

УДК 628.3.004.8

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.195-205](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.195-205)

В. В. Клименко¹, проф., д-р техн. наук, **Ю. А. Невдаха**¹, доц., канд. техн. наук, **О. В. Скрипник**¹, доц., канд. техн. наук, **С. В. Конончук**¹, доц., канд. техн. наук, **В. І. Кравченко**², доц., канд. техн. наук

¹Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

²Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: uaneverdakha@ukr.net

Застосування шнекового методу пресування водовмісної композитної сировини на основі мулових осадів стічних вод для виготовлення дослідно-промислової партії композиційних біопаливних пелет

У статті представлено верифікацію виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних композитних пелет на основі мулових осадів стічних вод із застосуванням модернізованого шнекового пристрою. За результатами проведених досліджень було виготовлено модернізований шнековий пристрій, визначена його продуктивність та потужності енергоспоживання. Досліджувалася вологість пелет порівняно з вологістю вихідної композитної сировини на основі мулових ОСВ, в результаті також були отримані характеристики біопаливних пелет, виготовлених на модернізованому шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових ОСВ.

шнековий пристрій, пелет, композитна сировина, пресування, продуктивність, потужність

Постановка проблеми. При експлуатації систем очистки стічних вод на міських каналізаційних очисних спорудах (КОС) утворюються мулові осади стічних вод (МОСВ), кількість яких зростає з кожним роком [1]. В Україні КОС споруджувалися за технологічними схемами, якими не передбачено використання осадів стічних вод (ОСВ) [2]. Тому наразі розповсюдженими методами поводження з МОСВ є їх накопичення та тривале зберігання на мулових майданчиках(картах) [3]. Осади стічних вод містять шкідливі домішки і негативно впливають на довкілля, забруднюючи ґрунтові води, відкриті водойми та повітряний басейн [4, 5]. Оскільки кількість МОСВ невпинно зростає, то це потребує або розширення площ земельних ділянок для їх депонування, або, як альтернатива, вирішення проблеми ефективної утилізації свіжих МОСВ.

Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод» [6] зобов'язує суб'єкти господарювання, що забезпечують водовідведення, здійснювати облік обсягів утворення, обробки, зберігання та повторного використання МОСВ.

Серед перспективних напрямків обробки МОСВ для їх повторного використання можна виділити спосіб переробки за технологією термічної утилізації – метод, який набуває широкого розповсюдження в різних країнах [7 - 9]. Застосування такої технології дозволяє не тільки забезпечити утилізацію МОСВ, а і використати їх енергетичний ресурс в теплоенергетичних системах.

Однією з проблем термічної утилізації МОСВ є велика відмінність їх розмірів і форми після процесу зневоднення та пластично-в'язкі властивості.

Тому для підвищення ефективності рециклінгу МОСВ за технологією термічної утилізації доцільно спочатку виготовляти з них та композитів на їх основі біопаливо заданої форми у вигляді пелет або брикетів [10, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед способів переробки МОСВ можна виділити термічну утилізацію - перспективний метод, який набуває широкого розповсюдження в різних країнах (Babaiev V.M. et al, 2018; Fitili D., Zabaniotu A., 2008; Klius V.P. et al, 2018; Malhozata V. ta Mariush T., 2015; Zorina O.V., Mavrykin Ye. O. 2021) через постійне подорожчання енергії і підвищення вимог охорони природного середовища.

Вивченню питання термічної утилізації МОСВ і використанню їх енергетичного ресурсу з урахуванням підвищення вимог охорони довкілля приділяється увага в роботах (Babaiev V.M. et al, 2018; Fitili D., Zabaniotu A., 2008; Klius V.P. et al, 2018; Malhozata V. ta Mariush T., 2015; Zorina O.V., Mavrykin Ye. O. 2021). Зокрема в роботі (Babaiev). Порівняльний аналіз обробки МОСВ показали перевагу можливого використання технології термоутилізації з отриманням теплової та електричної енергії на очисних спорудах великих міст України перед технологією анаеробного зброджування мулових осадів з отриманням біогазу (Aneta Chekhovska-Kosatska et al, 2015; Babaiev V.M. et al, 2018; Klymenko V. V. et al, 2019).

В роботі [12] при оцінці технологічних сценаріїв термічної утилізації МОСВ запропоновано два основні варіанта виготовлення біопаливних пелет з МОСВ та композитів на основі МОСВ: 1) з попереднім підсушуванням до вологості 10 – 15 % (Варіант 1) після механічного зневоднення до вологості 75 – 80 % без попереднього підсушування (Варіант2).

В роботі [13] наведено результати проведених досліджень відповідно Варіанту1 виготовлення пелет для підготовки до впровадження на ОКВП «Дніпро-Кіровоград» термічної утилізації МОСВ: визначено фізико-технічні умови використання МОСВ для виробництва біопалива та експериментально апробовано виготовлення його зразків шляхом гідралічного пресування в закриту матрицю, показано доцільність використання композитної сировини для виготовлення біопалива на основі МОСВ. Для проведення експериментів з виготовлення композитних пелет використовувалися попередньо підсушені МОСВ та подрібнені рослинні відходи: опале листі, деревна тирса, а композитні пелети виготовлялися за методом сухого пресування. Отримані експериментальні зразки були доброї якості: мали густину $\rho \geq 1 \text{ г/см}^3$ і гладку зовнішню поверхню. Але для масового виробництва такий варіант є досить проблемним, оскільки окрім попереднього підсушування сировини передбачає використання складного та громіздкого пресового гідралічного обладнання.

В роботі [10] розглянуто питання ко-грануляції осадів стічних вод і біомаси та визначено щільність і твердість виготовлених КБП з мулових осадів стічних вод, китайської піхти, лушпиння рису. Авторами роботи [11] проведено дослідження дво - та трикомпонентних композитних палив, виготовлених на основі МОСВ та торфу, тирси, лушпиння гречки. За результатами досліджень зроблено висновок про можливість застосування технології переробки застарілих шламових відкладень мулових осадів стічних вод у композитне паливо на їх основі.

Хоча в роботах [10, 11] технології виготовлення КБП на основі МОСВ не вказуються, але за низьким вмістом вологи в окремих вихідних сировинних компонентах можна дійти висновку про застосування сухого або напівсухого методу гідралічного пресування.

Постановка завдання. Основною метою роботи є верифікація застосування шнекового методу пресування водовмісних пластичних матеріалів для виготовлення дослідно-промислової партії КБП на основі мулових осадів стічних вод.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні основні завдання: обґрунтувати технологічні умови та виконати аналіз пресового обладнання, що застосовується для пресування водовмісних пластичних матеріалів на прикладі глини і глинистих сумішей; модернізувати і апробувати для виробництва дослідно-промислової партії КБП на основі МОСВО шнековий пресовий пристрій спрощеної конструкції; оцінити основні фізико-технічні властивості КБП з виготовленої дослідно-промислової партії: густину, вологість, зольність, теплоту згорання, які вагомо впливають на підбір обладнання для проведення теплотехнічних випробувань установки комбінованого рециклінгу МОСВ.

Виклад основного матеріалу. Для експериментальної верифікації виготовлення дослідно-промислової партії КБП на основі пластичних МОСВ використовувалися зразки мулових осадів стічних вод (МОСВ) з системи каналізаційних очисних споруд обласного комунального виробничого підприємства «Дніпро-Кіровоград» в м. Кропивницький та лушпиння соняшника. Цим підприємством було надано зразки МОСВ після центрифугування з технологічних мулових майданчиків КОС вологістю 75...80 % двох видів: сирий муловий осад (ОСВ-1) та надлишковий муловий осад (ОСВ-2), а лушпиння соняшника надало СФГ «Личук». При виборі лушпиння соняшника в якості рослинної складової композитної сировини виходили з того, що по-перше, воно є у великій кількості в Кіровоградській області, оскільки значна частина соняшника в Україні вирощується і переробляється саме в цьому регіоні, а по-друге, відходи оліє-жирових підприємств у вигляді лушпиння соняшника мають малу вологість (8...9 %) і досить високу теплоту згорання 20...22 МДж/кг [14].

Перед проведенням досліджень надані зразки мулових осадів ОСВ-1 і ОСВ-2 змішувалися у пропорції 1:1,5, оскільки в такій пропорції вони видаляються в процесі експлуатації КОС для механічного обезводнення на центрифугах. Для позначення такої суміші мулових осадів будемо вживати термін: активний муловий осад стічних вод.

Лушпиння соняшника подрібнювалися і просіювалися на лабораторному ситі № 3,5 (діаметр отворів 3,5мм).

Загальний вигляд зразків активного МОСВ і подрібненого лушпиння соняшника показано на рис. 1



а - зразок активного МОСВ; б - зразок подрібненого лушпиння соняшника

Рисунок 1 - Загальний вигляд зразків активного МОСВ і подрібненого лушпиння соняшника

Джерело: розроблено авторами

При проведенні експериментальних досліджень виготовлення дослідно-промислової партії КБП на основі мулових осадів стічних вод застосовувалася наступна послідовність: здрібнення та просівання лушпиння соняшника; підготовка суміші компонентів «активний МОСВ + лушпиння соняшника»; пресування суміші

компонентів у шнековому пристрої; підсушування вироблених КБП в природних умовах.

З урахуванням результатів раніше проведених досліджень виготовлення експериментальних зразків КБП з мулових осадів стічних вод ОКВП «Дніпро-Кіровоград» і опалого листя, рекомендовано для виготовлення дослідно-промислової партії КБП використовувати композитну сировину такого складу: 80 % - активні МОСВ, 20 % - лушпиння соняшника.

На початку дослідження вимірювалась вологість сировини за стандартною методикою (Карп І. М. et al, 2017).

Для визначення насипної щільності здрібненого лушпиння соняшника його засипали у попередньо зважений мірний циліндр об'ємом 0,05 дм³. Залишок лушпиння в циліндрі знімали металевою лійкою. Після цього циліндр з лушпинням зважували і визначали насипну щільність за формулою:

$$\rho_i = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (1)$$

де m_1 - маса мірного циліндра з лушпинням, кг;

m_2 - маса мірного циліндра без лушпиння, кг;

V - об'єм циліндра, м³.

Зважування мірних циліндрів здійснювали за допомогою електронних вагів з ціною поділу 1×10^{-5} кг.

При виборі пресового пристрою для виготовлення на основі мулових ОСВ дослідно-промислової партії біопаливних пелет приймалося до уваги, що надані зразки осадів є пластично-в'язкими матеріалами і композитна сировина, виготовлена на основі мулових осадів (80 %) та лушпиння соняшника (20 %) (КС-ОЛ) також буде мати пластичні властивості.

З відомих пластичних матеріалів, які найбільш близькі за властивостями до композитної сировини КС-ОЛ та широко використовуються в промисловості, є глини і глинисті розчини [15, 16].

Преси, що застосовуються для пластичного формування глини, глинистих та інших сумішей за конструкцією устрою, який пресує, підрозділяються на шнекові, поршневі і преси штампувальної дії [15, 16]. З них найбільше поширення одержали шнекові преси, які використовуються в промисловості протягом більш ста років.

Схемне рішення модернізованого шнекового пристрою для виготовлення дослідної партії біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод представлено на рис.2а, а його загальний вид показано на рис. 2б.

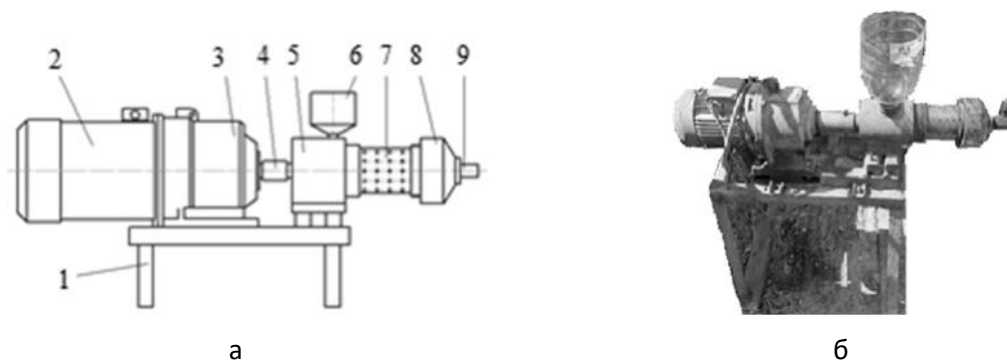
Обладнання експериментальної установки дозволяє виконувати випробування на стиск при максимальному навантаженні 50 кН.

Прес змонтований на рамі 1 і містить: електродвигун 2, редуктор 3, муфту 4, ємність для завантаження суміші 5, шнек 6, корпус шнека 7, формуючу голівку 8, мундштук 9.

Транспортування, пресування сировини та формування біопаливних пелет на основі мулових ОСВ здійснюється у голівці шнекового преса.

Модернізований шнековий пресовий пристрій працює наступним чином. Підготовлена сировина для виготовлення біопаливних пелет на основі мулових ОСВ загрузається в ємність 5, з якої подається в міжвитковий простір забірної частини шнека 6 (рис 2а).

Під дією нових порцій МОСВ, що надходять, і сил тертя між корпусом преса 7 і масою МОСВ остання, поряд з круговим обертанням разом зі шнеком, одержує осьове переміщення вздовж корпусу і шнека і входить по міжвитковому просторі в корпус циліндра 7, в зону транспортуючих витків шнека. Маса МОСВ постійно ущільнюється спочатку в міжвитковому просторі шнека забірної частини, а потім у зоні циліндра 7. З ростом щільності маси МОСВ росте і тиск її на стінки циліндра (корпуса) преса.



а - схемне рішення модернізованого шнекового пристрою для виготовлення біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод; б - загальний вигляд шнекового пристрою для виготовлення біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод

Рисунок 2 - Модернізований шнековий пристрій

Джерело: розроблено авторами

Пластинчата маса МОСВ повертається разом зі шнеком, що викликає просування її за один оберт шнека не на довжину кроку гвинта, а на розмір, менший кроку гвинта на 10...40 %. Величина просування пластинчастої маси за один оберт шнека оцінюється коефіцієнтом подачі шнека.

Із зони транспортуючих витків маса МОСВ надходить у зону кінцівика шнека з двозахідної випірною лопаттю. В площині закінчення випірної лопаті пластинчата маса МОСВ розвиває найбільший тиск на стінки корпусу й в осьовому напрямку, завдяки якому, проштовхується у формовочну частину голівки 8 і проходить через неї до мундштука 9, в якому набуває остаточної циліндричної форми діаметром $d = 16$ мм. З мундштука виходять циліндричні біопаливні пелети $d = 16$ мм.

Проведено повірочний розрахунок продуктивності та потужності енергоспоживання модернізованого шнекового преса для виготовлення дослідної партії біопаливних пелет на основі мулових ОСВ.

Основними елементами модернізованого шнекового преса є мотор-редуктор 1МПз 2 - 40 за ТУ2-056-208-82, який використовується для приводу шнека, та голівка шнекового преса. Технічні характеристики мотор-редуктора 1МПз 2 - 40 наведено в табл.1.

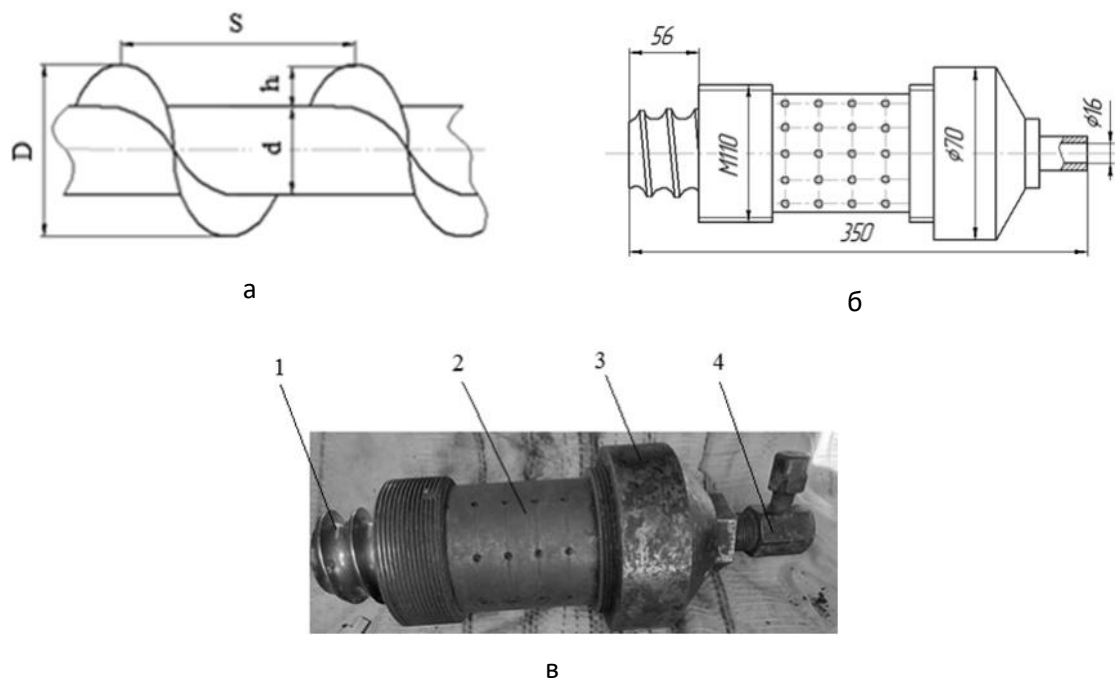
Таблиця 1 - Технічні характеристики мотор-редуктора 1МПз 2 – 40

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Частота обертання вихідного валу, n	об/хв	45
Момент на вихідному валу, T	Нм	235
Встановлена потужність електродвигуна, $P_{ел.дв.}$	кВт	1,1

Джерело: розроблено авторами

Основні геометричні характеристики голівки (розробка авторів) шнекового преса показано на рис. 3 та наведено в табл. 2.

Повіро́чний розрахунок продуктивності та потужності енергоспоживання модернізованого шнекового преса проводився з використанням методики, викладеної в роботі [14].



а - параметри шнека; б - голівка шнека зі шнеком; в - загальний вид голівки модернізованого шнекового пресу:

1 - забірна частина шнека; 2 - циліндр; 3 - формуюча частина голівки; 4 - мундштук

Рисунок 3 - Схема конструкції голівки шнекового преса

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2 - Геометричні характеристики голівки шнекового преса

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Діаметр шнека, D	м	0,072
Крок гвинта шнека, S	м	0,022
Діаметр валу шнека, d	м	0,055
Висота лопаті, h	м	0,0085
Діаметр отвору мундштука, d ₁	м	0,016
Довжина шнека, L	м	0,280

Джерело: розроблено авторами

Для визначення продуктивності шнекового преса з достатньою точністю можна користуватися виразом [17]:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)(S - \delta)K_3 n 60\rho}{4}, \quad (2)$$

де D - зовнішній діаметр циліндричної вихідної частини шнека, м;

K₃ – коефіцієнт, що враховує усі чинники зменшення середньої осьової швидкості руху потоку сировини крізь перетин кінцевої секції; приймаємо K₃ = 0,35 [17];

d - діаметр основи шнека, м;

S - крок шнека, м;

δ – товщина лопаті, м;
 n - частота обертання шнека, об/хв;
 ρ - густина матеріалу на виході з преса, т/м³.

Потужність, яка витрачається шнеком P_{Σ} складається з потужності P_1 на створення у композитній сировині тиску, достатнього для подолання опору формувальних органів (умовно корисні витрати) та втрат потужності на тертя лопатей по сировині у зоні максимального тиску P_2 , транспортування сировини до цієї зони P_3 та роботу нагнітальних лопатей P_4 :

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (3)$$

При визначенні потужності P_1 на створення тиску у сировині можна з деяким спрощенням скористатися загально вживаною залежністю для розрахунку втрат потужності нагнітачем-насосом [17]:

$$P_1 = \frac{q Q_{\Pi}}{10^3}, \quad (4)$$

де $q = 5 \cdot 10^6$ Па, - заданий у вихідних даних тиск в пресовій голівці;
 Q_{Π} , м³/с - об'ємна продуктивність (подача сировини нагнітачем)

$$P_2 = \frac{2\pi f q (R^3 - r^3) \omega}{3 \cdot 1000}, \quad (5)$$

де $\omega_{ш} = 4,71$ - кутова швидкість шнека, с⁻¹;
 $f = 0,3$ - коефіцієнт тертя сировини по поверхні шнеку під тиском.

Витрати потужності P_3 на транспортування сировини до зони тиску, куди входять й витрати на попереднє ущільнення, а також P_4 на роботу пристроїв нагнітання сировини у шнек у порівнянні із першими двома складовими незначні, звичайно не перевершують 20 % від їх суми і можуть враховуватись спрощено при розрахунку сумарної потужності:

$$P_{\Sigma III} = K_{\text{тр}} \cdot K_{\text{д}} \cdot (P_1 + P_2), \quad (6)$$

де $K_{\text{тр}} = 1,15 \dots 1,3$ - коефіцієнт врахування P_3 і P_4 ;

$K_{\text{д}} = 1,05 \dots 1,15$ - коефіцієнт врахування втрат потужності на тертя у підшипниках та ущільненнях шнекового вала.

По скільки привод виготовлений індивідуально потужність двигуна визначається по формулі [17]:

$$P_{\text{дв}} = K_{\text{зап}} \cdot \frac{P_{\Sigma III}}{\eta}, \quad (7)$$

де $K_{\text{зап}} = 1,05 \dots 1,1$ - коефіцієнт запасу потужності двигуна;

$\eta = 0,85 \dots 0,9$ - ККД привода.

Проведене тестування модернізованого шнекового пристрою для виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних пелет на основі мулових ОСВ.

Пресування сировини та виготовлення біопаливних пелет на основі мулових ОСВ здійснювалося у голівці модернізованого шнекового пресу, конструктивна схема конструкції якої приведена на рис. 3а, б, а загальний вид показано на рис. 3в.

Для виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних пелет на основі мулових ОСВ використовувалася композитна сировина в складі: мулові ОСВ після центрифуги (вологість $W_{\text{мосв}} = 72\%$) - 80 %, лушпиння соняшника (вологість $W_{\text{л.с}} = 9\%$) - 20 %.

Компоненти ретельно перемішувалися у відкритій посудині до досягнення стану однорідної суміші. Потім включалося живлення мотор-редуктора і шнековий пристрій працював від 5 до 10 хв на холостому ходу.

Після цього підготовлена композитна біосировина вручну завантажувалася у ємність 5 (рис. 2а) і з неї поступово надходила у міжвитковий простір забірної частини шнека 1 (рис. 3в) і транспортувалася до формуючої частини голівки 3 рис 3в. При цьому маса біосировини постійно ущільнювалася і відповідно зростав тиск на стінки циліндра (корпуса) преса і в осьовому напрямку. Завдяки цьому біосировина проштовхується у формовочну частину голівки 3 і проходить через неї до мундштука 4, в якому набуває остаточної циліндричної форми (рис. 4). З мундштука виходять циліндричні біопаливні пелети $d = 16$ мм, загальний вид яких показано на рис. 5.



Рисунок 4 - Загальний вид формуючої частини голівки і мундштука шнекового преса в ході процесу виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних пелет на основі мулових ОСВ

Джерело: розроблено авторами



а



б

а - біопаливні пелети, з композитної сировини; б - біопаливні пелети на основі мулових осадів стічних вод ОКВП «Дніпро-Кіровоград»

Рисунок 5 - Загальний вигляд біопаливних пелет ($d = 16$ мм), виготовлених на модернізованому шнековому пресі, розміщених для просушування в умовах відкритої атмосфери

Джерело: розроблено авторами

Основні характеристики біопаливних пелет, виготовлених на модернізованому шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових ОСВ ОКВП «Дніпро-Кіровоград» наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Основні характеристики біопаливних пелет, виготовлених на модернізованому шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових ОСВ ОКВП «Дніпро-Кіровоград»

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Склад композитних пелет:		
- мулові осади стічних вод	%	80
- лушпиння соняшника	%	20
Діаметр пелет, d	мм	16
Густина пелет на виході зі шнекового пресового пристрою, ρ	кг/м ³	1010
Вологість підсушених пелет, W	%	23
Зольність, A	%	33
Теплота згорання (розрахована), Q	МДж/кг	21,6
Загальна маса виготовлених пелет, m _п	кг	50

Висновки. Досліджено шнековий пристрій спрощеної конструкції проведено перевірений розрахунок продуктивності та потужності енергоспоживання шнекового преса обґрунтовані його технологічні умови та проведено апробування. Випробування модернізованого шнекового пристрою для виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод підтвердило його працездатність Але, в ході виготовлення не вдалося досягнути суттєвого зниження вологості пелет порівняно з вологістю вихідної композитної сировини на основі мулових ОСВ. Частково це пов'язано з відносно великим розміром отворів ($d = 4$ мм) в корпусі циліндра, які призначалися для планованого відводу рідини при пресуванні сировини. Проте виявилось, що при підвищенні тиску орієнтовно до 5 МПа через ці отвори почала виходити сировина, а не рідина, що не дозволило підвищити тиск пресування до більш високих величин.

Зменшення вологості виготовлених пелет в межах від 7 до 10 % спостерігалось при місцевому малопотужному підігріві циліндра шнекового преса до 45...50 °С. Тому для зниження вологості до меншої величини виготовлені біопаливні пелети підсушували в умовах відкритої атмосфери, як правило протягом ≤ 24 год, до вологості $\approx 18...25$ %.

Список літератури

1. Sniezhkin Yu., Petrova Z., Paziuk V., Novikova Y. State of wastewater treatment technologies in Ukraine and the world. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2021. Vol. 43 (1). P. 5–12. DOI: 10.34133/2019/7507131 (in Ukrainian).
2. Карп І. М., П'яних К. Є., Нікітін Є. Є. Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів міських стічних вод і шляхи її вирішення (Огляд). *Енерготехнології та ресурсосбереження*. 2017. № 2. С. 35–48.
3. Іванова І. М. Розроблення рекомендацій щодо збереження земель завдяки утилізації вмісту мулових карт. *Технічні науки та технології*. 2015. № 1. С. 191–199.
4. Dregulo A. M., Bobylev N. G. Integrated Assessment of Groundwater Pollution from the Landfill of Sewage Sludge. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22 (1). P. 68–75. DOI: 10.12911/22998993/128872

5. Горох Н. П. Екологічна оцінка шкідливих речовин під час комплексної утилізації муніципальних відходів. *Комунальне господарство міст*. 2005. № 63. С. 171–181.
6. Про водовідведення та очищення стічних вод : Закон України від 12.01.2023 № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 25.04.2025).
7. Karp I. M., Pyanykh K. Ye., Nikitin Ye. Ye. Problem of sewage sludge utilization and neutralization and a ways of its decision. *Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2017. № 2. P. 25–38 (in Ukrainian).
8. Добровольська О. Г. Перероблення відходів комунальних підприємств : навч.-метод. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-проф. програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 22 с.
9. Karp I. M., Pyanykh K. E., Nikitin E. E. Problema utilizatsii ta zneshkodzhenia mulovykh osadiv miskikh stichnykh vod ta shliahi ii vyrishenia (ogliad). *Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2017. № 2. P. 35–48 (in Ukrainian).
10. Кравченко В. І., Білоус Ю. В., Кравченко В. П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. *Таврійський науковий вісник. Сер. Технічні науки*. 2023. Вип. 3. С. 88–94.
11. Кравченко В. І. Виготовлення та експериментальна оцінка біопалива на основі осадів стічних вод для одержання теплової енергії та будівельного матеріалу. *Вісник ХНТУ. Сер. Технічні науки*. 2024. № 2. С. 32–37.
12. Карп І. М., П'яних К. Є., П'яних К. К. Очистка і переробка відходів. *Енерготехнології і ресурсосбереження*. 2019. № 2. С. 34–48.
13. Klymenko V., Kravchenko V., Koltun P., Nevdakh Yu., Zavodyannyi V. Evaluation of Technological Scenarios for Production of Composite Biofuels Based on Communal Waste. In: *Balancing Water-Energy-Food Security in the Era of Environmental Change*. 2025. P. 20.
14. *Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів* : монографія / за ред. В. В. Клименка. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с.
15. Суббота І. С., Спасьонова Л. М., Тобілко В. Ю. Хімічна технологія кераміки : підруч. для студ. спец. 161 «Хімічні технології та інженерія». Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2022. 178 с.
16. Болтянська Н. І., Комар А. С. Аналіз конструкцій пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. № 8 (2). С. 1–12.
17. *Основи проектування одночерв'ячних екструдерів* : навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 200 с.

References

1. Sniezhkin, Yu., Petrova, Z., Paziuk, V., & Novikova, Y. (2021). State of wastewater treatment technologies in Ukraine and the world. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 43(1), 5–12. <https://doi.org/10.34133/2019/7507131> [in Ukrainian].
2. Karp, I. M., Pyanykh, K. Ye., & Nikitin, Ye. Ye. (2017). Problem of utilization and neutralization of sewage sludge of municipal wastewater and ways to solve it (Review). *Energy Technologies and Resource Saving*, (2), 35–48 [in Ukrainian].
3. Ivanova, I. M. (2015). Development of recommendations for land conservation through the utilization of sludge card content. *Technical Sciences and Technologies*, (1), 191–199 [in Ukrainian].
4. Dregulo, A. M., & Bobylev, N. G. (2021). Integrated assessment of groundwater pollution from the landfill of sewage sludge. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 68–75. <https://doi.org/10.12911/22998993/128872>.
5. Horokh, N. P. (2005). Ecological assessment of harmful substances during complex utilization of municipal waste. *Municipal Economy of Cities*, (63), 171–181 [in Ukrainian].
6. Verkhovna Rada of Ukraine. (2023, January 12). On wastewater disposal and treatment: Law of Ukraine № 2887-IX. Retrieved April 25, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> [in Ukrainian].
7. Karp, I. M., Pyanykh, K. Ye., & Nikitin, Ye. Ye. (2017). Problem of sewage sludge utilization and neutralization and ways of its decision. *Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, (2), 25–38 [in Ukrainian].
8. Dobrovolska, O. H. (2021). Processing of municipal enterprise waste: Educational-methodical manual for bachelor's degree students, specialty 192 "Construction and civil engineering", educational-professional program "Urban engineering networks". Zaporizhzhia: ZNU [in Ukrainian].

9. Karp, I. M., Pianykh, K. E., & Nikitin, E. E. (2017). Problema utilizatsii ta zneskhodzhennia mulovykh osadiv miskikh stichnykh vod ta shliahy ii vyrishennia (ohliad). *Energotehnologii i resursoberezhennia [Energy Technologies and Resource Saving]*, (2), 35–48 [in Ukrainian].
10. Kravchenko, V. I., Bilous, Yu. V., & Kravchenko, V. P. (2023). *Creation and justification of composite fuel based on sewage sludge. Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (3), 88–94 [in Ukrainian].
11. Kravchenko, V. I. (2024). *Production and experimental evaluation of biofuel based on sewage sludge for obtaining thermal energy and building material. Bulletin of KhNTU. Technical Sciences*, (2), 32–37 [in Ukrainian].
12. Karp, I. M., Pyanykh, K. Ye., & Pyanykh, K. K. (2019). *Wastewater treatment and processing. Energy Technologies and Resource Saving*, (2), 34–48 [in Ukrainian].
13. Klymenko, V., Kravchenko, V., Koltun, P., Nevdakha, Yu., & Zavodyannyi, V. (2025). Evaluation of technological scenarios for production of composite biofuels based on communal waste. In *Balancing Water-Energy-Food Security in the Era of Environmental Change* (p. 20).
14. Klymenko, V. V. (Ed.). (2017). *Technological foundations of biofuel production from plant waste and their composites: Monograph*. Kropyvnytskyi: PP “Ekskliuzyv-System” [in Ukrainian].
15. Subbota, I. S., Spasionova, L. M., & Tobilko, V. Yu. (2022). *Chemical technology of ceramics: Textbook for students of specialty 161 “Chemical technologies and engineering”*. K.: KPI named after I. Sikorskyi [in Ukrainian].
16. Boltianska, N. I., & Komar, A. S. (2018). *Analysis of press designs for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. Scientific Bulletin of Tavria State Agrotechnological University*, 8(2), 1–12 [in Ukrainian].
17. Mikulionok, I. O., Sokolskyi, O. L., Sivetskyi, V. I., & Radchenko, L. B. (2015). *Fundamentals of single-screw extruder design: Textbook*. Kyiv: NTUU “KPI” [in Ukrainian].

Vasyl Klymenko¹, Prof., Doctor of Technical Sciences, **Yurii Nevdakha**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Skrypnyk**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Kononchuk**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Kravchenko**², Assoc. Prof., PhD tech. sci.

¹Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

²Kherson State Agrarian and Economic University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Application of the Screw Method of Pressing Water-Containing Composite Raw Materials Based on Sewage Sludge for the Manufacture of a Pilot Batch of Composite Biofuel Pellets

The technological conditions for the production of a pilot batch of biofuel pellets based on sewage sludge from the Dnipro-Kirovograd wastewater treatment plant are substantiated, taking into account their plastic properties. An analysis of the pressing equipment used for pressing water-containing plastic materials was carried out on the example of clays and clay mixtures. A screw press device of a simplified design was selected and tested for the production of a pilot batch of biofuel pellets based on the MOSS of the OKVP ‘DNIPRO-KIROVOGRAD’. The method of calculation of a screw press device of a simplified design and the algorithm of its application are described, and its verification calculation is performed. The main physical and technical properties of biofuel pellets from the manufactured pilot batch were evaluated: density, moisture content, ash content, calorific value.

During the experiments, it was not possible to achieve a significant reduction in the moisture content of the pellets compared to the moisture content of the original composite raw material based on sewage sludge. This is partly due to the relatively large size of the holes in the cylinder body, which were intended for the planned drainage of liquid during the pressing of raw materials. However, it turned out that when the pressure was increased to about 5 MPa, raw materials, not liquid, began to flow out through these holes, which made it impossible to increase the pressing pressure to higher values.

A decrease in the moisture content of the manufactured pellets in the range of 7 to 10 % was observed with local low-power heating of the screw press cylinder to 45...50 °C. Therefore, to reduce the moisture content to a lower value, the manufactured biofuel pellets were dried in an open atmosphere, usually for ≤ 24 h, to a moisture content of ≈18...25 %.

screw device, pellet, composite raw materials, pressing, productivity, power

Одержано (Received) 23.04.2025

Прорецензовано (Reviewed) 15.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 24.06.2025