

выбросами при низкой стимуляции решения этих вопросов. Одна из причин — отсутствие экономически обоснованных технологических схем. Предложенная схема утилизации выбросов предполагает предварительную обработку свекловичной стружки отработанными газами из аппаратов сатурации и сульфитации.

**Ключевые слова:** выбросы, сахарный завод, агрессивные газы, технологическая схема.

*Пономаренко Віталій Васильович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, **e-mail:** [vponomarenkov@ukr.net](mailto:vponomarenkov@ukr.net).

*Пушанко Наталія Миколаївна*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології цукру та підготовки води, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, **e-mail:** [oks-n@ukr.net](mailto:oks-n@ukr.net).

*Пушанко Микола Миколайович*, доктор технічних наук, професор, кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій, Київ, Україна, **e-mail:** [npychankon@i.ua](mailto:npychankon@i.ua).

*Пономаренко Віталій Васильевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

*Пушанко Наталья Николаевна*, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии сахара и подготовки воды, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

*Пушанко Николай Николаевич*, доктор технических наук, профессор, кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

*Ponomarenko Vitaly*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, **e-mail:** [vponomarenkov@ukr.net](mailto:vponomarenkov@ukr.net).

*Pushanko Natalia*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, **e-mail:** [oks-n@ukr.net](mailto:oks-n@ukr.net).

*Pushanko Nicholas*, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, **e-mail:** [npychankon@i.ua](mailto:npychankon@i.ua).

УДК 66.066

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47694

**Севостьянов И. В.,  
Слабкий А. В.,  
Полищук А. В.,  
Ольшевский А. И.**

## УСТАНОВКА ДЛЯ ВИБРОУДАРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ПРЕСС-ФОРМЕ

В статье приводится схема высокоэффективной установки с гидроимпульсным поводом для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, кофейного и ячменного шлама) в пресс-форме закрытого типа. Приведено также сравнение экономической эффективности предлагаемой установки с эффективностью другого известного оборудования для обезвоживания отходов пищевых производств.

**Ключевые слова:** виброударное обезвоживание, отходы пищевых производств, пресс-форма, экономическая эффективность.

### 1. Введение

Проблема утилизации отходов пищевых производств (спиртовой барды, пивной дробины, свекольного жома, кофейного и ячменного шлама) является одной из наиболее актуальных в Украине, поскольку на данный момент большая часть данных отходов выливается на грунт, что приводит к загрязнению окружающей среды. Однако в случае обезвоживания отходов они могут успешно использоваться в качестве добавки к сельскохозяйственным кормам, либо как высококалорийное топливо [1], таким образом, комплексно решаются проблемы утилизации отходов, повышения эффективности производства и защиты окружающей среды.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящий момент известно достаточно большое количество способов обезвоживания отходов пищевых производств и оборудования для их реализации, каждый из которых имеет свои недостатки [1]. Разработке и исследованию данных способов и оборудования посвящено значительное число научных работ [2–13]. Механические способы обезвоживания осуществляются

в основном на шнековых и ленточных прессах, а также на декантерных центрифугах [2–4], иногда с наложением вибрационных воздействий для интенсификации [5, 6] и обеспечивают конечную влажность спиртовой барды, свекольного жома и пивной дробины в пределах 30–76 % (меньшее значение достигается при существенном снижении производительности рабочего процесса и увеличения его энергоемкости). Последнее вынуждает после предварительного механического обезвоживания отходов подвергать их дополнительной сушке, что обуславливает существенное увеличение общей энергоемкости процесса утилизации (до 740–760 кВт·ч/т [7, 8, 11]), даже в случае использования наиболее экономичных вакуумных сушилок. Термические способы, реализуемые на тех же сушилках являются наиболее энергоемкими. Электролитическое обезвоживание [10] сравнительно малопродуктивно (используется в основном для осветления небольших объемов соков) и требует достаточно больших затрат энергии. Аналогичные недостатки имеют химические и биологические способы (длительность разделения твердой и жидкой фаз порции отходов в биологических реакторах может составлять 10–40 ч), тогда как оборудование для их осуществления является чрезвычайно громоздким и дорогим [12, 13]. Таким образом, проблема разработки высокоэффективных способа

и оборудования для обезвоживания отходов пищевых производств остается достаточно актуальной.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования является предлагаемый авторами статьи способ виброударного обезвоживания отходов пищевых производств на оборудовании с гидрорезонансным приводом (ГИР) [1], использование которых обеспечивает конечную влажность указанных выше отходов не выше 20–25 %, при производительности 30–60 т обезвоженных отходов в сутки и средней энергоемкости рабочих процессов 90 кВт·ч/т. Однако для достижения данных параметров виброударного обезвоживания одним из авторов статьи ранее предлагалось делить его на несколько стадий, каждую из которых осуществлять на отдельной единице оборудования [14]. Последнее обуславливает существенное увеличение капитальных затрат на утилизацию отходов и негативно сказывается на общей эффективности предлагаемого способа.

Целью статьи является разработка схемы установки с ГИР для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств, обеспечивающей указанные выше в данном пункте параметры экономической эффективности.

Для достижения сформулированной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать схему установки с ГИР для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов, описать ее конструкцию и цикл работы.
2. Составить зависимости для определения производительности и энергоемкости обезвоживания на рассматриваемой установке отходов пищевых производств.
3. С помощью экспериментов на стенде-прототипе установки, а также расчетов по полученным зависимостям определить параметры эффективности установки и сравнить их с соответствующими параметрами известного оборудования.

### 4. Принципы разработки схемы установки и методики оценки экономической эффективности ее использования

Разработка схемы установки для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств осуществлялась в соответствии со сформулированной выше целью работы — обеспечение реализации на единице оборудования трех последовательных стадий виброударного обезвоживания, с увеличением от стадии к стадии интенсивности нагрузки отходов. Последнее, в соответствии с результатами проведенных авторами статьи экспериментов и теоретических обоснований, позволит максимально повысить эффективность рабочих процессов [1] и достичь указанных выше показателей. Кроме того, использовался опыт разработки схем оборудования аналогичного назначения, основные конструктивные решения которого были проверены практически с помощью экспериментального стенда-прототипа, созданного на базе инерционного вибропресс-молота с ГИР модели ИВПМ-16 [15].

Для определения основных параметров эффективности установки (производительности, энергоемкости и обеспечиваемой конечной влажности обрабатываемых отходов) использовались формулы и подходы, сфор-

мулированные одним из авторов статьи в работе [1], а также известные универсальные методики по расчету экономической эффективности промышленного оборудования [16].

### 5. Разработка схемы установки для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств и определение ее экономической эффективности

На рис. 1 представлена разработанная авторами статьи схема установки с ГИР для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств.

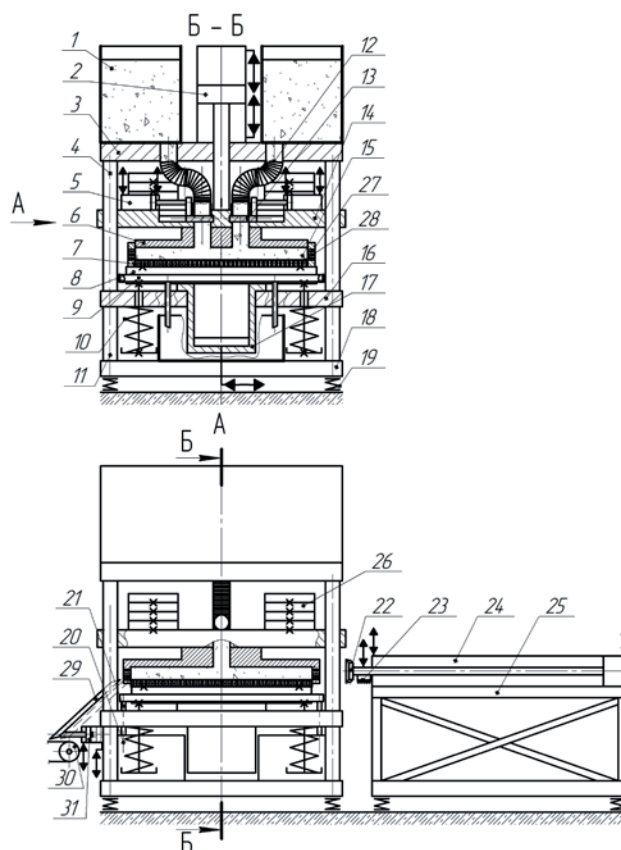


Рис. 1. Схема установки с ГИР для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств

Установка включает станину, которая состоит из верхней 3, средней 16 и нижней 18 поперечин, соединенных колоннами 4, 11. Станина базируется на виброопорах 19. На верхней поперечине 3 станины смонтированы два бака 1, в которые сверху или сбоку по трубам (на схеме не показаны) с основного производства периодически подаются обезвоживаемые отходы. Баки 1 через отверстия в верхней поперечине 3, два гибких гофрированных рукава 12 и отверстия в подвижной траверсе 14 и в пуансоне 6 связаны с пресс-формой 7, закрепленной на вибростоле 8. Отверстия в подвижной траверсе 14 перекрываются заслонками 13, взаимодействующими через кронштейны со штоками двух гидроцилиндров 5, установленными на верхней поверхности траверсы. На этой же поверхности закреплены инерционные массы 26. На поперечине 3 смонтирован вспомогательный гидроцилиндр 2, шток которого связан

с подвижной траверсой 14. Вибростол 8 соединяется с плунжером гидроцилиндра 17 ГИП и подпружинен относительно поперечины 16 пружинами 10.

По периметру вибростола 8 приварен желоб 9, от которого гибкие трубки 21 отходят в баки 20, установленные на поперечине 18. В боковых стенках и днище пресс-формы 7, а также в боковых стенках пуансона 6 выполнено большое количество мелких отверстий 27, закрытых изнутри металлической фильтровальной сеткой 28. Сбоку от установки на отдельной станине 25, оснащенной виброопорами, смонтирован гидроцилиндр 24, к штоку которого прикреплен блок гидрантов 23 и резинометаллический скребок 22. На одной из колонн 11 зафиксирован гидроцилиндр 31, со штоком которого связан лоток 29. Под лотком 29 располагается ленточный конвейер 30.

Работает установка следующим образом. Отходы пищевого производства с первоначальной влажностью  $U_{п1} = 95-97\%$  накапливаются в баках 1. В начале рабочего цикла установки ее ГИП (на схеме не показан) выключен и плунжер гидроцилиндра 17, вибростол 8 и пресс-форма 7 находятся в исходном нижнем положении (вибростол прижимается пружинами 10 к бурту корпуса гидроцилиндра 17). Штоки гидроцилиндров 5 полностью выдвинуты, вследствие чего, связанные с ними заслонки 13 перекрывают отверстия в траверсе 14. С помощью вспомогательного гидропривода (на схеме не показан) траверса 14 с инерционными массами 26 и пуансоном 6 устанавливаются в положении, показанном на схеме, при этом пуансон 6 перекрывает верхнее сечение пресс-формы 7. Далее поршни гидроцилиндров 5 с заслонками 13 расходятся в противоположные стороны до упора в бурты траверсы 14, в результате отходы с баков 1 по рукавам 12 и через отверстия в траверсе 14 и в пуансоне 6 поступают самотеком в пресс-форму 7, заполняя ее доверху. При этом воздух из пресс-формы вытесняется через сетку 28 и отверстия 27. Далее штоки гидроцилиндров 5 вновь полностью выдвигаются и заслонки 13 перекрывают отверстия в траверсе 14.

Включается ГИП, обеспечивающий периодическое изменение давления рабочей жидкости в полости гидроцилиндра 17 от  $p_2 = 4$  МПа до  $p_1 = 12$  МПа. В результате на этапах увеличения давления плунжер гидроцилиндра 17 и вместе с ним вибростол 8 с пресс-формой 7 и порцией отходов 15 смещаются вверх, при этом сжимаются пружины 10, а на этапах падения давления вибростол с пресс-формой и отходами под действием собственной силы тяжести и сжатых пружин 10 опускаются в исходное положение с ударом вибростола в конце холостого хода об борт корпуса гидроцилиндра 17. Таким образом, указанные элементы осуществляют вертикальные возвратно-поступательные перемещения с частотой до 60 Гц и амплитудой 0,5–1 мм. Порция отходов 15 в пресс-форме 7 на данной первой стадии технологического процесса обезвоживания подвергается предварительной виброударной нагрузке с обеспечением периодического подпрессовывающего воздействия со стороны пуансона 6, в конце каждого рабочего хода вибростола 8. При этом отжатая из порции отходов 15 жидкая фаза отходов вытекает через ячейки сетки 28 и отверстия 27 в желоб 9, а далее по трубкам 21 идет в баки 20, откуда направляется на очистку и возвращается на производство [1] либо сливается в канализацию.

С помощью стенда-прототипа рассматриваемой установки, созданного на базе вибропресса ИВПМ-16 [15] авторами были проведены эксперименты по предварительному виброударному обезвоживанию в соответствии с описанной выше последовательностью спиртовой барды, свекольного жома и кофейного шлама с  $U_{п1} = 95\%$ . Минимальная конечная влажность указанных отходов после 13–15 с предварительного обезвоживания составляла  $U_{к1} = 85-87\%$ .

По завершению первой стадии виброударного обезвоживания отходов на предлагаемой установке (рис. 1) ГИП отключается. Запускается вспомогательный гидропривод гидроцилиндра 2, обеспечивающий опускание поршня последнего, а также траверсы 14 с инерционными массами 26 и пуансоном 6. При этом порция отходов 15 в пресс-форме 7 сжимается усилием, создаваемом на пуансоне 6 давлением рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра 2 и весом инерционных масс 26. Реализуется вторая стадия технологического процесса обезвоживания отходов — стадия статического пресования длительностью до 10 с. После осуществления данной стадии на стенде-прототипе установки (см. выше) конечная влажность спиртовой барды, свекольного жома и кофейного шлама составляла порядка  $U_{к2} = 76-78\%$ .

На третьей стадии обезвоживания отходов при включенном вспомогательном гидроприводе установки (рис. 1), обеспечивающим статический прижим пуансона 6 к порции отходов 15, вновь запускается ГИП. При вертикальных возвратно-поступательных перемещениях плунжера гидроцилиндра 17, вибростола 8, пресс-формы 7 с отходами 15, пуансона 6, траверсы 14 с массами 26, штока и поршня вспомогательного гидроцилиндра 2 с частотой до 60 Гц и амплитудой до 2,5 мм реализуется наиболее интенсивный режим виброударной нагрузки отходов длительностью 28–30 с.

Минимальная конечная влажность порций трех указанных выше видов отходов после осуществления их окончательного обезвоживания на стенде-прототипе (третьей стадии), согласно полученным авторами результатам, не превышала  $U_{к3} = 22-25\%$ , что соответствует цели работы.

После завершения описанного процесса обезвоживания порции отходов в пресс-форме закрытого типа на установке (рис. 1) ГИП последней выключается. Подвижная траверса 14 с пуансоном 6 и массами 26 поднимаются вверх до точки, в которой нижнее сечение пуансона 6 (вид А, рис. 1) будет находиться на одном уровне с верхним сечением пресс-формы 7 (разрез Б–Б, рис. 1). С помощью гидроцилиндра 31 к кромке днища пресс-формы 7 до упора в нее подводится лоток 29. Включается гидропривод гидроцилиндра 24, шток которого полностью выдвигается, при этом перемещающийся вместе с ним скребок 22 срезает порцию 15 обезвоженных отходов с поверхности пресс-формы 7 и сбрасывает ее на лоток 29. По лотку порция соскальзывает на ленточный конвейер, подающий обезвоженные отходы в бункер-накопитель (на схеме не показан). При обратном перемещении штока гидроцилиндра 24 через связанный с ним блок гидрантов 23 под большим напором подается вода, промывающая фильтровальную сетку 27, закрепленную на днище пресс-формы 7 и отверстия в нем от налипших твердых частиц отходов. Одновременно с этим траверса 14 с инерционными массами 26 и пуансоном 6 опускается в первоначальное, показанное на схеме положение. С использованием гидроцилиндров 5

открываются заслонки 13 и следующая порция отходов с баков 1 заполняет пресс-форму 7, после чего весь описанный выше цикл трехстадийного виброударного обезвоживания повторяется.

Для повышения эффективности эксплуатации предлагаемого оборудования целесообразно одновременно использовать на одном и том же самом предприятии не меньше двух таких установок. В этом случае они могут иметь только один общий ГИП, подключенный через четырехлинейный двухпозиционный гидрораспределитель с электромагнитным управлением [17] к полостям гидроцилиндров 17 установок. Тогда при соединении через гидрораспределитель со сливом гидроцилиндра 17 первой установки на ней может быть реализован этап очистки, промывания и заполнения отходами пресс-формы 7. Одновременно на второй установке, гидроцилиндр 17 которой подключен через гидрораспределитель к ГИП, осуществляется обезвоживание в пресс-форме 7 порции отходов. По завершению последнего гидрораспределитель переключается в другую позицию, обеспечивая присоединение ГИП к первой установке и обезвоживание на ней порции отходов, тогда как на второй установке, вследствие соединения со сливом ее гидроцилиндра 17 идет очистка, промывание и повторное заполнение пресс-формы 7. Для управления комплексом может использоваться электроавтоматика и компьютер.

Производительность  $\Pi_0$  по обезвоживаемым отходам для такого технологического комплекса, включающего две аналогичные установки (рис. 1) с одним ГИП можно определить по формуле:

$$\Pi_0 = \frac{S_{п.ф} H_0 \rho_0}{t_1 + t_2 + t_3} t_{см} n_{см}, \quad (1)$$

где  $S_{п.ф}$  — площадь днища пресс-формы;  $H_0$  — первоначальная толщина слоя отходов в пресс-форме;  $\rho_0$  — начальная плотность отходов;  $t_1, t_2, t_3$  — длительность первой, второй и третьей стадий обезвоживания отходов;  $t_{см}$  — средняя длительность непрерывной работы установок в течении одной рабочей смены;  $n_{см}$  — количество рабочих смен в течении суток.

Энергоемкость обезвоживания отходов на предлагаемом комплексе:

$$\Theta_0 = \frac{\left[ \begin{aligned} &N_{в1}(2t_{п1} + 2t_{п2}) + \\ &+ N_{в2}(2t_2 + 2t_3 + t_{п3} + t_{п9}) + \\ &+ 2 \cdot N_{ГИП}(t_1 + t_3) + \\ &+ N_{в3}(t_{п4} + t_{п6}) + \\ &+ N_{в4}(t_{п5} + t_{п7}) + N_{в5}t_{п8} \end{aligned} \right]}{2S_{п.ф} H_0 \rho_0 (U_{п} - U_{к3})}, \quad (2)$$

где  $t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}, t_{п4}, t_{п5}, t_{п6}, t_{п7}, t_{п8}, t_{п9}$  — соответственно длительность перемещения поршней гидроцилиндров 5 установок комплекса (рис. 1) для открывания и закрывания заслонок 13 перед, перемещения вверх поршня гидроцилиндра 2 с траверсой 14 и пуансоном 6 после завершения обезвоживания, перемещения поршня гидроцилиндра 31 с лотком 29 для подведения последнего к пресс-форме, перемещения влево по схеме поршня гидроцилиндра 24 со скребком 22 для удаления обезвоженной порции отходов, перемещения поршня гидроцилиндра 31 с лотком 29 влево, перемещения поршня

гидроцилиндра 24 со скребком 22 вправо в исходное положение, длительность работы насоса подачи воды через блок гидрантов 23 для промывания пресс-формы 7, длительность опускания поршня гидроцилиндра 2 с траверсой 14 и пуансоном 6 в исходное положение;  $N_{в1}, N_{в2}, N_{в3}, N_{в4}, N_{в5}$  — мощности насосных станций вспомогательных приводов, соответственно гидроцилиндров 5, 2, 31, 24, насоса блока гидрантов 23;  $N_{ГИП}$  — мощность насосной станции ГИП.

Коэффициенты 2 в числителе формулы (2) указывают на то, что в течении одного цикла работы комплекса в процессе реализации на одной установке трех стадий обезвоживания порции отходов, на второй установке одновременно происходит очистка и промывание пресс-формы, а также заполнение ее следующей порцией отходов. Таким образом, в течение одного рабочего цикла комплекса на нем осуществляется обезвоживание двух порций отходов, что учитывает коэффициент 2 в знаменателе формулы (2).

Мощности  $N_{ГИП}, N_{в2}$  рассчитываем по формулам [1, 15]:

$$N_{ГИП} = Q_{н.ГИП} p_1 \frac{1 - p_2/p_1}{\eta_{э.ГИП} \eta_{н.ГИП} \eta_{м.ГИП}};$$

$$N_{в2} = \frac{Q_{н.в2} p_{в2}}{\eta_{э.в2} \cdot \eta_{н.в2} \cdot \eta_{м.в2}}, \quad (3)$$

где  $Q_{н.ГИП}, Q_{н.в2}$  — номинальные подачи насосов станций ГИП и вспомогательного гидропривода;  $\eta_{э.ГИП}, \eta_{э.в2}, \eta_{н.ГИП}, \eta_{н.в2}, \eta_{м.ГИП}, \eta_{м.в2}$  — КПД электродвигателей, насосов и муфт рассматриваемых приводов.

Мощности  $N_{в1}, N_{в3}, N_{в4}, N_{в5}$  находим по зависимостям:

$$N_{в1} = \frac{Q_{н.в1} p_{в1}}{\eta_{э.в1} \cdot \eta_{н.в1} \cdot \eta_{м.в1}} = \frac{(S_{ш5} t_{п1} + S_{ш5} t_{п2}) \cdot l_{х5} p_{в1}}{\eta_{э.в1} \cdot \eta_{н.в1} \cdot \eta_{м.в1}};$$

$$N_{в3} = \frac{Q_{н.в3} p_{в3}}{\eta_{э.в3} \cdot \eta_{н.в3} \cdot \eta_{м.в3}} = \frac{(S_{ш31} t_{п4} + S_{ш31} t_{п6}) \cdot l_{х31} p_{в3}}{\eta_{э.в3} \cdot \eta_{н.в3} \cdot \eta_{м.в3}};$$

$$N_{в4} = \frac{Q_{н.в4} p_{в4}}{\eta_{э.в4} \cdot \eta_{н.в4} \cdot \eta_{м.в4}} = \frac{(S_{ш24} t_{п5} + S_{ш24} t_{п7}) \cdot l_{х24} p_{в4}}{\eta_{э.в4} \cdot \eta_{н.в4} \cdot \eta_{м.в4}};$$

$$N_{в5} = \frac{Q_{н.в5} p_{в5}}{\eta_{э.в5} \cdot \eta_{н.в5} \cdot \eta_{м.в5}}, \quad (4)$$

где  $Q_{н.в1}, Q_{н.в3}, Q_{н.в4}, Q_{н.в5}$  — номинальные подачи насосов рассматриваемых станций;  $p_{в1}, p_{в3}, p_{в4}, p_{в5}$  — номинальные давления в нагнетательных гидролиниях станций, определяемые исходя из значений усилий, которые необходимо создать на соответствующих исполнительных элементах;  $\eta_{э.в1}, \eta_{э.в3}, \eta_{э.в4}, \eta_{э.в5}, \eta_{н.в1}, \eta_{н.в3}, \eta_{н.в4}, \eta_{н.в5}, \eta_{м.в1}, \eta_{м.в3}, \eta_{м.в4}, \eta_{м.в5}$  — КПД электродвигателей, насосов и муфт рассматриваемых приводов;  $S_{ш5}, S_{ш31}, S_{ш24}, S_{ш5}, S_{ш31}, S_{ш24}$  — площади поршней со стороны штоковой и поршневой полостей гидроцилиндров 5, 31, 24;  $l_{х5}, l_{х31}, l_{х24}$  — ход поршней гидроцилиндров 5, 31, 24.

При определении промежутков времени  $t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}, t_{п4}, t_{п5}, t_{п6}, t_{п7}, t_{п8}, t_{п9}$  следует обеспечить выполнение условия:

$$t_{п1} + t_{п2} + t_{п3} + t_{п4} + t_{п5} + t_{п6} + t_{п7} + t_{п9} \leq t_1 + t_2 + t_3. \quad (5)$$



Рассчитаем параметры эффективности предлагаемой установки при обезвоживании на ней порций кофейного шлама, плотность  $\rho_0$  которого, также как и некоторые конструктивные параметры установки, определяем по [1, 15]. По формуле (1) находим суточную производительность обезвоживания:

$$P_0 = \frac{1,3^2 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot 3600}{13 + 10 + 28} \cdot 8 \cdot 3 = 571466 \text{ кг} = 571,5 \text{ т},$$

что на порядок больше производительности технологического комплекса из четырех отдельных единиц оборудования для виброударного обезвоживания.

По формулам (3, 4) с учетом условия (5) рассчитываем мощности электродвигателей установок:

$$N_{\text{ГИП}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^6 \frac{1 - 4 \cdot 10^6 / 12 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,85 \cdot 0,98} = 12203,5 \text{ Вт};$$

$$N_{\text{в2}} = \frac{0,67 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 1907 \text{ Вт};$$

$$N_{\text{в1}} = \frac{(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2) \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 157 \text{ Вт};$$

$$N_{\text{в3}} = \frac{(7,85 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 5,9 \cdot 10^{-5} \cdot 1) \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 19,65 \text{ Вт};$$

$$N_{\text{в4}} = \frac{(1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot 10) \cdot 1,6 \cdot 0,25 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 9154,2 \text{ Вт};$$

$$N_{\text{в5}} = \frac{7,7 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^6}{0,87 \cdot 0,82 \cdot 0,98} = 1101 \text{ Вт}.$$

Тогда энергоемкость обезвоживания по формуле (2) составит:

$$\mathcal{E}_0 = \left[ \begin{array}{l} 0,16 \cdot (2 \cdot 2 + 2 \cdot 2) + \\ + 1,9 \cdot (2 \cdot 10 + 2 \cdot 28 + 1 + 1) + \\ + 2 \cdot 12,2 \cdot (13 + 28) + \\ + 0,02 \cdot (1 + 1) + \\ + 9,2(10 + 10) + 1,1 \cdot 8 \end{array} \right] \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 0,2 \cdot 998 \cdot (0,95 - 0,22) = 2,71 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т},$$

что значительно меньше 90 кВт·ч/т — энергоемкости обезвоживания аналогичных отходов на оборудовании [14], с которым авторы статьи сравнивают предлагаемый комплекс.

## 6. Обсуждение результатов разработки схемы установки для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств и определения ее экономической эффективности

При реализации обезвоживания на предлагаемой установке можно будет сократить по сравнению с разработанным одним из авторов статьи ранее технологическим комплексом [14] число стадий рабочего процесса (с 4-х

до 3-х) при обеспечении приблизительно аналогичной конечной влажности  $U_k = 20-25\%$  обрабатываемых отходов, значительно более высокой производительности (570 т отходов в сутки против 60 т) и меньшей энергоемкости (2,71 кВт·ч/т против 90 кВт·ч/т). Кроме того, существенно будет снижена общая материалоемкость и габариты оборудования комплекса (2 установки против 4-х установок), капитальные затраты на его создание и амортизационные отчисления в процессе эксплуатации, повышена надежность установок (за счет общего сокращения числа деталей и узлов), уменьшена длительность простоев оборудования в ремонтах и стоимость последних, снижено негативное воздействие (уровни шума, вибраций, общий уровень опасности) для рабочих и обслуживающего персонала. В разработанном комплексе предусмотрена возможность периодического промывания пресс-формы от налипших твердых частиц без дополнительных затрат времени (такая возможность отсутствует в предложенном ранее оборудовании [14]), в результате уменьшается продолжительность обслуживания комплекса и еще более возрастает его эффективность. Все это позволяет сделать вывод о том, что использование результатов исследования на практике обеспечит значительное повышение экономической эффективности, надежности и безопасности оборудования для обезвоживания отходов пищевых производств.

## 7. Выводы

1. Авторами были разработаны схема и описание рабочего цикла установки с ГИП для трехстадийного виброударного обезвоживания отходов пищевых производств, имеющей по сравнению с предложенным ранее одним из авторов статьи технологическим комплексом аналогичного назначения существенно меньшие габариты и материалоемкость, при более высокой надежности и безопасности для обслуживающего персонала.

2. Предложены зависимости для определения производительности и энергоемкости обезвоживания отходов на технологическом комплексе в составе двух рассматриваемых установок, а также для расчета требуемой мощности их электродвигателей. Приведенные зависимости могут найти применение в исследованиях по сопоставлению различных вариантов технологии утилизации отходов пищевых производств.

3. В соответствии с результатами экспериментов на стенде-прототипе и расчетов по предложенным зависимостям установлено, что по сравнению с известными машинами для механического обезвоживания разработанная установка обеспечит на 10–60 % более низкую конечную влажность отходов, по сравнению с оборудованием для реализации термических и электролитических способов — в 270–920 раз меньшую энергоемкость, а по сравнению с установками для химического и биологического обезвоживания — большую производительность. Сопоставление установки с предложенным ранее одним из авторов статьи комплексом для четырехстадийного обезвоживания выявило ее преимущество по производительности — в 9,5 раз, а по энергоемкости — в 33 раза, при обеспечении адекватной конечной влажности отходов.

**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. Курочкин, А. А. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств [Текст] / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Гордеев, А. И. Завражнов, Л. Л. Кожина. — М.: Колос, 2007. — 591 с.
3. Соколов, А. Я. Прессы пищевых и кормовых производств [Текст] / А. Я. Соколов. — М.: Машиностроение, 1973. — 288 с.
4. Зигелер, Г. Принципы декантерной технологии [Текст] / Г. Зигелер // Учебный материал по декантерной технологии. Изучение продукции. — Коммерческая служба отделения технологии сепарации. — 94 с.
5. Федоткин, И. М. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии [Текст] / И. М. Федоткин. — Кишнев: Штиинца, 1987. — 262 с.
6. Бабенко, Д. С. Разработка способа обезвоживания свежесквашенного жома методом прессования в поле вибрационного воздействия [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Д. С. Бабенко. — Воронеж, 2009. — 165 с.
7. Казаков, К. В. Разработка энергосберегающей технологии сушки свежесквашенного жома с исследованием параметров шнекового пресса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / К. В. Казаков. — Белгород, 2002. — 156 с.
8. Лимонов, Г. Е. Научные основы интенсификации и оптимизации тепломассообменных процессов мясной промышленности с использованием вибрации [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.12 / Г. Е. Лимонов. — М., 1990. — 359 с.
9. Рогов, И. А. Физические методы обработки пищевых производств [Текст] / И. А. Рогов, А. В. Горбатов. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 583 с.
10. Эфендиев, О. Ф. Электроочистка жидкостей в пищевой промышленности [Текст] / О. Ф. Эфендиев, В. И. Чижиков. — М.: Пищевая промышленность, 1977. — 150 с.
11. Сажин, Б. П. Основы техники сушки [Текст] / Б. П. Сажин. — М.: Химия, 1984. — 315 с.
12. Аткинсон, Б. Биохимические реакторы [Текст] / Б. Аткинсон. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 280 с.
13. Гавриленков, А. М. Экологическая безопасность пищевых производств [Текст] / А. М. Гавриленков, С. С. Зарцына. — СПб.: ГИОРД, 2006. — 272 с.
14. Севостьянов, И. В. Високоэффективні технологічні комплекси для зневоднення та фільтрування дисперсних харчових відходів [Текст] / І. В. Севостьянов // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2013. — № 3/2(11). — С. 14–19. — Режим доступу: \www/URL: <http://journals.uran.ua/targp/article/view/14968>
15. Искович-Лотоцкий, Р. Д. Основы теории розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування [Текст]: монографія / Р. Д. Искович-Лотоцкий. — Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. — 338 с.
16. Васильева, Е. В. Повышение эффективности использования оборудования предприятий пищевой промышленности [Текст] / Е. В. Васильева, Е. И. Лебедев. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 260 с.
17. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы [Текст] / Т. М. Башта, Б. Б. Некрасов. — М.: Машиностроение, 1982. — 423 с.

**УСТАНОВКА ДЛЯ ВІБРОУДАРНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ У ПРЕС-ФОРМІ**

У статті приводиться схема високоэффективної установки з гідроімпульсним приводом для віброударного зневоднення відходів харчових виробництв (спиртної барди, пивної дробини, бурякового жому, кавового та ячмінного шламу) у прес-формі закритого типу. Наведено також порівняння економічної ефективності запропонованої установки з ефективністю іншого відомого обладнання для зневоднення відходів харчових виробництв.

**Ключові слова:** віброударне зневоднення, відходи харчових виробництв, прес-форма, економічна ефективність.

*Севостьянов Иван Вячеславович, доктор технических наук, доцент, кафедра металлорежущих станков и оборудования автоматизированного производства, Винницкий национальный технический университет, Украина, e-mail: ivansev70@mail.ru.*

*Слабкий Андрей Валентинович, кандидат технических наук, кафедра металлорежущих станков и оборудования автоматизированного производства, Винницкий национальный технический университет, Украина, e-mail: slabkiyandrey@gmail.com.*

*Полищук Александр Васильевич, кандидат технических наук, кафедра менеджмента строительства и гражданской обороны, Винницкий национальный технический университет, Украина, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.*

*Ольшевский Анатолий Игоревич, аспирант, кафедра процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств им. проф. П. С. Берника, Винницкий национальный аграрный университет, Украина, e-mail: anaton\_krivo@mail.ru.*

*Севостьянов Иван Вячеславович, доктор технических наук, доцент, кафедра металлорезальных верстатов та обладнання автоматизованого виробництва, Вінницький національний технічний університет, Україна.*

*Слабкий Андрій Валентинович, кандидат технічних наук, кафедра металорезальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва, Вінницький національний технічний університет, Україна.*

*Полищук Олександр Васильович, кандидат технічних наук, кафедра менеджменту будівництва та цивільної оборони, Вінницький національний технічний університет, Україна.*

*Ольшевський Анатолій Ігорович, аспірант, кафедра процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П. С. Берника, Вінницький національний аграрний університет, Україна.*

*Sevostyanov Ivan, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: ivansev70@mail.ru.*

*Slabkiy Andriy, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: slabkiyandrey@gmail.com.*

*Polischuk Oleksandr, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.*

*Olshevsky Anatoliy, Vinnytsia National Agrarian University, Ukraine, e-mail: anaton\_krivo@mail.ru.*