

**ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ВПРОВАДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ  
СТІЧНИХ ВОД**

**Кравченко В. І.** - кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної  
інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0003-2245-7194

*Робота спрямована на підготовку до впровадження термічної утилізації механічно зневоднених мулових осадів стічних вод шляхом спалювання виготовлених композитних біопаливних пелет складом 80% мулові осади + 20% лушпиння соняшника у водогрійному котельному агрегаті і опалювання приміщень ОКВП «Дніпро-Кіровоград». Для виробництва композитних біопаливних пелет використовується мінілінія з продуктивністю до 60 кг/год, а для їх утилізації водогрійний котел АОВА-50, який здатен опалювати приміщення площею  $\approx 500 \text{ м}^2$ . В роботі проведена оцінка техніко-економічних показників впровадження дослідно-промислової комбінованої установки для термічної утилізації механічно зневоднених мулових осадів стічних вод та опалення тепловою потужністю 50 кВт приміщення майстерні площею 530  $\text{м}^2$  очисних споруд стічних вод у місті Кропивницький. Визначено орієнтовний план потрібного обсягу кількості композитних біопаливних пелет на опалювальний сезон та кількість теплоти, виділеної при спалюванні їх за зміну. Розраховано вартості мінілінії виготовлення пелет, витратного покупного матеріалу, витрати на заробітну плату та амортизацію обладнання. Встановлено, що собівартість виробництва 1 т композитних біопаливних пелет, виготовлених на мінілінії*

складає 3665 грн. Економічний ефект в результаті заміщення електроопалення на опалення 1 т палива, виготовленого на основі мулових осадів стічних вод складе 26160 грн/т. Повна собівартість витрат на опалення при використанні 1 т композитних біопаливних пелет складає 6565 грн/т, а орієнтовний економічний ефект за рік (опалювальний період 6 міс.) в результаті заміщення електроопалення на опалення пелетами приміщення майстерні складе 1695,2 тис. грн/рік, при терміні окупності  $\approx$  3 місяці. Велика різниця у вартості опалення електроенергією і композитними біопаливними пелетами на основі мулових осадів стічних вод дозволяє прогнозувати високу економічну ефективність комбінованої установки термічної утилізації осадів та опалення приміщень підприємства.

**Ключові слова:** мулові осади стічних вод, композитні біопаливні пелети, термічна утилізація, дослідно-промислова установка, техніко-економічні показники

### ***Kravchenko V.I. Evaluation of technical and economic indicators of implementation of a sewage sludge disposal plant***

*The work is aimed at preparing for the implementation of thermal utilization of mechanically dewatered sewage sludge by burning manufactured composite biofuel pellets with a composition of 80% sludge + 20% sunflower husk in a water-heating boiler unit and heating the premises of OKVP "Dnipro-Kirovograd". A mini-line with a productivity of up to 60 kg/h is used for the production of composite biofuel pellets, and for their utilization, an AOVA-50 water-heating boiler is used, which is capable of heating premises with an area of  $\approx$  500 m<sup>2</sup>. The work assesses the technical and economic indicators of the implementation of a pilot-industrial combined plant for thermal utilization of mechanically dewatered sewage sludge and heating with a thermal capacity of 50 kW of a workshop with an area of 530 m<sup>2</sup> of wastewater treatment facilities in the city of Kropyvnytskyi. An approximate plan of the required volume of composite biofuel pellets for the heating season and the amount of heat released during their combustion per shift was determined. The cost*

*of the mini-line for the production of pellets, consumable purchased material, labor costs and equipment depreciation were calculated. It was established that the cost of production of 1 ton of composite biofuel pellets produced on the mini-line is 3665 UAH. The economic effect as a result of replacing electric heating with heating 1 ton of fuel produced on the basis of sewage sludge will be 26160 UAH/t. The full cost of heating costs when using 1 ton of composite biofuel pellets is 6565 UAH/t, and the approximate economic effect per year (heating period 6 months) as a result of replacing electric heating with heating with pellets for the workshop premises will be 1695.2 thousand UAH/year, with a payback period of  $\approx 3$  months. The large difference in the cost of heating with electricity and composite biofuel pellets based on sewage sludge allows us to predict high economic efficiency of a combined thermal utilization plant for sludge and heating of enterprise premises.*

**Keywords:** *sewage sludge, composite biofuel pellets, thermal utilization, pilot plant, technical and economic indicators*

**Вступ.** Існуючі в Україні технології очистки стічних вод не передбачають утилізацію або використання мулових осадів стічних вод (МОСВ), що утворюються на каналізаційних очисних спорудах (КОС) [1].

Для зменшенні негативного впливу на довкілля потрібно здійснювати переробку свіжих та накопичених мулових осадів. Серед способів їх переробки можна виділити термічну утилізацію – перспективний метод, який набуває широкого розповсюдження в різних країнах. Технологічна реалізація цього методу дозволяє не тільки забезпечити вимоги до охорони природного середовища, а і використовувати енергетичну складову МОСВ [2, 3].

Для вирішення проблеми утилізації МОСВ, що утворюються на КОС ОКВП «Дніпро-Кіровоград», проаналізовано їх пластично-в'язкі властивості та розроблено технологічні умови виготовлення на їх основі дослідно-промислової партії біопаливних пелет [4]. Рекомендовано для виготовлення використовувати композитну сировину КС-ОЛ у складі: 80% - МОСВ і 20% - лушпиння соняшника. Для пресування сировини обґрунтовано застосування

модернізованого пресового пристрою з використанням горизонтального шнекового преса (рис. 1). Виготовлено дослідно-промислову партію композитних біопаливних пелет (КБП) загальною масою 50 кг, достатню для теплотехнічних випробувань їх використання при спалюванні у котлі потужністю 20-50 кВт та визначено їх вологість, зольність і розраховано теплоту згоряння.

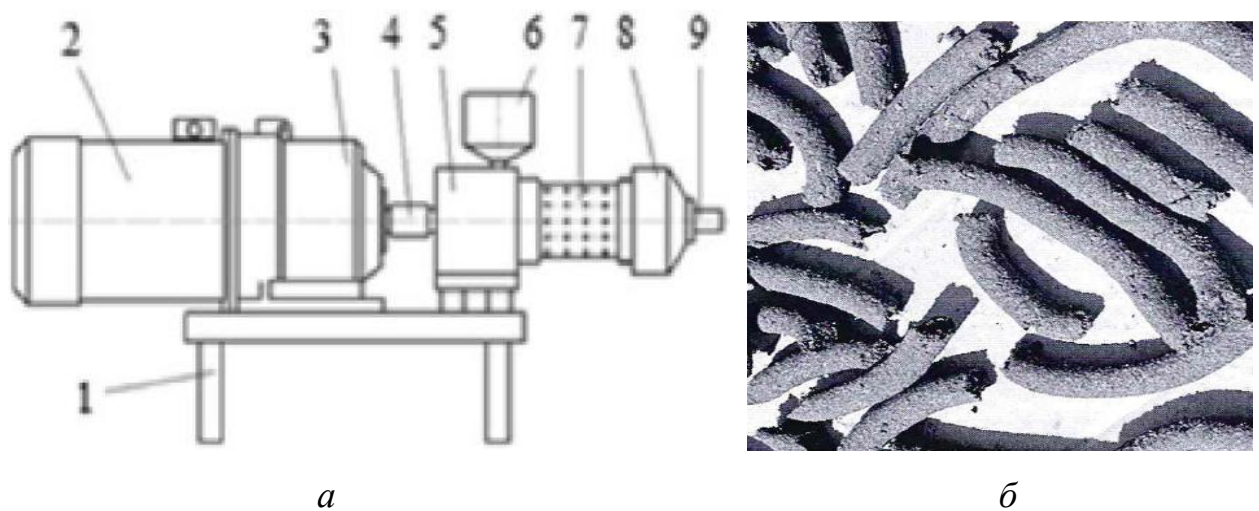


Рисунок 1 - Схема модернізованого шнекового пристрою для виготовлення біопаливних пелет – *а*; загальний вигляд біопаливних пелет ( $d = 16$  мм), виготовлених на шнековому пристрою з композитної сировини на основі мулових осадів стічних вод – *б*

1 - рама; 2 - електродвигун; 3 - редуктор; 4 - муфта; 5 - шнек; 6 – ємність для завантаження суміші; 7 – корпус шнека; 8 – формувальна головка; 9 - мундштук

**Мета роботи.** Оцінка техніко-економічних показників виготовлення композитних біопаливних пелет для дослідно-промислової установки термічної утилізації МОСВ після їх механічного зневоднення та опалення приміщення майстерні (КОС) у місті Кропивницький.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідної установки термічної утилізації МОСВ було вибрано водогрійний котел АОВА-50. Такий котел

доцільно використовувати для опалення приміщення, площею  $\approx 500 \text{ м}^2$ , наприклад майстерні, площа якої становить  $530 \text{ м}^2$ , а об'єм  $3162 \text{ м}^3$ .

Технічні характеристики котельного агрегату:

Номинальна теплова потужність, ( $Q_{ном}$ ), кВт – 50

Діапазон регулювання теплопродуктивності, кВт, 20-50

Площа обігріву,  $\text{м}^2$  – 500

Витрата палива, кг/год, - не більше 11, 0

Коефіцієнт корисної дії (ККД), % - 85

Максимальна температура води на виході, ( $T_{max}$ ), С – 90

Робочий тиск у котлі, ( $P_p$ ), МПа, не більше – 0,1

Оптимальна витрата води,  $\text{м}^3/\text{год}$  – 0,5

Об'єм води у котлі,  $\text{дм}^3$  – 140

На підставі даних, отриманих при теплотехнічних випробуваннях водогрійного котельного агрегату АОВА-20 в режимі спалювання КБП, виготовлених на основі МОСВ [5], ККД котельного агрегату АОВА-50 було прийнято  $\eta_k = 85\%$ .

Утилізація МОСВ буде здійснюватися при спалюванні КБП вологістю 15% і нижчою теплою згоряння  $Q^p_n = 18 \text{ МДж/кг}$ . Для опалення приміщення майстерні (термін 6 місяців) витрату пелет визначаємо з рівняння [5]

$$B_n = Q_1 / (\eta_k \cdot Q^p_n) = 53 \cdot 3,6 / (0,85 \cdot 18) = 12,5 \text{ кг/год},$$

де  $Q_1 = q_{10} \cdot F_m = 0,1 \cdot 530 = 53 \text{ кВт}$  – теплова потужність, необхідна для опалення приміщення;

$q_{10} = 0,1 \text{ кВт}$  – прийняте значення теплової потужності для опалення  $10 \text{ м}^2$  приміщення при температурі гарячої води  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

У таблиці 1 наведено орієнтовний план потрібного обсягу кількості КБП.

Таблиця 1 – Орієнтовний план потрібного обсягу кількості КБП

№ з/п	Показники	Величина
1	Вид продукції	Композитні біопаливні пелети
2	Параметри продукції	

	а) склад, %:	80
	мулові осади стічних вод	20
	лушпиння соняшника	15
	б) відносна вологість, %	
3	Кількість змін роботи котельного агрегату (на добу)	3
4	Обсяг споживання:	
	кг/годину	12,5
	кг/зміну, $P_{зм}$	120
	т/місяць, $P_{пм}$	10,8
5	Кількість робочих днів на місяць	30
6	Тривалість зміни, год	8

Кількість теплоти, виділеної при спалюванні пелет за зміну

$$Q_{I_{зм}} = 120 \cdot 18 = 2160 \text{ МДж}$$

Вартість основного витратного покупного матеріалу, лушпиння соняшника, 3000 грн/т. Вартість лушпиння соняшника на 1 т композитних біопаливних пелет 600 грн/т.

Для виробництва композитних біопаливних пелет використовується мінілінія (МВП) з продуктивністю до  $P_{пг} = 60$  кг/год. За місяць МВП буде працювати  $P_{пм} / P_{пг} = 10800 / 60 = 180$  год, або 23 змін. Оплата за роботу однієї зміни: оператор обладнання – 750 грн/зміна, підсобний робітник – 650 грн/зміна. Витрата на заробітну плату в місяць: оператор обладнання (працює 23 зміни) –  $0,75 \cdot 23 = 17,25$  тис. грн, підсобний робітник (працює 10 змін) =  $0,65 \cdot 10 = 6,5$  тис. грн. Всього  $V_{зм} = 23,75$  тис.грн/міс.

Витрата на заробітну плату на 1т пелет  $V_{зт} = V_{зм} / P_{пм} = 23,75/10,8 = 2,2$  тис. грн = 2200 грн/т.

В таблиці 2 приведено дані вартості обладнання МВП виготовлення КБП дослідно-промислової установки для термічної утилізації МОСВ та опалення приміщення майстерні.

Таблиця 2 – Вартість обладнання МВП виготовлення КБП установки для термічної утилізації МОСВ та опалення приміщення майстерні

Мінілінія виготовлення композитних біопаливних пелет (до 60 кг/год)				
№ з/п	Найменування	Кількість	Ціна за од.	Сума
1	Подрібнювач молотковий	1	7500,00	7500,00
2	Змішувач сировини	1	20000,00	20000,00

3	Шнековий прес-гранулятор	1	45000,00	45000,00
4	Підноси з решіткою	100	150	15000,00
5	Стелажі	10	1000	10000,00
Разом				97500,00
Загальні витрати на монтаж та пусконаладжувальні роботи (15%)				14625,00
Разом				В <sub>оп</sub> 112125,00

Амортизація обладнання МВП при нормі амортизації 10%:  $V_{ап} = 173$  грн/т.

Вартість споживаної електроенергії на виробництво 1 т пелет  
 $V_{ел} = N_{ел} \cdot 8 / \Pi_{зм} \cdot C_e = 2,1 \cdot 8 / 0,36 \cdot 7,7 = 359$  грн/т,

де  $N_{ел} = 2,1$  кВт – споживана потужність електрообладнання МВП;

$C_e = 7,7$  грн – вартість 1 кВт·електроенергії (без ПДВ)

В таблиці 3 надано собівартість виробництва 1 т КБП, виготовлених на МВП.

Таблиця 3 – Собівартість виробництва 1 т КБП, виготовлених на мінілінії

№ з/п	Стаття витрат	Умовне позначення	Витрати, грн/т
1	Матеріали основні: лушпиння соняшника	$V_{лс}$	600
2	Заробітна плата персоналу	$V_z$	2200
3	Електроенергія	$V_{ел}$	359
4	Амортизація обладнання	$V_a$	173
5	Виробнича собівартість	$C_v$	3332
6	Не враховані витрати, 10% від $C_{нв}$	$C_n$	333
7	Повна собівартість, $C_v + C_{нв}$	$C_n$	3665

1 т КБП при спалюванні у котельному агрегаті АОВА-50 забезпечить для систем опалення, з урахуванням ККД агрегату,  $15,3 \cdot 10^3$  Мдж = 4250 кВт·год.

Вартість для системи опалення електроенергії 4250 кВт·год:

$C_{ел} = 4250 \cdot 7,7 = 32725$  грн.

Економічний ефект в результаті заміщення електроопалення на опалення 1 т КБП, виготовленими на основі МОСВ, складе:

$\Delta E_{еф.тп} = 32725 - 3665 = 29060$  грн/т

Для спалювання пелет використовується котел АОВА-50, вартістю  $V_{ок} = 140$  тис.грн.

Амортизація обладнання котла при нормі амортизації 10%  $V_{ак}$  грн/т = 0,216 тис.грн/т.

Для обслуговування автоматизованого котла потрібний оператор, який буде працювати в середньому 2 год у зміну, за добу 3 зміни – 6 год, за місяць  $6 \cdot 30 = 180$  год, а за рік  $6 \cdot 180 = 1080$  год. Річний фонд заробітної плати, при погодинній оплаті 100 грн/год, складе  $P_{зк} = 108$  тис. грн/рік. Витрати заробітної плати на 1 т пелет

$$P_{зкт} = 108/10,8 \cdot 6 = 1,67 \text{ тис. грн/т.}$$

Вартість споживаної електроенергії при використанні 1 т пелет у водогрійному котельному агрегаті АОВА-50 для системи опалювання приміщення

$$V_{ек} = N_{ек} \cdot 8/P_{зм} \cdot Ц_е = 2 \cdot 8/0,125 \cdot 7,7 \cdot 10^{-3} = 1,0 \text{ тис.грн/т.}$$

Собівартість експлуатації котла при спалюванні 1 т пелет

$$C_{вк} = V_{ак} + V_{зкт} + V_{ек} = 0,216 + 1,67 + 1,0 = 2,9 \text{ тис. грн/т.}$$

Повна собівартість витрат на опалення при використанні 1 т КБП

$$C_{опт} = C_{п} + C_{вк} = 3665 + 2900 = 6565 \text{ грн/т.}$$

Економічний ефект в результаті заміщення електроопалення на опалення 1 т КБП, виготовленими на основі МОСВ, складе:

$$\Delta E_{еф.оп.т} = C_{ел} - C_{оп.т} = 32725 - 6565 = 26160 \text{ грн/т}$$

Економічний ефект за рік (опалювальний період 6 міс.) в результаті заміщення електроопалення на опалення приміщення майстерні площею  $F_m = 530 \text{ м}^2$  КБП, виготовленими на основі МОСВ, складе:

$$\Delta E_{еф.оп.р} = \Delta E_{еф.оп.т} \cdot P_{пм} \cdot 6 = 26160 \cdot 10,8 \cdot 6 = 1695168 \text{ грн/рік} \approx 1695,2 \text{ тис.грн/рік.}$$

Термін окупності

$$T_{ок1} = V_o / \Delta E_{еф.оп.р} = 266 / 1695,2 = 0,2 \text{ року} \approx 3 \text{ місяці,}$$

де  $V_o$  – витрати на придбання обладнання: мінілінії для виготовлення композитних біопаливних пелет і котельного агрегату

$$V_o = V_{оп} + V_{ок} = 112125 + 140000 = 266125 \text{ грн} \approx 266 \text{ тис. грн.}$$

Для порівняння техніко-економічних показників було проведено розрахунок економічної ефективності заміщення електроопалення приміщення майстерні площею  $F_m = 530 \text{ м}^2$  на опалення КБП, виготовленими

на основі МОСВ, за вихідними даними ОКВП «Дніпро-Кіровоград». Згідно даним ОКВП «Дніпро-Кіровоград» витрати електроенергії на опалення приміщень каналізаційних очисних споруд (КОС) у м. Кропивницький складає 615 тис.кВт·год в рік. Якщо витрати на опалення майстерні вважати пропорційними частки її об'єму від усіх опалювальних приміщень КОС: 0,21, то витрати електроенергії на опалення в рік складуть  $E_{\text{ме}} = 615000 \cdot 0,21 = 129150$  кВт·год.

Витрати на опалення  $V_{\text{ме}} = 129150 \cdot 7,7 = 994455$  грн/рік

Витрати на опалення композитними біопаливними пелетами  
 $V_{\text{п}} = 10,8 \cdot 6 \cdot 6565 = 425412$  грн/рік

Економічний ефект за рік в результаті заміщення електроопалення приміщення майстерні площею = 530 м<sup>2</sup> на опалення КБП, виготовленими на основі МОСВ, складе

$E_{\text{еф2}} = 994455 - 425412 = 569043$  грн/рік  $\approx 569$  тис.грн/рік

Термін окупності

$T_{\text{ок2}} = V_0 / E_{\text{еф2}} = 266 / 569 = 0,47$  року  $\approx 6$  міс.

Розбіжність оцінок техніко-економічних показників впровадження дослідно-промислової установки термічної утилізації МОСВ, визначених за двома різними методичними підходами, можна пояснити впливом різних припущень і спрощень, прийнятих при розрахунках за різними методиками. Однак розраховані орієнтовні оцінки техніко-економічних показників в обох випадках показують високу економічну ефективність впровадження дослідно-промислової установки термічної утилізації мулових осадів стічних вод.

**Висновки.** Виконано оцінку орієнтовних техніко-економічних показників впровадження дослідно-промислової установки для термічної утилізації мулових осадів стічних вод після їх механічного зневоднення та опалення приміщення майстерні КОС стічних вод ОКВП «Дніпро-Кіровоград» у місті Кропивницький.

Визначено, що орієнтовна собівартість виготовлення 1 т композитних біопаливних пелет для термічної утилізації мулових осадів стічних вод  $S_{\text{п}} =$

3665 грн/т, а орієнтовна повна собівартість витрат на використання 1 т пелет в комбінованій установці для термічної утилізації мулових осадів та опалення приміщень, з урахуванням отриманих даних теплотехнічних випробувань, складає  $C_{оп.т} = 6565$  грн/т.

Економічний ефект в результаті заміщення електроопалення на опалення 1 т палива, виготовленого на основі мулових осадів стічних вод складе 26160 грн/т. а орієнтовний економічний ефект за рік (опалювальний період 6 міс.) в результаті заміщення електроопалення на опалення пелетами приміщення майстерні площею 530 м<sup>2</sup> складе 1695,2 тис. грн/рік, при терміні окупності  $\approx 3$  місяці.

При визначенні техніко-економічних показників комбінованої установки термічної утилізації мулових осадів та опалення було прийнято низку припущень та не враховувалися витрати на транспортну логістику, сушіння осадів, зберігання композитних біопаливних пелет, накладні витрати. Але велика різниця у вартості опалення електроенергією і композитними біопаливними пелетами на основі мулових осадів стічних вод, що еквівалентні на 1 т пелет складає  $\Delta E_{эф.оп.т} = 21160$  грн/т, дозволяє прогнозувати високу економічну ефективність комбінованої установки термічної утилізації мулових осадів та опалення і при впровадженні та експлуатації в реальних умовах, при збільшенні вартості пелет, наприклад, у 2-3 рази.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Кравченко В. І., Білоус Ю. В., Кравченко В. П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. *Технічні науки*. Херсон: ХДАЕУ, 2023. Вип. 3. С. 88–94. URL: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403>
2. Malhozhata V., Mariush T. Production of solid biofuel from city sewage sludge. Technical and economic optimization. *Waste Management & Research*. 2015. Vol. 33(8). URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X15588584>

3. Бабаєв В. М., Панов В. В., Хайло Я. М., Волков В. М., Горох М. П. Альтернативні технологічні рішення проблеми повної утилізації мулового осаду стічних вод. *Комунальне господарство міст*. 2018. № 144. С. 32–42. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm\\_tech\\_2018\\_144\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_144_7)

4. Клименко В. В., Невдаха Ю. А., Скрипник О. В., Кравченко В. І. Застосування шнекового методу пресування водовмісної композитної сировини на основі мулових осадів стічних вод для виготовлення дослідно-промислової партії композиційних біопаливних пелет. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 12, ч. 1, 2025. С. 195–205. DOI: [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)

5. Кравченко В. І. Випробування водогрійного котельного агрегату в режимі спалювання композитних біопаливних пелет, виготовлених на основі осадів стічних вод. *Вісник Херсонського національного технічного університету. Інженерні науки*. 2025. Т. 1, № 4(95). DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.27>

#### REFERENCES:

1. Kravchenko, V. I., Bilous, Y. V., & Kravchenko, V. P. (2023). Creation and justification of composite fuel based on sewage sludge. *Technical Sciences*, (3), 88–94. Kherson: KhDAEU. Retrieved from <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403> [in Ukrainian].

2. Malhozhata, V., & Mariush, T. (2015). Production of solid biofuel from city sewage sludge: Technical and economic optimization. *Waste Management & Research*, Vol. 33(8). <https://doi.org/10.1177/0734242X15588584>

3. Babayev, V. M., Panov, V. V., Khailo, Y. M., Volkov, V. M., & Gorokh, M. P. (2018). Alternative technological solutions to the problem of complete utilization of sewage sludge. *Municipal Economy of Cities*, (144), 32–42. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm\\_tech\\_2018\\_144\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_144_7) [in Ukrainian].

4. Klymenko, V. V., Nevdaha, Y. A., Skrypnyk, O. V., & Kravchenko, V. I. (2025). Application of the screw pressing method for water-containing composite

raw materials based on sewage sludge to produce a pilot-industrial batch of composite biofuel pellets. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, Vol. 12(1), 195–205. [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) [in Ukrainian].

5. Kravchenko, V. I. (2025). Testing of a hot-water boiler unit in the mode of burning composite biofuel pellets made from sewage sludge. *Bulletin of Kherson National Technical University. Engineering Sciences*, Vol. 1, 4(95). <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.27> [in Ukrainian].