
ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION,
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 628.38

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.3.11>

СТВОРЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД

Кравченко В. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4989-1591
Web of Science Researcher ID: GQQ-2577-2022

Білоус Ю. В. – головний технолог
обласного комунального виробничого підприємства «Дніпро-Кіровоград»
ORCID ID: 0009-0009-6083-8810

Кравченко В. П. – кандидат економічних наук,
доцент кафедри фінансів, банківської справи та страхування
Центральноукраїнського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0003-4343-6296
Web of Science Researcher ID: AAO-5657-2021

На сьогодні продовжують зростати масштаби утворення та накопичення різноманітних відходів, що призводить до відчуження нових територій та забруднення довкілля. Одним з видів таких відходів є осади стічних вод, які утворюються на очисних станціях населених пунктів і залишаються гострою проблемою їх обробки та утилізації. Встановлено, що при виборі раціональної технологічної схеми та способу утилізації осадів стічних вод необхідно вирішувати як екологічні так і інженерно-економічні задачі, розв'язання яких вимагає врахування значної кількості чинників та умов. Аналіз літературних джерел показав, що для утилізації мулових осадів країни ЄС та США застосовують різні методи. Визначено, що для України одним із ефективних способів переробки осаду є виготовлення з нього гранульованого або брикетованого палива. Для зменшення викидів токсичних елементів при спалюванні, які ймовірно можуть знаходитися в осадах стічних вод, запропоновано використовувати їх для виробництва палива шляхом попереднього змішування та приготування композитів, що включають різні види рослинних відходів (соломи, лушпиння, тирса, опале листя тощо) та вуглецевмісні матеріали, наприклад, місцеві види палива (буре вугілля), побутові відходи, зокрема, поліетилентерефталат (ПЕТФ), які не можуть бути повторно використані. Доведено,

що створення такого композитного палива не вимагає складних технічних рішень, його вартість передбачається значно нижчою ніж аналогічне брикетоване або гранульоване паливо іншого виду, а використання в енергетичних установках дозволить знизити шкідливі викиди в атмосферу. Також отримані результати досліджень запропонованого композитного палива довели, що за своїми теплоенергетичними характеристиками воно не поступається іншим альтернативним видам палива. Розрахунки показують, що при використанні брикетів або пелет, виготовлених на основі осаду каналізаційних очисних споруд м. Кропивницький, можна отримати 2300,0 т у. п. на рік, а при щорічних в Україні кількостях осаду 3,0 млн. т. – до 2,0 млн. т. у. п.

Ключові слова: осади стічних вод, активний мул, композитне паливо, рослинні відходи, гранульоване паливо.

Kravchenko V. I., Bilous Y. V., Kravchenko V. P. Creation and justification of composite fuel based on wastewater sediment

Today, the scale of generation and accumulation of various wastes continues to grow, which leads to alienation of new territories and environmental pollution. One of the types of such waste is sewage sludge, which is formed at sewage treatment plants in settlements and remains an acute problem of its processing and disposal. It was established that when choosing a rational technological scheme and method of disposal of sewage sludge, it is necessary to solve both ecological and engineering-economic problems, the solution of which requires taking into account a significant number of factors and conditions. The analysis of literary sources showed that the EU and the USA use different methods for sludge disposal. It was determined that for Ukraine, one of the effective methods of sludge processing is the production of granulated or briquetted fuel from it. To reduce the emissions of toxic elements during combustion, which can probably be found in sewage sludge, it is proposed to use them for fuel production by pre-mixing and preparing composites, which include various types of plant waste (straw, husks, sawdust, fallen leaves, etc.) and carbon-containing materials, for example, local fuels (lignite), household waste, in particular polyethylene terephthalate (PET), which cannot be reused. It has been proven that the creation of such a composite fuel does not require complex technical solutions, its cost is expected to be significantly lower than similar briquetted or granulated fuel of another type, and its use in power plants will allow reducing harmful emissions into the atmosphere. Also, the research results of the proposed composite fuel proved that it is not inferior to other alternative fuels in terms of its thermal energy characteristics. Calculations show that when using briquettes or pellets made on the basis of sludge from sewage treatment facilities in the city of Kropyvnytskyi, it is possible to obtain 2300.0 tons T per year, and with annual amounts of sediment in Ukraine of 3.0 million tons – up to 2.0 million tons T.

Key words: sewage sludge, activated sludge, composite fuel, plant waste, granular fuel.

Постановка проблеми. Економіка замкненого циклу (циркуляційна економіка), що превалює у країнах ЄС, орієнтується на максимально ефективне використання ресурсів довкілля [1]. Осад стічних вод (ОСВ) як група відходів, що утворюються на станціях очищення стічних вод, ідеально вписується в інтереси економіки замкненого циклу.

Для обробки великих об'ємів стічних вод використовують системи очищення, засновані на утворенні активного мулу або мулового осаду, що залишається роками на звалищах і які потрібно переробляти [2-4]. Існуючі мулові майданчики негативно впливають на навколишнє середовище, виділяючи при цьому такі забруднюючі речовини як оксид азоту та вуглецю, фенол, аміак, діоксид сірки, сірководень і парниковий газ метан. Так, наприклад, тільки на каналізаційних очисних спорудах у м. Кропивницький щорічно утворюється до 3600 т. мулу, а в цілому по Україні кількість накопиченого осаду сягає більше 5 млрд. т., до яких щороку додається ще 3 млн. т нових осадів. З цієї кількості лише 3-5 % використовують як вторинну сировину, а 95 % відправляють на складування [4]. Такий стан пов'язаний з тим, що якість вітчизняних осадів не завжди відповідає вимогам нормативів, зокрема, за вмістом важких металів.

Сьогодні більш суворі правила ЄС по відношенню поводження з місцевими стічними осадами ставлять перед країною нові задачі, одна з яких – знайти

напрямки для ефективного способу їх застосування. Так, директивою 2008/98/ЄС про відходи, вважається недоцільним складувати на полігонах відходи, калорійність яких перевищує 6 МДж/кг [5]. Тому, зважаючи на значні обсяги утворення та накопичення ОСВ, актуальною є проблема їх оброблення та утилізації.

Вибір раціональної технологічної схеми та способу утилізації ОСВ є складною не тільки інженерно-економічною задачею, але й екологічною. Її правильне розв'язання вимагає обов'язкового врахування продуктивності очисної станції, місцевих умов, виконання попередніх досліджень здатності осадів до водовіддачі, їх агрономічних, фізико-хімічних та теплофізичних характеристик.

За даними літературних джерел у США та країнах Європи утилізацію ОСВ здійснюють різними методами: спалюють на сміттєспалювальних заводах, використовують як органічні добрива та для меліорації і рекультивациі земель, застосовують у біогазових установках, основою яких є метантенк тощо [4-6].

Однак в Україні використання ОСВ, наприклад як добриво або паливо, обмежується низкою обставин. Так, в осаді ймовірна наявність токсичних сполук, зокрема солей важких металів (табл. 1), тому їх вміст чинить негативний вплив на рослини та якість сільськогосподарської продукції, а очистка димових газів вимагає значних економічних витрат.

Таблиця 1

Вміст важких металів ОСВ деяких міст України [7]

Назва елемента	Вміст важких металів, мг/кг сухої речовини					
	м. Суми	м. Київ	м. Дніпро	м. Харків	м. Запоріжжя	м. Луцьк
Кадмій	14,22	55,0	27,5	6,44	10,52	6,3
Кобальт	3,99	10,2	70,88	-	-	81,4
Нікель	223,2	280,0	517,75	160,0	414,85	13,0
Свинець	87,21	650,0	172,13	172,0	100,16	365,0
Хром	421,23	1130,0	1749,38	-	614,4	93,6
Мідь	373,51	740,0	682,63	675,0	1101,0	484,0
Марганець	171,49	2460,0	-	745,3	-	273,0
Цинк	1078,05	1960,0	2321,13	847,0	1338,22	561,0
Залізо	-	20650,0	94800,0	13500,0	34625,0	1262,0

Найбільш рентабельним та перспективним способом переробки осадів для України в умовах енергетичної кризи може стати використання ОСВ як паливо у вигляді гранул (пелет) або брикетів. Така форма палива доцільна для транспортування та ефективного енергетичного використання [8]. Але потенційно високий вміст токсичних речовин у відходах мулового осаду може стримувати використання такого перспективного напрямку.

Метою дослідження є визначення та обґрунтування умов створення якісного альтернативного палива на основі осаду стічних вод та оцінка перспектив його енергетичного використання.

Виклад основного матеріалу. ОСВ, як правило, є комбінованою сумішшю, що містить шкідливі речовини неорганічного та органічного походження. До перших належать у більшості солі важких металів, до других – побутові відходи, волокна рослин, фекалії, нафтопродукти, жири, а також забруднювачі бактеріального походження. Консистенція ОСВ залежить від їх вологості та змінюється від рідкої текучої до багноподібної маси при вологості від 80 до 97 % [9]. Характеристика

надлишкового активного мулу залежить від вихідного забруднення води, що очищується, а також від технічних характеристик проведеного очищення.

Елементний склад ОСВ змінюється у достатньо широких межах. Так, у сухій речовині осадів первинних відстійників та активного мулу міститься, %: С – 35-38; Н – 4,5-8,7; S – 0,2-2,7; N – 1,8-8,0; O – 7,6-35,4 [10]. Теплота згоряння сухого ОСВ знаходиться в межах від 10 до 14,5 МДж/кг [5], що приблизно дорівнює теплоті згоряння бурого вугілля. Для порівняння енергетичні показники деяких видів твердого палива показані у таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльні характеристики деяких видів палив [11]

Вид палива	Теплота згоряння МДж/кг	Зольність, %	Вихід летких, %
Кам'яне вугілля	20,9 – 30,1	10 – 35	9 – 50
Буре вугілля	10,5 – 15,7	10 – 35	40
Торф (20 % вологості)	15,1	23-35	70
Деревина (40 % вологості)	6,0 – 11,0	2,0	80 – 95
Пелети	17,0 – 21,0	0,5 – 9,0	75 – 90

Після стадії зневоднення і сушіння на очисних спорудах до оптимальної вологості, ОСВ здатні до процесів гранулювання або брикетування та створення альтернативного палива.

Усунути недолік перевищення вмісту токсичних компонентів у складі мулу та підвищити ефективність використання ОСВ для виробництва палива можна шляхом попереднього його змішування та приготування композитів, що включають різні види твердих рослинних відходів (соломи, лушпиння, тирса тощо). Така біомаса має значний потенціал, доступний для енергетичного використання. Так, в Україні щорічно виробляється близько 25 млн. тон соломи, з яких мінімум 20 % може бути використано як біопаливо [12].

Також сьогодні ведуться роботи по активному залученню у паливний ресурс біомаси у вигляді опалого листя дерев [12, 13]. Листя, як і ОСВ, що залишається з метою перегнивання або, яке вивезене на звалища, в процесі розкладання призводить до емісії в атмосферу метану, який у більше ніж двадцять разів сильніший парниковий газ, ніж CO₂. Ефективне вирішення проблеми утилізації опалого листя шляхом створення композитних брикетів та пелет на основі ОСВ, створить подвійний позитивний ефект для екології.

Якщо прийняти щорічну кількість ОСВ в Україні 3 млн. т. з теплотворною здатністю 13,0 МДж/кг, то їх загальний енергетичний потенціал становитиме 1,33 млн. т у. п. Композитне паливо на основі ОСВ з рослинними відходами (згідно табл. 2) буде сприяти підвищенню енергетичних характеристик. При середній теплотворній здатності 19,0 МДж/кг такого палива, загальний енергетичний потенціал підвищиться до 2,0 млн. т у. п., тобто у 1,5 рази. Зокрема тільки каналізаційні очисні споруди м. Кропивницький при скиданні ОСВ у кількості 3600,0 т за рік (дані за 2022 р.), можуть одержати 2300,0 т у.п.

Такий енергетичний потенціал може бути використаний для власних потреб в утилізаційних установках та передачі деякої кількості теплової енергії розташованим поряд підприємствам та об'єктам соціальної сфери. Тому виготовлення та застосування такого композитного палива на основі ОСВ не тільки підвищить його

теплотворну здатність, що перевищує значення насипної біомаси, але й дозволить знизити шкідливі викиди в атмосферу, оскільки рослинні відходи є CO_2 -нейтральними, та зменшити вартість палива порівняно з гранульованим або брикетованим біопаливом за рахунок зменшення витрат на сировину. Створення та використання такого альтернативного палива не вимагає складних технічних чи технологічних рішень, оскільки існує обладнання для виготовлення гранульованого палива і брикетів та енергетичні установки для його переробки.

Підвищити ефективність використання ОСВ з різними видами твердих рослинних відходів можна шляхом виготовлення пелет або брикетів з включенням до цих сумішей інших видів вуглецевмісних матеріалів, наприклад, місцеві види палива (буре вугілля, торф, сланці), побутові відходи, зокрема поліетилентерефталат (ПЕТФ), які не можуть бути повторно використані. У цьому випадку можна досягнути синергетичного ефекту внаслідок більш ефективного використання ресурсу ОСВ з біомасою та часткового зменшення негативного впливу на довкілля внаслідок утилізації побутових відходів. Тому композитні паливні гранули та брикети на основі ОСВ можуть успішно стати альтернативою рослинним пелетам та традиційним видам палива і при цьому вирішити потрійну задачу по збереженню навколишнього середовища, заощадженню первинних джерел енергії та утилізації шкідливих мулових та побутових відходів.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. На сьогодні в Україні проблема знешкодження та утилізації ОСВ, які належать до основних екологічних забруднювачів, залишається не вирішеною. У цих умовах щорічно зростає навантаження осаду на мулові карти очисних споруд, що вимагає розширення площ для його зберігання або видалення з мулових майданчиків та утилізації.

2. Визначено, що теплотворна здатність активного мулу близька до теплотехнічних характеристик бурого вугілля, тому одним із найбільш ефективних способів вирішення проблеми утилізації ОСВ на очисних станціях може бути енергетичне їх використання як альтернативного палива у вигляді брикетів або пелет.

3. Зважаючи на ймовірність присутності небезпечних компонентів у стічних водах, зокрема важких металів, найбільш доцільно виготовляти композитне паливо з використанням твердих рослинних відходів, опалого листя та побутових відходів.

4. Переробка ОСВ у композитне паливо буде сприяти зменшенню обсягів накопичення мулових майданчиків, а також звалищ з рослинними та побутовими відходами. Вважаючи мулові осади майже безкоштовним ресурсом, вартість композитного палива буде значно нижча ніж аналогічне брикетоване або гранульоване паливо іншого виду. Таке паливо забезпечить часткове заміщення невідновних традиційних ресурсів та буде сприяти вирішенню складної екологічної проблеми довкілля та суспільства.

5. Отримані результати досліджень композитного палива на основі ОСВ показали, що за своїми теплоенергетичними характеристиками не поступаються іншим альтернативним видам палива. Так, при використанні брикетів чи пелет, виготовлених з осаду каналізаційних очисних споруд м. Кропивницький, можна отримати 2300,0 т у. п. на рік, а при щорічних в Україні кількостях осаду 3,0 млн. т – до 2,0 млн. т у. п.

6. Подальшими дослідженнями передбачено зосередитися на технологічному процесі виготовлення композитного палива на основі ОСВ: визначенні вмісту компонентів, їх фізико-механічних характеристик, оптимального тиску пресування тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Горбаль Н. І., Мазурик М. М., Микитин О. З. Впровадження циркулярної економіки на основі європейського досвіду // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. 2021. № 2 (6). С. 280-289. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/301-Article%20Text-506-2-10-20220112.pdf>.

2. Зоріна О.В., Маврикін Є.О. Сучасні підходи до обробки та утилізації вторинних осадів господарсько-побутових стічних вод // Водні ресурси. Меліорація і водне господарство. 2021. № 2. С. 55-68.

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.

4. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України // Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29. № 2. С. 82-87.

5. Хруник С.Я., Мазурак О.Т., Саницький М.А., Рецько К. Енергетичне використання осадів стічних вод у цементній промисловості. // Львівський політехнічний університет. 2013. С. 457-461. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4758/81-457-461.pdf>.

6. Петрова Ю.Ф., Пазюк Ж. А., Снежкін В. М., Новікова Ю.П. Стан технологій очищення стічних вод в Україні та світі // Теплофізика та теплоенергетика. 2021. т. 43. № 1. С. 5-12.

7. Бондар О.І., Лозовицький П.С., Машков О.А., Лозовицький А.П. Екологічний стан накопичених осадів стічних вод м. Києва // Науково-практичний журнал Екологічні науки. № 7. С. 38-53. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/5.pdf>.

8. Klymenko V., Kravchenko V. Prediction of effective elasticity coefficients of composite biofuel. TECHNICAL JOURNAL. 2020. Vol. 14. No. 2. P. 94-99. URL: <https://doi.org/10.31803/tg-20200311115340>.

9. Карп І. М., П'яних К. Є., Нікітін Є. Є. Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2017. № 2. С. 35-48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2017_2_6.

10. Кашковський В.І., Євдокименко В.О., Каменських Д.С., Ткаченко Т.В., Вахрін В.В. Зольні та золошлакові відходи як багатофункціональна сировина // Наука та інновації. 2017. Т. 13. № 4. С. 53–63. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/124895>.

11. Клименко В. В., Кравченко В. І. Газифікація твердих біопалив та обґрунтування конструкції газогенераторів для її провадження // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. № 43(2). С. 113-119. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2013_43%282%29_22.

12. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: монографія / за ред. В.В. Клименка. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/6980/1/MonographyKlym.pdf>.

13. Клименко В.В., Кравченко В.І., Кириченко А.М., Личук М.В., Солдатенко В.П. Експериментальна оцінка виготовлення твердого біопалива з композитів на основі рослинних відходів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. К. 2016. (№ 3). С. 18-24. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2016_3_4.

REFERENCES:

1. Horbal N. I., Mazuryk M. M., Mykytyn O. Z. (2021). Vprovadzhennia tsyrkuliarnoi ekonomiky na osnovi yevropeiskoho dosvidu. *Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia ta problemy rozvytku*, 2 (6). 280-289. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/301-Article%20Text-506-2-10-20220112.pdf> [in Ukrainian].

2. Zorina O.V., Mavrykin Ye.O. (2021). Suchasni pidkhody do obrobky ta utylizatsii vtorynnykh osadiv hospodarsko-pobutovykh stichnykh vod. *Vodni resursy. Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2. 55-68 [in Ukrainian].
 3. Babaiev V.M., Panov V.V., Khailo Ya.M., Volkov V.M., Horokh M.P. (2018). Alternatyvni tekhnolohichni rishennia problemy povnoi utylizatsii mulovoho osadu stichnykh vod. *Komunalne hospodarstvo mist*. 144. 32-42 [in Ukrainian].
 4. Shkvirko O. M., Tymchuk I. S., Malovanyi M. S. (2019). Adaptatsiia svitovoho dosvidu utylizatsii osadiv stichnykh vod do ekolohichnykh umov Ukrainy. *Naukovy visnyk NLTU Ukrainy*. T. 29. 2. 82-87 [in Ukrainian].
 5. Khrunyk S.Ia., Mazurak O.T., Sanytskyi M.A., Retsko K. (2013). Enerhetyчне vykorystannia osadiv stichnykh vod u tsementnii promyslovosti. *Lvivskyi politekhnichniy universytet*. 457-461. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/4758/81-457-461.pdf> [in Ukrainian].
 6. Petrova Yu.F., Paziuk Zh. A., Sniezhkin V. M., Novikova Yu.P. (2021) Stan tekhnolohii ochyshchennia stichnykh vod v Ukraini ta sviti. *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, t. 43. 1. 5-12 [in Ukrainian].
 7. Bondar O.I., Lozovitskyi P.S., Mashkov O.A., Lozovytskyi A.P. (2015). Ekolohichni stan nakopychennykh osadiv stichnykh vod m. Kyieva. *Naukovo-praktychnyi zhurnal Ekolohichni nauky*. 7. 38-53. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/5.pdf> [in Ukrainian].
 8. Klymenko V., Kravchenko V. (2020) Prediction of effective elasticity coefficients of composite biofuel. *Technical journal*, 8. 14. 2. 94-99. URL: <https://doi.org/10.31803/tg-20200311115340>. [in Khorvatiia].
 9. Karp I. M., Pianykh K. Ye., Nikitin Ye. Ye. (2017). Problema utylizatsii ta zneshkodzhennia mulovykh osadiv. *Enerhotekhnolohyy y resursosberezhenye*. 2. 35-48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2017_2_6 [in Ukrainian].
 10. Kashkovskyi V.I., Yevdokymenko V.O., Kamenskykh D.S., Tkachenko T.V., Vakhrin V.V. Zolni ta zoloshlakovi vidkhody yak bahatofunktsionalna syrovyna. *Nauka ta innovatsii*. 2017. T. 13. № 4. S. 53–63. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/124895> [in Ukrainian].
 11. Klymenko V. V., Kravchenko V. I. (2013). Hazyfikatsiia tverdykh biopalyv ta obhruntuvannia konstruksii hazoheneratoriv dlia yii provadzhennia. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. 43(2). 113-119. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2013_43%282%29_22 [in Ukrainian].
 12. Klymenko V. V., Kravchenko V. I., Bokov V. M., Hutsul V. I. (2017). Tekhnolohichni osnovy vyhotovlennia biopalyva z roslynnykh vidkhodiv ta yikh kompozytiv: monohrafiia /za red. V.V. Klymenka. Kropyvnytskyi: PP «Ekskliuzyv-System». 162. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/6980/1/MonographyKlym.pdf> [in Ukrainian].
 13. Klymenko V.V., Kravchenko V.I., Kyrychenko A.M, Lychuk M.V., Soldatenko V.P. (2016). Eksperymentalna otsinka vyhotovlennia tverdogo biopalyva z kompozytiv na osnovi roslynnykh vidkhodiv. *Enerhotekhnolohyy y resursosberezhenye*. K. 3. 18-24. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2016_3_4 [in Ukrainian].
-