

*Розроблено схему установки з гідроімпульсним приводом для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв, що забезпечує у порівнянні із установками для однокомпонентного зневоднення підвищення продуктивності робочого процесу та зниження кінцевої вологості великих порцій відходів при менших енергетичних витратах. Наводяться формули для розрахунку основних параметрів навантаження при використанні пропонованої установка, дається оцінка її економічної ефективності*

*Ключові слова: установка з гідроімпульсним приводом, двокомпонентне віброударне зневоднення, відходи харчових виробництв*

*Разработана схема установки с гидроимпульсным приводом для двухкомпонентного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств, обеспечивающей по сравнению с установками для однокомпонентного обезвоживания повышение производительности рабочего процесса и снижение конечной влажности больших порций отходов при меньших энергетических затратах. Приводятся формулы для расчета основных параметров нагрузки при использовании предлагаемой установки, дается оценка ее экономической эффективности*

*Ключевые слова: установка с гидроимпульсным приводом, двухкомпонентное виброударное обезвоживание, отходы пищевых производств*

УДК 66.066

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.49272

# РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДВОКОМПОНЕНТНОГО ВІБРОУДАРНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

**І. В. Севостьянов**

Доктор технічних наук, доцент\*

E-mail: ivansev70@mail.ru

**О. В. Поліщук**

Кандидат технічних наук\*\*

E-mail: polischuk@vntu.edu.ua

**А. В. Слабкий**

Кандидат технічних наук\*

E-mail: slabkiyandrey@gmail.com

\*Кафедра металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва

\*\*Кафедра менеджменту

будівництва та цивільної оборони

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

## 1. Вступ

Віброударне зневоднення на установках з гідроімпульсним приводом (ГІП) є одним з найбільш ефективних способів, що може використовуватись для утилізації відходів харчових виробництв (спиртової барди, пивної дробини, бурякового жому, кавового та ячмінного шламу) [1]. За результатами проведених нами на вібропресі з ГІП експериментів [2], кінцева вологість  $U_k$  порцій вказаних вище відходів після їх однокомпонентного віброударного зневоднення не перевищувала  $U_k=20-25\%$  [1], а розрахункова продуктивність промислового обладнання для потокового віброударного зневоднення складає 500–600 т зневоднених відходів за добу, при енергоємності 2,7 кВт·год/т видаленої з них рідини [3].

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Але для використання пропонованого обладнання на великих підприємствах потрібна ще вища продуктивність. Збільшення з цією метою об'ємів порцій відходів, що зневоднюються, призведе до зменшення в

ході зневоднення навантаження на їх внутрішні шари, погіршення умов для періодичного рівномірного перерозподілення по об'єму порції твердих частинок, їх все щільнішого укладання та видалення з проміжків рідини [1], а отже й до підвищення кінцевої вологості відходів. Останнє, в свою чергу, негативно позначиться на загальній ефективності пропонованого способу.

Рядом авторів, наприклад у роботах [4, 5], пропонуються більш досконалі конструкції шнекових пресів, але вони забезпечують лише статичне навантаження відходів, в результаті їх кінцева вологість знаходиться в межах 30–76%. При цьому менше значення даного параметра досягається за рахунок суттєвого зниження продуктивності робочого процесу. Так само, для зменшення  $U_k$  при зневодненні відходів на стрічкових пресах намагаються мінімізувати товщину їх шару, що проходить через робочу зону обладнання, однак в результаті падає й продуктивність [6].

У роботі [7] запропонована схема барабанної сушарки, в робочих зонах якої для підвищення ефективності зневоднення бурякового жому створюється декілька температурних та гідродинамічних режимів для послідовного виділення рідкої фази, що має різні форми зв'язку з частинками основи. Незважаючи на

це термічні способи зневоднення залишаються найбільш енергоємними [1].

Використання вібрацій, як додаткового навантаження при зневодненні на шнекових пресах та прес-сушарках [8], також не може забезпечити значного підвищення їх ефективності через те, що відходи при цьому не піддаються ударним впливам, а основне навантаження є статичним.

У роботі [9] розроблені схеми обладнання з ГПП для багатокомпонентного віброударного пресування заготовок з непластичних порошків. При цьому теоретично та експериментально обґрунтовано, що застосування даного обладнання забезпечує у порівнянні із однокомпонентним віброударним пресуванням підвищення результуючих густини, рівногустини та міцності особливо великогабаритних заготовок, за рахунок створення умов для додаткової рухомості частинок матеріалу у декількох площинах, їх кращого та більш рівномірного перерозподілення по об'єму прес-форми [2].

З врахуванням вищевикладеного, у випадку використання багатокомпонентного віброударного навантаження для зневоднення відходів харчових виробництв слід також очікувати підвищення ефективності. Однак відомі схеми обладнання для створення такого навантаження [2, 9] є не цілком придатними для впровадження їх у харчовій промисловості, оскільки в них не врахована специфіка оброблюваних матеріалів, особливості реалізації технології зневоднення та не забезпечена можливість безперервної (поточної) реалізації робочого процесу у автоматичному режимі.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності обладнання з ГПП для віброударного зневоднення відходів харчових виробництв (підвищення продуктивності, зниження енергоємності та кінцевої вологості відходів), за рахунок забезпечення їх двокомпонентного віброударного навантаження.

Для досягнення даної мети розв'язуються дві основні задачі:

- розробка схеми високоефективної установки з ГПП для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв;

- обґрунтування ефективності розробленої установки та одержання залежностей для визначення основних параметрів навантаження при її використанні.

### 4. Вимоги, що пред'являються до розробленої установки

Під час розробки схеми установки для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв брався до уваги весь досвід створення та використання як вібропресів для віброударного навантаження непластичних порошкових матеріалів [2], так й обладнання харчової промисловості [1]. При цьому враховувались такі основні вимоги:

- забезпечення достатньо високих показників економічної ефективності зневоднення: кінцевої вологості відходів не нижчої  $U_k=20-25\%$ , продуктивності за

зневодненими відходами 600–800 т за добу, середньої енергоємності не вищої 2,5 кВт·год/т;

- реалізація двокомпонентного віброударного зневоднення у безперервному потоковому або періодичному автоматизованому режимі;

- здійснення не менше ніж трьох послідовних стадій зневоднення з поступовим підвищенням від стадії до стадії й упродовж окремих стадій інтенсивності навантаження для оптимізації витрат енергії та часу;

- реалізація принаймні останньої стадії зневоднення у прес-формі закритого типу, що забезпечить необхідну інтенсивність навантаження та вказані вище значення  $U_k$ ;

- здійснення всіх стадій зневоднення на одній установці з мінімізацією витрат допоміжного часу;

- спрощення конструкції установки, зменшення її матеріалоємності, підвищення надійності, мінімізація витрат часу й коштів на обслуговування та ремонт;

- забезпечення автоматизованого безступінчастого й точного регулювання в широких межах робочих параметрів установки для реалізації оптимального режиму навантаження залежно від заданих початкових та кінцевих фізико-механічних характеристик відходів, що зневоднюються та від інших параметрів ефективності зневоднення;

- мінімізація або усунення негативних впливів з боку установки на людину й навколишнє середовище.

### 5. Розробка схеми установки з ГПП для тристадійного двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв

На рис. 1 наведена розроблена з врахуванням вищевказаних вимог схема установки з ГПП для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв. Працює установка таким чином. Відходи харчових виробництв з початковою вологістю  $U_p=95-97\%$  періодично подаються у баки 1, де накопичуються. Вмикається допоміжний гідропривод гідроциліндрів 8, робоча рідина подається в їх штокові порожнини (поршневі порожнини сполучені зі зливом). Поршні гідроциліндрів 8 і разом з ними заслінки 29 (розріз Б-Б на рис. 1) розходяться в протилежні сторони до упора. В результаті відходи з баків 1 по гумовотканинних трубах 3 та через отвори в пуансоні 7 стікають у прес-форму 15 і заповнюють її доверху. Допоміжний гідропривод та гідроциліндри 8 забезпечують зміщення заслінок 29 у вихідні положення, таким чином, останні перекривають отвори у пуансоні 7. Після цього робоча рідина від допоміжного гідропривода подається у штокові порожнини гідроциліндрів 12, в результаті пластини 14 входять у пази пуансона 7 (розріз Б-Б на рис. 1) й обмежують його переміщення відносно прес-форми 15. Запускається ГПП установки з восьмиходовим вібророзбуджувачем [2] (на схемі не показаний), що забезпечує періодичну зміну тиску робочої рідини в межах від  $p_2=4$  МПа до  $p_1=11$  МПа у поршневій порожнині гідроциліндра 2 згідно із «трикутним» законом, а в порожнинах гідроциліндрів 19 – за «імпульсним» законом [2]. Внаслідок цього, поршень гідроциліндра 2 і разом з ним траверса 6 з інерційними масами 4 та пуансоном 7, прес-форма 15 з порцією відхо-

дів 17, що зневоднюються та заслінкою 22, вібростіл 26 з напрямним кільцем 11 (розріз Д-Д на рис. 1) здійснюють вертикальні зворотно-поступальні переміщення з частотою  $\nu$  до 60 Гц і амплітудою  $A$  до 3 мм (дані параметри навантаження можна змінювати). На етапі збільшенні тиску в гідроциліндрі 2 і ходу вниз вказаних рухомих елементів стискаються пружини 18, наприкінці ходу вібростіл 26 вдарається об станину 10 (даний ударний імпульс передається прес-формі 15 і порції відходів 17). На етапі зменшення тиску в гідроциліндрі 2 під впливом стиснених пружин 18 реалізується зворотний хід рухомих елементів вгору (попереднє стискання пружин, а отже й зусилля повернення можна регулювати за допомогою гвинтів 9). Наприкінці ходу вгору вібростіл 26 вдарається об торці чотирьох обмежувальних гвинтів 28 (вид А на рис. 1), за допомогою яких можна також задати величину ходу рухомих елементів. Одночасно, ще на етапі руху вібростолу 26 вниз збільшується тиск в гідроциліндрах 19, їх плунжери висуваються в протилежні сторони (розріз Б-Б на рис. 1) і через важелі 23 забезпечують поворот вібростолу і зв'язаних з ним рухомих елементів навколо вертикальної осі. При цьому стискаються пружини 27 (їх попереднє стискання задається гвинтами 24). На етапі зменшення тиску в гідроциліндрах 19 стиснені пружини 27 повертають рухомі елементи навколо вертикальної осі у вихідні положення. Таким чином, при повторюванні описаних етапів циклів зміни тиску у ГПП рухомі елементи здійснюють періодичні зворотно-гвинтові рухи. При цьому поворот пуансона 7 навколо вертикальної осі забезпечується за рахунок установа його в упорному підшипнику кочення 5, а рухомість заслінки 22 відносно кронштейна 19 реалізується завдяки їх штифтовому з'єднанню (розріз Г-Г на рис. 1).

Результатом даних зворотно-гвинтових переміщень є періодично змінюване за величиною і напрямком двокомпонентне віброударне інерційне навантаження порції відходів 17 у прес-формі 15, їх струшування, перемішування й витискання рідини з проміжків між твердими частинками. При цьому вертикальна складова навантаження сприяє перетіканню рідини вниз у бік заслінки 22, а відцентрові сили витискають її з серединних шарів до стінок прес-форми 15. У заслінці 22 та в стінках прес-форми виконане велике число дрібних отворів 23, 16, закритих зсередини металевою фільтрувальною сіткою, що затримує тверді частинки відходів. Рідина ж проходить через осередки сітки, отвори 23, 16 та зливається у бак 20, звідки йде в каналізацію. На даній першій стадії попереднього зневоднення порції 17 навантаження на неї з боку пуансона 7 відсутнє, оскільки останній зафіксований пластиною 14 відносно прес-форми. Авторами з використанням стенду з ГПП були проведені експерименти з однокомпонентного віброударного зневоднення спиртової барди, бурякового жому та кавового шламу з  $U_n=95\%$ . Після реалізації стадії її попереднього зневоднення без навантаження пуансоном тривалістю 13–15 с вологість відходів не перевищувала  $U_{к1}=85-87\%$  [3].

На другій стадії зневоднення ГПП вимикається. З використанням допоміжного гідропривода й гідроциліндрів 12 пластини 14 відводяться від пуансона 7. Запускається ще один допоміжний гідропривод, що

подає робочу рідину у поршневу порожнину гідроциліндра 2 (штокова порожнина останнього сполучена зі зливом). Пуансон 7 повільно опускається, здійснюється статичне пресування порції 17 у прес-формі 15. Тривалість другої стадії під час зневоднення відходів на стенді з ГПП [3] складала 10 с, після чого вологість їх знижувалась до  $U_{к2}=76-78\%$ .

На третій стадії зневоднення вимикається допоміжний гідропривод і знову вмикається ГПП (але пуансон 7 залишається незафіксованим відносно прес-форми 15). Рухомі елементи здійснюють зворотно-гвинтові переміщення навколо вертикальної осі, реалізується найбільш інтенсивний режим двокомпонентного віброударного навантаження відходів 17 у прес-формі 15 з періодичним стиканням їх пуансоном 7. За результатами експериментів [3], після завершення третьої стадії однокомпонентного віброударного зневоднення відходів тривалістю 28–30 с, з використанням статичного притискання пуансона до порції відходів кінцева вологість останніх складала  $U_{к3}=22-25\%$ . Очевидно, що після двокомпонентного віброударного зневоднення на установці, показаній на рис. 1 вона буде ще нижчою, а продуктивність робочого процесу – вищою, оскільки завдяки додатковій динамічній складовій навантаження, забезпечується більша рухомість рідини в середніх шарах порції й покращення умов для її витікання назовні. Зокрема, авторами були проведені попередні експерименти зі зневоднення на вібропресі з ГПП моделі ІМЗГК-5 [2] зі зворотно-гвинтовим рухом вібростолу порцій відходів трьох вказаних вище видів. Після їх попереднього двокомпонентного віброударного зневоднення без використання пуансона (оптимальна тривалість стадії складала 11–13 с) вологість відходів не перевищувала  $U_{к1} = 83-85\%$ , при цьому об'єм порцій, що зневоднювались, у порівнянні із однокомпонентним віброударним зневодненням, збільшився у 2,3 рази – з  $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  до  $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , що забезпечує відповідне нарощування продуктивності робочого процесу.

Після остаточного зневоднення порції відходів на пропонованій установці (рис. 1) ГПП вимикається. Запускається допоміжний гідропривод гідроциліндра 13. Робоча рідина подається у його штокову порожнину, поршнева зв'язана зі зливом. Поршень гідроциліндра 13 зміщується вправо за схемою, разом з ним висувається заслінка 22, таким чином, повністю відкривається нижній переріз прес-форми 15. Вмикається допоміжний гідропривод гідроциліндра 2, в результаті його поршень і разом з ним траверса 6 з пуансоном 7 опускаються вниз, виштовхуючи зневоднену порцію 17 з прес-форми 15 на верхню гілку стрічкового конвеєра 25. Останній транспортує зневоднені відходи у контейнер-збірник (на схемі не показаний). Тим часом за допомогою гідроциліндра 2 і його гідропривода траверса 6 з пуансоном 7 піднімаються у граничне верхнє положення. Гідроциліндри 13 забезпечують установа пластин 14 у пази пуансона 7. Далі пуансон опускається до упору пластин 14 в торці прес-форми 15. Заслінка 22 установається у вихідне положення, повністю перекриваючи нижній переріз прес-форми. Відкриваються заслінки 29 й наступна порція відходів, що зневоднюються заповнює прес-форму. Далі описаний цикл тристадійного зневоднення повторюється необхідне число разів у безперервному режимі при автоматизованому керуванні.

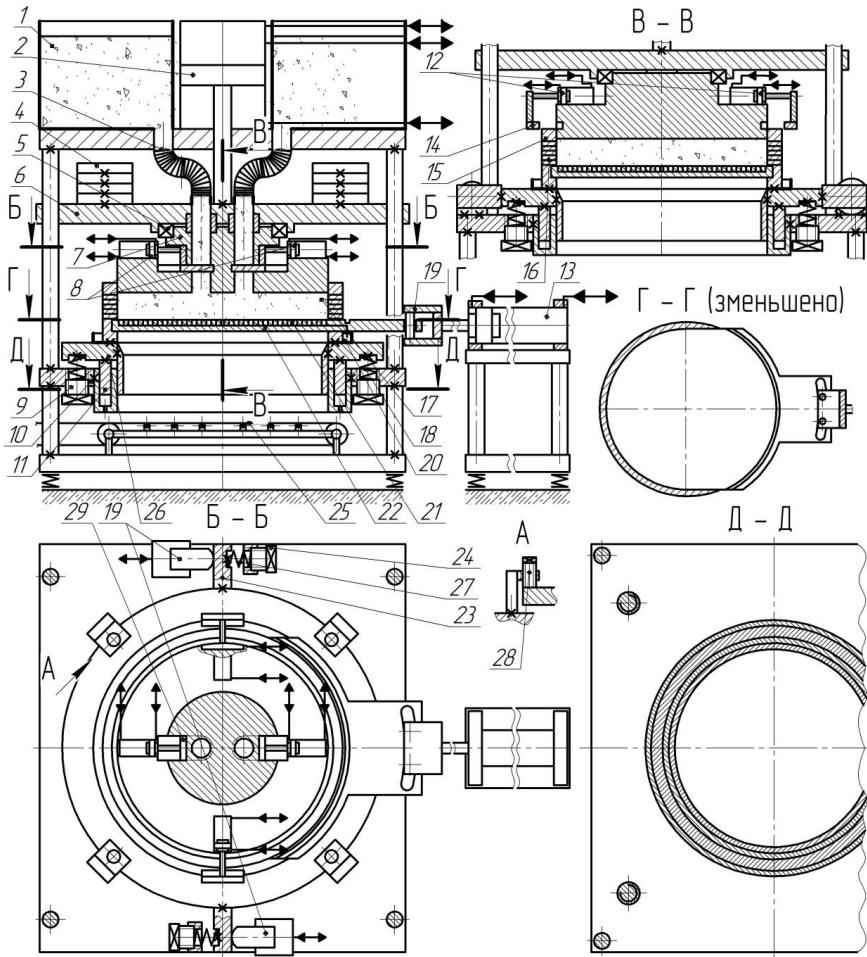


Рис. 1. Схема установки з ГП для тристадійного двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв

**6. Визначення параметрів навантаження при двокомпонентному віброударному зневодненні та оцінювання ефективності запропонованої установки**

З врахуванням результатів теоретичних та експериментальних досліджень установок з ГП для багатокомпонентного віброударного пресування заготовок з непластичних порошкових матеріалів [2] та обладнання з ГП для однокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв [1], як основні параметри навантаження, реалізованого при використанні запропонованої установки (рис. 1) приймаємо: частоту  $\nu$  коливань вібростолю 26, амплітуду  $A$  його переміщень у вертикальному напрямку, максимальний кут повороту  $\varphi_{max}$  вібростолю навколо вертикальної осі, максимальні осьовий тиск  $p_{o,max}$  та відцентрові зусилля  $F_{v,max}$ , створювані у середовищі порції відходів 17 у продовж циклу спрацювання ГП на третій стадії зневоднення. Очевидно, що саме від цих параметрів, в першу чергу, залежить інтенсивність навантаження відходів, рухомість їх твердих частинок та рідинної фази, а отже й показники економічної ефективності розглядуваних процесів.

Величина  $A$  дорівнюватиме попередньо установленим зазору між нижньою поверхнею вібростолю 26 і верхньою поверхнею станини 10. У випадках, коли

вібростіл не доходить до станини й не вдаряється об неї ефективність віброударного зневоднення буде суттєво падати. Тому значення  $A$  залежить від положення гвинтів 28. Максимальна  $A_{max}$ , що може бути забезпечена при заданих параметрах ГП може бути наближено визначена з умови рівноваги

$$p_{1max} S_{\pi} + m_{\Sigma} g = c_{пр,в} (z_{\pi} + z_{п.с} + A_{max}) + c_{пр,г} A_{max} \quad (1)$$

де  $p_{1max}$  – максимальне для даного ГП значення  $p_1$ ;  $S_{\pi}$  – площа поршня гідроциліндра 2;  $m_{\Sigma}$  – сумарна маса рухомих елементів установки (поршня зі штоком гідроциліндра 2, траверси 6 з інерційними масами 4, пуансона 7 з гідроциліндрами 8, 12, прес-форми 15 із порцією відходів 17 та заслінкою 22, вібростолу 26 з напрямним кільцем 11);  $c_{пр,в}$ ,  $c_{пр,г}$  – жорсткості пружин 18, 27;  $z_{\pi}$  – попереднє стискання пружин 18 за допомогою гвинтів 9;  $z_{п.с}$  – попереднє стискання пружин 18 під впливом сили тяжіння рухомих елементів

$$z_{п.с} = m_{\Sigma} g / c_{пр,в} \quad (2)$$

Тоді з формул (1), (2) отримуємо

$$A_{max} = \frac{p_{1max} S_{\pi} + m_{\Sigma} g - c_{пр,в} (z_{\pi} + m_{\Sigma} g / c_{пр,в})}{c_{пр,в} + c_{пр,г}} \quad (3)$$

Вибрана  $A$  має бути менша за  $A_{max}$ , розраховану за формулою (3).

Частота  $\nu$  лінійних переміщень вібростолю, що здійснюються при зміні тиску робочої рідини в поршневій порожнині гідроциліндра 2 за «трикутним» законом [2], може бути розрахована як

$$\nu = \frac{1}{t_{п.х} + t_{з.х}} \quad (4)$$

де  $t_{п.х}$ ,  $t_{з.х}$  – тривалість прямого та зворотного ходів поршня гідроциліндра 2.

Аналіз осцилограм переміщень виконавчих елементів ГП при прямих і зворотних ходах з вібробуджувачами «на вході» та «на виході» показує, що вони мають в основному лінійний характер [1]. Якщо при цьому також знехтувати стисливістю робочої рідини в гідросистемі ГП (при зміні тиску від  $p_2=4$  МПа до  $p_{1max}=11$  МПа густина мінерального мастила марки АМГ-10 змінюється всього на 0,35% [10]), то  $t_{п.х}$  можна наближено знайти як

$$t_{п.х} = Q_{п} / S_{\pi} \cdot A, \quad (5)$$

де  $Q_{п}$  – подача насоса ГП.

При визначенні  $t_{3,x}$  враховуємо, що на етапі повернення поршня гідроциліндра 2 у вихідне положення тиск у його поршневій порожнині, згідно із експериментально отриманими осцилограмами [1], зменшується до величини  $p_2$  практично миттєво. Відповідне рівняння руху матиме вигляд

$$m_{\Sigma} a = c_{пр.в} (z_{п} + m_{\Sigma} g / c_{пр.в} + A) + c_{пр.г} A - p_2 S_{п} - m_{\Sigma} g - R, \quad (6)$$

де  $R$  – сила тертя між напрямним кільцем 11 та гільзою, в якій воно переміщується, що наближено може бути визначена, як  $R=0,2 p_2 S_{п}$ .

Кінцеву швидкість вібростолу 26 в момент повернення його у вихідне верхнє положення знаходимо як

$$v_k = \sqrt{A \cdot a}. \quad (7)$$

Тоді  $t_{3,x}$ , з врахуванням формул (6), (7), може бути обчислена за виразом

$$t_{3,x} = \frac{v_k}{a} = \frac{\sqrt{A \cdot a}}{a} = \sqrt{\frac{A}{a}} = \sqrt{\frac{A \cdot m_{\Sigma}}{c_{пр.в} (z_{п} + m_{\Sigma} g / c_{пр.в} + A) + c_{пр.г} A - 1,2 \cdot p_2 S_{п} - m_{\Sigma} g}}. \quad (8)$$

У роботі [1] наведені формули для визначення тривалості кожного з чотирьох етапів роботи ГПП з вібробуджувачем «на вході» при «імпульсному» законі зміни тиску у гідроциліндрі привода [1, 2] (за даним законом відбувається зміна тиску у порожнинах гідроциліндрів 19 розглядуваної установки). У продовж двох перших з вказаних етапів тривалістю  $t_I$ ,  $t_{II}$  плунжери гідроциліндрів здійснюють прямий хід, на третьому етапі тривалістю  $t_{III}$  відбувається їх повернення у вихідні положення, у продовж четвертого етапу тривалістю  $t_{IV}$  при нерухомих плунжерах гідроциліндрів 19 у гідроакумуляторах ГПП накопичується енергія для здійснення наступного циклу [1, 2]. Оскільки гідроциліндри 2, 19 мають загальний ГПП з одним восьмилінійним вібробуджувачем [2], необхідно, щоб виконувалась умова з врахуванням якої вибираються параметри ГПП, що визначають  $t_I$ ,  $t_{II}$ ,  $t_{III}$ ,  $t_{IV}$ .

$$\frac{1}{t_I + t_{II} + t_{III} + t_{IV}} \leq v. \quad (9)$$

Значення  $p_{o,max}$  в момент часу  $t=t_{3,x}$  обчислюємо за формулами

$$p_{o,max} = \frac{F_{MzI_{max}} + F_{MzII_{max}}}{S_M}; F_{MzI_{max}} = p_1 S_{п} + m_I (a - g);$$

$$F_{MzII_{max}} = m_{II} (a - g) + c_{пр.в} (z_{п} + m_{\Sigma} g / c_{пр.в} + A) + c_{пр.г} A - 0,2 \cdot p_1 S_{п}, \quad (10)$$

в яких  $F_{MzI_{max}}$ ,  $F_{MzII_{max}}$  – зусилля створювані на нижньому перерізі пуансона 7 та на верхній поверхні заслінки 22;  $m_I$ ,  $m_{II}$  – маси верхнього виконавчого елемента установки (включає маси поршня та штока гідроциліндра 2, траверси 6 з інерційними масами 4, пуансона 7 з гідроциліндрами 8, 12) та нижнього виконавчого елемента (дорівнює сумі мас прес-форми 15 із порцією відходів 17 та заслінкою 22, а також вібросто-

лу 26 з напрямним кільцем 11);  $S_M$  – площа поперечного перерізу порції відходів 17.

Для визначення  $\phi_{max}$  складаємо рівняння руху при повороті навколо вертикальної осі вібростолу 26 з напрямним кільцем 11, прес-форми 15 із заслінкою 22 та порцією відходів 17, а також пуансона 7 з гідроциліндрами 8, 12 на першому етапі зміни тиску у порожнинах гідроциліндрів 19

$$J_{\Sigma} \ddot{\phi} = 2 \cdot p_1 S_{пл} r - 2 \cdot c_{пр.в} \phi \cdot r^2 - (F_{MzI_{max}} + F_{MzII_{max}}) f_T d_{п} / 2;$$

$$0 \leq t \leq t_I, \quad (11)$$

де  $J_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції вказаних вище обертових елементів установки;  $\phi$  – поточне значення кута їх повороту;  $r$  – радіус вібростолу 26;  $S_{пл}$  – площа плунжерів гідроциліндрів 19;  $f_T$  – зведений коефіцієнт тертя підшипника 5 [11];  $d_{п}$  – внутрішній діаметр підшипника.

За допомогою рівняння (11) знаходимо значення  $\phi_{maxI} = \phi(t_I)$ .

Далі складаємо рівняння руху при повороті обертових елементів установки на другому етапі зміни тиску у порожнинах гідроциліндрів 19

$$J_{\Sigma} \ddot{\phi} = 2 \cdot c_{пр.в} \phi \cdot r^2 - (F_{MzI_{max}} + F_{MzII_{max}}) f_T d_{п} / 2; t_I < t \leq t_{II}, \quad (12)$$

за допомогою якого визначаємо  $\phi_{maxI} = \phi(t_I)$ .

Тоді значення  $\phi_{max}$  знаходимо як

$$\phi_{max} = \phi_{maxI} + \phi_{maxII}. \quad (13)$$

Величину  $F_{в,max}$  розраховуємо за формулою

$$F_{в,max} = m_M \omega_{maxI}^2 \sqrt{\frac{S_M}{\pi}}, \quad (14)$$

де  $m_M$  – маса порції відходів 17;  $\omega_{maxI}$  – кутова швидкість порції 17 в момент часу  $t = t_I$  визначається за допомогою рівняння (11) як  $\omega_{maxI} = \dot{\phi}(t_I)$ .

З врахуванням наведених вище експериментальних даних визначимо ефективність пропонованої установки (рис. 1) у порівнянні із ефективністю обладнання для однокомпонентного вібрударного зневоднення [3] при реалізації першої стадії пропонованої послідовності зневоднення.

Добова продуктивність попереднього однокомпонентного –  $\Pi_{3,о}$  та двокомпонентного –  $\Pi_{3,д}$  вібрударного зневоднення складатиме

$$\Pi_{3,о} = \frac{S_{M,о} H_M \rho_M}{t_{1о} + t_{п1} + t_3 + t_{п2}} t_{3M} n_{3M} =$$

$$= \frac{1,3 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot 3600}{13 + 2 + 10 + 2} \cdot 8 \cdot 3 = 830,3, T$$

$$\Pi_{3,д} = \frac{S_{M,д} H_M \rho_M}{t_{1д} + t_{п1} + t_3 + t_{п2} + t_{пл}} t_{3M} n_{3M} =$$

$$= \frac{2,99 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot 3600}{11 + 2 + 10 + 2 + 2} \cdot 8 \cdot 3 = 1909,8, T \quad (15)$$

де  $\rho_M$  – початкова густина відходів;  $t_{1о}$ ,  $t_{1д}$ ,  $t_{п1}$ ,  $t_3$ ,  $t_{п2}$ ,  $t_{пл}$  – тривалість першої стадії зневоднення при однокомпонентному і двокомпонентному зневоднен-

ні, тривалість відкривання заслінок 29 (рис. 1), заповнення відходами прес-форми 15, закривання заслінок 29 (в установці для однокомпонентного зневоднення використовується аналогічна система заповнення прес-форми), установлення пластин 14 у пази пуансона 7 та їх відсування після зневоднення (в попередній установці пластин 14 та їх привода немає, тому для неї дана складова не враховується);  $t_{зм}$  – середня тривалість безперервної роботи обладнання у продовж однієї зміни;  $n_{зм}$  – кількість змін у продовж доби.

Енергоємність однокомпонентного –  $E_{з.о}$  та двокомпонентного –  $E_{з.д}$  віброударного зневоднення розраховуємо як [3]

$$E_{з.о} = \frac{N_{д1}(t_{п1} + t_{п2}) + N_{ГПП}t_{10}}{S_{м.о} H_M \rho_M (U_{п1} - U_{к10})};$$

$$E_{з.д} = \frac{N_{д1}(t_{п1} + t_{п2}) + N_{д2}t_{п2} + N_{ГПП}t_{1д}}{S_{м.д} H_M \rho_M (U_{п1} - U_{к1д})}, \quad (16)$$

де  $N_{д1}$ ,  $N_{д2}$  – потужності насосної станції допоміжного привода при переміщенні заслінок 29 та пластин 14;  $N_{ГПП}$  – потужність насосної станції ГПП.

Значення  $N_{д1}$ ,  $N_{ГПП}$  установки для однокомпонентного віброударного зневоднення були розраховані у роботі [3]. Потрібна  $N_{ГПП}$  при двокомпонентному зневодненні буде такою самою, як й при однокомпонентному, оскільки прямий хід плунжерів гідроциліндрів 19, що забезпечують прикладання другої компоненти віброударного навантаження, відбувається в основному за рахунок розрядки гідроаккумуляторів, які заряджаються під час прямого ходу поршня гідроциліндра 2.

Значення  $N_{д2}$  визначаємо як [3]

$$N_{д2} = \frac{(S_{п12}t_{п1} + S_{п12}t_{п2}) \cdot l_{х12} p_{д2}}{\eta_{е.д2} \cdot \eta_{н.д2} \cdot \eta_{м.д2}} =$$

$$= \frac{(7,85 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 5,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1) \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 19,65 \text{ Вт} \quad (17)$$

де  $S_{п12}$ ,  $S_{п12}$  – площі поршнів гідроциліндрів 12 з боку поршневої і штокової порожнин;  $l_{х12}$  – хід поршнів гідроциліндрів 12;  $p_{д2}$  – потрібний номінальний тиск у нагнітальній гідролінії привода;  $\eta_{е.д2}$ ,  $\eta_{н.д2}$ ,  $\eta_{м.д2}$  – ККД електродвигуна, насоса та муфти привода.

Тоді енергоємність за формулами (16)

$$E_{з.о} = \frac{157 \cdot (2+2) + 12203,5 \cdot 13}{1,3 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot (0,95 - 0,85)} \frac{3600}{1000 \cdot 1000} = 22,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т};$$

$$E_{з.д} = \frac{157 \cdot (2+2) + 19,65 \cdot 2 + 12203,5 \cdot 11}{2,99 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot (0,95 - 0,83)} \frac{3600}{1000 \cdot 1000} =$$

$$= 6,78 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т},$$

що доводить нам порівняно високу економічну ефективність запропонованої установки.

## 6. Обговорення результатів розробки схеми установки для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв та оцінювання її ефективності

Аналіз розробленої схеми установки показує, що вона в основному відповідає сформульованим вище вимогам. Зокрема, установка дозволяє реалізувати тристадійне двокомпонентне віброударне зневоднення відходів харчових виробництв у періодичному автоматизованому режимі, в прес-формі закритого типу, з підвищенням від стадії до стадії інтенсивності робочого процесу. Витрати допоміжного часу при використанні запропонованої установки є мінімальними, в її приводі передбачена можливість для простого безступінчастого і точного регулювання в широких межах параметрів навантаження відходів. Показники негативного впливу з боку установки на людину й навколишнє середовище не перевищують відповідних показників іншого вібропресового обладнання з ГПП. За результатами виконаних авторами розрахунків, підтвердженими експериментальними даними, у порівнянні із установкою для однокомпонентного віброударного зневоднення запропонована установка забезпечує у 2,3 рази вищу продуктивність попереднього зневоднення кавового шלאму при істотно нижчій (у 3,3 рази) енергоємності робочого процесу й меншій кінцевій вологості (83 % проти 85 %) відходів. Щоправда реалізація у розробленій установці додаткової компоненти віброударного навантаження обумовила необхідність у певному ускладненні її конструкції та збільшенні матеріалоемності, але ці недоліки є, на думку авторів, не такими суттєвими і повністю перекриваються позитивним ефектом при використанні установки у промисловості.

## 7. Висновки

1. На підставі попередньо сформульованих вимог розроблена схема високоефективної установки з ГПП для тристадійного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв у прес-формі закритого типу, що забезпечує двокомпонентне навантаження відходів при періодичних зворотно-гвинтових переміщеннях виконавчих елементів, а також зменшення витрат допоміжного часу.

2. Одержані залежності для визначення параметрів навантаження відходів при використанні запропонованої установки, що можуть стати основою для розробки методики її проектного розрахунку. Порівняння установки за результатами експериментів та розрахунків з обладнанням для однокомпонентного віброударного зневоднення показало її вищу ефективність, зокрема, за рахунок забезпечення можливості збільшення об'ємів порцій відходів, що зневоднюються, продуктивність робочого процесу зросла у 2,3 рази, тоді як енергоємність при тій же самій потужності установки зменшилась у 3,3 рази. Крім цього, введення ще однієї компоненти навантаження дозволило знизити кінцеву вологість відходів (кавового шלאму) на 2 %.

## Література

1. Севостьянов И. В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов [Текст]: монографія / И. В. Севостьянов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 417 с.
2. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій [Текст]: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, І. В. Севастьянов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 291 с.

3. Севостьянов И. В. Установка для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств в пресс-форме [Текст] / И. В. Севостьянов, А. В. Слабкий, А. В. Полищук, А. И. Ольшевский // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – Т. 4, № 4 (24). – С. 41–46. doi: 10.15587/2312-8372.2015.47694
4. Луц, П. М. Результати експериментальних досліджень процесу віджимання пивної дробини двогвинтовим пресом [Текст]: зб. наук. пр. / П. М. Луц, Е. Б. Алієв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – 2011. – Вип. 2 (8). – С. 205–213.
5. Горбенко, О. А. Аналіз теоретичних досліджень процесу пресування олійної сировини [Текст] / О. А. Горбунко, В. В. Стрельцов, Н. А. Горбенко // Праці Таврійського агротехнологічного університету. – 2011. – Вип. 11, Т. 6. – С. 59–64.
6. Панфилов, П. Ф. Повышение эффективности флокуляционного кондиционирования и обезвоживания отходов флотации ЦОФ «Печорская» на ленточных фильтр-прессах [Текст] / П. Ф. Панфилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 1. – С. 336–337.
7. Юрова, И. С. Барабанная сушилка для обезвоживания дисперсных продуктов [Текст] / И. С. Юрова, И. В. Кузнецов, С. В. Шахов, Э. З. Матеев // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 4. – С. 49–52.
8. Шахов С. В. Вибрационная пресс-сушилка для свежесырого жома [Текст] / С. В. Шахов, Д. С. Бабенко, М. С. Бабенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 3. – С. 73–74.
9. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Перспективи розвитку вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для багатокомпонентного складнопросторового навантаження [Текст] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2002. – Вып. 42, Т. 1. – С. 169–174.
10. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика [Текст] / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
11. Иванов М. Н. Детали машин [Текст] / М. Н. Иванов. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.

*Представлені результати експериментального дослідження процесу поштучного відокремлення в магазинному завантажувальному пристрої взуттєвих машин. Описано експериментальну установку для дослідження процесу поштучного відокремлення, сплановано експеримент з використанням ротатбельного планування другого порядку, наведені результати, які підтверджують доцільність використання ударного впливу на стос деталей в магазинних завантажувальних пристроях взуттєвих машин з метою зменшення зусилля поштучного відокремлення, а отже і покращення умов процесу відокремлення*

*Ключові слова: взуттєві машини, магазинний завантажувальний пристрій, поштучне відокремлення деталей взуття, автоматичне завантаження*

*Представлены результаты экспериментального исследования процесса поштучного отделения в магазинном загрузочном устройстве обувных машин. Описана экспериментальная установка для исследования процесса поштучного отделения, спланирован эксперимент с применением ротатбельного планирования второго порядка, приведены результаты, которые подтверждают целесообразность использования ударного воздействия на стопку деталей в магазинных загрузочных устройствах обувных машин с целью уменьшения усилия поштучного отделения, а значит и улучшения условий процесса отделения*

*Ключевые слова: обувные машины, магазинное загрузочное устройство, поштучное отделение деталей обуви, автоматическая загрузка*

УДК 685.31

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50437

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОШТУЧНОГО ВІДОКРЕМЛЕННЯ В МАГАЗИННОМУ ЗАВАНТАЖУ- ВАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ ВЗУТТЄВИХ МАШИН

**С. А. Поповіченко**  
Асистент\*

E-mail: mr\_painter@bigmir.net

**Б. В. Орловський**

Доктор технічних наук, професор\*

\*Кафедра машин легкої промисловості  
Київський національний університет  
технологій та дизайну  
вул. Неміровича-Данченка, 2,  
м. Київ, Україна, 01011

## 1. Вступ

Сучасні тенденції розвитку легкої промисловості характеризуються розширенням асортименту продукції

у відповідності до зростання потреб споживачів, підвищенням продуктивності обладнання. Це обумовлює необхідністю вдосконалення існуючих та створення нових більш продуктивних та сучасних моделей обладнання.