

JUSTIFICATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF SCREW PRESS CHAMBER OF SAPROPEL CONVEYOR**R. Khlopetskyi*, V. Didukh***Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

During extraction of sapropel with a high moisture content, it is necessary to separate free water, which has no value for the further use of sapropel, but complicates its transportation and processing. The article proposes the design of a pressing chamber for the equipment of extraction and processing of lake sapropel of natural moisture. The research is aimed at the theoretical justification of the geometrical parameters of the press chamber of the sapropel screw conveyor. In existing sapropel extraction technologies, screw, pneumatic and pneumatic-hydraulic conveyors are used. For partial dehydration of mined lake sapropel of natural moisture in technologies of extraction and processing of sapropel, mainly intermittent presses are used. The article proposes to combine the processes of transportation and partial mechanical dehydration of lake sapropel by pressing in the press chamber of a screw conveyor. The study examines the influence of various design parameters on the efficiency of the screw conveyor and the press chamber. The influence of the geometrical and other parameters of the conveyor on its energy consumption, productivity and the regime of the technological process is also considered. The theoretical calculations made it possible to develop recommendations for the optimal geometric parameters of the press chamber of the sapropel screw conveyor, which influence the quality and efficiency of sapropel dehydration. Application of the obtained results in practice will increase the efficiency of the processes of extraction and processing of lake sapropel, which is an important step in the development of environmentally friendly technologies. In general, the study contributes to the expansion of knowledge in the field of extraction and processing of lake sapropel and can be useful for specialists engaged in the development and improvement of equipment for screw conveyors and dewatering systems.

Key words:

press chamber,
conveyor parameters,
auger,
sapropel,
sapropel dehydration

Article history:

Received 30.05.2024

Accepted 21.06.2024

***Corresponding author:**

vl80k.600@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1400

To cite this article:

Khlopetskyi, R., & Didukh, V. (2024). Justification of geometric parameters of screw press chamber of sapropel conveyor. *Agricultural Machines*, 50, 148-156. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1400>

УДК 631.3:621.867.4

**ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАМЕРИ ПРЕСУВАННЯ
ГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА САПРОПЕЛЮ****Р.А. Хлопецький*, В.Ф. Дідух***Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Під час добування сапропелю з високим вологовмістом необхідно відокремити вільну воду, яка не має цінності для подальшого використання сапропелю, однак ускладнює його транспортування і перероблення. У статті запропоновано конструкцію камери пресування для засобів добування та перероблення озерного сапропелю природної вологості. Дослідження спрямоване на теоретичне обґрунтування геометричних параметрів камери пресування гвинтового транспортера сапропелю. В існуючих технологіях добування сапропелю використовують гвинтові, пневматичні та пневмогідролічні транспортери. Для зневоднення добутого озерного сапропелю природної вологості у технологіях добування та перероблення сапропелю використовують, переважно, преси періодичної дії. У статті запропоновано об'єднати процеси транспортування та часткового механічного зневоднення озерного сапропелю шляхом відтискання у камері пресування гвинтового транспортера. У дослідженні розглянуто вплив конструктивних параметрів на ефективність роботи гвинтового транспортера та камери пресування. Також розглянуто вплив геометричних та інших параметрів гвинтового транспортера на його енергоспоживання, продуктивність і перебіг технологічного процесу. Проведені теоретичні розрахунки дозволили розробити рекомендації щодо оптимальних геометричних параметрів камери пресування гвинтового транспортера сапропелю, які впливають на якість та ефективність зневоднення озерного сапропелю. Використання отриманих результатів дозволить підвищити ефективність процесів добування та перероблення озерного сапропелю, що є важливим кроком у розвитку екологічно чистих технологій. Загалом, дослідження сприяє розширенню знань у галузі добування і перероблення озерного сапропелю та може бути корисним для фахівців, які займаються розробленням та удосконаленням обладнання для гвинтових транспортерів та зневоднювальних систем.

Ключові слова:

камера пресування,
параметри транспортера,
шнек,
сапропель,
зневоднення сапропелю

Історія публікації:

Отримано 30.05.2024

Затверджено 21.06.2024

***Автор для листування:**

vl80k.600@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi50.1400

Цитувати цю статтю:

Хлопецький, Р. А., & Дідух, В. Ф. (2024). Обґрунтування геометричних параметрів камери пресування гвинтового транспортера сапропелю. *Сільськогосподарські машини*, 50, 148-156. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1400>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Тенденцією у сільському господарстві, що сприяє економії ресурсів, є використання універсальних машин, які містять робочі вузли та органи вузькопрофільних моторизованих засобів. Розроблені машини та засоби для добування й перероблення сапропелю, а також внесення органічних добрив на його основі (Булік, 2005; Цизь та ін., 2005; Tsz & Homich, 2013; Хомич та ін., 2021; Tsz et al., 2023) містять в конструкції вузли, які дозволяють розширити їх функціональні можливості внаслідок виконання кількох технологічних операцій одночасно. Зокрема, такими вузлами в конструкції машин є транспортуючі органи.

Озерний сапропель – це багатокомпонентні біогенні системи органічних елементів, які утворюються мікроорганізмами в процесі евтрофікації озер (Voišnienė et al., 2024). У технології його добування та перероблення використовують як пневмотранспортери, так і гвинтові транспортери. Під час добування сапропелю з високим вологовмістом необхідно відокремити вільну воду, яка не має цінності для подальшого використання сапропелю, однак ускладнює його транспортування та перероблення. Для цього на виході гвинтового транспортера сапропелю доцільно розташувати пресувальну камеру. Одним з важливих конструктивних елементів будь-якого пресу є камера стиснення матеріалу, що є частиною робочого об'єму цього преса. У гвинтових механізмах її розташовують між площиною вихідного отвору та вертикальною площиною, що обмежує відкриту лопать гвинта.

Технічні характеристики (продуктивність, вихід вільної води, енергоспоживання) та якісні показники (ступінь однорідності кінцевого продукту) роботи преса залежать від силових та геометричних параметрів камери стиснення. Науковцями розглянуті теоретичні питання розрахунку пресів шнекового типу, однак їх розроблення, переважно, базується на експериментальних дослідженнях.

У (Shimizu et al., 1995) розглядається принцип роботи гвинтового компресора, який містить стаціонарний та рухомий гвинти, між якими формується камера стиснення газу. Важливим аспектом цієї роботи є визначення способу передачі реакційної сили стиснення газу через кільцевий механізм з виступами та западинами, що запобігає обертанню рухомого

гвинта. Цей підхід дозволяє більш точно контролювати процес стиснення та підвищує ефективність системи.

У (Xiao et al., 2015) подана методика тестування внутрішнього напруження камери пресу. На основі досліджень запропоновано методи вимірювання напруження у камері гвинтового пресу за допомогою давачів тиску та тензодавачів. Ця методика дозволяє отримувати точні дані щодо розподілу напружень у всій камері, що є важливим для забезпечення надійності та довговічності роботи пресу. Також цей підхід сприяє покращенню конструктивних рішень та підвищенню ефективності роботи обладнання.

У патенті (Staat & Divalerio, 2003) розглянуті методи ізоляції та контролю тиску в підшипникових камерах гвинтового компресора. Запропоноване використання лабіринтних ущільнень на валах ротора, які забезпечують герметичність підшипникових камер та змащувальних резервуарів, що запобігає потраплянню рідин, яка спричиняє корозію під час процесу роботи. Це дозволяє підтримувати стабільну роботу преса, зменшуючи ризик пошкодження підшипників та забезпечуючи довготривалу експлуатацію обладнання. Також у патенті розглянуто систему подачі буферного газу для контролю витоків, що сприяє підвищенню ефективності роботи компресора.

У патенті (Kakiuchi & Amano, 2013) розглянуте питання покращення довговічності підшипників та зниження витрат енергії внаслідок оптимізації конструкції камер та ущільнень. Запропоновано систему мащення, яка охолоджує змащувальну рідину, що виходить з підшипникових камер, та повертає її назад у систему, забезпечуючи стабільне змащення та охолодження підшипників. Цей підхід дозволяє зменшити зношування підшипників та збільшити тривалість їх експлуатації, що є критично важливим для зменшення експлуатаційних витрат, а також підвищення ефективності обладнання.

У патенті (Inoue et al., 2013) описані особливості запропонованої конструкції гвинтового компресора з рухомим клапаном. Рухомий клапан з ущільнювальним виступом дозволяє ефективно відокремлювати низькотискотні високотискотні зони всередині камери. Це сприяє зменшенню енергоспоживання та підвищенню стабільності роботи системи,

оскільки забезпечує ефективне управління процесом стиснення і мінімізує втрати енергії.

У науковій праці (*Mangone et al., 2018*) розроблена модель зневоднюючого гвинтового преса. Модель призначена для оптимізації параметрів пресування та підвищення ефективності зневоднення. У науковій праці (*Firdaus et al., 2017*) запропонована модель гвинтового преса для видобування пальмової олії. Авторами розглянуті конструкторські аспекти та технологічні параметри, що впливають на ефективність видобування олії. У науковій праці (*Jian & Ishigaki, 2009*) представлені результати експериментального дослідження зневоднення осаду за допомогою гвинтового преса-дегідратора. Дослідження містить аналіз ефективності та параметрів процесу зневоднення. Проведені дослідження демонструють важливість оптимізації силових та геометричних параметрів камер стискання у гвинтових пресах для підвищення їх ефективності та надійності. Емпіричні дані та експериментальні методи, подані в наукових працях, підкреслюють необхідність подальших досліджень для вдосконалення цих систем.

Мета дослідження – розроблення методики розрахунку силових та геометричних параметрів камери пресування гвинтового транспортера для добування й перероблення озерного сапропелю природної вологості.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для встановлення можливості часткового зневоднення сапропелю було проведено

комплекс досліджень на базі кафедри аграрної інженерії імені проф. Г. А. Хайліса Луцького національного технічного університету (ЛНТУ) за відомими методиками з використанням лабораторного обладнання та розроблених експериментальних установок: плунжерного преса періодичної дії; гвинтового преса безперервної дії (*Дідух та ін., 2009*).

Обґрунтування методики розрахунку силових та геометричних параметрів камери пресування гвинтового транспортера для добування і перероблення озерного сапропелю природної вологості базувалося на основних положеннях теоретичної механіки, опору матеріалів та теорії сільськогосподарських машин. Також бралися до уваги основні положення теорії шнеків та шнекових робочих органів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Метою розрахунку камери пресування шнекових пресів є вибирання їх оптимальних силових та геометричних параметрів. Схема удосконаленого пресу шнекового типу подана на **рис. 1**. Цей прес містить мотор-редуктор, з'єднувальну запобіжну муфту, шнек, завантажувальний бункер, кожух, накладний кожух для витиснутої води, перфоровану частину кожуха камери пресування шнека, вивантажувальне вікно, яке одночасно є торцевим підшипниковим вузлом, запірний перепускний корпус та притиску пружину. Для мобільності конструкція змонтована на раму з колесами.

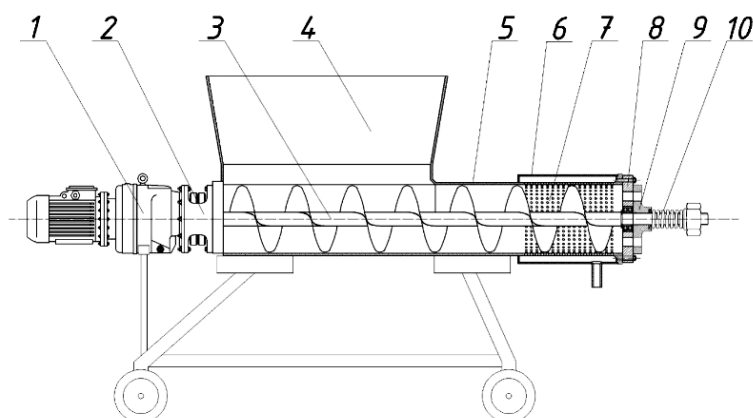


Рис. 1 – Схема преса шнекового типу:

1 – мотор-редуктор; 2 – з'єднувальна запобіжна муфта; 3 – шнек; 4 – завантажувальний бункер; 5 – кожух; 6 – накладний збірний кожух витиснутої води; 7 – перфорована частина кожуха шнекового преса; 8 – вивантажувальне вікно; 9 – запірний перепускний корпус; 10 – притиску пружина

Під час роботи преса мотор-редуктор через з'єднувальну запобіжну муфту обертає шнек. Завантажений у бункер сапропель природної вологості захоплюється витками шнека та спрямовується до камери пресування. Витиснута вода потрапляє на поверхню накладного кожуха, де збирається, та стікає через отвір у ньому. Тиск у камері створюється внаслідок обмеженого простору відтиснених щілин у вивантажувальному вікні, які з певною періодичністю перекривають запірний перепускним корпусом, що обертається разом з валом шнека. Притиснутий пружиною

запірний перепускний корпус, обертаючись разом зі шнеком, періодично перекриває щілини вивантажувального вікна, внаслідок чого створюється додатковий тиск. Механізм періодичного вивантаження зображено на **рис. 2**.

Схема до розрахунку камери пресування преса подана на **рис. 3** (Білоус, 2019). На схемі позначено геометричні параметри камери пресування D (внутрішній діаметр циліндра камери) та L (довжина камери), діаметр вала шнека d та силові параметри q_0 (осьовий питомий тиск сапропелю на виході з камери).

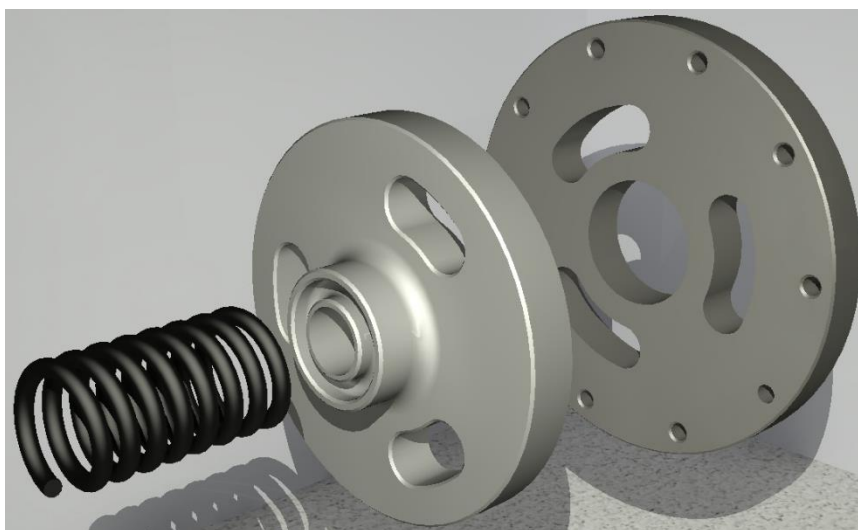


Рис. 2 – Деталі механізму періодичного вивантаження

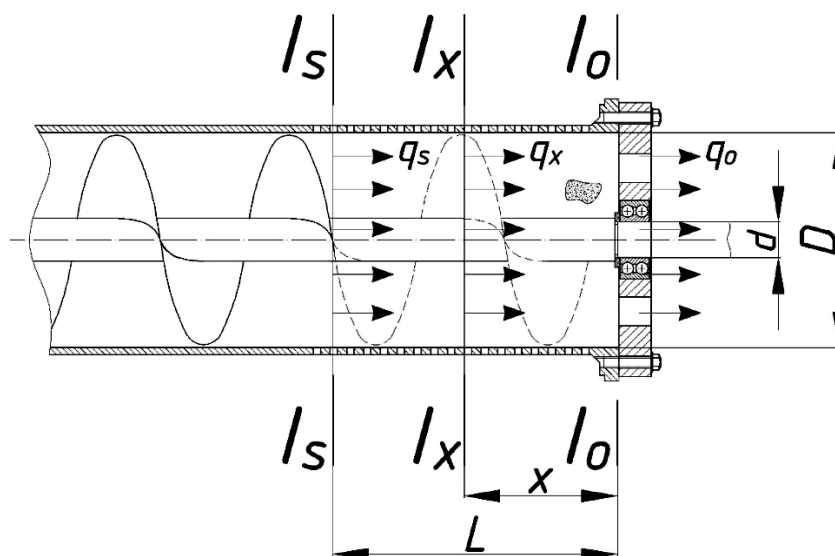


Рис. 3 – Схема до визначення параметрів камери пресування шнекового пресу

Питомий тиск преса можна визначити за виразом (Дідух та ін., 2009):

$$q_0 = P/F, \quad (1)$$

де P – осьовий тиск на сапропель, Н; F – площа поперечного перерізу матеріалу у вихідному отворі, м².

Площу поперечного перерізу матеріалу у вихідному отворі визначають за виразом:

$$F = 0,785(D^2 - d^2), \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр циліндра камери пресування, м; d – діаметр вала шнека, м.

Аналіз досліджень пресів шнекового типу показав, що значення q_x достатньо точно може бути обчислене за виразом:

$$q_x = q_0 e^{Bx}, \quad (3)$$

де e – основа натурального логарифму; B – коефіцієнт, що характеризує конструкцію камери пресування, м⁻¹.

Коефіцієнт B визначають за виразом:

$$B = E \left(\frac{S}{F} f + \frac{S_1}{F} f_1 \right), \quad (4)$$

де $E = 0,85$ – коефіцієнт бічного розпору матеріалу; S – периметр циліндра камери пресування, м; S_1 – периметр камери, м; $f = f_1 = 0,54$ – коефіцієнти тертя матеріалу поверхнею камери пресування.

Питомий тиск q_s , який залежить від параметрів камери та властивостей сапропелю:

$$q_s = q_0 e^{BL}. \quad (5)$$

У випадку збільшення q_0 стрімко зростає q_s , що спричиняє збільшення витрат енергії на пресування, збільшення силових навантажень на всі елементи преса, зменшення його продуктивності і погіршення якості відведення вільної води. Зменшення продуктивності преса шнекового типу за збільшення q_0 та q_s можна пояснити зменшенням коефіцієнта об'ємної подачі шнека, що є відношенням фактичної подачі останнього витка шнека до його теоретичної продуктивності.

Збільшення q_0 та q_s понад певні значення не спричиняє інтенсифікації зневоднення.

Отже, тиск q_0 та q_s , а також геометричні розміри камери пресування суттєво впливають на всі основні показники роботи преса шнекового типу. Для визначення оптимальних параметрів камери пресування використаємо вирази (3) та (4), урахувавши, що в загальному випадку для визначення коефіцієнта B завжди можна прийняти:

$$f_1 = \alpha f, \quad (6)$$

$$d = \beta D, \quad (7)$$

де α та β – коефіцієнти пропорційності.

Після перетворень одержимо:

$$B = \frac{E}{F} (Sf + S_1 f_1) = \frac{4Ef(1 + \beta\alpha)}{D(1 - \beta^2)}. \quad (8)$$

Ураховуючи значення $x = L$, матимемо:

$$q_s = q_0 e^{\frac{4fE(1 + \beta\alpha)L}{D(1 - \beta^2)}}. \quad (9)$$

Після логарифмування (9), отримаємо:

$$\ln \left(\frac{q_s}{q_0} \right) = \frac{4Ef(1 + \beta\alpha)}{(1 - \beta^2)} \cdot \frac{L}{D} \quad (10)$$

або

$$\frac{L}{D} = \frac{(1 - \beta^2) \cdot \ln \left(\frac{q_s}{q_0} \right)}{4Ef(1 + \beta\alpha)}. \quad (11)$$

Аналогічно для камери, всередині якої немає перфорованої частини ($\alpha = \beta = 0$), матимемо:

$$\frac{L}{D} = \frac{\ln \left(\frac{q_s}{q_0} \right)}{4Ef}. \quad (12)$$

Вирази (11) та (12) можна спростити, ураховуючи, що конструкційні розрахунки базуються на припущенні, що $d \approx 0,5D$. Тобто маємо $\beta = 0,5$ та $f = f_1$, оскільки внутрішня перфорована частина камери пресування, зазвичай, виготовлена з того ж матеріалу, що й корпус камери, а їх перфорація виконується у

вигляді отворів однієї і тієї ж форми та розмірів, тобто $\alpha = 1$.

Дослідженнями встановлено, що для камери пресування середнє значення добутку коефіцієнта бічного розпору E на коефіцієнт тертя f можна вважати постійним та рівним $Ef = 0,46$, оскільки коефіцієнт бічного розпору, що характеризує відношення осьового тиску до радіального, практично становить 0,85, а коефіцієнт тертя дорівнює 0,54 (Верещага, 2021). Тоді для камери пресування з стаканом згідно з виразом (12) матимемо:

$$\frac{L}{D} = \frac{(1-0,25)\ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right)}{4 \cdot 0,46(1+0,5)} = 0,27 \ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right). \quad (13)$$

Для камери без внутрішньої перфорації ($\beta = 0$) матимемо:

$$\frac{L}{D} = 0,54 \ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right). \quad (14)$$

Вирази (13) та (14) демонструють, що співвідношення геометричних параметрів камери пресування L/D повністю визначається логарифмом відношення q_s/q_0 . Оптимальне значення цього відношення можна знайти, розглядаючи такі аспекти: сапропелева маса є суспензією, тверда фаза якої сильно стискається зі збільшенням питомого тиску пресування. Внаслідок цього сильного стиснення твердої фази сапропелю різко збільшується опір виходу вільної води, і за певного тиску (критичний тиск) подальше збільшення швидкості зневоднення маси за збільшення тиску пресування припиняється. Критичний тиск пресування $q_{кр}$ залежить від типу сапропелю та знаходиться в межах питомого тиску 1,6–2,0 МПа.

Отже, для пресування сапропелевої маси значення q_s необхідно вибрати з умови:

$$q_s \leq q_{кр}, \quad (15)$$

Під час вибирання оптимального тиску q_s в межах 1,2–1,6 МПа необхідно урахувати, що його невелике зменшення, порівняно з критичним тиском пресування, сприяє покращенню всіх показників роботи преса та не позначається помітно на зменшенні

загального виходу вільної води (Хлопецький, 2016). Щодо вибору величини q_0 , то важливо зазначити, що оптимальне значення q_s на останньому витку преса може бути досягнуто за різних значень. При цьому зі збільшенням q_0 може бути зменшена довжина L камери. Однак, зі зменшенням L зростає ризик зривання запірною перепусного корпусу у камері пресування преса. Дослідження пресів шнекового типу показали, що для уникнення зривання запірних деталей та забезпечення тривалої й стабільної роботи преса за рекомендованих значень $q_s = 1,2\text{--}1,6$ МПа відношення q_s/q_0 має бути у межах 10–20.

Відповідно до виразів (13) та (14), відношення головних геометричних розмірів становить:

- для пресів шнекового типу, якщо камера пресування має внутрішню перфоровану поверхню:

$$\frac{L}{D} = 0,27 \ln(15 \div 20) = 0,73 \div 0,81; \quad (16)$$

- для пресів з суцільною поверхню:

$$\frac{L}{D} = 0,54 \ln(15 \div 20) = 1,46 \div 1,62. \quad (17)$$

Отримані значення за виразами (16) та (17) є оптимальними (Чепелюк та ін., 2011). За збільшення L/D довжина робочої камери буде необґрунтовано завищена, а за зменшення – збільшується небезпека зривання запірних деталей та робота преса буде нестабільною. Деяке зменшення L може бути досягнуто збільшенням q_0 і, відповідно, q_s (створенням відповідного ущільнення, збільшенням жорсткості притискної пружини). Однак, це тільки погіршить технічні та якісні показники роботи преса (Горбенко та ін., 2013).

Для камери пресування з внутрішньою перфорованою поверхню:

$$L = 0,75D. \quad (18)$$

Для камери пресування за відсутності внутрішньої перфорації:

$$L = 1,5D. \quad (19)$$

Ураховуючи, що оптимальне значення $q_s = 1,2\text{--}1,6$ МПа, можна знайти необхідне

значення q_0 . Контроль за значеннями може проводитися з використанням манометра, вмонтованого у прес.

З виразів (13) та (14) за значення $q_s = 1,2-1,6$ МПа та довжини L камери пресування, визначеної відповідно до виразів (18) та (19), одержимо: $q_0 = 0,075-0,15$ Мн/м².

У випадку розрахунку камери пресування пресів шнекового типу та забезпечення оптимальних умов роботи преса силові й геометричні параметри необхідно вибирати у межах: $q_s = 1,2-1,6$ МПа; $q_0 = 0,075-0,15$ Мн/м²; $L = 0,7-0,8$ (для камери преса з внутрішньою перфорованою поверхнею); $L = 1,4-1,6$ (для камери пресування за відсутності внутрішньої перфорації). Оптимальні значення величини q_0 відносяться до сталого режиму роботи преса. У період пуску величина тиску у вихідному отворі внаслідок малих значень коефіцієнта тертя повинна досягати $4q_0$.

У випадку розрахунку камери пресування на міцність та жорсткість епюри розподілу осьового тиску пресувань можуть бути розраховані за виразами (13) й (14) шляхом заміни L на значення поточної абсциси x , тобто:

- для камери пресування з внутрішньою перфорованою поверхнею:

$$q_x = q_0 e^{3,68 \frac{x}{D}}; \quad (20)$$

- для камери пресування за відсутності внутрішньої перфорації:

$$q_x = q_0 e^{1,83 \frac{x}{D}}. \quad (21)$$

ВИСНОВКИ

Аналіз геометричних і силових параметрів камери пресування з гвинтовим механізмом дозволяє проводити розрахунки основних робочих елементів преса шнекового типу з урахуванням властивостей матеріалу, що зневоднюється.

Складність процесу зменшення вологості сапропелю полягає у його високій природній вологості, яка становить 90–92%. Наявність вільної води до 15% вказує на можливість її відділення за умови прикладання циклічного навантаження до сапропелю у пресувальній камері. Для цього у пресі шнекового типу передбачено запірний перепускний корпус

вихідного вікна, який обертається разом зі шнеком. Запропоновану конструкцію преса доцільно використовувати у сільському господарстві, переробній та харчовій галузях промисловості, де необхідно забезпечити якісне відтискання матеріалу або забезпечити його пластичне формування.

У дослідженому випадку розрахунок параметрів преса шнекового типу дозволив запропонувати пресо-шнековий вузол для встановлення на машину, призначену для добування озерного сапропелю або його зневоднення у стаціонарних умовах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Firdaus, M., Salleh, S. M., Nawi, I., Ngali, Z., Siswanto, W. A., & Yusup, E. M. (2017). Preliminary design on screw press model of palm oil extraction machine. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 165(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/165/1/012029>
- Inoue, T., Masuda, M., Ueno, H., Hossain, M. A., & Matsuoka, A. (2013). Screw compressor. U.S. Patent No. 20130171018A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Jian, R., & Ishigaki, C. (2009). Experimental research on sludge dewatering by screw press dehydrator. *China Water & Wastewater*.
- Kakiuchi, T., & Amano, Y. (2013). Screw compression apparatus. U.S. Patent No. 8512019B2. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mangone, F., Ferrari, A., Gutiérrez, S. (2018). Dewatering screw pressing: model development and sensitivity analysis for process understanding. *Computer Aided Chemical Engineering*, 44, 1879-1884. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50308-6>
- Shimizu, I., Yoshida, T., Iguchi, M., & Fukunuma, T. (1995). Scroll type compressor equipped with mechanism for receiving reaction force of compressed gas. U.S. Patent No. 5462418A. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Staat, D. G., & Divalerio, R. (2003). Screw compressor having sealed low and high pressure bearing chambers. U.S. Patent No. 6612820B1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Tsiz, I., & Homich, S. (2013). Experimental research of working process of pneumatic intake device for sapropel extraction. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 40(2), 67-72.
- Tsiz, I., Khomych, S., Didukh, V., & Yuhymchuk, S. (2023). Study of dehydration of organic sapropel by compression method. In *Engineering for Rural*

- Development. Jelgava, Latvia* (pp. 173-178). <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF033>
- Voišņienē, V., Kiziniēvič, O., Albrektienē-Plačakē, R., Vasiliauskienē, D., Urbonavičius, J., & Vilkauskaitē, R. (2024). The effect of organic lake sediments (sapropel) on the properties and biological resistance of unfired clay bricks. *Sustainability*, 16(6), 2327. <https://doi.org/10.3390/su16062327>
- Xiao, Z., Guoxiang, L., Xiacong, R., & Ge, C. (郑晓, 林国祥, 任小聪, 陈戈). (2015). Chamber internal stress test method of screw oil press. CN Patent 104723600A.
- Білоус, О. І. (2019). *Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Процеси та апарати харчового виробництва» (Synopsis of lectures on the educational discipline «Processes and devices of food production»)*. Кам'янське: ДДТУ.
- Булік, Ю. В. (2005). *Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелю (Justification of the process and parameters of the mechanism for extracting sapropel)* [Дис. канд. техн. наук]. Луцький державний технічний університет, Луцьк.
- Верещага, О. Л. (2021). *Обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекових пресів для віджиму олії із насіння рицини (Justification of technological modes and design parameters of screw presses for squeezing oil from castor seeds)* [Дис. канд. техн. наук]. Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, Мелітополь.
- Горбенко, О., Стрельцов, В., & Горбенко, Н. (2013). Теоретичне дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів преса на споживану ним потужність (*Theoretical study of the impact of structural and technological parameters of the press on the power consumed by it*). *Праці ТДАТУ*, 1(13), 115-121.
- Дідух, В., Шимчук, О., Дударев, І., & Грабовець, В. (2009). Ефективність пристрою шнекового типу для віджиму сапропелю (*The efficiency of the screw-type device for squeezing sapropel*). *Вісник ТДТУ*, 14(1), 94-100.
- Хомич, С. М., Цизь, І. Є., Сацюк, В. В., & Павлік, В. А. (2021). Удосконалення технології виробництва сапропелевих добрив (*Improvement of the production technology of sapropel fertilizers*). *Сільськогосподарські машини*, 46, 104-110. <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.497>
- Хлопецький, Р. А. (2016). *Удосконалення технології та засобу для добування озерних сапропелів з-під шару води (Improvement of technology and means for extracting lake sapropels from under the water layer)* [Дис. канд. техн. наук]. Луцький національний технічний університет, Луцьк.
- Цизь, І. Є., Дідух, В. Ф., Величко, В. Л., & Грабовець, В. В. (2005). Барабанна сушарка-гранулятор (*Drum dryer-granulator*). Патент України 7797. Київ: Державний департамент інтелектуальної власності.
- Чепелюк, О. М., Беседа, С. Д., Таран, В. М., & Бабанов, І. Г. (2011). Технологічне обладнання галузі (*Technological equipment of the industry*). Київ, НУХТ.