Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 51-56
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.051-056

УДК 661.068

ШНЕКОВИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ФІЛЬТРАТУ ІЗ ЗЕРНОВОЇ БАРДИ

І. В. Фльонц[1], І. І. Чвартацький[1], Р. В. Шатров[2]

[1]Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут», Україна.
[2]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: flonc_igor@ukr.net, igorchvartatskiy@gmail.com, rvshatrov@outlook.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.
Бібл. 9, рис. 4, табл. 1.

Анотація. Виконано аналіз застосування сучасних шнекових сепараторів для зневоднення рідких органічних субстратів, як агропромислового комплексу, так і в інших галузях народного господарства. Запропоновано технологічну схему і розроблено конструкцію шнекового сепаратора для зневоднення спиртової зернової барди. Основною особливістю запропонованого шнеково-пресового сепаратора є двохстадійний процес зневоднення вхідного субстрату.

Рідкий розчин субстрату потрапляє у першу зону шнекового сепаратора, де крізь отвори циліндра попереднього віджиму видаляється рідка фракція – фугат, а тверда фракція - кек потрапляє в другу зону. У другій зоні попередньо віджатий кек служить фільтром тонкої очистки крізь яку під тиском проходить фугат, який виділився з першої зони і має в собі ще багато твердих речовин у рідкі фазі таких як наприклад дріжджовий осад у барді. Таким чином, фугат очищується і виходить крізь отвори циліндру остаточного віджимання.

Внаслідок проведених науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, створено новий шнековий сепаратор. Використання двоетапної системи зневоднення рідких субстратів у шнековому сепараторі дозволить значно знизити вміст сухих речовин у рідкій фазі.

Ключові слова. барда зернова, фугат, кек, шнековий сепаратор, зневоднення, фільтр, шнек.

Постановка проблеми

Сучасні шнекові сепаратори для зневоднення спиртової барди, які використовуються в технологічних процесах спиртової промисловості в своїй більшості використовують зусилля, яке передається на лопаті шнека для збільшення тиску у міжвитковому просторі витискають рідку фазу з субстрату через фільтрувальні отвори. Однак через великий діаметр цих отворів значна частина дрібних частинок, таких як дріжджовий осад, просто вимивається. Що не дозволяє повністю забезпечити видалення сухих речовин із рідкої фази.

В той же час такі методи як, декантація, фільтрування є малопродуктивні і потребують значних затрат часу і коштів. [1, 2, 3].

Аналіз останніх досліджень

Виробництво біоетанолу в світі у даний час набуває широкого розповсюдження. Це пов'язано з тим що, він використовується у якості добавок до бензину для зменшення використання нафтової сировини і підвищення октанового числа. На даний час у багатьох країнах світу (США країни ЄС) на законодавчому рівні затверджено вміст у бензині таких біокомпонентів, як біоетанол.

Найбільшими виробниками етанолу є США, Бразилія, Європа, Китай і Канада. З розвитком спиртової промисловості, що спричинений широким застосуванням спирту як біопалива, виникла проблема утилізації відходів [4, 5].

Найбільшою проблемою є утилізація післяспиртової барди (ПСБ), яка в натуральному вигляді має обмежений попит на ринку, оскільки не підлягає довготривалому зберіганню (розвиток гнилісних процесів), а також потребує значних витрат на доставку споживачу [6-9]. Тож вдосконалення шнекового сепаратора шляхом повторного використання попередньо віджатого кеку у якості фільтру тонкої очистки фугату дозволить покращити якісні показники зневоднення рідкої зернової барди.

Мета досліджень

У даній статті поставлено задачу підвищення ефективності очищення фільтрату зменшенням вмісту сухої речовини в ньому, шляхом використання віджатого кеку у вигляді фільтрувального елементу для неочищеного фугату.

Результати дослідження

Виходячи з поставленої задачі пропонується конструкція шнекового сепаратора [7], який виконаний вигляді подвійного шнекового преса, який являє собою корпус, що складається з циліндрів переднього та остаточного віджимання з отворами для фільтрату жорстко з'єднаними між собою з'єднувальними циліндрами з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього віджимання. В середині розміщені шнеки попереднього та остаточного віджиму, що з'єднані муфтою. Ці шнеки по краях закріплені на валах, до яких приводиться крутний момент на виконання корисної роботи. Субстрат подається через лійку, яка закріплена у верхній частині. Вивантаження кеку проходить через патрубок у задній частині корпусу. Рідка фрація збирається у місткості для фільтратів попереднього та остаточного віджиму під шнековим сепаратором.

Принцип роботи показаний на рис. 1 і 2 та полягає в наступному.

Крутний момент передається від електродвигуна через пасову передачу на шків 2, який жорстко закріплений на валу 1.

Далі крутний момент подається на шнек попереднього віджимання 3, з'єднувальну муфту 5, шнек остаточного віджимання 4 і вал 6, які жорстко з'єднані між собою і вільно обертаються на підшипникових вузлах 12, 13. Зернова барда дозовано подається у лійку 15, звідки попадає на лопаті шнека 3 і просувається ними далі по зоні А. Внаслідок того, що площа поперечного січення на виході із з'єднувальної муфти 5 значно менша від площі поперечного січення у міжвитковому просторі, тиск у цій камері зростає, це створює сприятливі умови для видалення фільтрату барди через отвори 8.

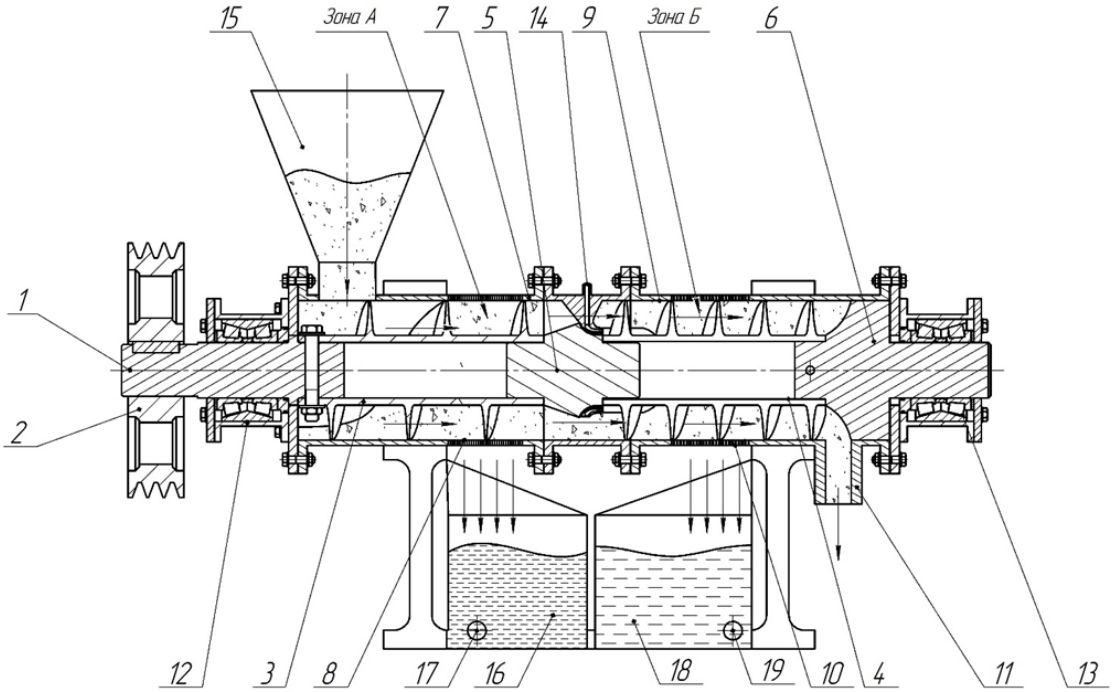

Рис. 1. Шнековий сепаратор для видалення фільтрату із зернової барди:

Fig. 1. Screw separator for removal of filtrate from grain bard:

1 – привідний вал; 2 – шків; 3 – шнек попереднього віджимання; 4 – шнек остаточного віджимання; 5 – з'єднувальна муфта; 6 – вал; 7 – циліндр попереднього віджимання; 8, 10 – отвори для видалення фільтрату; 9 – циліндр остаточного віджимання; 11 – патрубок для видалення твердої фракції барди; 12, 13 – підшипникові вузли; 14 – з'єднувальний циліндр з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього вижимання; 15 – лійка для подачі барди; 16 – місткість для фільтрату попереднього віджимання; 17 – патрубок для фільтрату попереднього віджимання; 18 – місткість для фільтрату остаточного віджимання; 19 – патрубок для фільтрату остаточного віджимання.

Далі вона стікає у місткість для фільтрату попереднього віджимання 16. Проходячи крізь отвір між з'єднувальною муфтою 5 і з'єднувальним циліндром 14 спресована тверда фракція у вигляді кільця подається на шнек 4 у зону Б, як це показано на рис. 2. У порожнину під тиском від місткості 16 за допомогою відцентрового насосу (на рисунку не показано) через отвори фігурних вставок з отворами з'єднувальної муфти 14 подається фільтрат барди. Таким чином, рідка фракція барди після попереднього віджимання повторно проходить крізь спресовану тверду фракцію барди до отворів 10.

Тверда фракція у зоні Б служить фільтрувальним елементом, який затримує у собі тверді рештки з фільтрату барди після попереднього віджимання. Далі тверда фракція видаляється через патрубок для фільтрату остаточного віджимання 19, а фільтрат із зони Б видаляється назовні через отвори 10.

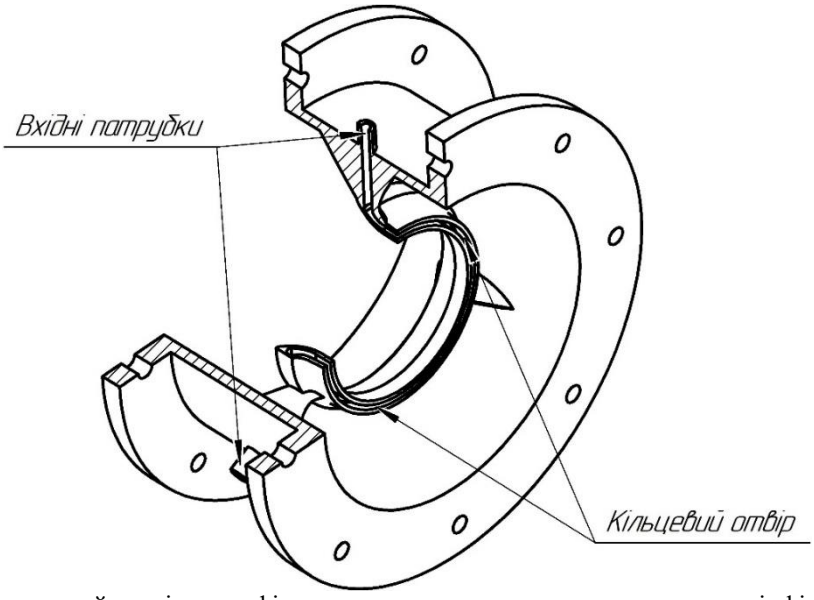

Рис. 2. З'єднувальний циліндр з фігурною вставкою з отвором для подачі фільтрату барди після попереднього вижимання.

Fig. 2. Coupling cylinder with curly insert with opening for filtration of bard filtrate after pre-squeezing.

Аналізуючи конструктивні особливості даного шнекового сепаратора бачимо, що він складається з двох з'єднаних між собою шнекових фільтрів. Тому при розрахунку силових характеристик слід розраховувати потужності кожної зі сторін після чого сумуючи їх.

Для аналізу силових характеристик шнекового сепаратора необхідно розрахувати моменти, які необхідно прикласти до шнекового валу, щоб подолати сили тертя і створити тиск, необхідний для відтискання фугату:

– момент від сил тертя робочого тіла об циліндри віджимання фугату, $M_{цв}$

$$M_{цв} = \frac{\pi D^2 f_{тк} \eta_m}{2} \int_0^L P(x)dx; \qquad (1)$$

де: $f_{тк}$ – коефіцієнт тертя ковзання;

η_m – коефіцієнт, який враховує рівномірність передачі тиску;

D – внутрішній діаметр циліндрів віджимання, *м*;

L – довжина робочої зони циліндру віджимання, *м*;

P – робочий тиск процесу пресування, *Па*.

– момент від рівномірної дії q на робочу криволінійну поверхню шнеку

$$M_q = \frac{\pi q L(D^3 - d^3)}{12h}(\cos\alpha + f_2 \sin\alpha); \qquad (2)$$

де: d – зовнішній діаметр валу шнека, *м*;

α – кут нахилу гвинтової лінії до поперечного перерізу гвинта, *град.;*

h –крок гвинта шнекового валу, *м*.

– момент від сил тертя на поверхні тильної сторони витка шнека

$$M_T = \frac{\pi L(D^3 - d^3)}{12h} f_{тк} \eta_m \int_0^L P(x)dx \qquad (3)$$

Потужність, яка необхідна для відтискання фугату через отвори циліндрів віджимання можна визначити наступним чином

$$N_{фуг} = P_{\max} \cdot V_{фуг} \cdot \omega \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

де: P_{max} – максимальне значення тиску в камері пресування, *Па*;

$V_{фуг}$ – об'єм фугату віджатого крізь отвори циліндрів віджимання, *м*^{3};

ω – кутова швидкість обертання шнекового валу, *рад/с*.

Потужність, яка необхідна для витискання макухи через отвори

$$N_{кек} = \rho_б V_{кек} \omega \frac{\upsilon^2}{2} k_б, \qquad (5)$$

де $\rho_б$ – густина барди після віджиму, кг/м^3;

$V_{кек}$ – об'єм кеку після віджиму, *м*^{3};

$к_б$ – коефіцієнт, який враховує зовнішнє і внутрішнє тертя макухи.

Тоді сумарна споживана потужність становитиме

$$N = \left(M_{цв} + M_q + M_T\right) \cdot \omega + N_{фуг} + N_{кек} \qquad (6)$$

На підставі аналізу залежностей (6) можна стверджувати, що на енергетичні показники роботи преса, оснащеного шнековим валом із гвинтовою канавкою у вигляді сегмента круга, впливають його конструктивні параметри – довжина, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків і площа отворів для відведення макухи, а також частота обертання валу.

Побудовані графіки залежностей загальної споживаної потужності N, кВт шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди від глибини каналу шнекового вала – H, м, і кроку гвинта шнекового валу – h, м. (рис. 3).

За допомогою яких, можна обрати оптимальний діапазон геометричних параметрів шнека – *H* від 0,037 м до 0,038 м та кроку гвинта шнекового валу – h від 0,084 м до 0,086 м, при заданій продуктивності *Q= 500 кг/год* зернової барди.

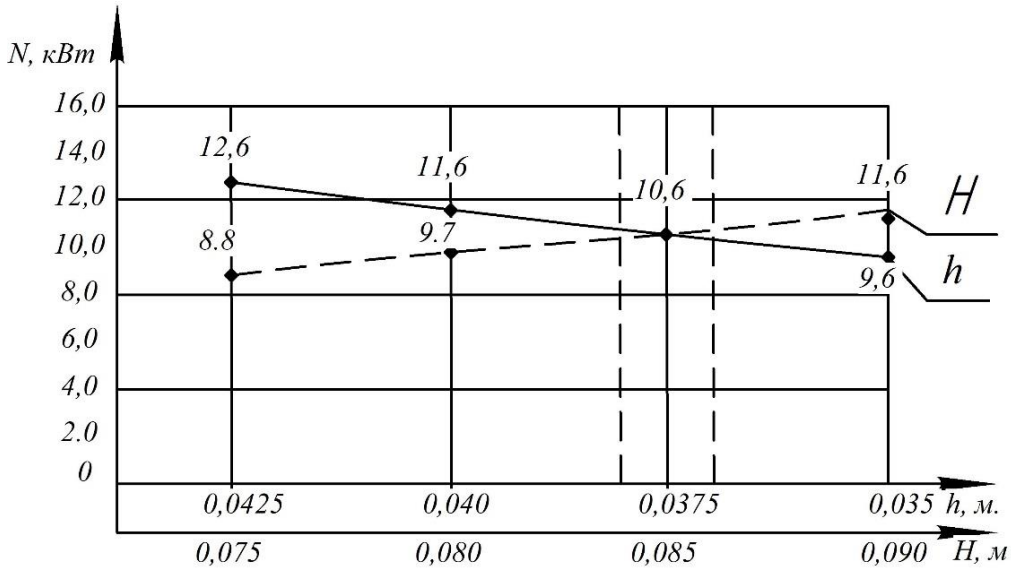

Рис. 3. Залежності загальної споживаної потужності *N,кВт* шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди від глибини каналу шнекового вала – *H, м,* і кроку гвинта шнекового валу – *h,м.*

Fig. 3. Dependences of the total power consumption *N, kW* of the screw separator to remove the filtrate from the grain bard from the depth of the channel of the screw shaft – *H, m,* and the pitch of the screw of the screw shaft – h, m.

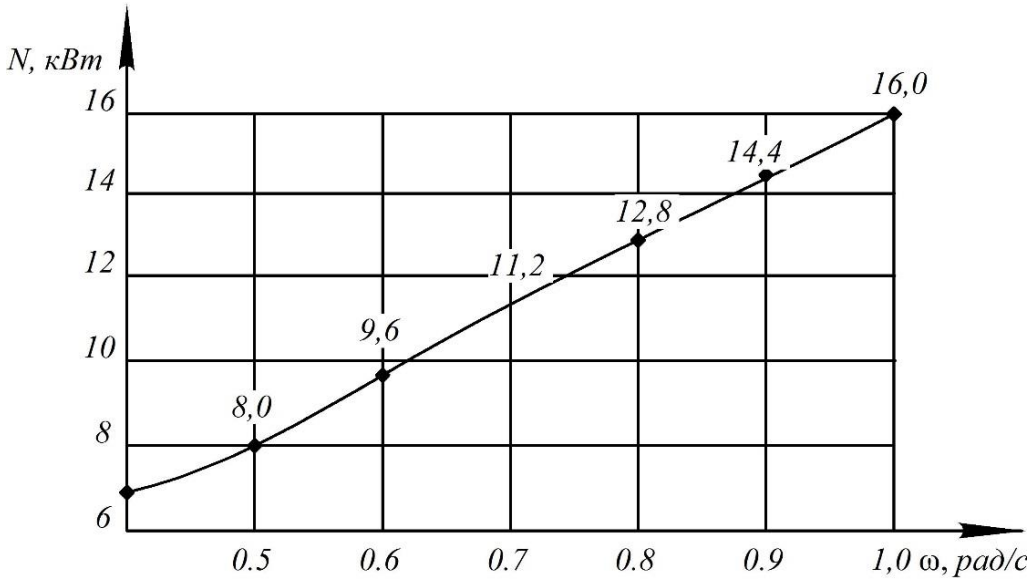

Рис. 4. Залежності загальної споживаної потужності *N,кВт* від кутової швидкість обертання шнекового валу, рад/с.

Fig. 4. Dependences of the total power consumption N, kW on angular speed of rotation of screw shaft, rad/s.

Таблиця 1. Визначення основних параметрів зневоднення зернової барди з Козлівського спиртзаводу V= 500 мл, pH = 4,24.

Table 1. Definition of basic parameters dehydration of grain bards from Kozliv distillery V = 500 ml, pH = 4.24.

№ з/п	Варіанти	Середнє значення	
		Вміст СР у фугаті, %	Вологість осаду, %
1	Барда профільтрована крізь сито вкрите 4-ма шарами марлі. *r* = 0,689	4,2	80
2	Повторна фільтрація фугату крізь намивний шар кеку барди на ситі з 4-ма шарами марлі. *r* = 0,721	3,4	76
3	Моделювання процесу зневоднення барди на лабораторному шнековому фільтр-пресі. *r* = 0,840	3,2	73
4	Повторна фільтрація під тиском віджатого фугату, крізь віджатий кек у лабораторному шнековому фільтр-пресі. *r* = 0,811	3,0	72

На підставі аналізу залежностей (6) можна стверджувати, що на енергетичні показники роботи нашого шнекового сепаратора, оснащеного шнековими валами із гвинтовою канавкою у вигляді сегмента круга, впливають його конструктивні параметри – довжина, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків і площа отворів для відведення кеку, а також частота обертання вала. Дослідивши рівняння (6) та підставивши в нього різні значення ω, отримали залежність впливу на потужності процесу сепарації кутової швидкості шнекового вала (рис. 4). Її аналіз свідчить, що потужність, яка затрачається на процес зневоднення зернової барди, збільшується зі збільшенням кутової швидкості шнекового вала.

Ефективність даного технічного рішення було випробувано 2018 році в науково-дослідній лабораторії «Біотехнології а агросфері» ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут». Для досліду використовувалась зернова барда Козлівського спиртзаводу. Дослідження проводились по чотирьом варіантам у п’ятикратному повторюванні. Моделювання проводилось на лабораторному шнековому фільтр-пресі власного виробництва з пустотілим шнеком та отворами у кінці.

Висновки

1. В результаті проведеного аналізу запропоновано нову конструкцію шнекового сепаратору для видалення фільтрату із зернової барди. Головною особливістю якої є, що попередньо віджатий кек використовується у якості фільтру тонкої очистки фугату. Таке технічне рішення дозволить значно знизити кількість сухої речовини у рідких відходах, без втрат продуктивності самого процесу.

2. Досліджено що профіль витка шнека спричиняє зміну енерговитрат на зневоднення зернової барди. Так, на енергетичні показники роботи шнекового сепаратора для видалення фільтрату із зернової барди, обладнаного запропонованим шнековим валом, впливають його, внутрішній та зовнішній діаметри, крок витків, частота обертання. Потужність, яка витрачається на процес зневоднення зернової барди, зростає зі збільшенням частоти обертання валу.

3. Попередні моделювання в лабораторних умовах показали, що завдяки таким конструктивним особливостям шнекового сепаратора можна додатково вилучити з рідкої фази на 6 % більше, ніж у звичайних умовах.

Список літератури

1. KUGLER. Cjncepts for solid-liqusd separation. [Electronic resource]. 2018 URL: https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER_ ProductsForSolid-Liquid-Separation_2018.pdf (дата звернення: 10.10.2019).

2. SM SEPARATORS SERIES - technical specifications. [Electronic resource]. 2015. URL: https://www.cri-man.com/Apps/WebObjects/Criman. woa/wa/viewFile?id=742&lang=eng (дата звернення: 10.10.2019).

3. Шнеко-прессовый сепаратор серия SP. . [Електронний ресурс]. 2018 URL: http://www.waluftech.com.ua/img/content/EYS%20%прессопрессовый%20сепаратор%20SP.pdf (дата звернення: 10.10.2019).

4. *Овчинніков Д. В*. Біоетанол як моторне паливо: переваги і недоліки Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». 2017. Вип. 1 (37). С. 300-307.

5. *Чупайленко О. А.* Розвиток використання біопалива для автотранспорту в Україні. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2014. Вип. 13(2). С. 133-143.

6. *Голуб Н. Б., Потапова М. В.* Сучасні методи переробки й утилізації зернової післяспиртової барди. Innovative Biosystems and Bioengineering : international scientific e-journal. 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 125–134. Bibliogr.: 65 ref.

7. Шнековий сепаратор: пат. 135353 Україна: МПК (2006): B30B 9/12 (2006.01), B30B 9/02 (2006.01), B01D 35/28 (2006.01), B01D 29/39 (2006.01), C02F 11/126 (2019.01), C02F 11/125 (2019.01), Заявл. 25.01.2019, Опубл. 25.06.2019, бюл. № 12/2019.

8. *Рогатинський Р. М.* Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.

9. *Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko*. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10 pp. 117-128. Scopus.

References

1. KUGLER. Cjncepts for solid-liqusd separation. Available at: https://www.kugler-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/09/KUGLER_ ProductsForSolid-Liquid-Separation_2018.pdf.

2. SM SEPARATORS SERIES - technical specifications. Available at: https://www.cri-man.com/Apps/WebObjects/Criman.woa/wa/viewFile?id = 742&lang= eng.

3. Screw Press Separator SP Series. Available at: http://www.waluftech.com.ua/img/content/EYS%20%пресс- прессовый%20 сепаратор%20SP.pdf.

4. *Ovchynnikov D.* (2017). Bioethanol as a motor fuel: advantages and disadvantages. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv: National Transport University, Issue 1 (37).

5. *Chupaylenko O.* (2014). Development of the use of biopropellant for motor transport in Ukraine. Available

at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_13%282%29__16.

6. *Golub N., Potapova M.* (2018). Modern Methods of Processing and Utilization of Grain Distillery Spent Wash. Innovative Biosystems and Bioengineering : international scientific e-journal. Vol. 2, No. 2. 125-134.

7. *Flonts I. I., Chvartatskiy I. I., Kyryk O. M., Les'kiv M. S., Kachun' T. Y.* (2019). Screw Separator. Patent of Ukraine for useful model. B30B 9/12 (2006.01), B30B 9/02 (2006.01), B01D 35/28 (2006.01), B01D 29/39 (2006.01), C02F 11/126 (2019.01), C02F 11/125 (2019.01). № 135353; declared 25.01.2019; published 25.06.2019, № 12.

8. *Rogatinsky R. M.* (2014). Scientific-applied bases of creation of screw transport-technological mechanisms: monograph. Ivan Puliuy TNTU, P/ 280.

9. *Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko*. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Vol. 12 (61) No. 1. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10. 117-128. Scopus.

ШНЕКОВЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФИЛЬТРАТА С ЗЕРНОВОЙ БАРДЫ

И. В. Фльонц, И. И. Чвартацький, Р. В. Шатров

Аннотация. Выполнен анализ применения современных шнековых сепараторов для обезвоживания жидких органических субстратов, как агропромышленного комплекса, так и в других отраслях народного хозяйства. Предложена технологическая схема и разработана конструкция шнекового сепаратора для обезвоживания спиртовой зерновой барды. Основной особенностью предложенного шнеково-прессового сепаратора является двухстадийный процесс обезвоживания входящего субстрата.

Жидкий раствор субстрата попадает в первую зону шнекового сепаратора, где сквозь отверстия цилиндра предварительного отжима удаляется жидкая фракция - фугат, а твердая фракция - кек попадает во вторую зону. Во второй зоне предварительно отжатый кек служит фильтром тонкой очистки через которую под давлением проходит фугат, который выделился из первой зоны и имеет в себе еще много твердых веществ в жидкой фазе как например дрожжевой осадок в барде. Таким образом фугат очищается и выходит через отверстия цилиндра окончательного отжима.

Вследствие проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ создан новый шнековый сепаратор. Использование двухэтапной системы обезвоживания жидких субстратов в шнековом сепараторе позволит значительно снизить содержание сухих веществ в жидкой фазе.

Ключевые слова. барда зерновая, фугат, кек, шнековый сепаратор, обезвоживание, фильтр, шнек.

SCREW SEPARATOR FOR REMOVAL OF FILTRATE FROM GRAIN BARD

I. V. Flonts, I. I. Chvartatskiy, R. V. Shatrov

Abstract. The analysis of the use of modern screw separators for the dehydration of liquid organic substrates, both agroindustrial complex and other sectors of the economy is done. The technological scheme is proposed and the design of a screw separator for dehydration of an grain distillery spent wash is developed. The main feature of the proposed screw-press separator is a two-stage process of dehydration of the input substrate.

The liquid substrate solution enters the first area of the screw separator, where the liquid fraction - fugate is removed through the openings of the pre-spin cylinder, and the solid fraction - the cake enters the second zone. In the second zone, the pre-pressed cake serves as a filter of fine purification through which a fugate is released through the pressure, which was released from the first zone and contains many solids in the liquid phase, such as yeast sediment in the bard . In this way, the fugate is being purified and exits through the openings of the final spin cylinder.

As a result of the research and development work, a new screw separator was created. The use of a two-stage system of dehydration of liquid substrates in a screw separator will significantly reduce the solids content in the liquid phase.

Key words: grain bard, fugate, cake, screw separator, dehydration, filter, screw.

І. В. Фльонц ORCID 0000-0001-5175-9066.
І. І. Чвартацький ORCID 0000-0001-5689-4603.
Р. В. Шатров ORCID: 0000-0002-3596-0146.