

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОУДАРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

INCREASE OF POWER EFFICIENCY OF VIBRO-BLOWING DEHYDRATION OF FOOD MANUFACTURES WASTE

Описана схема установки для высокоэффективного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств, имеющая по сравнению с другим оборудованием аналогичного назначения, меньшую материалоемкость и обеспечивающая существенное сокращение вспомогательного времени при достижении адекватной конечной влажности (22 – 25%) обезвоживаемых отходов. Для повышения энергетической эффективности процессов виброударного обезвоживания предлагается осуществлять их поэтапно с последовательным удалением свободной, капиллярно связанной и адсорбционно связанной жидкости. Приводятся схемы структуры твердой фазы отходов в начале каждого из указанных этапов обезвоживания, а также формулы для расчета оптимального давления, которое необходимо создать в среде отходов в ходе реализации этапов для разрушения соответствующей связи между фазами. Предлагаются зависимости для определения длительности этапов виброударного обезвоживания и объемов удаляемой на каждом из них жидкой фазы. С помощью данных формул и зависимостей могут быть рассчитаны рациональные параметры нагрузки отходов при их виброударном обезвоживании, обеспечивающие при минимальных затратах времени и энергии достаточно полное удаление жидкости.

Ключевые слова: виброударное обезвоживание, отходы пищевых производств, виброударная нагрузка, энергетическая эффективность.

Введение

Одним из наиболее эффективных способов обезвоживания отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, фруктового жмыха, кофейного шлама) с целью их дальнейшего использования в качестве добавок к сельскохозяйственным кормам или в качестве топлива, является способ потокового виброударного обезвоживания на установках с гидроимпульсным приводом (ГИП) [1].

В соответствии с результатами проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований [1], данные установки обеспечивают по сравнению с другим оборудованием аналогичного назначения низкую конечную влажность обрабатываемых отходов (20–25% против 30–76% — при обезвоживании на шнековых прессах и декантерных центрифугах), достаточную в большинстве случаев производительность по обезвоженным отходам (500–600 т в сутки [2]) и относительно низкую энергоемкость рабочего процесса (порядка 2,7 кВт·ч/т против 5 кВт·ч/т — для шнековых прессов [3]).

Постановка проблемы

Установлено, что имеются возможности для дальнейшего совершенствования схем оборудования для

виброударного обезвоживания, в частности, для повышения его экономической эффективности за счет обеспечения более интенсивной нагрузки перерабатываемых отходов и уменьшения вспомогательного времени при работе установки. Кроме того, целесообразно перераспределить во времени подводимую для реализации рассматриваемых процессов энергию в соответствии с изменением микроструктуры обезвоживаемых отходов и достигнуть тем самым более рационального ее использования.

Анализ литературных данных

Известные технологии обезвоживания отходов пищевых производств [4–8] являются многостадийными (включают до пяти и более стадий), поскольку при одностадийном обезвоживании невозможно обеспечить достаточно низкую (15–20%) конечную влажность обрабатываемой среды (см. выше). Однако данные технологии, как правило, основаны на использовании комбинированных способов обезвоживания (термомеханических [4, 5], химико-механических [6], химико-биологических [7, 8], биолого-механических [7]), что существенно усложняет и удорожает их реализацию. В работе [2] разработана установка для трехстадийного виброударного обезвоживания, которая обеспечивает указанные выше показатели эффективности рассмат-

риваемых процессов, но при значительных затратах вспомогательного времени и при использовании в паре с такой же самой установкой, что приводит к увеличению материалоемкости и стоимости всего технологического комплекса. Однако увеличения интенсивности виброударного обезвоживания можно достигнуть и в случае использования более компактной установки, схема которой приводится ниже.

Что касается результатов проведенных ранее исследований процессов преобразования энергии при фазном разделении влажных дисперсных материалов, то в основном они получены при использовании статических способов обезвоживания на шнековых прессах и центрифугах [3, 5, 7], а также при реализации сушки [9]. В работе [10] указывается, что уравнения балансов энергии являются наиболее точным средством исследования быстропротекающих динамических процессов в среде влажных дисперсных систем, однако предлагаемые при этом авторами уравнения достаточно сложны и не могут служить основой для разработки инженерной методики проектного расчета оборудования. Автором данной статьи в работе [1] приведены уравнения балансов энергии для вибропресса с ГИП при обезвоживании на нем отходов пищевых производств, однако предполагается, что данная энергия будет подводиться равномерно по ходу всего процесса обезвоживания, вне зависимости от изменения микроструктуры обрабатываемого материала. В результате производительность обезвоживания максимальная на начальном этапе осуществления рабочего процесса в дальнейшем существенно падает, что приводит к нерациональному использованию подводимой энергии.

Цель и задачи исследования

В соответствии с вышеизложенным, целью предлагаемой статьи является повышение энергетической эффективности процессов и оборудования для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств, для достижения которой необходимо:

- разработать схему установки, обеспечивающей при сравнительно небольших габаритах интенсификацию рассматриваемых процессов;

- получить зависимости для определения изменения давления в среде обезвоживаемых отходов, с целью поэтапного удаления из них свободной, капиллярно-связанной и адсорбционно-связанной жидкости, а также для расчета длительности каждого этапа и объема удаляемой при его осуществлении жидкости, что позволит оптимизировать энергозатраты и производительность оборудования.

Основные результаты исследования

На рисунке 1 показана схема высокоэффективной установки для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств.

Работает установка следующим образом. Отходы с начальной влажностью $U_{\text{н}} = 95\text{--}97\%$ периодически подаются в бак 3, установленный на подвижной траверсе 2. Включается вспомогательный гидропривод гидроцилиндров 8, 9 (на схеме не показан) и рабочая жидкость под давлением подается в штоковую полость гидроцилиндра 8 (поршневая полость последнего соединяется со сливом). Поршень со штоком гидроцилиндра 8 и вместе с ними кронштейн 7 с заслонкой 6 сдвигаются вправо по схеме, открывая доступ отходам через отверстие пуансона 10 в пресс-форму 11 (разрез Б-Б на рисунке 1). Пресс-форма заполняется отходами, после чего с помощью вспомогательного гидропривода и гидроцилиндра 8 заслонка 6 сдвигается влево до упора, перекрывая отверстие в пуансоне 10. Включается ГИП (на схеме не показан), обеспечивающий периодическое изменение давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра 19 кольцевидного поперечного сечения (см. также разрез Г-Г на рисунке 1) от $p_2 = 4 \text{ МПа}$ до $p_1 = 11 \text{ МПа}$. В результате плунжер 18 гидроцилиндра и вместе с ним вибростол 17, пресс-форма 11 с заслонкой 15 и порцией отходов 16, пуансон 10 с заслонкой 6 и траверса 2 с баком 3 и отходами в нем совершают вертикальные возвратно-поступательные перемещения с частотой до 60 Гц и амплитудой до $2,5 \text{ мм}$. Возврат вышеназванных подвижных элементов установки в исходное нижнее положение на этапах уменьшения давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра 19 от p_1 до p_2 осуществляется под действием силы тяжести и сжатых пружин 12. Вибростол 17 в конце каждого этапа возврата ударяется о торец корпуса гидроцилиндра 19 и данные ударные импульсы передаются другим подвижным элементам. При этом отходы в баке 3 и в пресс-форме 11 подвергаются виброударной инерционной нагрузке, осуществляется стадия их предварительного виброударного обезвоживания. Удаленная из отходов жидкая фаза вытекает через мелкие отверстия 4 в стенках и днище бака 3, а также в стенках пуансона 10 и пресс-формы 11 (с середины отверстия закрыты металлической фильтровальной сеткой, задерживающей твердые частицы отходов). Вытекающая жидкая фаза собирается в баках 5 и 20, из которых по гибким трубопроводам (на схеме не показаны) отводится в канализацию. Подвижность заслонок 6, 15 в вертикальной плоскости относительно кронштейнов 7, 14 обеспечивается за счет их штифтового соединения (разрез В-В на рисунке 1).

В соответствии с результатами проведенных на стенде-прототипе установки экспериментов [2] по виброударному обезвоживанию спиртовой барды, кофейного шлама и свекольного жома с $U_{\text{н}} = 95\%$ их конечная влажность после завершения описанной выше стадии предварительного обезвоживания длительностью 13–15 с, составляла $U_{\text{к1}} = 85\text{--}87\%$ [2].

На второй стадии обезвоживания отходов на данной установке ГИП выключен, таким образом, плунжер 18, вибростол 15, пресс-форма 11 с заслонкой 15 и

порцией отходов 16 находятся в нижнем положении. Включается вспомогательный гидропривод четырех гидроцилиндров 1 (вид А на рисунок 1), рабочая жидкость под давлением поступает в их штоковые полости, в то время как поршневые полости гидроцилиндров соединены со сливом. В результате траверса 2, связанная с корпусами гидроцилиндров 1, вместе с ней бак 3 и пуансон 10 с заслонкой 6 опускаются вниз, осуществляет статическое прессование порции отходов 16. Оптимальная длительность данной стадии обезвоживания по данным авторов, полученным на стенде-прототипе [2], составляет 10 с, после чего влажность указанных выше трех видов отходов составляет $U_{к2} = 76-78\%$ [2].

Далее на третьей стадии виброударного обезвоживания при работающем вспомогательном приводе, обеспечивающим статическое прессование порции 16, вновь включается ГИП. Плунжер 17 и связанные с ним подвижные элементы, в том числе пресс-форма 11 с порцией 16, осуществляют вертикальные возвратно-поступательные перемещения. Порция 16 подвергается наиболее интенсивной комбинированной статической и виброударной инерционной нагрузке в течение 28–30 с [2], в результате конечная влажность трех видов отходов пищевых производств составит $U_{к3} = 22-25\%$ [2]. После этого ГИП и вспомогательный гидропривод, обеспечивающий статический прижим пуансона 10 к порции 16 выключаются. Запускается вспомогательный гидропривод гидроцилиндров 8, 9. Рабочая жидкость подается в штоковую полость гидроцилиндра 9 (поршневая полость сообщается со сливом), в результате поршень гидроцилиндра и вместе с ним заслонка 15 смещаются вправо, открывая отверстие 21. Включается гидропривод гидроцилиндров 1, обеспечивая опускание пуансона 10 с заслонкой 6 и траверсы 2 с баком 3. При этом пуансон 10 выдавливает обезвоженную порцию 16 из пресс-формы 11 через отверстие 21 на ленточный конвейер 13, транспортирующий ее в накопитель (на схеме не показан). Далее с помощью вспомогательного гидропривода заслонка 15 сдвигается до упора влево, перекрывая отверстие 21. Открывается заслонка 6 и следующая порция обезвоживаемых отходов поступает из бака 3 в пресс-форму 11. Заслонка 6 закрывается, после чего весь описанный выше цикл трехстадийного виброударного обезвоживания повторяется.

Преимуществом данной схемы по сравнению, например, с установкой, предложенной в работе [2], является уменьшение доли вспомогательного времени в общем рабочем цикле установки, сокращение количества единиц оборудования в технологическом комплексе при сохранении его неизменной производительности, а также осуществление предварительного виброударного обезвоживания отходов в то время, когда они еще находятся в накопительном баке 3 (рисунок 1). Все это обеспечивает повышение эффективности установки. В то же время на ней как и на установке, выполненной по предыдущей схеме [2], реализуется трехстадийное

виброударное обезвоживание отходов в пресс-форме закрытого типа с последовательным увеличением от стадии к стадии интенсивности нагрузки, что позволяет достигнуть их минимальной конечной влажности.

В работе [9] указывается, что скелет (основа) капиллярно-пористых коллоидных тел, к которым относятся отходы пищевых производств, образован отдельными волокнами, сложен по своей структуре и обладает большой развитой поверхностью. Поры и капилляры, созданные в результате образования листа из волокон, имеют самую разнообразную форму и размеры, могут быть сквозными (без дна) и несквозными, сообщающимися непосредственно и при помощи разветвленной системы пор с окружающей средой. Кроме того, сами волокна, радиус капилляров в которых различен, отличаются большой пористостью.

Смоделировать точно такую сложную структуру не представляется возможным, поэтому в [4–6, 9, 10] вводится ряд допущений и упрощений. Известно также [9, 10], что жидкая фаза коллоидных капиллярно-пористых тел в зависимости от величины энергии ее связи с твердыми частицами основы условно разделяется на химически-связанную, адсорбционно-связанную (физико-химическая связь), капиллярно-связанную (физико-механическая связь) и свободную. Вполне допустимой является структура капиллярно-пористых тел, в том числе отходов пищевых производств, схематично показанная на рисунке 2. На данной схеме твердая фаза отходов образует трубчатый каркас, при этом их свободная жидкость находится в полостях квадратного поперечного сечения размером l , капиллярно-связанная — в каналах диаметром d , а адсорбционно-связанная и химически связанная — в порах стенок каналов толщиной δ .

В работе [1] обосновано, что в процессе виброударного обезвоживания отходов в пресс-форме в течение каждого цикла нагрузки при прохождении в объеме порции осевых и радиальных волн напряжений и деформаций, а также удалении части жидкой фазы, обеспечивается равномерное перераспределение твердых частиц по объему с все более полной их укладкой. Значит, с высокой степенью вероятности, можно считать, что вид структуры твердой фазы в ходе обезвоживания не меняется, она становится лишь более плотной [1]. При этом первой под действием сравнительно небольших давлений удаляется свободная жидкость из полостей квадратного поперечного сечения. Одновременно каналы диаметром d из верхних слоев при сжатии порции перемещаются в промежутки между каналами нижних слоев и равномерно распределяются в них (рисунок 2, а, б). В результате расстояния между каналами уменьшаются от l_c (рисунок 2, а) в начальный момент цикла до l_k (рисунок 2, б). Далее при более высоких давлениях начинает удаляться капиллярно-связанная жидкость, происходит разрыв каналов, увеличение числа последних в единице объема порции, изменение их формы и размеров (рисунок 2, б, в). Одновременно также вытекает оставшаяся часть свободной жидкости из полостей между

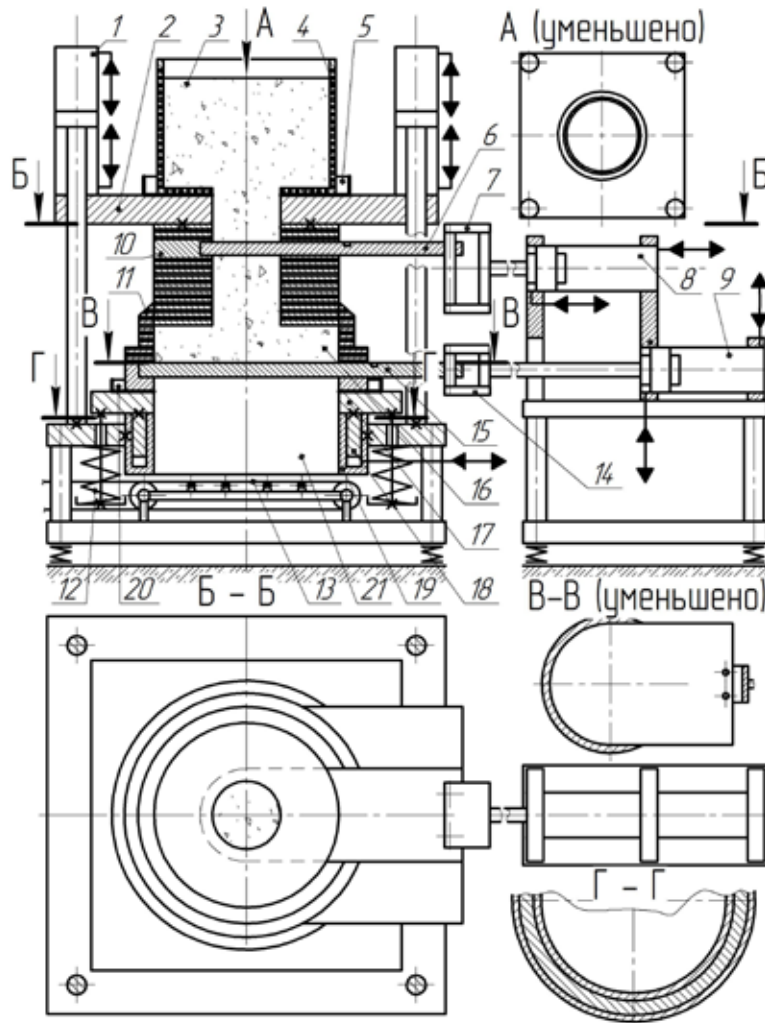


Рисунок 1 — Схема высокоэффективной установки для трехслойного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств

каналами. На третьем этапе нагрузка еще более возрастает, таким образом, удаляется часть адсорбционно-связанной жидкой фазы из пор стенок каналов толщиной δ_c при их сжатии (рисунок 2, в) и практически вся свободная жидкость.

Средние значения l_c , d_c и δ_c для выделенного объема обезвоживаемых отходов можно определить методами микроструктурного анализа. Значение l_c в соответствии с рисунком 2, б рассчитываем как $l_c = d_c + 2 \cdot \delta_c$, размер $b_a = 0,1 d_c$, а $l_a \approx 2 \cdot \delta_c$ (рисунок 2, в).

Необходимое для удаления свободной жидкости давление в среде отходов в средней по высоте точке пресс-формы, на ее оси, где это давление, создаваемое суммарным усилием $F_{mz}(t)$ [1] на пуансоне и днище пресс-формы является минимальным, определяем по формуле

$$P_{c.min} = \frac{F_{mz.min}}{S_m} + \Delta p_{mz} + \Delta p_{mz} + \Delta p_{ct}, \quad (1)$$

где $F_{mz.min}$ — минимальное в течение цикла виброударной нагрузки значение $F_{mz}(t)$ [1] в момент времени, непосредственно предшествующий удару вибростола 17 (рисунок 1) об торец корпуса гидроцилиндра 19 при его возврате в исходное нижнее положение, S_m — площадь поперечного сечения порции отходов, $\Delta p_{pmz}, \Delta p_{pmz}, \Delta p_{pct}$ — соответствующие $F_{mz.min}$ местные потери давления [11] в среде отходов между днищем пресс-формы и рассматриваемой средней точкой в вертикальной (Δp_{mzv}) и горизонтальной (Δp_{mzh}) плоскостях, а также потери давления при вытекании жидкости через стенки пресс-формы (Δp_{ct}), рассчитываемые по зависимостям

$$\Delta p_{mzv} = \zeta_{mz} \rho_{ж} \frac{z_{ж}^2}{2} \frac{H_m}{\gamma} \frac{1}{\gamma} \quad \Delta p_{ct} = \zeta_{ct} \rho_{ж} \frac{y_{ж}^2}{2}, \quad (2)$$

$$\Delta p_{mzh} = \zeta_{mz} \rho_{ж} \frac{y_{ж}^2}{2} \frac{1}{l_c} \sqrt{\frac{S_m}{\pi}}$$

где ζ_m, ζ_{ct} — коэффициенты местных сопротивлений [11] при прохождении жидкостью ячейки структуры твердой

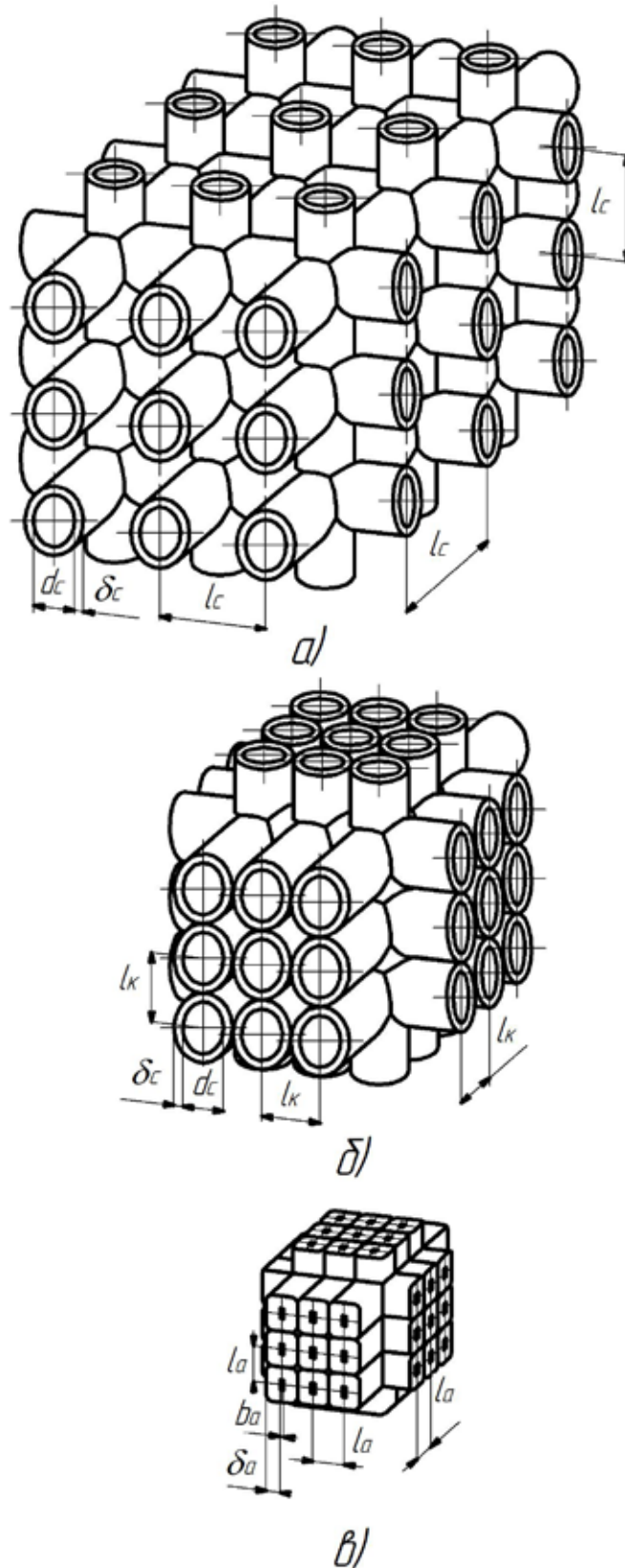


Рисунок 2 — Схемы структуры твердой фазы отходов на этапах удаления из них свободной (а), капиллярно-связанной (б) и адсорбционно-связанной (в) жидкости

фазы отходов (рисунок 2), а также отверстия в стенке пуансона 10 (рисунок 1); $\rho_{ж}$ — плотность жидкой фазы

отходов в момент времени $F_{мз\Sigma}(t) = F_{мз\Sigma\min}$ [1]; $\dot{z}_{ж} = \dot{y}_{ж}$ — соответствующие скорости перемещения жидкой фазы относительно вертикальной оси z и горизонтальной оси y [1]; H_m — исходная высота порции отходов.

В связи с тем, что по мере удаления жидкости из пресс-формы размеры полостей в структуре твердой фазы уменьшаются от l_c до l_k (рисунок 2, а, б) и возрастают потери $\Delta p_{мзв}$, $\Delta p_{мзг}$ для предотвращения падения производительности обезвоживания необходимо обеспечить соответствующее увеличение p_c от $p_{c,\min}$ до минимального капиллярного давления $p_{k,\min}$ [9]

$$p_{k,\min} = \frac{4 \cdot \sigma_{ж}}{d_c}, \quad (3)$$

где $\sigma_{ж}$ — поверхностное натяжение между газовой и жидкой фазами отходов [9].

Значение p_c зависит в первую очередь от максимального давления p_1 в гидросистеме ГИП [1] установки (рисунок 1), которое можно бесступенчато и с высокой точностью изменять по ходу реализации рабочего процесса обезвоживания. Тогда условие для определения p_c на первом этапе виброударного обезвоживания, при удалении из порции отходов основной части свободной жидкости можно записать как

$$p_{c,\min} \leq p_c \leq p_{k,\min}. \quad (4)$$

По найденным значениям p_c с помощью формул [1] можно рассчитать соответствующие необходимые повышения p_1 .

Условие, по которому определяется длительность t_{I} первого этапа имеет вид

$$\Sigma W_{\text{OI}} \geq \left[(l_c - d_c)^2 d_c + (l_c - d_c) d_c^2 \right] \frac{S_{\text{M}} H_{\text{M}}}{l^3}, \quad (5)$$

где ΣW_{OI} — суммарный объем жидкой фазы, вытекающей из пресс-формы на рассматриваемом этапе [1]. Данный объем для первого, второго и третьего этапов обезвоживания рассчитываем как

$$\Sigma W_{\text{OI,II,III}} = \sum_{i=1}^{k_1} W_{\text{O},i} + \sum_{i=k_1+1}^{k_2} W_{\text{O},i} + \dots + \sum_{i=k_{n-1}}^{k_n} W_{\text{O},i} \quad (6)$$

где $W_{\text{O},i}$ — объем жидкости, удаляемой в течении i -го цикла обезвоживания [1]; k_1, k_2, \dots, k_n — число циклов виброударной нагрузки длительностью $T_{\text{II}1}, T_{\text{II}2}, \dots, T_{\text{II}n}$, реализованных при соответствующих возрастающих значениях $p_1; p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1n}$; n — число стадий изменения p_1 .

Длительность первого, второго и третьего этапов находим как

$$t_{\text{I,II,III}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{II},i} k_i. \quad (7)$$

Условие для определения p_k на втором этапе обезвоживания, при удалении капиллярно-связанной жидкости может быть представлено как

$$p_{k,\min} \leq p_k \leq p_{k,\max} = 4 \cdot \sigma_{ж} / d_a. \quad (8)$$

Соответствующие требуемые значения $F_{\text{мз}\Sigma}$, по которым впоследствии по формулам [1] рассчитываются $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1n}$ для второго этапа определяем таким образом

$$F_{\text{мз}\Sigma} = p_k S_{\text{M}}. \quad (9)$$

На рассматриваемом втором этапе обезвоживания необходимо удалить объем жидкости (рисунок 2, б, в)

$$\Sigma W_{\text{OII}} \geq \left[\frac{5}{6} l_k^3 + \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} (d_c + 6 \cdot \delta_c) \right] \frac{H_{\text{M}} S_{\text{M}} - \Sigma W_{\text{OI}}}{l_k^3}. \quad (10)$$

Для распределения ΣW_{OII} по циклам виброударной нагрузки и нахождения соответствующей длительности t_{OII} второго этапа используем формулы (6, 7).

В работе [9] приводится формула для расчета энергии связи адсорбционно-связанной воды

$$A = R \cdot T \cdot \ln 4, \quad (11)$$

в которой R — универсальная газовая постоянная, T — абсолютная температура воды.

В работе [1] содержатся уравнения балансов энергии для вибропресса с ГИП при обезвоживании на нем отходов пищевых производств, с помощью которых, в зависимости от конструктивных и рабочих параметров вибропресса можно определить энергию $E_{\text{O,II}}$, расходуемую на обезвоживание. Приравняв $E_{\text{O,II}}$ к A , вычисленную по формуле (11), получим зависимость для расчета минимально необходимого давления $p_{\text{a,min}}$ в среде отходов для удаления из них адсорбционно-связанной жидкости.

В соответствии с данными проведенных нами экспериментальных исследований [1, 2] конечная влажность $U_{\text{к3}}$ трех указанных выше отходов пищевых производств составляет не менее 20—25%. В основном это химически связанная жидкость, удалить которую с использованием только механических способов обезвоживания не представляется возможным [9]. Кроме того, в структуре обрабатываемой порции остается незначительное количество адсорбционно связанной, капиллярно связанной и даже свободной жидкой фазы (рисунок 2, в), удаление которой требует значительных энергозатрат, а потому нецелесообразно.

С учетом вышеизложенного, объем ΣW_{OIII} жидкости, удаляемой на третьем этапе можно найти из условия

$$\Sigma W_{\text{OIII}} \geq \frac{\rho_{\text{M}} H_{\text{M}} S_{\text{M}} (U_{\text{н}} - U_{\text{к3}})}{\rho_{\text{ж}} 100} - (\Sigma W_{\text{OI}} + \Sigma W_{\text{OII}}), \quad (12)$$

где ρ_{M} — первоначальная плотность обезвоживаемых отходов.

Далее с использованием формул (6, 7) рассчитываем параметры нагрузки на третьем этапе обезвоживания и его длительность t_{OIII} .

С помощью приведенных выше формул процессы виброударного обезвоживания могут быть существенно рационализированы с обеспечением их более высокой экономической эффективности.

Выводы

1. Предложенная схема установки для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств имеет по сравнению с разработанным ранее технологическим комплексом аналогичного назначения меньшую материалоемкость при соответствующей обеспечиваемой конечной влажности отходов (22–25%) и более высокой производительности.

2. Для повышения энергетической эффективности процессов и оборудования для виброударного обезвоживания предлагается осуществлять их поэтапно с подведением минимально необходимой энергии для последовательного удаления из отходов свободной, капиллярно связанной и адсорбционно связанной жидкости. Приводятся формулы для расчета оптимального повышения давления в среде отходов с целью их указанного поэтапного обезвоживания, а также для определения длительности каждого этапа и объема удаленной в ходе его реализации жидкой фазы.

Литература

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

2. 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. — №4/4 (24). — С. 41—46.

3. Соколов, А.Я. Прессы пищевых и кормовых производств [Текст] / Соколов А. Я. — М.: Машиностроение, 1973. — 288 с.

4. Лимонов, Г.Е. Научные основы интенсификации и оптимизации тепломассообменных процессов мясной промышленности с использованием вибрации: дис... доктора техн. наук: 05.18.12 [Текст] / Лимонов Генрих Евсеевич — М., 1990. — 359 с.

5. Унгуриян, М.А. Интенсификация процесса обезвоживания и брикетирования свекловичного жома: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 [Текст] / Унгуриян Мирча Алексеевич. — М., 1983. — 217 с.

6. Урьев, И.Б. Физико-химические основы интенсификации технологических процессов в дисперсных системах [Текст] / Урьев И. Б. — М.: Знание, 1980. — 64 с.

7. Яковлев, С.В. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод [Текст] / С.В. Яковлев, Л.С. Волков, Ю.В. Воронов, В.Л. Волков. — М.: Химия, 1999. — 448 с.

8. Аткинсон, Б. Биохимические реакторы [Текст] / Б. Аткинсон. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 280 с.

9. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки [Текст] / А.В. Лыков. — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1956. — 464 с.

10. Гончаревич, И.Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности [Текст] / И. Ф. Гончаревич, И. Б. Урьев, М. А. Талейник. — М.: Пищевая промышленность, 1977. — 279 с.

11. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы [Текст] / Т.М. Башта, Б.Б. Некрасов. — М.: Машиностроение, 1982. — 423 с.

References

1. Sevostyanov, I. V. (2013) Protsessy i oborudovanie dlia vibroudarnogo razdeleniya pishchevykh otkhodov. Monografiya. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 417.

2. Sevostianov I. V. (2015) Ustanovka dlia vibroudarnogo obezvozhivaniia otkhodov pishchevykh proizvodstv v press-forme // Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva, №4/4 (24). — S/ 41—46.

3. Sokolov, A. Ja. (1973) Pressy pishchevykh i kormovykh proizvodstv. — М.: Mashinostroenie. — 288 s.

4. Limonov, G. E. (1990) Nauchnye osnovy intensifikatsii i optimizatsii teplomassoobmennyykh protsessov miasnoi promyshlennosti s ispolzovaniem vibratsii: dis... doktora tehn. nauk: 05.18.12. М., 359.

5. Ungurjan, M. A. (1983) Intensifikatsiya protsessa obezvozhivaniya i briketirovaniya sveklovichnogo zhoma: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.18.12. М., 217.

6. Uriev, I. B. (1980) Fiziko-himicheskie osnovy intensifikatsii tekhnologicheskikh protsessov v dispersnykh sistemakh. М.: Znanie. — 64 s.

7. Jakovlev, S. V. (1999) Obrabotka i utilizatsiya osadkov proizvodstvennykh stochnykh vod. — М.: Khimiya. — 448 s.

8. Atkinson, B. (1979) Biohimicheskie reaktory. — М.: Pishchevaya promyshlennost. — 280 s.

9. Lykov, A. V. (1956) Teplo- i massoobmen v protsessakh sushki. М.-Л.: Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo. — 464 s.

10. Goncharevich, I. F. (1977) Vibratsionnaya tekhnika v pishchevoi promyshlennosti. — М.: Pishhevaya promyshlennost. — 279 s.

11. Bashta, T. M. (1982) Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody. — М.: Mashinostroenie. — 423 s.

Надійшла 26.08.2015 року

Підвищення енергетичної ефективності віброударного зневоднення відходів харчових виробництв

І.В. Севостьянов

Наведено схему установки для високоефективного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв, що має в порівнянні з іншим обладнанням аналогічного призначення меншу матеріалоемність й забезпечує істотне скорочення допоміжного часу при досягненні адекватної кінцевої вологості (22–25%) відходів, що зневоднюються. Для підвищення енергетичної ефективності процесів віброударного зневоднення пропонується здійснювати їх поетапно з послідовним видаленням вільної, капілярно-зв'язаної й адсорбційно-зв'язаної рідини. Наводяться схеми структури твердої фази відходів на початку кожного із зазначених етапів зневоднення, а також формули для розрахунку оптимального тиску, який необхідно створити в середовищі відходів у ході реалізації етапів для руйнування відповідного зв'язку між фазами. Пропонуються залежності для визначення тривалості етапів віброударного зневоднення й об'ємів рідкої фази, що видаляється на кожному з них. За допомогою даних формул і залежностей можуть бути розраховані раціональні параметри навантаження відходів при їх віброударному зневодненні, що забезпечують при мінімальних витратах часу й енергії досить повне видалення рідини.

Ключові слова: віброударне зневоднення, відходи харчових виробництв, віброударне навантаження, енергетична ефективність.

Increase of power efficiency of vibro-blowing dehydration of food manufactures waste

I.V. Sevostyanov

The scheme of installation for highly effective vibro-blowing dehydration of a of the food manufactures waste is presented in this article. In comparison with other equipment of similar appointment this installation have smaller consumption of materials and providing essential reduction of auxiliary time with achievement of adequate final humidity of dehydrated waste (22–25 %). For increase of power efficiency of processes vibro-blowing dehydration it is offered to carry out them stage by stage with consecutive removal of the free, capillary-connected and adsorbition-connected liquid. Structural schemes of a waste firm phase in the beginning of each of the specified stages of dehydration, and also the formula for calculation of optimum pressure which is necessary for creating in the environment of a waste during realization of stages for destruction of corresponding communication between phases are resulted. Dependences for definition of duration of stages vibro-blowing dehydration and deleted volumes of liquid on each phase are offered. By means of the given formulas and dependences rational parameters of waste loading for their vibro-blowing dehydration can be calculated, providing at the minimum expenses of time and energy full enough removal of a liquid.

Keywords: vibro-blowing dehydration, food manufactures waste, vibro-blowing loading, power efficiency.