

4. Hudspeth, J. Sensitivity, polarity, and conductance change in the response of vertebrate hair cells to controlled mechanical stimuli [Текст]/ J. Hudspeth, D.P. Corey. – Proc.Natl.Acad.Sci.USA, 74:2407-2411.
5. Lindeman, H.M. Studies on the morphology of the sensory organs of the vestibular apparatus [Текст]/ H.M. Lindeman. – Ergebn. Anat. Entw. Gesch 1969; 42:1-113.
6. Ross, M.D. The suprastructure of the saccular macula [Текст]/ M.D. Ross, T.E. Komorovski, K.M. Donovan, K.G. Pote. – Acta Otolaryng. (Stockh.), 103: 56-63.
7. Fernandez, C.Z. Physiology of peripheral neurons innervating otolith organs of the squirrel monkey. III. Response dynamics [Текст]/ C.Z. Fernandez, J.M. Goldberg. – Neurophysiol., 39:985-996.
8. Parker, D.E. Physiological and behavioral effects of title-induced body fluid shifts, Aviat., Space and Env [Текст]/ D.E. Parker. – Med 1983.54:402-409.
9. Benser, M.E. Hair-bundle stiffness dominates the elastic reactance to otolithic-membrane shear [Текст]/ M.E. Benser, N.P. Issa, A.J. Hudspeth. – Hearing Res.,68:243-252.
10. Vries, H.D. The mechanics of the labyrinth otoliths [Текст]/ H.D. Vries – Acta-Oto-Laryng., (Stockh.), 38:262-273.

УДК 66.066

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВИБРОУДАРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ВЛАЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

И. В. Севостьянов

Кандидат технических наук
Кафедра металлорежущих станков и оборудования
автоматизированного производства
Винницкий национальный технический университет
ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина,
21021
E-mail: ivansev70@mail.ru

У статті приводяться схема експериментального стенда з гідроімпульсним приводом для віброударного зневоднення вологих дисперсних харчових відходів. Представлено графіки отриманих за допомогою стенда експериментальних залежностей, згідно із якими пропонувані спосіб і обладнання забезпечують нижчу у порівнянні з відомими механічними способами зневоднення кінцеву вологість відходів – 20 – 25%

Ключові слова: віброударне зневоднення, вологі дисперсні харчові відходи, гідроімпульсний привод

В статье приводятся схема экспериментального стенда с гидроимпульсным приводом для виброударного обезвоживания влажных дисперсных пищевых отходов. Представлены графики полученных с помощью стенда экспериментальных зависимостей, в соответствии с которыми предлагаемые способ и оборудование обеспечивают более низкую по сравнению с известными механическими способами обезвоживания конечную влажность отходов – 20 – 25%

Ключевые слова: виброударное обезвоживание, влажные дисперсные пищевые отходы, гидроимпульсный привод

1. Введение

Серьезной проблемой ряда отечественных предприятий пищевой промышленности является проблема утилизации их отходов, в том числе, спиртовой барды, пивной дробины, свекловичного жома, кофейного и ячменного шлама, которые относятся к влажным дисперсным материалам. В большинстве случаев данные отходы выливаются на грунт, что приводит к загрязнению окружающей среды, кроме того, часто требует затрат на их транспортировку. Более рационально

осуществлять обезвоживание отходов до влажности 20 – 25%, что позволяет использовать их твердую фазу в качестве ценной добавки к сельскохозяйственным кормам либо как топливо. Жидкая фаза отходов (вода) после достаточно качественной очистки может быть возвращена в природу без негативных последствий для нее или повторно использоваться на производстве. Таким образом, задача разработки высокоэффективных способов и оборудования для обезвоживания влажных дисперсных пищевых отходов является достаточно актуальной.

2. Основная часть

К известным и распространенным механическим способам обезвоживания дисперсных пищевых отходов относятся прессование на шнековых, вальцовых и ленточных прессах, а также центрифугирование на сепараторах и декантерных центрифугах [1]. Данные способы и оборудование как правило не обеспечивают конечной влажности отходов – U_k ниже, чем 70 – 76% [1]. Правда в отдельных случаях при обезвоживании на шнековых прессах свекловичного жома может быть достигнута $U_k = 30 - 40\%$ [2], однако при этом существенно снижается производительность рабочего процесса. Меньшее распространение получило оборудование для вибрационного обезвоживания – вибростата, виброгрохоты, виброцентрифуги, вибросепараторы [3]. Последнее обусловлено тем, что при их использовании для достижения низких U_k необходимо практически непрерывно изменять частоту и амплитуду вибраций в соответствии с изменением физико-механических характеристик обрабатываемых отходов. А это, в свою очередь, требует применения сложной аппаратуры контроля и регулировки [3]. Электролитическое обезвоживание является малопродуктивным и достаточно энергоемким способом [1]. Термические способы, осуществляемые на барабанных, распылительных, вакуумных сушилках, требуют при реализации наибольших затрат энергии и поэтому используются преимущественно для окончательного обезвоживания [4]. Так, энергоемкость обезвоживания свекловичного сока и спиртовой барды на наиболее экономичных вакуумных сушилках составляет $\Delta_o = 740 - 760$ кВт·ч/т выпаренной жидкости [4]. Химические и биологические способы часто малопродуктивны (длительность фазового разделения порции рассматриваемых отходов может составлять от 10 до 40 ч), а оборудование для их осуществления является чрезвычайно громоздким и дорогим [1, 4].

В связи с вышеизложенным, нами для обезвоживания влажных пищевых отходов предлагается способ виброударной инерционной нагрузки на оборудовании с гидроимпульсным приводом (ГИП) [5]. Высокая эффективность предлагаемого способа по сравнению с известными способами (по производительности, энергоемкости, обеспечиваемой конечной влажности отходов) была доказана теоретически [1, 6] и на основании расчетов [7]. Однако для более обоснованного утверждения про их высокую эффективность необходимо создать стенд с ГИП для виброударного обезвоживания и провести на нем эксперименты по удалению жидкой фазы из основных видов пищевых отходов.

На рис. 1 представлены схема и фотография данного стенда, созданного нами на базе инерционного вибропресс-молота с ГИП модели ИВПМ-16 [5]. Стенд содержит основной гидроимпульсный и вспомогательный гидравлический приводы с насосами соответственно 21 и 26. Кроме насоса ГИП включает предохранительный клапан 28, регулятор расхода 9, гидрораспределитель 20, одноцикловый гидроаккумулятор 22 и основной элемент управления и регулирования ГИП – вибровозбудитель 23 [5]. В состав вспомогательного привода входят также гидрораспределитель 24, фильтр 25 и переливной клапан 27. Собственно вибропресс состоит из: станины 2 с колоннами

19 и на виброопорах 18; основного гидроцилиндра 14 ГИП; вспомогательного гидроцилиндра 1; вибростолы 11, жестко связанного с плунжером гидроцилиндра 14 и подпружиненного относительно станины 2; подвижной траверсы 4 с инерционными пригрузами 3, приводимой с помощью гидроцилиндра 1. Технологическая оснастка для обезвоживания включает: валки 5, 8, установленные в подшипниках скольжения на траверсе 4 и вибростоле 11, поддон 6 С-образного поперечного сечения (рис. 1, разрез А-А) с большим числом сквозных мелких отверстий, закрытых сверху фильтровальной тканью; закрепленные на вибростоле кронштейны 7 для поддержки поддона; установленный вокруг вибростола желоб 10, связанный посредством эластичной трубки 12 с баком 15.

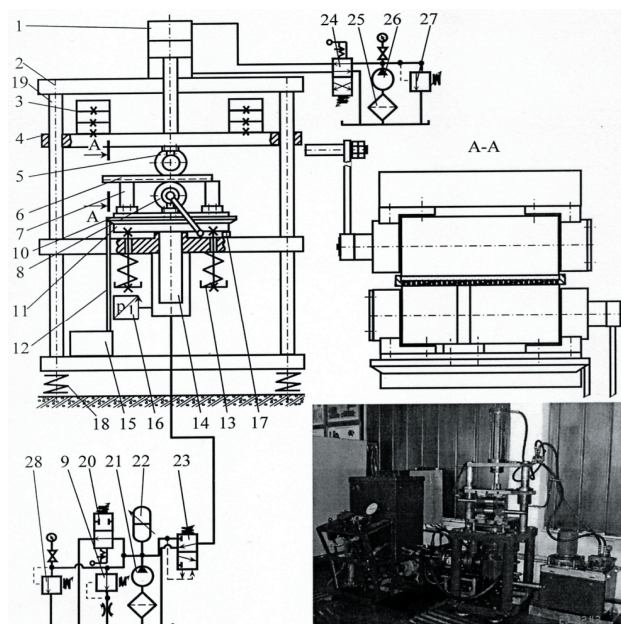


Рис. 1. Принципиальная гидрокинематическая схема экспериментального гидроимпульсного стенда для виброударного обезвоживания влажных дисперсных пищевых отходов на базе вибропресса ИВПМ-16

В процессе экспериментов со стендом порция отходов (кофейного шлама, свекловичного жома или спиртовой барды), с начальной влажностью $U_n = 75\%$ укладывалась слоем толщиной 5 мм на поверхность поддона 6. Включался насос 26 вспомогательного гидропривода; гидрораспределитель 24 переключался в нижнюю по схеме позицию. В результате поршень гидроцилиндра 1 и вместе с ним траверса 4 с пригрузами 3 и валком 5 поднимались вверх до упора. Между валками 5 и 8 на кронштейны 7 устанавливался поддон с отходами. Гидрораспределитель 24 переключался в верхнюю позицию, обеспечивая опускание траверсы 4 с валком 5 до установки последнего на порцию отходов. При необходимости, с помощью клапана 27 в гидросистеме вспомогательного привода настраивалось определенное давление рабочей жидкости (контролируемое по манометру) и соответствующее заданному усилию $P_{ст}$ статического прижима валька 5 к порции отходов. Запускался насос 21 ГИП, гидрораспределитель 20 переключался в верхнюю позицию. В следствии автоматического переключения вибро-

возбудителя 23 из одной рабочей позиции в другую, давление рабочей жидкости в полости гидроцилиндра 14 периодически изменялось от $p_2 = 2$ МПа до $p_1 = 11$ МПа (значения p_1, p_2 можно предварительно и точно регулировать) [6]. Таким образом, плунжер 14 и вместе с ним вибростол 11, валки 5 и 8, поддон с порцией отходов, и траверса 4 с пригрузами 3 осуществляли вертикальные возвратно-поступательные перемещения с частотой ν до 40 Гц и амплитудой z_{1a} до 4 мм. Порция отходов, зажата между валками 5 и 8, подвергалась виброударной нагрузке снизу и инерционной нагрузке сверху, что способствовало вытеснению с отходов жидкости. Последняя стекала в желоб 10, а далее по трубке 12 – в бак 15. При равномерном вращении в противоположные стороны связанных с валками рукояток, поддон 6 перемещался в горизонтальном направлении, тем самым обеспечивалось обезвоживание всей порции отходов.

В задачи экспериментов со стендом входило:

- выбор параметров нагрузки отходов в процессе их виброударного обезвоживания на стенде, от которых в наибольшей степени зависят параметры эффективности рабочего процесса – производительность $P_{ж}$ [кг/мин] по удаленной из отходов жидкости, энергоемкость \mathcal{E}_o [кВт·ч/т] обезвоживания и конечная влажность отходов U_k [%];

- определение конструктивных и рабочих параметров стенда, при изменении которых можно точно и в достаточно широких пределах регулировать параметры нагрузки;

- выбор аппаратуры для точного измерения и регистрации параметров нагрузки, рабочих параметров стенда и параметров эффективности процесса виброударного обезвоживания;

- определение оптимальных параметров нагрузки, обеспечивающих наивысшие параметры эффективности обезвоживания основных видов пищевых отходов;

- определение на оптимальных режимах нагрузки отходов эффективности предлагаемого способа, сравнение ее с эффективностью известных способов обезвоживания.

В результате проведенных ранее теоретических исследований процессов виброударного обезвоживания пищевых отходов [8], установлено, что основными параметрами нагрузки, определяющими их эффективность являются амплитуда z_{1a} и частота ν колебаний вибростола 11, максимальное давление $p_{г,таx}$ в полости гидроцилиндра 12 ГИП, а также средняя скорость $v_{п}$ перемещения поддона 6 с отходами.

Эффективное (простое, точное, бесступенчатое и в достаточно широких пределах) увеличение или уменьшение z_{1a}, ν и $p_{г,таx}$, можно обеспечить, изменяя такие параметры стенда (вибропресса) как [5]: площадь про-

ходного сечения S_p регулятора расхода 9, рабочий объем W_a гидроаккумулятора 22, давление открытия p_1 виброзбудителя 23, величину предварительного сжатия z_{0y} пружин 13, массу т.п пригрузов 3 и усилие $P_{ст}$ статического прижима валка 5 к порции отходов. Скорость $v_{п}$ определяется частотой ν вращения валков 5, 8, и их диаметром.

Значения амплитуды z_{1a} и частоты ν колебаний вибростола 11 определялись с помощью тензометрического датчика перемещений 17 (рис. 1) модели TURC Ni8-M18-Li. Давление $p_{г,таx}$ в полости гидроцилиндра 14 ГИП регистрировалось тензометрическим датчиком давления 16 модели ADZ-SML-10.0. Кроме этого, использовались АЦП модели E14-140, персональный компьютер и стандартное программное обеспечение для АЦП – программный пакет LGraph2. Значения $\nu_{п}$ определялись с помощью секундомера.

На рис. 2 представлены осциллограммы изменения давления p_r в гидроцилиндре ГИП и перемещения z_1 вибростола стенда в процессе обезвоживания на нем кофейного шлама.

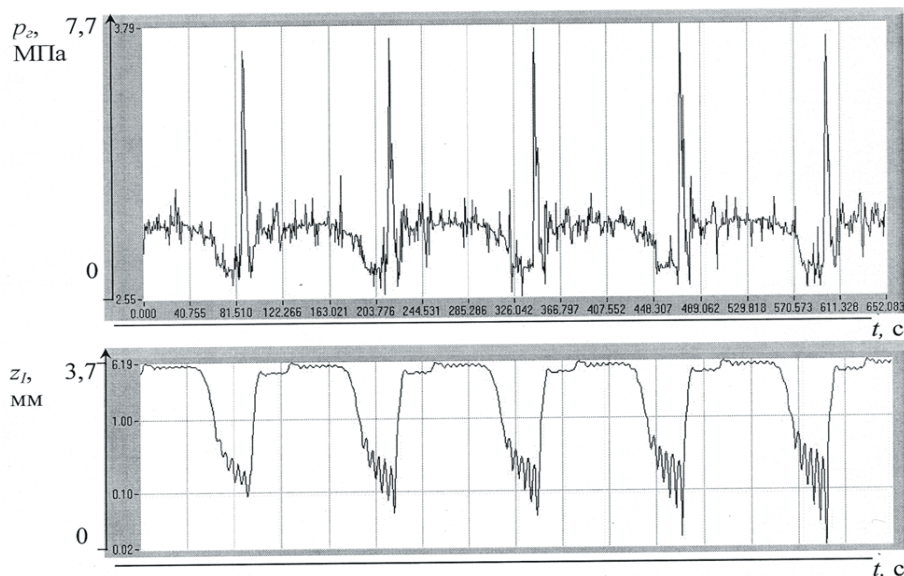


Рис. 2. Осциллограммы изменения давления p_r рабочей жидкости в гидроцилиндре ГИП и перемещения z_1 вибростола экспериментального стенда при виброударном обезвоживании порции кофейного шлама

Производительность $P_{ж}$ виброударного обезвоживания рассчитывалась как отношения массы жидкости $m_{ж,y}$, удаленной из порции отходов на поддоне 6 (см. рис. 1) к продолжительности T_o процесса обезвоживания порции

$$P_{ж} = \frac{m_{ж,y}}{T_o}. \tag{1}$$

Масса $m_{ж,y}$, в свою очередь, рассчитывалась как разность масс порции до – $m_{п,н}$ и после – $m_{п,к}$ обезвоживания ($m_{п,н}, m_{п,к}$ определялись с помощью электронных весов с точностью до 1 г). Время T_o контролировалось по секундомеру.

Энергоемкость \mathcal{E}_o обезвоживания может быть вычислена как отношение затрат энергии – E_o на осуществление рабочего процесса к массе $m_{ж,y}$. При этом

E_o определялись как произведение суммарной установленной мощности N_{Σ} электродвигателей станда на T_o

$$\Theta_o = \frac{E_o}{m_{ж.у}} = \frac{N_{\Sigma} T_o}{m_{ж.у}} \quad (2)$$

Конечная влажность U_k порции отходов после их виброударного обезвоживания определялась с использованием формулы

$$U_k = \frac{m_{ж.о}}{m_{п.к}} = \frac{m_{п.к} - m_t}{m_{п.к}} \quad (3)$$

в которой $m_{ж.о}$ – масса жидкости оставшейся в порции после ее обезвоживания; m_t – масса твердой фазы порции после ее полного высушивания.

Эксперименты по определению параметров эффективности исследуемых процессов – $P_{ж}$, Θ_o и U_k , при поочередном изменении одного из параметров нагрузки – z_{1a} , v , $p_{г.тах}$, v_n , повторялись не менее 9 раз (необходимое число экспериментальных измерений-записей на каждом режиме было рассчитано по формулам теории вероятностей [9]). После этого вычислялось среднеарифметическое значение каждого параметра, используемое при построении графиков экспериментальных зависимостей, некоторые из которых приведены на рис. 3. Максимальная результирующая среднеквадратическая погрешность измерений, вычисленная по методике [9], не превышала 5,2%.

Анализ зависимостей (рис. 3) показал, что с увеличением амплитуды z_{1a} и частоты v колебаний вибростола, а также по мере приращения давления $p_{г.тах}$ в полости гидроцилиндра ГИП производительность $P_{ж}$ виброударного обезвоживания увеличивается, а с возрастанием скорости v_n перемещения поддона – падает. При этом наращивание v обеспечивает увеличение $P_{ж}$ лишь до определенного предела ($v = 35$ Гц – при обезвоживании кофейного шлама). Однако при дальнейшем повышении данного параметра нагрузки в результате более интенсивного разрыхления нижних слоев порции отходов, а также того, что удаленная жидкость не успевает вытекать через отверстия поддона и отсасывается назад в среду порции, $P_{ж}$ начинает падать. Наиболее заметное увеличение $P_{ж}$ обеспечивается при возрастании $p_{г.тах}$.

Энергоемкость Θ_o виброударного обезвоживания, наоборот, с увеличением z_{1a} , v и $p_{г.тах}$ уменьшается, что обусловлено возрастанием $m_{ж.у}$. С повышением v_n энергоемкость Θ_o увеличивается, что объясняется уменьшением продолжительности процесса обезвоживания единицы массы порции отходов.

Что касается конечной влажности U_k отходов, то последняя с увеличением z_{1a} , v и $p_{г.тах}$ уменьшается, а с увеличением v_n – возрастает.

Наивысшая производительность $P_{ж}$ рабочего процесса обеспечивается при обезвоживании кофейного шлама (рис. 3а), более низкая – при обезвоживании свекловичного жома и самая низкая – при обезвоживании спиртовой барды. Соответственно энергоемкость Θ_o будет наиболее низкой в процессе обезвоживания шлама (рис. 3б), тогда как процессы обезвоживания жома и барды являются более энергоемкими. Наиболее низкая конечная влажность U_k отходов (20%) до-

стигалась при обезвоживании шлама (рис. 3в), а жом и барда обезвоживались в меньшей степени (минимальная U_k соответственно 22% и 24%). Однако в целом различие в значениях параметров эффективности при реализации процессов виброударного обезвоживания основных видов влажных дисперсных отходов пищевых производств, является несущественным.

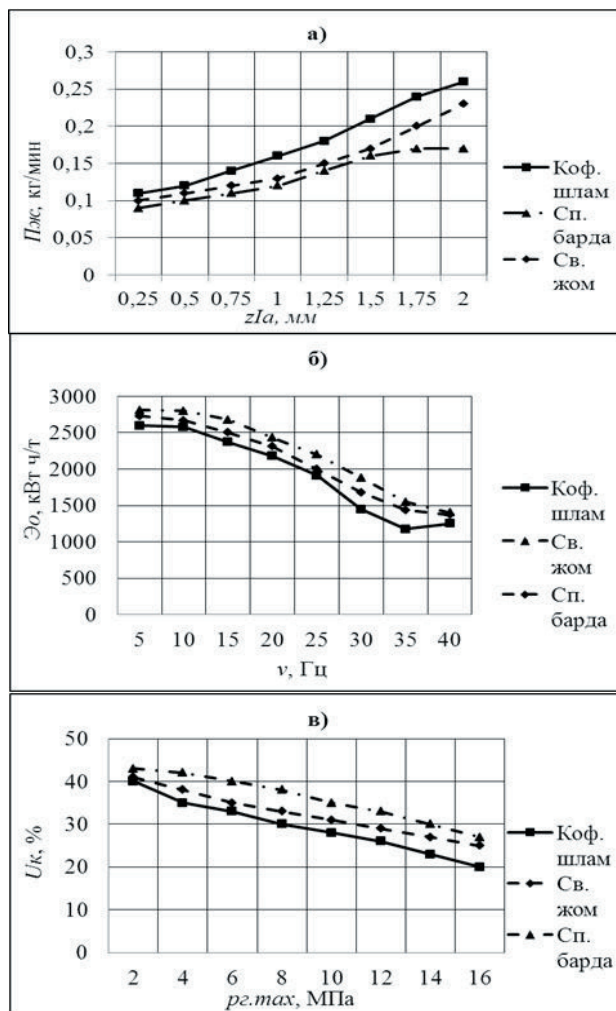


Рис. 3. Экспериментальные зависимости: а – производительности $P_{ж}$ виброударного обезвоживания от амплитуды z_{1a} колебаний вибростола при $v = 30$ Гц; $p_{г.тах} = 11$ МПа; $v_n = 300$ мм/мин; б – энергоемкости Θ_o виброударного обезвоживания от частоты v колебаний вибростола при $z_{1a} = 1$ мм; $p_{г.тах} = 11$ МПа; $v_n = 300$ мм/мин; в – конечной влажности U_k порции отходов после их обезвоживания от максимального давления $p_{г.тах}$ в полости гидроцилиндра ГИП при $z_{1a} = 1$ мм; $v = 30$ Гц; $v_n = 300$ мм/мин

Основным преимуществом предлагаемого способа по сравнению с другими механическими способами обезвоживания следует считать обеспечение существенно более низкой конечной влажности отходов – 20 – 24% против 30 – 76%. Рассматриваемый станд (рис. 1) уступает известному оборудованию для механического обезвоживания по производительности $P_{ж}$ и энергоемкости Θ_o (например, для шнекового пресса ВПД-7 при обезвоживании спиртовой барды $P_{ж} = 23,3$ кг/мин, а $\Theta_o = 5$ кВт·ч/т [4]). Однако это об-

умовлено тем, що стенд являється опытній машиною, створеною на базі обладнання другого призначення [6]. Крім того, після обезвоживання відходів на шнековому пресі, вони обов'язково піддаються доповнительній сушці, таким чином, загальна середня продуктивність процесу падає, а енергоємність суттєво зростає [2, 4]. В роботі [10] наведено перспективні схеми промислового обладнання з ГІП для віброударного обезвоживання, яке в відповідності з нашими оцінками, розрахунками та експериментами, по $P_{ж}$ і \mathcal{E}_o наближається до шнекових пресів, при забезпеченні суттєво нижчої U_k .

Таким чином, більш високу ефективність запропонованого способу віброударного обезвоживання відходів харчових виробств на обладнанні з ГІП порівняно з ефективністю інших відомих способів, можна вважати експериментально доведеною. Нарешті, в свою чергу, дозволяє після створення надійного та ефективного промислового обладнання з ГІП для віброударного обезвоживання, використовувати його для раціонального рішення актуальної проблеми утилізації вологих дисперсних відходів харчових виробств.

3. Висновки

1. В результаті аналізу відомих способів та обладнання для обезвоживання вологих дисперсних харчових відходів встановлено, що відомих механічних способів не забезпечують кінцевої вологості відходів нижче $U_k = 30 - 76\%$, термічні та електролітичні способи – занадто енергоємні ($\mathcal{E}_o = 740 - 2500$ кВт·ч/т), а хімічні та біологічні способи

– малопродуктивні (продовжительність розділення порції відходів – 10 – 40 ч), крім того, для виконання останніх необхідно громоздке та дороге обладнання.

2. В відповідності з результатами виконаних на стенді з ГІП експериментів по віброударному обезвоживанню порцій кавового шламу, свекловичного жому та спиртової барди встановлено, що запропонований спосіб забезпечує порівняно з іншими відомих механічними способами суттєво меншу кінцеву вологість відходів: $U_k = 20 - 24\%$.

3. Більш низька порівняно до шнековими пресами продуктивність $P_{ж}$ та більш висока енергоємність \mathcal{E}_o стенда обумовлені тим, що він являється опытній машиною, створеною на базі обладнання другого призначення. Крім того, після обезвоживання відходів на шнекових пресах, в зв'язі з необхідністю їх доповнительній сушці, загальна продуктивність процесу буде зменшуватися, а енергоємність – збільшуватися. Таким чином, по всіх основних показателях ефективності запропонований спосіб віброударного обезвоживання має переваги перед відомих способами.

4. Отримані в результаті експериментів на стенді з ГІП залежності параметрів ефективності процесу віброударного обезвоживання кавового шламу, свекловичного жому та спиртової барди ($P_{ж}$, \mathcal{E}_o , U_k) від параметрів їх навантаження: амплітуди Z_{1a} та частоти ν коливань вібростола стенда, максимального тиску $P_{г.тах}$ в порожнині гідроциліндра ГІП, середньої швидкості V_d переміщення піддона з порцією відходів – дозволяють визначити оптимальний режим реалізації запропонованого способу в залежності від виду відходів та при умові забезпечення найвищої ефективності робочого процесу.

Література

1. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Аналіз способів сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації [Текст] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Машинобудування, 2009. – Випуск №57. – С. 50 – 55. – ISSN 0201 – 744X.
2. Казаков, К. В. Розробка енергозберігаючої технології сушки свекловичного жому з дослідженням параметрів шнекового преса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / К. В. Казаков. – Белгород, 2002. – 156 с.
3. Гончаревич, І. Ф. Вібраційна техніка в харчовій промисловості [Текст]: учеб. / І. Ф. Гончаревич, І. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – М.: Харчова промисловість, 1977. – 279 с.
4. Дікіс, М. Я. Технологічне обладнання консервних заводів [Текст]: учеб. / М. Я. Дікіс, А. Н. Мальський. – М.: Харчова промисловість, 1969. – 777 с.
5. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування [Текст]: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с. – ISBN 966-641-178-4.
6. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Вібраційні та віброударні технології в процесах сепарування вологих дисперсних матеріалів [Текст] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вібрації в техніці та технологіях, 2007. – №4. – С. 18 – 21. – ISBN 5-7763-9123.
7. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Розрахунок параметрів вібропресового обладнання з гідропульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів переробки та харчових виробництв [Текст] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2007. – №3. – Ч. 1. – С. 105 – 108.
8. Севостьянов, І. В. Математичне моделювання процесів віброударного сепарування вологих дисперсних матеріалів [Текст] / І. В. Севостьянов, Р. Д. Іскович-Лотоцький // Вібрації в техніці та технологіях, 2008. – №2. – С. 39 – 45. – ISBN 5-7763-9123.
9. Грачев, Ю. П. Математичні методи планування експериментів [Текст]: учеб. / Ю. П. Грачев. – М.: Харчова промисловість, 1979. – 199 с.
10. Севостьянов, І. В. Перспективні схеми гідропульсних машин для потокового віброударного фазового розділення вологих дисперсних матеріалів [Текст] / І. В. Севостьянов // Промислова гідроліка і пневматика, 2012. – №3 (37). – С. 7 – 11. – ISSN 1994 – 4691.