

RESEARCH ON SAPROPEL DEHYDRATION IN A SCREW PRESS WITH A SELF-CLEANING FILTER

I. Tsiz^{1*}, V. Didukh¹, S. Khomych¹, O. Holii²¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine²SEERF «ELITA», Rokyny, Ukraine

ABSTRACT

The formation of sapropel deposits ensures their humidity within 92–98%. To achieve a minimum level of profitability from the use of sapropel, it is necessary to reduce its humidity to 60–70%. Therefore, the process of dewatering the extracted sapropel is the most important stage of processing the extracted deposits. Convective drying, as the most common method of dewatering wet agricultural materials, is very energy-intensive. Among the methods of dewatering materials that involve the use of various kinds of mechanical energy, only cake filtration in presses with a limited chamber volume and the use of gravity during dehydration in pipes made of geotextile materials can be effective for dewatering sapropel. But when using a screw press, the question arises of the effective operation of the filter in which the liquid is separated from the solid. To solve this problem, we have proposed a press design with a self-cleaning filter. Therefore, the purpose of this work is to study the influence of the design parameters of a screw press with a self-cleaning filter on the process of sapropel dehydration. To obtain mathematical models of the studied process in the form of regression equations, the mathematical method of experimental design was applied. Analysis of the obtained equations and graphical dependencies showed that the design of a screw press with a self-cleaning filter is workable and provides a decrease in the humidity of sapropel samples from 92.2% to 80.0–82.0%. It was established that the rational parameters of such a press are the frequency of rotation of the screw shaft $n = 300$ rpm, the compression force of the pressure plate spring $F = 550$ N, the gap between the filter rings $\Delta = 0,4$ mm and the length of the filter $L = 0,9$ m. With such values, the press productivity will be $Q = 0,15 - 0,20$ kg/s, and the humidity of the dehydrated sapropel - $W = 80,0 - 82,0$ %.

Key words:

sapropel moisture,
dehydration methods,
screw press,
self-cleaning filter,
regression equation

Article history:

Received
Accepted

***Corresponding author:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi51.1880

To cite this article:

Tsiz, I., Didukh, V., Khomych, S., & Holii, O. (2025). Potatoes Research on Sapropel Dehydration in a Screw Press with a Self-Cleaning Filter. *Agricultural Machines*, 51, 117-125. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1880>

УДК 631.3

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ САПРОПЕЛЮ У ШНЕКОВОМУ ПРЕСІ ІЗ
САМООЧИСНИМ ФІЛЬТРОМ****І.Є. Цизь^{1*}, В.Ф. Дідух¹, С.М. Хомич¹, О.В. Голій²**¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна²ДПЕДГ «Еліта», Рокині, Україна**АНОТАЦІЯ**

Формування покладів сапропелю забезпечує їх вологість у межах 92–98 %. Для досягнення мінімального рівня рентабельності від використання сапропелю необхідно знизити його вологість до 60–70 %. Тому процес зневоднення добутого сапропелю є найважливішим етапом обробки добутих покладів. Конвективне сушіння, як найбільш поширений метод зневоднення вологих сільськогосподарських матеріалів, є дуже енергозатратним. Серед методів зневоднення матеріалів які передбачають використанням різного роду механічної енергії лише фільтрація кеку у пресах із обмеженим об'ємом камери та використання сили земного тяжіння під час зневоднення у трубах із геотекстильних матеріалів можуть бути ефективним для зневоднення сапропелю. Але за використання шнекового преса виникає питання із ефективною роботою фільтра у якому відбувається відділення рідини від твердої речовини. Для вирішення такої проблеми нами запропонована конструкція преса із самоочисним фільтром. Тому метою даної роботи є дослідження впливу конструктивних параметрів шнекового преса із самоочисним фільтром на процес зневоднення сапропелю. Для отримання математичних моделей досліджуваного процесу у вигляді рівнянь регресії було застосовано математичний метод планування експерименту. Аналіз отриманих рівнянь та графічних залежностей показав, що конструкція шнекового преса із самоочисним фільтром є роботоздатною і забезпечує зниження вологості зразків сапропелю із 92,2 % до 80,0–82,0%. Встановлено, що раціональними параметрами роботи такого преса є частота обертання валу шнека $n = 300$ об/хв., зусилля стиску пружини притискної пластини $F = 550$ Н, зазор між кільцями фільтра $\Delta = 0,4$ мм та довжина фільтра $L = 0,9$ м. За таких значень продуктивність преса складатиме $Q = 0,15–0,20$ кг/с, а вологість зневодненого сапропелю - $W = 80,0–82,0$ %.

Ключові слова:

вологість сапропелю,
методи зневоднення,
шнековий прес,
самоочисний фільтр,
рівняння регресії

Історія публікації:

Отримано
Затверджено

***Автор для листування:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi51.1880

Цитувати цю статтю:

Цизь, І. Є., Дідух, В. Ф., Хомич, С. М., & Голій, О. В. (2025). Дослідження зневоднення сапропелю у шнековому пресі із самоочисним фільтром. *Сільськогосподарські машини*, 51, 117–125. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1880>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Особливість формування покладів сапропелю забезпечує їх дисперсну будову із вмістом дисперсійного середовища, тобто води, у межах 92–98%. У процесі добування, особливо з використанням гідравлічної та гідромеханізованої технологій, вміст води у добутих покладах може досягати до 99% (Шевчук, 1996; Шевчук, 1997). Таким чином у процесі добування ми отримуємо по суті воду із вмістом від 1% до 8 % сухої речовини. Для досягнення мінімального рівня рентабельності від використання сапропелю необхідно знизити його вологість до 60–70 %, а концентрація сухої речовини має зрости до 30–40 % тобто у 5–40 разів. Тому процес зневоднення добутого сапропелю є найважливішим етапом обробки добутих покладів, вимагає значних затрат енергії та використання відповідної техніки та технологій.

Найбільш доступним та поширеним методом зневоднення вологих сільськогосподарських матеріалів є конвективне сушіння (Дідух, 2002; Грабовець, 2008, Mujumdar, 2006). Проте даний спосіб вимагає значних витрат енергії та часу на одиницю видаленої вологи адже перетворення одиниці кількості вологи у пару вимагає постійної кількості енергії лише із певними відхиленнями (Mechanical 1999, Грабовець, 2008). Тому зневоднення сапропелю методом сушіння доцільно використовувати для видалення тієї частки (форм) вологи, яка іншими способами не можуть бути видалені. Для сушіння такого класу матеріалів найбільшого поширення набули барабанні сушарки із різноманітним пристосуваннями, що забезпечують інтенсифікацію процесу (Цизь, 2005; Lane, n.d.; Chen et al., 2006).

Для використання енергії сонячного проміння у процесі сушіння сапропелю розроблена технологічна схема обов'язковим елементом якої є проморожування добутих покладів (Шевчук, 1996). Завдяки дії від'ємних температур відбувається руйнування колоїдної структури сапропелю, він набуває сипкого стану і значно краще віддає вологу. Але через значні кліматичні зміни протягом останніх років не можна забезпечити тривалого впливу від'ємних температур в Україні на добуті поклади.

Також відомі та широко використовуються для зневоднення твердих матеріалів методи які передбачають використання різного роду механічної енергії. Класифікація цих методів розроблена L. Svarovsky (2000) (рис. 1) дає можливість проаналізувати конструкції відповідних машин з точки зору застосування їх для зневоднення сапропелю.

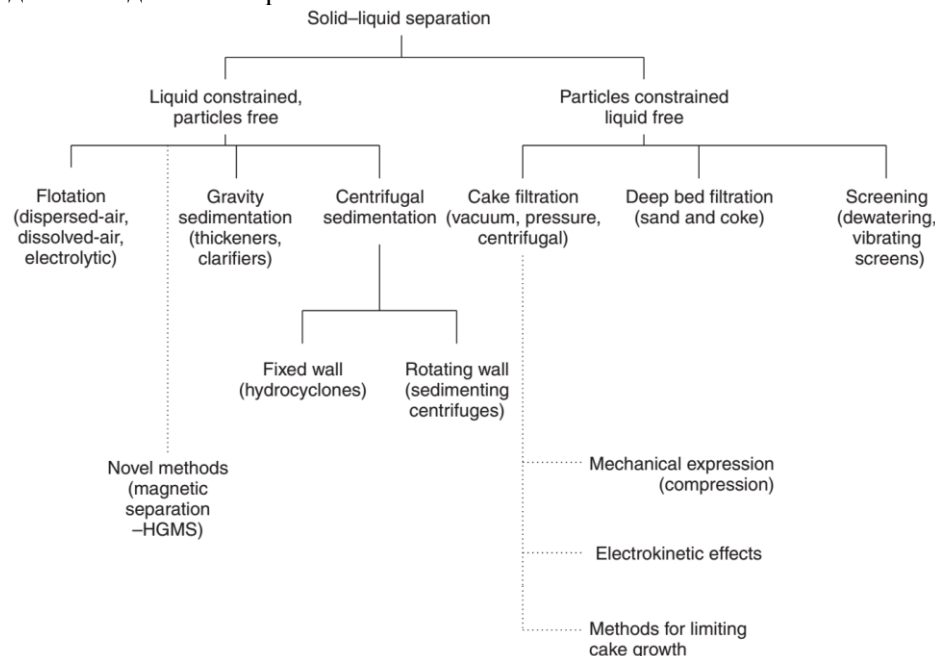


Рис.1 – Класифікація способів розділення дисперсій на фази (Svarovsky, 2000)

Так спосіб седиментації реалізують за гідромеханізованого добування сапропелю з метою осадження у відстійниках вільної вологи на початковому етапі зневоднення (Шевчук, 1996; Шевчук, 1997). Подальше зневоднення відбувається під діє сонячної енергії за описаним раніше способом. Проте така технологія зневоднення вимагає значних площ під фільтраційні поля, допускає

змішування сапропелю із матеріалом підстилаючої поверхні, а також вимагає розпушення шару покладів для інтенсифікації вологовіддачі.

Використання впливу відцентрової сили у гідроциклонах та центрифугах описуються окремими дослідниками для зневоднення сапропелів із високим вмістом зольних компонентів, але для зневоднення органічного типу сапропелю такий спосіб не знайшов впровадження (Шевчук, 1996).

Найбільш широко для зневоднення сапропелю використовується фільтрація кеку у пресах із обмеженим об'ємом камери. Прикладом використання методу відтискання у промислових масштабах є використання шнекових пресів. Але під час використання шнекового преса виникає питання із ефективною роботою фільтра у якому відбувається відділення рідини від твердої речовини. Адже через вміст у органічному сапропелі понад 50 % фракції із розміром частинок 50 мкм (Шевчук, 1996) він здатен забивати прохідні отвори фільтрів. Відомі експериментальні дослідження фільтраційних властивостей матеріалу відділяючої камери шнекового преса для зневоднення сапропелю згідно яких встановлено, що найбільш інтенсивно вода відділяється через капрон (Шимчук, 2008). Але у цих дослідженнях не наведено дані про довговічність таких фільтрувальних матеріалів.

Використання сили земного тяжіння забезпечує виділення вологи із різноманітних осадів у тому числі і сапропелів під час їх зневоднення у трубах із геотекстильних матеріалів (Cantrell et al., 2008, Berg & Filinto, 2019). За використання геотубів у них закачуються осади добути земснарядом. Заповнені осадами геотуби можуть за необхідності виконувати функції гідротехнічних споруд (Berg & Filinto, 2019). Під час перебування сапропелю у геотубі вода фільтрується через геотекстильний матеріал під діє сили земного тяжіння. Процес може тривати кілька місяців за мінімальної кількості затраченої енергії. У той же час для розташування геотубів необхідні значні підготовлені площі, як і у випадку використання способу седиментації.

Комбінована система зневоднення сапропелю запропонована у праці (Грабовець, 2008) передбачає здійснення попереднього нагріву матеріалу струмами високої частоти та наступне його зневоднення на стрічковому пресі.

Таким чином розглянуті способи та засоби для зневоднення сапропелю за умови їх енергетичної сприйнятності не забезпечують бажаної межі вологості у 70–60 %. Застосування методів сушіння із використанням штучного сушильного агенту пов'язане із значними матеріальними затратами. Тому для досягнення мінімального рівня матеріальних затрат на зневоднення сапропелю слід шукати оптимальне поєднання пристроїв для видалення вологи окремих форм зв'язку. Таким поєднанням можна вважати використання на початковому етапі зневоднення механічним стискуванням сапропелю, що дозволяє зменшити його вологість із 94 % до 72–74 %. Остаточного сапропель доцільно зневоднювати у геотубах (Tsiz et al., 2023).

Для реалізації процесу механічного зневоднення сапропелю нами розроблено конструкцію шнекового преса із самоочисним фільтром. Завдяки особливостям конструкції такий фільтр дозволяє працювати із різними типами сапропелю та забезпечувати довговічність конструкції (Цизь, 2025).

Мета дослідження – дослідити вплив конструктивних параметрів шнекового преса із самоочисним фільтром на процес зневоднення сапропелю.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для перевірки роботоздатності запропонованої конструкції шнекового преса із самоочисним фільтром було виготовлено експериментальну установку такого преса (рис. 1). На рамі 1 установки у двох підшипникових опорах 2 та 3 консольно встановлений вал 4 зі шнековою навивкою. Шнекова навивка розпочинається у зоні бункера 5 та закінчується на рівні останнього нерухомого кільця 13 самочисного фільтра 6. Самочисний фільтр складається із набору нерухомих 7 та рухомих 8 кілець, які змонтовані на шести різьбових шпильках 9. При цьому віддаль між сусідніми нерухомими кільцями змінюється ступенем стиску пружинних шайб 10 гайками 11. Завдяки цьому відбувається регулювання зазору між бічною площиною нерухомих 7 та рухомих 8 кілець. Фіксація горизонтального положення фільтра здійснюється завдяки встановленню пальців 12 останнього нерухомого кільця 13 у втулки рами 1. Осьовий отвір внутрішньої порожнини самоочисного фільтра закривається пластиною 14. У процесі роботи преса дана пластина обертається разом із валом 4, а зусилля її притискання до крайнього нерухомого кільця 13 регулюється ступенем стиску пружини 16 гвинтовим механізмом 15. Для збору рідини, яка проходить крізь фільтр передбачено лоток 17.

Привід валу 4 здійснюється від двигуна 18 через двоступінчасту пасову передачу 19. Вмикання (вимикання) установки здійснюється пультом 20.

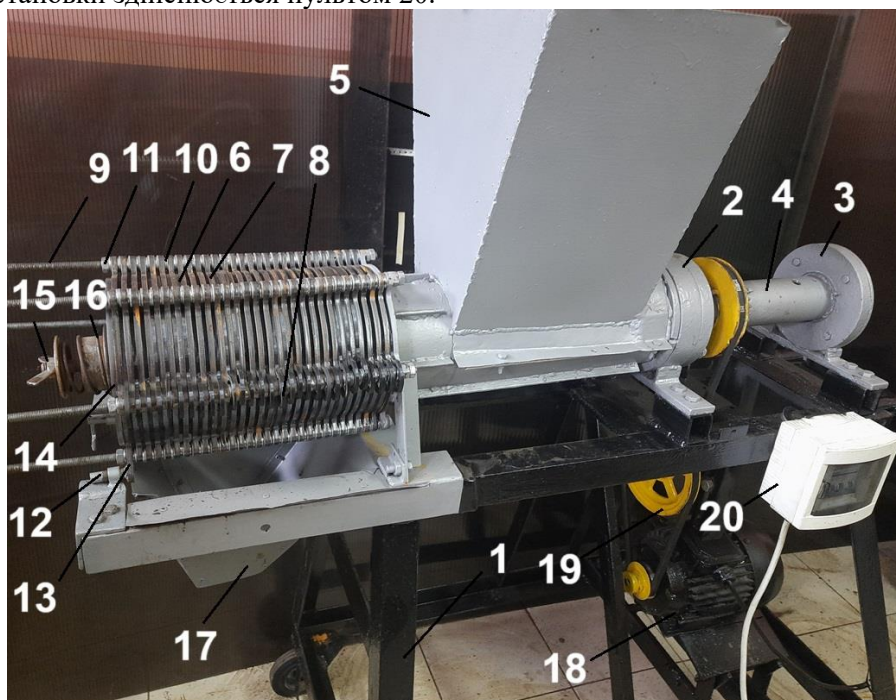


Рис. 2 - Фото експериментальної установки преса для зневоднення сапропелю

Дана конструкція експериментальної установки дозволяє досліджувати вплив таких основних конструктивних параметрів преса на процес зневоднення, як: частота обертання вала шнека, зазор між рухомими та нерухомими кільцями, довжина самоочисного фільтра та зусилля стиску пружини притискної пластини. Коло досліджуваних факторів було визначене на основі аналізу літературних джерел та попередньо проведених експериментальних і теоретичних досліджень. Значення та межі зміни факторів вплив яких досліджувався в експерименті наведено у **табл. 1**.

Таблиця 1 – Досліджувані фактори та межі їх зміни

Рівні варіювання	Фактори			
	Частота обертання вала шнека n , об/хв.	Зазор між кільцями фільтра Δ , мм	Довжина фільтра, l , м	Зусилля стиску пружини притискної пластини F , Н
Верхній (+1)	300	0,4	0,9	600
Основний (0)	250	0,3	0,6	500
Нижній (-1)	200	0,2	0,3	400

Фіксування досліджуваних факторів на визначених рівнях здійснювалось таким чином. Для зміни частоти обертання вала шнека n здійснювали встановленням шківів відповідного діаметру на валу електродвигуна. Зусилля стиску пружини визначали за коефіцієнтом жорсткості пружини та величиною її деформації. Величину сумарного зазору між рухомим кільцем та двома суміжними нерухомими встановлювали шляхом переміщення гайок 11 по шпильках 9 (див. **рис. 2**). Вимірювання отриманого значення зазору здійснювали за допомогою набору щупів. Імітацію зміни довжини фільтра здійснювали шляхом кратності пропускання сапропелю через прес. Оскільки довжина фільтра установки складає 0,3 м то за дворазової обробки сапропелю пресом вважали, що довжина фільтра складає 0,6 м. Аналогічно за трикратної обробки – 0,9 м.

З метою отримання моделі процесу зневоднення сапропелю у вигляді рівняння регресії використовували математичний метод планування для чотирифакторного експерименту, який базувався на симетричному некомпозиційному плані Бокса-Бенкіна другого порядку. Функціями відгуку були вологість зневодненого сапропелю та продуктивність преса.

Зневоднення піддавали органічний сапропель добутий пневматичним способом описаним у праці (Tsiz & Homich, 2013) на озері Бурків Волинської обл. (51.764326, 25.125718). Вихідна вологість досліджуваних зразків сапропелю складала $W = 92,2\%$.

Для визначення вологості зневодненого сапропелю із контейнера 2 (рис. 2) у трьох точка за діагоналлю відбирали орієнтовно по 100 г сапропелю. Після цього відібрані проби перемішували та з отриманого зразка відбирали приблизно по 5 г сапропелю і визначали їх вологість методом висушування. Середнє значення у трьох спробах приймалось, як вологість зневодненого сапропелю за визначених планом експерименту рівнів досліджуваних факторів.



Рис. 3 – Фото процесу реалізації експерименту за таких значень досліджуваних факторів:
 $n = 200$ об/хв; $\Delta = 0,4$ мм; $l = 0,3$ м; $F = 300$ Н

Продуктивність пресу визначали шляхом ділення маси зневодненого сапропелю, що була накопичена протягом реалізації одного експерименту у контейнері 2 (рис. 2) на час реалізації експерименту. Усі експерименти із визначення вологості (продуктивності) за визначених планом значень факторів проводили у трикратній повторюваності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За отриманими у результаті експерименту значеннями вологості зневодненого сапропелю та продуктивності преса у середовищі Mathcad були розраховані коефіцієнти рівняння регресії, встановлені їх довірчі інтервали та значущість. Після видалення незначущих коефіцієнтів перевірили гіпотезу адекватності рівнянь за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію для вологості сапропелю при дисперсії неадекватності $S_n^2 = 0,425$ та дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 0,09$ становило $F^{calc} = 4,725$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно (Аністратенко & Федоров, 1993), склало:

$$F^{tab}(0,05; f_2; f_1) = 19,43, \quad (1)$$

де $f_2 = 16$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності; $f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки,

$$F^{calc.} = 4,725 < F^{tab}(0,05; f_2; f_1) = 19,43, \quad (2)$$

то гіпотеза адекватності рівняння регресії де функцією відгуку є вологість зневодненого сапропелю вологості підтверджується.

Розрахункове значення даного критерію для продуктивності преса при дисперсії неадекватності $S_n^2 = 1,098 \times 10^{-4}$ та дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 6,4 \times 10^{-5}$ становило $F^{calc} = 1,715$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості склало:

$$F^{tab}(0,05; f_2; f_1) = 19,43, \quad (3)$$

де $f_2 = 19$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності; $f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки,

$$F^{calc.} = 1,715 < F^{tab}(0,05; f_2; f_1) = 19,43, \quad (4)$$

то гіпотеза адекватності рівняння регресії де функцією відгуку є продуктивність преса підтверджується.

Після переведення факторів у натуральні величини отримали рівняння регресії (5) вологості зневодненого сапропелю та (6) – продуктивності шнекового преса. На основі рівняння (5) побудовано поверхні відгуку (рис. 3, а-б), а на основі рівня (6) - двомірні січення поверхні відгуку (рис. 3, г)

$$W = 57.88 + 0,08894 \cdot n + 1.98 \cdot \Delta + 17,05 \cdot L + 0,10563 \cdot F - 0,00022 \cdot F \cdot n - 0,065 \cdot F \cdot L + 0,0000268 \cdot n^2 - 15.8 \cdot \Delta^2 + 6.577778 \cdot L^2 - 0,0000483 \cdot F^2, \quad (5)$$

$$Q = 0,0050934 \cdot n + 0,003 \cdot F - 1.22417 - 0,000002067 \cdot n^2 - 0,000002 \cdot F^2 - 0,000006 \cdot F \cdot n, \quad (6)$$

де W - вологість зневодненого сапропелю, %; n - частота обертання вала шнека, об/хв.; Δ - зазор між кільцями фільтра, мм; L - довжина фільтра, м; F - зусилля стиску пружини притискної пластини, Н; Q - продуктивність шнекового преса, кг/с.

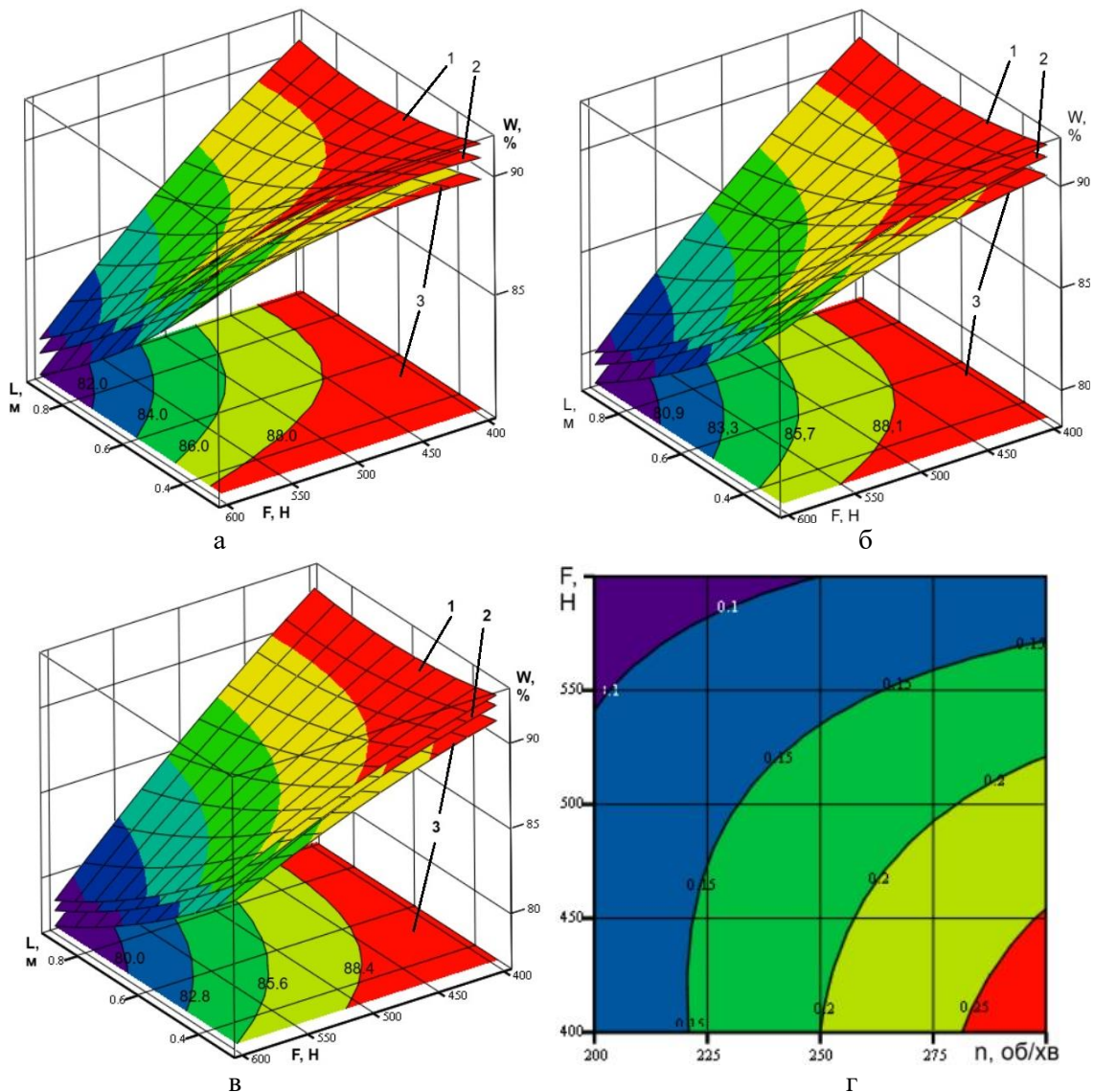


Рис. 4 – Поверхні відгуку побудовані за рівнянням (5) $L = 0,3$ м (а), $L = 0,6$ м (б), $L = 0,9$ м (в) та лінії рівня побудовані за рівнянням (6) (г): 1 - $\Delta = 0,2$ мм; 2 - $\Delta = 0,3$ мм; 3 - $\Delta = 0,4$ мм

Аналіз рівняння регресії вологості зневодненого сапропелю (5) показує, що наявний суттєвий вплив усіх досліджуваних факторів на зниження вологості сапропелю. Значущим виявились коефіцієнти регресії у парних взаємодіях між зусиллям стиску пружини притискної пластини та частотою обертання вала шнека, а також між зусиллям стиску пружини притискної пластини та довжиною фільтра. У рівнянні регресії продуктивності преса (6) незначущими виявились коефіцієнти таких факторів як зазор між кільцями фільтра та довжина фільтра. Але у даному рівнянні також значущим є коефіцієнти для парної взаємодії між зусиллям стиску пружини притискної пластини та частотою обертання вала шнека.

Форма поверхонь відгуку наведених на **рис. 4, а-в** вказує, що мінімальні значення вологості зневодненого сапропелю у $W = 80$ % досягається за частоти обертання валу шнека $n = 300$ об/хв., зазору між кільцями фільтра $\Delta = 0,4$ мм, довжини фільтра $L = 0,9$ м та зусилля стиску пружини притискної пластини $F = 600$ Н. У той же час у попередніх дослідженнях виявлено, що подальше збільшення зазору між кільцями фільтра Δ понад $0,4$ мм призводить до проходження значної кількості часток сапропелю разом із водою крізь щілини фільтра.

Аналіз графіку на **рис. 4, г** вказує, максимальна продуктивність шнекового преса забезпечується за частоти обертання валу шнека $n = 300$ об/хв. та зусилля стиску пружини притискної пластини $F = 400$ Н. Тобто максимальна продуктивність має місце за значення зусилля, яке відповідає мінімальній кількості видаленої вологи (максимальному значенню вологості зневодненого сапропелю). Тому для забезпечення продуктивності преса у межах $Q = 0,15 - 0,20$ кг/с за вологості зневодненого сапропелю в межах $W = 80,0 - 82,8$ % зусилля стиску пружини притискної пластини не повинно перевищувати $F = 550$ Н.

Згідно **рис. 4, а-в** такі досліджувані фактори, як довжина фільтра та частота обертання валу шнека забезпечують мінімальні значення вологості зневодненого сапропелю набуваючи максимальних значень у досліджуваному діапазоні. Проте подальше збільшення довжини фільтра забезпечуватиме мінімальний приріст виділеної вологи, оскільки в цьому випадку час перебування сапропелю у робочому просторі фільтра виходитиме за межі етапу миттєвого зменшення об'єму пор заповнених рідиною, а переходитиме у етап впливу сил опору внутрішнього в'язкого тертя (*Tsiz et al., 2023*). Окрім цього зростатиме матеріаломісткість та затрати на виготовлення фільтра. Збільшення частоти обертання вал шнека понад максимальне досліджуване значення призводить до значного руйнування структури сапропелю та розмірів пор через які витискується вода, що матиме негативний вплив на процес зневоднення.

ВИСНОВКИ

Дослідження процесу зневоднення сапропелю у шнековому пресі із самоочисним фільтром підтвердила його роботоздатність та можливість забезпечити зниження вологості досліджуваних зразків із 92,2 % до 80,0-82,0%. Застосування математичного методу планування експерименту під час дослідження дозволило отримати математичні моделі зміни вологості та продуктивності у вигляді рівняння регресії.

На основі аналізу отриманих моделей та побудованих за ними графічних залежностей встановлено, що раціональними параметрами роботи шнека із самоочисним фільтром є частота обертання валу шнека $n = 300$ об/хв., зусилля стиску пружини притискної пластини $F = 550$ Н, зазор між кільцями фільтра $\Delta = 0,4$ мм та довжина фільтра $L = 0,9$ м. За таких значень продуктивність преса складатиме $Q = 0,15 - 0,20$ кг/с, а вологість зневодненого сапропелю - $W = 80,0 - 82,0$ %.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Шевчук, М.Й. (1996) *Сапропелі України: запаси якості та перспективи використання (Sapropel of Ukraine: reserves, quality and prospects for use)*. Луцьк, Надстир'я, 383с.
- Шевчук, М.Й. (1997) *Агрохімічні та агроекологічні основи добування і використання озерних родовищ сапропелів в сільському господарстві (Agrochemical and agroecological foundations of extraction and use of lake sapropel deposits in agriculture)*. [Автореферат дисертації д-ра с.-г. наук], Київ.
- Дідух, В.Ф. (2002) *Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських рослинних матеріалів (Improving the efficiency of drying agricultural plant materials)*. Луцьк: РВВ ЛДТУ.
- Грабовець, В.В. (2008). *Обґрунтування механізованої технології зневоднення озерних сапропелів (Justification of the mechanized technology of lake sapropel dehydration)*. [Дисертація канд. тех. наук]. Луцький національний технічний університет, Луцьк.

- Mujumdar, A.S. (2006). *Principles, classification, and selection of dryers. Handbook of industrial drying*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Mechanical Engineering Handbook*. (1999). Ed. Frank Kreith Boca Raton, CRC Press LLC.
- Цизь, І.Є. (2005) *Патент України 7797 (Patent of Ukraine 7797)*. Київ: Державне патентне відомство України.
- Lane. (n.d.) *Rotary drum dryer*. Retrieved July 9, 2024, from <https://fertilizerindustry.com/rotary-drum-dryer/>
- Chen, G., Yue, P.L. & Mujumdar, A.S. (2006) Dewatering and Drying of Wastewater Treatment Sludge. *Handbook of Industrial Drying*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Svarovsky, L. (2000) *Solid-liquid separation*. Butterworth-Heinemann.
- Шимчук, О.П. (2009). *Обґрунтування параметрів модуля для добування озерних сапропелів (Justification of module parameters for lake sapropel mining)*. [Автореферат дисертації канд. тех. наук], Тернопіль.
- Cantrell, K.B., Chastain, J.P. & Moore, K.P. (2008). Geotextile filtration performance for lagoon sludges and liquid animal manures dewatering. *Transactions of the ASABE*, 51 (3), 1067-1076. <https://doi.org/10.13031/2013.24526>.
- Berg, G. & Filinto, A.O. (2019). Adequacy of geotextile tube dewatering in three river remediation scenarios. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 234, 155-165. <https://doi.org/10.2495/RBM190161>.
- Tsiz, I., Khomych, S., Didukh V. & Yukhymchuk, S. (2023) Study of dehydration of organic sapropel by compression method. *22nd International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. Jelgava, 173-178. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF033/>.
- Цизь, І.Є. (2025) *Патент України 159650 (Patent of Ukraine 159650)*. Київ: Державне патентне відомство України.
- Аністратенко, В.О. & Федоров В.Г. (1993) *Математичне планування експерименту в АПК (Mathematical planning of experiments in the agricultural sector)*. Київ: Вища школа.
- Tsiz, I. & Homich, S. (2013) Experimental research of working process of pneumatic intake device for sapropel extraction. *INMATEH, Agricultural Engineering*, vol. 40, No. 2, 67-72.