n – коефіцієнт жорсткості пружин 22; R_n – сила сухого тертя у напрямних траверси 3; k_u – коефіцієнт, що визначає тривалість t_6 переміщення плунжерів гідроциліндрів 23 вгору в частках від періоду T_u спрацьовування ГПП [8]. Тривалість t_6 можна приблизно прийняти рівною тривалості збільшення тиску робочої рідини у порожнинах гідроциліндрів 23 ГПП від p_2 – закриття віброзбуджувача до p_1 – його відкриття.

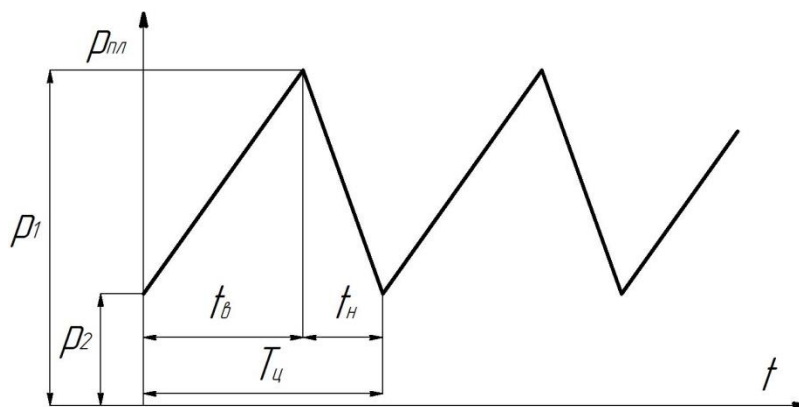


Рисунок 2 – Характер зміни тиску у порожнині гідроциліндра ГПП з віброзбуджувачем «на виході»

Згідно із графіком на рис. 2 тиск $p_{nл.6}(t)$ робочої рідини у порожнинах гідроциліндрів 23 на етапі переміщення прес-форми вгору, у випадку приєднання віброзбуджувача за схемою «на виході», можна наближено визначити як

$$p_{nл.6}(t) = \left(\frac{p_1 - p_2}{t_6} \right) t + p_2 = \left(\frac{p_1 - p_2}{k_u T_u} \right) t + p_2; 0 \leq t \leq k_u T_u. \quad (9)$$

За цим графіком тиск $p_{nл.н}(t)$ робочої рідини у порожнинах гідроциліндрів 23 на етапі переміщення прес-форми вниз обчислюється за рівнянням

$$p_{nл.н}(t) = p_1 - \left(\frac{p_1 - p_2}{t_n} \right) t = p_1 - \left(\frac{p_1 - p_2}{(1 - k_u) T_u} \right) t; k_u T_u < t \leq T_u. \quad (10)$$

А рівняння для визначення тиску у середовищі відходів у перерізі $S_{n.ф}$ під час віброударного зневоднення на етапі переміщення прес-форми 7 вниз матиме вигляд

$$p_{4-4.н}(t) = \frac{4 \cdot p_{p.c} \cdot S_n + (\ddot{z} - g) (4 \cdot m_{n.u} + m_m + m_{i.6} + m_n) + 4 \cdot p_{nл.н}(t) \cdot S_{nл} - 4 \cdot c_n z + R_n}{S_{n.ф}}; k_u T_u < t \leq T_u. \quad (11)$$

Витрати $Q_{зв}(t)$ при витіканні рідкої фази відходів з отворів звуження 20 при опусканні поршня 13 визначаємо з врахуванням того, що основний опір цьому витіканню створюють тверді частинки

відходів, що зневоднюються. При цьому частина рідини видаляється за рахунок перепаду тиску, створюваного поршнем 13 та стовпом відходів у баку 19, а інша частина – завдяки зменшенню займаного відходами об'єму у звуженні 20. Таким чином, можна записати

$$Q_{36}(t) = \mu_{61} S_{362}^2 \sqrt{\frac{2 \left[\left(p_{1-1}(t) - l \frac{(p_{1-1}(t) - p_{2-2}(t))}{l_{362}} \right) - p_a \right]}{\rho_{6.н}}} + \frac{(\pi \cdot l_{362} (r_{но61}^2 + r_{но61} r_{362} + r_{362}^2) / 3 - S_{362} l_{362})}{l^2 \pi \cdot (r_{но61} - r_{362})^2 / S_6^2 v_{2.0} l_{362}}}; \quad 0 \leq t \leq t_I, \quad (12)$$

де μ_{61} – питомий коефіцієнт витрат для одиниці площі шару відходів, що знаходяться у середньому за довжиною перерізі звуження й товщина якого складає половину суми вхідного – $r_{но61}$ та вихідного – r_{362} перерізів звуження (може бути визначений експериментально при пропусканні через зразок цього шару відходів рідкої фази, з використанням датчиків витрат та тиску); S_{362} – площа поверхні звуження 20; l, l_{362} – поточна та максимальна довжина звуження; p_a – атмосферний тиск.

Витрати рідкої фази відходів, що витікає з циліндра шнекового преса 28 для етапу опускання поршня 13 визначаємо за формулою

$$Q_u(t) = \mu_{62} S_{ш.н}^2 \sqrt{\frac{2 \left[\left(p_{3-3}(t) + \frac{p_{3-3}(t) - p_{2-2}(t)}{l_u} l \right) - p_a \right]}{\rho_{6I}}}; \quad 0 \leq t \leq t_I, \quad (13)$$

де μ_{62} – питомий коефіцієнт витрат для одиниці площі шару відходів, що знаходяться у середньому за довжиною перерізі корпусу шнекового преса (також може бути визначений експериментально); $S_{ш.н}$ – площа поверхні корпусу шнекового преса.

Витрати рідкої фази відходів через бокові стінки та днище прес-форми 7 із загальною площею поверхні $S_{н.ф\Sigma}$, з врахуванням зменшення цієї площі в міру видалення з порції б рідини, зменшення об'єму порції, а отже й $S_{н.ф\Sigma}$ знайдемо за формулою

$$Q_{c.n}(t) = \mu_{63} \left(S_{н.ф\Sigma} - \frac{Q_{c.n}(t)}{S_{н.ф} t} \right) \sqrt{\frac{2[p_{4-4c}(t) - p_a]}{\rho_{6II}}} = \mu_{63} S_{н.ф\Sigma} \sqrt{\frac{2[p_{4-4c}(t) - p_a]}{\rho_{6II}}} - \mu_{63} \frac{Q_{c.n}(t)}{S_{н.ф} t} \sqrt{\frac{2[p_{4-4c}(t) - p_a]}{\rho_{6II}}}; \quad t_I < t \leq t_{II}, \quad (14)$$

де μ_{63} – питомий коефіцієнт витрат для одиниці площі шару відходів, що знаходяться у поперечному перерізі прес-форми 7 (визначається експериментально).

Далі перетворюємо рівняння (14) до вигляду

$$Q_{c.n}(t) = \mu_{63} S_{н.ф\Sigma} \sqrt{\frac{2[p_{4-4c}(t) - p_a]}{\rho_{6II}}} \left/ \left[1 + \frac{\mu_{63}}{S_{н.ф} t} \sqrt{\frac{2[p_{4-4c}(t) - p_a]}{\rho_{6II}}} \right] \right.; \quad t_I < t \leq t_{II}. \quad (15)$$

Складаємо подібні формули для визначення витрат рідини, що витікає з прес-форми 7 у продовж першого циклу віброударного навантаження порції б під час переміщення прес-форми ввєрх – $Q_{6.н}(t)$ та під час її руху вниз – $Q_{н.н}(t)$. При цьому зменшенням об'єму порції б, а отже й опусканням пуансона у продовж цього циклу, навантаження можна знехтувати

$$Q_{6.н}(t) = \mu_{63} \left(S_{н.ф\Sigma} - \frac{Q_{c.n}(t_{I+1}) + Q_{c.n}(t_{II})}{2 \cdot S_{н.ф} (t_{II} - t_I)} \right) \sqrt{\frac{2[p_{4-46}(t) - p_a]}{\rho_{6III}}}; \quad 0 \leq t \leq k_u T_u; \quad (16)$$

$$Q_{н.н}(t) = \mu_{63} \left(S_{н.ф\Sigma} - \frac{Q_{c.n}(t_{I+1}) + Q_{c.n}(t_{II})}{2 \cdot S_{н.ф} (t_{II} - t_I)} \right) \sqrt{\frac{2[p_{4-4н}(t) - p_a]}{\rho_{6III}}}; \quad k_u T_u < t \leq T_u.$$

При цьому густину ρ_{eIII} відходів після III-го етапу зневоднення розраховуємо як

$$\rho_{eIII} = \frac{m_p \left(1 - \frac{U_n - U_{III}}{100} \right) - m_m \left(1 + \frac{U_n - U_{III}}{100} \right)}{V}. \quad (17)$$

ВИСНОВКИ

1. Запропонована у статті схема установки має меншу матеріалоємність і конструктивну складність та дешевша в реалізації, ніж схеми інших установок для потокового багатостадійного зневоднення. В той же час вона має більш високу надійність при відповідній економічній ефективності.

2. Наведені вище рівняння можуть послужити основою для розробки методики проектного розрахунку такої установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Севостьянов И. В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов : монография / И. В. Севостьянов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 417 с.

2. Севостьянов І. В. Розробка та дослідження установки для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв / І. В. Севостьянов, О. В. Поліщук, А. В. Слабкий // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 5/7(76). – С. 40–46.

3. Ребиндер П. А. Физико-химические основы пищевых производств / П. А. Ребиндер. – М. : Химия, 1952. – 320 с.

4. Севостьянов І. В. Динамічні процеси у потоку вологого дисперсного матеріалу під час його зневоднення / І. В. Севостьянов // Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування : тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції: (15 – 16 листопада 2016 р.). – Вінниця : Т.П. Барановська, 2016. – С. 117–122.

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

6. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В. И. Соколов. – М. : Машиностроение, 1983. – 447 с.

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

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

REFERENCES

1. Sevost'janov I. V. Processy i oborudovanie dlja vibroudarnogo razdelenija pishhevyh othodov [Tekst]: monografija/ I. V. Sevost'janov. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 417 p.

2. Sevost'janov I. V. Rozrobka ta doslidzhennja ustanovki dlja dvokomponentnogo vibroudarnogo znevodnennja vidhodiv harchovih virobniectv / I. V. Sevost'janov, O. V. Polishhuk, A. V. Slabkij // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2015. - №5/7(76). - S. 40 - 46.

3. Rebinder P. A. Fiziko-himicheskie osnovy pishhevyh proizvodstv / Rebinder P. A. – М. : Himija, 1952. – 320 p.

4. Sevost'janov I. V. Dinamichni procesi u potoku vologogo dispersnogo materialu pid chas jogo znevodnennja / I. V. Sevost'janov // Tezi dopovidej mizhnarodnoї naukovo-tehnicnoї konferenciji «Gidro- ta pnevmoprivodi mashin – suchasni dosjagnennja ta zastosuvannja». II Mizhnarodna naukovo-tehnicna konferencija 15 – 16 listopada 2016 r. : zbirnik tez dopovidej. – Vinnicja: T.P. Baranov's'ka, 2016. – P. 117 – 122.

5. Bashta T. M. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody / T. M. Bashta, B. B. Nekrasov. – М. : Mashinostroenie, 1982. – 423 p.

6. Sokolov V. I. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i apparatov pishhevyh proizvodstv / V. I. Sokolov. – М.: Mashinostroenie, 1983. – 447 p.

7. Iskovich-Lotoc'kij R. D. Osnovi teorii rozrahunku ta rozrobka procesiv ta obladnannja dlja vibroudarnogo presuvannja. Monografija / R. D. Iskovich-Lotoc'kij. – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2006. – 338 p.

8. Iskovich-Lotoc'kij R. D. Procesi ta mashini vibracijnih i vibroudarnih tehnologij. Monografija / R. D. Iskovich-Lotoc'kij, R. R. Obertjuh, I. V. Sevost'janov. – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2006. – 291 p.

I. V. Sevost'janov¹, V. L. Lutsik¹

УСТАНОВКА ДЛЯ БАГАТОСТАДІЙНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

¹Вінницький національний технічний університет

Об'єкт дослідження – процеси зневоднення відходів харчових виробництв. Мета роботи – розробка схеми установки для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв, а також залежностей для визначення основних робочих параметрів установки. Метод дослідження – математичне моделювання з використанням формул динаміки та гідравліки.

На вітчизняних підприємствах харчової промисловості існує проблема утилізації відходів, таких як спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий шлам. У випадку зневоднення цих відходів до вологості 20-25 % вони можуть використовуватись як цінні добавки до сільськогосподарських кормів або спалюватися. Відомі механічні способи зневоднення, в тому числі на шнекових пресах і декантерних центрифугах, не забезпечують вказаної вище кінцевої вологості відходів, термічні способи дуже енергоємні, а хімічні та біологічні – малопродуктивні, крім того здійснюються на громіздкому і коштовному обладнанні. Розроблені раніше автором схеми технологічних комплексів для потокового багатостадійного механічного зневоднення відходів забезпечують їх вологість 20-25 %, але відрізняються складністю та невисокою надійністю. Тому у цій статті автори ставили задачу розробити схему установки для багатостадійного зневоднення, яка поєднує високу ефективність з відносно простою та надійною конструкцією. Також у статті запропоновано формули для визначення основних робочих параметрів установки на кожній з чотирьох стадій зневоднення, а саме – тисків у середовищі відходів та витрат їх рідкої фази, що видалається. Ці формули у подальшому можуть використовуватись для розробки методики проектного розрахунку запропонованої установки.

Ключові слова: багатостадійне зневоднення, відходи харчових виробництв, установка, шнековий прес, гідроімпульсний привод, віброударне навантаження.

Sevost'janov Ivan V'jacheslavovich, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ivansev70@gmail.com

Lutsik Vladislav Leonidovich, аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: azznll@bigmir.net

I. Sevost'janov¹, V. Lutsik¹

INSTALLATION FOR MULTIPHASIC DEHYDRATION OF THE FOOD MANUFACTURES WASTE

¹Vinnitsa national technical university

Object of research - processes of dehydration of food manufactures waste. The purpose of work – elaboration of the scheme of installation for multiphasic dehydration of food manufactures waste, and dependences for definition of the basic working parameters of the unit. A research method - mathematical modelling with use of formulas of dynamics and hydraulics.

There is a problem of recycling of a waste at the domestic enterprises of the food-processing industry, such as spirit the bard, a beer pellet, beet press, coffee slime. In case of dehydration of the given waste to humidity 20-25 % they can be used as valuable additives to agricultural forages or to be burnt. Known mechanical methods of dehydration, including the dehydration of waste on worm-type leveling presses and

decanter centrifuges do not provide above specified final humidity of a waste, thermal methods are very power-intensive, and chemical and biological methods - are unproductive, besides they are carried out on the bulky and expensive equipment. The author earlier developed the schemes of technological complexes for flow multiphase mechanical dehydration of a waste, that provide their humidity 20 - 25 %, but have high complexity and low reliability. Therefore in given article authors put an aim of working out of the scheme of installation for multiphase dehydration which has high efficiency and simple and reliable design. Also formulas for definition of the basic working parameters of the installation for four stages of dehydration, namely pressure in the environment of a waste and the expense of their liquid phase, that deleted, are offered in this article. The given formulas can be used subsequently for working out of a technique of design calculation of offered installation.

Key words: multiphase dehydration, a waste of food manufactures, installation, worm-type leveling press, a hydraulic pulse drive, vibro-blowing loading.

Sevostyanov Ivan, Sc. D., professor, professor of the industrial engineering department, Vinnitsa national technical university, e-mail: ivansev70@gmail.com.

Lutsic Vladislav, graduate student of the industrial engineering department, Vinnitsa national technical university, e-mail: azznll@bigmir.net

И. В. Севостьянов¹, В. Л. Луцик¹

УСТАНОВКА ДЛЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

¹Винницкий национальный технический университет

Объект исследования – процессы обезвоживания отходов пищевых производств. Цель работы – разработка схемы установки для многостадийного обезвоживания отходов пищевых производств, а также зависимостей для определения основных рабочих параметров установки. Метод исследования – математическое моделирование с использованием формул динамики и гидравлики.

На отечественных предприятиях пищевой промышленности существует проблема утилизации отходов, таких как спиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, кофейный шлам. В случае обезвоживания данных отходов до влажности 20–25 % они могут использоваться как ценные добавки к сельскохозяйственным кормам либо сжигаться. Известные механические способы обезвоживания, в том числе на шнековых прессах и декантерных центрифугах, не обеспечивают указанной выше конечной влажности отходов, термические способы очень энергоемкие, а химические и биологические – малопродуктивные, кроме того осуществляются на громоздком и дорогостоящем оборудовании. Разработанные ранее автором схемы технологических комплексов для потокового многостадийного механического обезвоживания отходов обеспечивают их влажность 20–25 %, но отличаются сложностью и невысокой надежностью. Поэтому в данной статье авторы ставили задачу разработки схемы установки для многостадийного обезвоживания, которая объединяет высокую эффективность с относительно простой и надежной конструкцией. Также в статье предложены формулы для определения основных рабочих параметров установки на каждой из четырех стадиях обезвоживания, а именно – давлений в среде отходов и расхода их удаляемой жидкой фазы. Данные формулы впоследствии могут использоваться для разработки методики проектного расчета предлагаемой установки.

Ключевые слова: многостадийное обезвоживание, отходы пищевых производств, установка, шнековый пресс, гидроимпульсный привод, виброударная нагрузка.

Севостьянов Иван Вячеславович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры отраслевого машиностроения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: ivansev70@gmail.com

Луцик Владислав Леонидович, аспирант кафедры отраслевого машиностроения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: azznll@bigmir.net