**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ В УМОВАХ МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ****І. В. Бондаренко**НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166, Україна. E-mail: i.v.bondarenko@ukr.net**О. І. Кутняшенко**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна. E-mail: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Розглянуто актуальну проблему низької ефективності проектування інфраструктури поводження з відходами в умовах малих населених пунктів України. Виявлено, що для більшості сіл і селищ міського типу країни характерна відсутність спеціалізованих підприємств у сфері поводження з твердими побутовими відходами та спеціалізованих галузевих інженерних об'єктів, застарілість систем збору відходів, хімічне та бактеріологічне забруднення ґрунтів і підземних вод та підтоплення територій рідкими фракціями відходів і фільтратом ТПВ, низька ефективність рішень в процесі реалізації основних етапів розробки схем санітарного очищення. Метою роботи є об'єктивна оцінка прогнозованої ефективності формування та режиму експлуатації технічного забезпечення процесів поводження з відходами в умовах модернізації промислових підприємств на прикладі обґрунтування системи використання ТПВ на ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод» та визначення оптимального варіанту необхідного галузевого обладнання з відомого рівня техніки із застосуванням автоматизованих засобів проведення спеціалізованого математичного моделювання. З використанням нової програми «Індекс-Е», шляхом розрахунку імітаційної моделі із деталізованим дослідженням комплексної взаємодії екологічних і виробничих параметрів варіантів технічного забезпечення між собою та із зовнішніми факторами, які можуть суттєво впливати на склад та режим функціонування проектованої технологічної лінії впродовж тривалого періоду її експлуатації. Проведено прогнозування еколого-економічної ефективності формування технічного забезпечення переробки дрібнодисперсної фракції несорттованих складованих твердих побутових відходів на виробничо-технічній базі коксохімічного заводу. На підставі оцінки отриманих даних, з сучасного рівня техніки рекомендовано найбільш ефективне обладнання - гранулятор з псевдозрідженим прошарком для проведення гранулювання відходів з можливістю підвищення енергозбереження виробничих процесів підприємства і удосконалення схеми санітарної очистки населеного пункту.

Ключові слова: відходи, моделювання, оцінка, обладнання, гранулювання, програма «Індекс-Е»**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ
ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ****І. В. Бондаренко**НИУ «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем»
ул. Бакулина, 6, г. Харьков, 61166, Украина. E-mail: i.v.bondarenko@ukr.net**А. И. Кутняшенко**ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»
пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина. E-mail: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Рассмотрена актуальная проблема низкой эффективности проектирования инфраструктуры обращения с отходами в условиях малых населенных пунктов Украины. Выявлено, что для большинства сел и поселков городского типа страны характерно отсутствие специализированных предприятий в сфере обращения с твердыми бытовыми отходами и специализированных отраслевых инженерных объектов, устарелость систем сбора отходов, химическое и бактериологическое загрязнение почв, подземных вод, подтоплением территорий жидкими фракциями отходов и фильтратом ТБО, низкая эффективность решений в процессе реализации основных этапов разработки схем санитарной очистки. Целью работы является объективная оценка прогнозируемой эффективности формирования и режима эксплуатации технического обеспечения процессов обращения с отходами в условиях модернизации промышленных предприятий на примере обоснования системы использования ТБО на ЗАО «Авдеевский коксохимический завод» и определения оптимального варианта необходимого отраслевого оборудования из известного уровня техники с применением автоматизированных средств проведения специализированного математического моделирования. С использованием новой программы «Индекс-Э», путем расчета имитационной модели с детализированным исследованием комплексного взаимодействия экологических и производственных параметров вариантов технического обеспечения между собой и с внешними факторами, которые могут существенно влиять на состав и режим функционирования проектируемой технологической линии на протяжении длительного периода ее эксплуатации. Проведено прогнозирование эколого-экономической эффективности формирования технического обеспечения переработки мелкодисперсной фракции несортированных складированных твердых бытовых отходов на производственно-технической базе коксохимического завода. На основании оценки полученных данных, из современного уровня техники рекомендовано наиболее эффективное оборудование - гранулятор с псевдоожиженным слоем для проведения гранулирования отходов с возможностью повышения энергосбережения производственных процессов предприятия и совершенствования схемы санитарной очистки населенного пункта.

Ключевые слова: отходы, моделирование, оценка, оборудование, гранулирование, программа «Индекс-Э»

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. Криза системи поводження з відходами в Україні, через застарілість, відсутність та неефективність проектування її технічного і логістичного забезпечення, досягла стану екологічної катастрофи в умовах малих населених пунктів.

Проблема та її зв'язок із науково-практичними завданнями. Більшість селищ міського типу та сіл (яких в країні налічується 29273) характеризуються:

- відсутністю спеціалізованих підприємств у сфері поводження з ТПВ та організованих, санкціонованих полігонів, як повноцінних природоохоронних інженерних об'єктів, обладнаних необхідною системою збору та утилізації сміттевого газу, протифільтраційним екраном, системою збору і відведення умовно чистих атмосферних вод і т. д.;

- хімічним та бактеріологічним забрудненням ґрунтів і підземних вод та підтопленням територій внаслідок фільтрації рідких побутових відходів у ґрунт у неканалізованих частинах населених пунктів;

- проблемою оптимізації процесів збору та вивезення твердими побутовими відходами (ТПВ), викликана змішаною забудовою міст (яка включає в себе мікрорайони багатоповерхової забудови поміж переважаючих масивів приватної садибної забудови, що ускладнює логістику розвитку санітарного очищення території);

- збереженням застарілої планово-подвірної та планово-квартальної безконтейнерної системи механізованого збору твердих відходів [1].

В Україні накопичено більш ніж 35 млн. м³ ТПВ, що містять понад 100 найменувань токсичних речовин. Наприклад, відпрацьовані енергозберігаючі лампи є джерелом формування специфічної фракції відходів, що містять ртуть (в одній люмінесцентній лампі міститься 3-5 г. ртуті). За оцінками фахівців кількість ртуті, яка з відходами розрядних ламп попадає в навколишнє середовище (з урахуванням того, що частина ламп утилізується), в Україні становить більше 300 кг/рік [2] при тому, що 1 г. ртуті, потрапивши у природне навколишнє середовище, здатен привести до наднормативного забруднення 3300000 м³ атмосферного повітря або 200000 м³ води. Це особливо показово для малих населених пунктів, де ТПВ складаються у природних рельєфних утвореннях - балках, ярах, долинах річок, формуючи стихійні сміттєзвалища, що призводить до забруднення основних компонентів довкілля шляхом: потрапляння високотоксичного фільтрату, який захоплює розчинні й суспендовані тверді речовини та продукти біорозпаду до водоносних горизонтів (забруднення гідросфери (разом з ресурсами питної води) та літосфери); виділення у атмосферне повітря сміттєвих газів - біогазу (в основному складі: 50-70 % метану, 30-40% діоксиду вуглецю із домішками азоту), та роздубування сухих фракцій відходів. Це становить особливу екологічну небезпеку на загальнодержавному рівні та пряму загрозу здоров'ю і життю людини, вказуючи на необхідність термінового формування оптимальної науково-обґрунтованої матеріально-технічної бази для реалізації схем санітарної очистки (ССО), які за умови розробки відповідно до сучасних вимог є довгостроковою програмою роз-

витку міської сфери надання послуг з санітарного очищення, яка дозволяє наблизити санітарний стан міста до європейських еталонів.

Згідно наближеному до європейських вимог [3] серед основних завдань підготовки схем санітарного очищення населених пунктів є визначення: обсягів робіт із санітарного очищення; систем і методів поводження з побутовими відходами; необхідної кількості спеціально обладнаних транспортних засобів для збирання та перевезення побутових відходів, машин, механізмів, устаткування та інвентарю для здійснення робіт із прибирання об'єктів благоустрою; доцільності проектування, будівництва, реконструкції, розширення об'єктів поводження з побутовими відходами, їх основних параметрів і місць розміщення; обсягів фінансування заходів, передбачених схемою. Документом повинно бути передбачено використання передових технологій, технічних рішень, технологічного обладнання, які відповідають природоохоронним та санітарно-гігієнічним вимогам і забезпечують унеможливлення впливу шкідливих факторів на довкілля та здоров'я людини із прогнозуванням ефективності технічного забезпечення процесів поводження з відходами на період 15-20 років. Практичний досвід використання [3] при розробці ССО малих міст України вказує на ускладнення виконання робіт з їх планування у зв'язку із відсутністю державного фінансування діяльності з інформаційного забезпечення і підтримки процесів поводження з відходами спрямованої на здійснення системного моніторингу змін, фіксування, обробки та належного відображення даних щодо функціонування систем управління відпрацьованими матеріалами [4], що є необхідною передумовою для її ефективної роботи та розвитку із урахуванням індивідуальних потреб населеного пункту.

Важливою складовою формування цієї проблематики також є низька ефективність та інформативність науково-практичних рішень, прийнятих в процесі реалізації основних етапів розробки ССО, що часто викликано суб'єктивною недосконалістю освітньо-професійної підготовки чи відсутністю фахівців-екологів на місцях і недостатністю у них практичного досвіду оптимізації експлуатування спеціалізованих систем, що призводить до логістичних помилок і порушення технологічних процесів та підвищення техногенного навантаження (як це спостерігається на прикладі кризи поводження з ТПВ на Грибовицькому сміттєзвалищі у Львівській області, Україна).

Таким чином, за відсутності належного оцінювання екологічної, економічної та безпекової складових при розробленні систем поводження з відходами, такі об'єкти мають підвищені ризики втрат на проведення ліквідації надзвичайної ситуації (як от пожежа, підтоплення), пошуково-рятувальних робіт, аварійно-відновлювальних робіт.

Обґрунтування рішень щодо проектування та при незалежному контролі за подальшим функціонуванням спеціальних інженерно-технічних об'єктів особливо актуальне з урахування підготовки таких галузевих проектів, як комплекс з переробки твердих побутових відходів із системою збору, утилізації полігонного газу та виробництва електричної енергії у м.

Дергачі (Харківська область, Україна) [5], яке є типовим малим українським населеним пунктом.

Незалежна оцінка проектувальних об'єктів набуває особливої актуальності з урахуванням прийняття нових спеціалізованих законодавчих актів. Згідно Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку», сферою дії якого є відносини у сфері оцінки наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення та поширюється на документи державного планування, які стосуються сільського господарства, лісового господарства, рибного господарства, енергетики, промисловості, транспорту, поводження з відходами і т.д., екологічна оцінка має здійснюватися на основі принципів законності та об'єктивності, гласності, участі громадськості, наукової обґрунтованості, збалансованості інтересів, комплексності, запобігання екологічній шкоді, довгострокового прогнозування, достовірності та повноти інформації у проекті документа міжнародного екологічного співробітництва, що важко забезпечити без вітчизняного науково-методичного забезпечення, як і вимогу Закону України «Про відходи» (ст. 17, п. «К»), відповідно до якого одним з обов'язків суб'єктів господарської діяльності у сфері поводження з відходами є забезпечення розробки в установленому порядку та виконання планів організації роботи у сфері поводження з відходами.

Питанням розробки та комплектування технічного забезпечення систем поводження з відходами і різноманітним аспектам галузевої логістики присвячені праці таких вітчизняних та зарубіжних вчених, як О.С. Парфенюк, В.В. Вамболь, В.С. Кравців, Ю.І. Стадницький, Н.П. Мальований, В.М. Трегобчук, М.Д. Гомель, В.В. Попович, Я.В. Радов, А.І. Панасенко, М. Matthews, А.М. Гонопольский, В.М. Шмандій, М.П. Горох, Е. Kwon, С.П. Висоцький, А. Cook, Б.О. Горлицький, П.В. Дарулів, М.Ю. Краснянський, J. Kemm, О.Ф. Балацький та ін. [6–12].

Отримані науково-практичні доробки створюють основу створення матеріально-технічної бази та методик виконання галузевих технологічних процесів, однак, є здебільшого орієнтованими на впровадження в умовах індустріально розвинених великих міст, часто не ефективні при використанні на рівні містобудівництва та розвитку і модернізації інфраструктури малих населених пунктів є недостатніми, застарілими і мало практичними в умовах сучасної соціально-економічної ситуації в Україні, що вимагає проведення додаткової індивідуальної оптимізації складу та режиму роботи спеціалізованого обладнання з урахування особливостей регіону його планованого експлуатування.

Метою роботи є об'єктивна оцінка прогнозованої еколого-економічної ефективності формування та режиму експлуатації технічного забезпечення процесів поводження з відходами в умовах модернізації промислових підприємств на прикладі обґрунтування системи використання ТПВ на ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод» (м. Авдіївка, Донецька область, Україна) та визначення оптимального варіанту необхідного галузевого обладнання з відомого рівня техніки із застосуванням автоматизованих

засобів проведення спеціалізованого математичного моделювання.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Методика дослідження. Для проведення дослідження була застосована нова комп'ютерна програма «Індекс-Е» [13] з метою визначення оптимального технічного забезпечення системи переробки дрібнодисперсної фракції несортіваних складованих твердих побутових відходів у промислових масштабах та підвищення потужностей стратегічних підприємств. Цей додаток є простим у використанні прикладним програмним забезпеченням процесів оптимізації проектувальних робіт з підвищення екологічної безпеки спеціалізованих інженерно-технічних об'єктів.

Комп'ютерна програма «Індекс-Е», що реалізована на мові програмування Java, функціонує у будь-якому операційному середовищі, значно прискорює та спрощує об'єктивне виконання розрахунків за математичною моделлю еколого-економічних процесів, не вимагає складної додаткової підготовки користувача, маючи три основні робочі вікна:

- «стартове вікно» (профіль користувача) – аплікаційна форма для введення загальних відомостей про проект моделювання (назва проекту, місце функціонування обладнання, строк прогнозування, прогнозований відсоток інфляції) та первинна інформація за кожним варіантом устаткування (назва та виробник) для формування автозвіту програми (рис. 1);

- «розрахунковий блок» – аплікаційна форма для введення вихідних даних для розрахунку та їх корекції впродовж прогнозу за кожним з варіантом устаткування (рис. 2);

- «результати розрахунку» – вікно візуалізації результатів розрахунку (рис. 3).

В якості основи роботи обраної програми використано наступну імітаційну математичну модель (формули 1) [14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} X1 = (X4 + X5) \cdot h1 \cdot h2^{365д} / h3 \\ X6 = (\Phi1 - \Phi2) / h2^{1095д} \\ X2 = (X6 + X7) \cdot h1 \cdot h2^{365д} / h3 \\ X3 = (Z1 + Z2 + Z3 + Z4) \cdot h1 \cdot h2^{365д} / h3 \\ Y1 = \sum X1 / T \\ Y2 = ((\sum X2 - \sum X3) - \%W) / T \end{array} \right. \quad (1)$$

де **X1** – індекс екологічного ефекту (коефіцієнт викидів забруднюючих речовин на 1 тону перероблених відходів сумою одиниць обладнання у рік), (log індекса – умовне числове значення оціночної характеристики об'єкта);

X2 – індекс економічного ефекту (коефіцієнт прибутку на 1 тону оброблених відходів у рік), (log індекса);

X3 – індекс техніко-економічного ефекту (коефіцієнт витрат коштів на 1 тону оброблених відходів у рік), (log індекса);

X4 – викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря від одиниці обладнання, (г/год);

X5 – скидання забруднюючих речовин у гідросферу від одиниці обладнання, (г/год);

X6 – годинний прибуток від одиниці обладнання, (грн/год);

X7 – сумарна ринкова вартість функцій (комерційна вартість надання послуг на замовлення) (грн/год);

h1 – кількість експлуатованих одиниць обладнання (од.);

$h2^{365д}$ – кількість годин роботи одиниці обладнання у рік (год/рік);

$h2^{1095д}$ – кількість годин роботи одиниці обладнання, в константний період (3 роки), (год/рік);

h3 – кількість оброблюваних відходів сумарною кількістю одиниць обладнання, що індексують (т./рік.);

Ф1 – грошовий потік від експлуатації одиниці індексованого обладнання в константний період (прямий прибуток від реалізації продуктів переробки відходів, наприклад, альтернативного пального з перероблених автомобільних шин, грн/рік);

Ф2 – собівартість (або вартість при покупці) одиниці обладнання, поділена на коефіцієнт амортизації (грн/рік);

Z1 – оплата праці персоналу, необхідного для експлуатації одиниці обладнання (грн/год);

Z2 – вартість площі, займаної одиницею обладнання, що індексують (виходячи з середньої по регіону вартості оренди 1 кв. м. промислових майдан-

чиків та з урахуванням габаритів одиниці обладнання), (грн/год);

Z3 – вартість енергоресурсів, які витрачаються при роботі одиниці обладнання, що індексують (грн/год);

Z4 – вартість усунення прогнозованих неполадок та технічного обслуговування одиниці обладнання, що індексують, в період 1 року (у розрахунку на годину роботи одиниці обладнання) (грн/год);

Y1 – підсумковий індекс екологічного ефекту (середнє значення впливу обладнання на навколишнє природне середовище на 1 тону оброблених відходів у прогнозований період) (log індексу);

Y2 – підсумковий індекс економічного ефекту (середнє значення прибутку від обладнання в рік на 1 тону оброблених відходів у прогнозований період), (log індекс);

ΣX1 – сума щорічних індексів X1 за прогнозований період;

ΣX2 – сума щорічних індексів X2 за прогнозований період;

ΣX3 – сума щорічних індексів X3 за прогнозований період;

%W – прогнозований середній відсоток інфляції в регіоні у прогнозований період (%);

T – тривалість прогнозованого періоду (кількість років).

Рисунок 1 – «Стартове вікно» програми «Індекс-Е»

Індекс-Е

Допомога

Об'єкти

Повернутися назад

Проект "Чиста країна"

Найменування показника	Розмірність	Значення
Потужність викиду (на од. облад.)	г/год	80
Потужність скиду (на од. облад.)	г/год	0
Вартість функцій (на од. облад.)	грн/год	500
Кількість одиниць	Од	10
Години роботи	год/рік	1680
Години роботи (3 р.)	год/рік	5040
Сума оброблювальних відходів	т/рік	20000
Зп. персоналу (на од. облад.)	грн/год	85,5
Вартість площі (на од. облад.)	грн/год	3
Вартість енергоресурсів (на од. облад.)	грн/год	35
Вартість ремонту (на од. облад.)	грн/год	9
Екоштовний потік (на од. облад.)	грн/рік	1200000
Собівартість (на од. облад.)	грн/рік	800000

Значення показника та його корекція за роками

Значення: 500

Параметр: + - Відсоток: 35 5 - Рік: 5 -

Параметр: + - Відсоток: 70 11 - Рік: 11 -

Параметр: + - Відсоток: 20 3 - Рік: 3 -

Параметр: + - Відсоток: 50 8 - Рік: 8 -

Параметр: + - Відсоток: 140 14 - Рік: 14 -

Зберегти

Розрахувати

Рисунок 2 – Вікно розрахункового блоку програми «Індекс-Е»
(порядок дій в процесі введення початкових значень показників)

Рисунок 3 – Вікно «Результати розрахунку» (програма «Індекс-Е»)

Обрання предмету здійснюється виходячи із відповідності призначення відомого галузевого обладнання до технологічних потреб проєктованої системи поводження з відходами, використовуючи відкриті джерела інформації та (або) шляхом випробування зразків технічного забезпечення (агрегатів, технологічних ліній, тощо).

Об'єктом є вплив на довкілля та економічна рентабельність технічного рішення (способу, процесу, пристрою або системи пристроїв), відомого зі світового досвіду, сучасного рівня техніки та спрямованого на роботу з відпрацьованими матеріалами (їх збір, транспортування, сортування, рекуперацію або утилізацію).

Шляхом аналізу результатів автоматизованого обчислення розглянутої системи математичних виразів у цій статті нами прогнозовано та оцінено комплексний еколого-економічний ефект від довгострокової експлуатації передбачуваного технічного забезпечення системи поводження з відходами, що дозволяє скоригувати склад необхідної галузевої техносфери, використовуючи для цього результати математичного моделювання на початковому етапі інженерного проєктування малих населених пунктів з можливістю значного підвищення їх екологічної безпеки. Це скорочує ризики людського фактору (помилки) та обсяги впливу об'єктів поводження з некондиційними матеріалами на навколишнє середовище та дає комплексне наукове обґрунтування економічної доцільності інвестування у модернізацію матеріально-технічної бази у прогнозований період при практичному здійсненні удосконалення існуючих населених пунктів традиційного урбаністичного типу та в процесі створення інших сучасних форм екологічно збалансованої інфраструктури життєвого простору людини.

З метою врахування ризиків та підвищення реалістичності індексного моделювання еколого-економічного ефекту обладнання у сфері поводження з відходами базисні показники річного індексування обчислюються в програмі багаторазово, що дає можливість моделювати прогнозовану ефективність технічного забезпечення впродовж більш тривалого періоду його експлуатації з урахуванням корекції значень розрахункових показників під впливом різноманітних зовнішніх екологічних, економічних, соціальних або політичних чинників впродовж періоду – до 15 років (що відповідає вимогам ДБН Б.2.2-6:2013 при розробці ССО).

За результатами розрахунку з використанням заданих вхідних даних щодо обраних об'єктів що досліджуються (прикладів аналогічного обладнання для здійснення того чи іншого технологічного процесу або ряд технологічних вузлів системи поводження з відходами), програма «Індекс-Е» формує візуалізовані значення річних та підсумкових індексів, що характеризують досліджуване технічне забезпечення у прогнозований період його функціонування у вигляді діаграм, представлених у вікні «Результати розрахунку». Автоматичний звіт програми складається з 9-13 сторінок (у залежності від кількості заданих об'єктів (від 1 до 5)) та містить такі основні інформаційні блоки, як: профіль користувача про-

грами та поточного проєкту; вхідні дані за об'єктами що досліджуються; результати розрахунку річних індексів еколого-економічної ефективності об'єктів що досліджуються; оцінка результатів розрахунку підсумкових індексів прогнозованої еколого-економічної ефективності обладнання.

Розглянутий методико-програмний комплекс впроваджено в умовах ТОВ «Український науковий інститут технічної екології» (м. Київ, Україна) у процесі виконання робіт з розробки, проєктування і оцінки технічного забезпечення систем, інструкцій та планів організацій поводження з відходами (акт впровадження від 04.05.2018 р.), а також у навчальному процесі та викладається на кафедрі «Природоохоронної діяльності» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ, Донецька область, Україна) у курсі лекцій та використовуються під час лабораторних і практичних занять студентів факультету «Машинобудування, екології та хімічних технологій» ДВНЗ «ДонНТУ» які навчаються за кваліфікаційним рівнем «спеціаліст» і «магістр» за спеціальностями 7.04010601, 8.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища» (акт впровадження від 04.12.2017 р.).

Результати дослідження та їх обговорення. Шляхом практичного застосування програми «Індекс-Е» нами проведено математичне моделювання ефективності та порівняльний аналіз методів реалізації підготовки до подальшого використання дисперсної фракції побутових відходів з використанням типового технологічного обладнання із метою обрання оптимального технічного рішення щодо підвищення ефективності технологічних процесів промислової переробки та використання ТПВ на найбільшому коксохімічному підприємстві у Європі – ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод» («АКХЗ»), що знаходиться на території типового малого населеного пункту – м. Авдіївка (Донецька область, Україна), їх включенням до схем санітарного очищення міста і підвищення виробничої потужності коксохімічного виробництва подальшим використанням гранульованих дисперсних часток ТПВ в камерних печах підприємства (при відновленні повноцінної його роботи).

Дисперсна фракція несорттованих складованих твердих побутових відходів (розмір часток до 1 мм) складає значну екологічну небезпеку. Такі частинки швидше поширюються у водоймах, проникають до ґрунту, активніше окислюються і розчиняються. Органічна дисперсна складова відходів містить токсичні та біологічно небезпечні речовини. Процес розпаду органічної складової відходів супроводжується виділенням горючої газової суміші, що призводить до частих пожеж в місцях несанкціонованого складування відходів. Крім того, на різних етапах механічної обробки ТПВ, що включають дозування, транспортування, складування і перемішування, дисперсна фракція відходів негативно впливає на надійність обладнання і ефективність процесу утилізації [15]. Термічна переробка заскладованих ТПВ призводить до спікання дисперсної фракції в теплогазонепроникну масу, що не дозволяє здійснювати процес ефективної утилізації. Під впливом кліматич-

чних чинників вміст дисперсної фракції у складованих відходах на сміттєзвалищах з часом може зростати до 60-80%. Таким чином, створення і застосування технології промислової утилізації заскладованих ТПВ і їх дисперсної фракції, а також вибір та обґрунтування раціональних процесів і параметрів підготовки та переробки шляхом управління фракційно-вологісним складом відходів як необхідна складова розробки ССО малих населених пунктів України, є особливо актуальною науково-практичною задачею.

В якості основного етапу попередньої підготовки дисперсної фракції відходів до подальшої переробки розглянуто та проаналізовано ефективність двох способів гранулювання дисперсної фракції побутових відходів, що є одними з найбільш поширених у промисловості – різні види обробки: окотування сипучої маси в обертових апаратах та гранулювання у псевдозрідженому шарі.

Підготовка дисперсної фази відходів окотуванням дозволяє отримати частинки правильної кулястої форми і відносно великого розміру. Процес окотування дозволяє усереднити різноманітний морфологічний склад дисперсної фракції відходів. Великий розмір утворених окотишів дисперсних відхо-

дів, їх правильна однакова форма, достатня щільність і середній морфологічний склад роблять їх зручними для методів переробки, які включають в себе ретельне дозування і які є чутливими до змін в складі перероблюваної сировини. Однак, невелика міцність і значна кінцева вологість ($W \geq 50\%$) окотишів дисперсної фракції твердих відходів робить неможливим їх тривале зберігання і транспортування на великі відстані [16], що може бути необхідним при реалізації ССО малих населених пунктів.

Застосування методу гранулювання дисперсної фракції твердих побутових відходів в апараті – грануляторі з псевдозрідженим прошарком дозволяє комплексно вирішувати задачу обробки реологічно складного сипкого дрібнодисперсного матеріалу, а саме: знизити надмірну вологість відходів завдяки сушінню псевдозріджуючим газом, ізолювати газові потоки та вловлювати більшість шкідливих і небезпечних речовин у результаті використання замкнутості процесу і циклічності руху потоку псевдозріджуючого газу. А велика кількість керованих параметрів процесу дозволяє обробляти таким методом навіть реологічно складні матеріали, до яких можна віднести і дисперсну фракцію побутових відходів (рис. 4).

а)

б)

Рисунок 4 – Дисперсна фракція побутових відходів: «а» - Знімок x50.

Мікроструктура частинок дисперсної фракції побутових відходів; «б» - Гранула побутових дисперсних відходів, отримана в грануляторі з псевдозрідженим шаром (фотографії РЕМ x50 и x500)

Для можливої практичної реалізації розглянутих методів попередньої підготовки побутових відходів до подальшого використання у технологічних процесах на підприємстві ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод» передбачається застосування таких відповідних варіантів типового спеціалізованого обладнання, як: тарілчастий гранулятор (із умовно прийнятою потужністю: 3 т./робочий день) та гранулятор з псевдозрідженим (киплячим) шаром (із умовно прийнятою потужністю: 5 т./робочий день). Умовна кількість 8-ми годинних робочих днів за проектом = 20/місяць.

Проведене раніше порівняння подібного галузевого устаткування [15] базувався лише на протиставленні деяких окремих виробничих та екологічних показників технічного забезпечення процесу переробки, без деталізованого дослідження їх взаємодії між собою та із зовнішніми екологічними, економічними, технічними, соціальними та політичними факторами, які можуть суттєво впливати на склад та режим функціонування проектованої технологічної лінії впродовж тривалого періоду її експлуатації, що значно

знижує показовість оцінки. Через схожість паспортних характеристик вказаного технічного забезпечення та спірність результатів аналізу даних його лабораторних досліджень, адекватне обрання оптимального обладнання для схем переробки побутових відходів в умовах кожного окремого проекту для її включення до ССО малого населеного пункту потребує додаткового об'єктивного обґрунтування.

Для проведення математичного моделювання та оцінки прогнозовано еколого-економічної ефективності обраних варіантів технологічного устаткування, програмою «Індекс-Е» оброблено відомі паспортні характеристики типового обладнання, результати лабораторних досліджень, взяті до уваги значимі середні соціально-економічні показники, адекватні для України (як, розмір мінімальної заробітної плати станом на травень 2018 р. – 4100 грн./міс., середній відсоток інфляції – 13% і т. д.) та задані імовірні (умовні) взаємно залежні корекції вхідних значень впродовж прогнозованого періоду функціонування об'єктів дослідження (15 років), що відображено у відповідних формах автоматичного звіту програми.

Корекціями до проекту додано планове удосконалення обладнання (наприклад, придбання і встановлення додаткових фільтрів для мінімізації обсягів викидів та скидів забруднюючих речовин). Вихідні

данні для розрахунку щодо порівнювальних об'єктів (взятих до уваги варіантів обладнання) наведено у табл. 1 та 2.

Таблиця 1 – Вхідні дані завдання на розрахунок у програмі «Індекс-Е» (об'єкт «А» - тарілчастий гранулятор) за проектом «Попередня підготовка дисперсної фракції відходів»

Найменування параметру	Розмірність	Значення	Корекція		Корекція		Корекція		Корекція		Корекція	
			%	Рік	%	Рік	%	Рік	%	Рік	%	Рік
Потужність викиду (на од. обладнання)	г/год.	6,0	-80	11								
Потужність скиду (на од. обладнання)	г/год.	7,0	-80	11								
Вартість функцій (на од. обладнання)	грн./год	135	+15	3	+25	7	+30	10	+36	13	+40	15
Кількість одиниць обладнання	од.	16										
Години роботи	год./рік	1920										
Години роботи (3 р.)	год./рік	5780										
Сума оброблювальних відходів	т/рік	11520										
Зп. персоналу (на од. обладнання)	грн./год.	25	+5	3	+10	7	+15	11	+18	13	+21	15
Вартість площі (на од. обладнання)	грн./год.	5	+10	7	+20	14						
Вартість енергоресурсів (на од. обладнання)	грн./год.	20	+7	3	+15	7	+20	10	+25	15		
Вартість ремонту (на од. обладнання)	грн./год.	9,45	+10	8	+20	12						
Грошовий потік (на од. обладнання)	грн./рік	1200000	+10	10								
Собівартість (на од. обладнання)	грн./рік	900000	-100	4	-85	11	-100	12				

Таблиця 2 – Вхідні дані завдання на розрахунок у програмі «Індекс-Е» (об'єкт «Б» - гранулятор з псевдозрідженим шаром) за проектом «Попередня підготовка дисперсної фракції відходів»

Найменування параметру	Розмірність	Значення	Корекція		Корекція		Корекція		Корекція		Корекція	
			%	Рік	%	Рік	%	Рік	%	Рік	%	Рік
Потужність викиду (на од. обладнання)	г/год.	2,0	+80	11								
Потужність скиду (на од. обладнання)	г/год.	5,0	80	11								
Вартість функцій (на од. обладнання)	грн./год	150	+15	3	+25	7	+30	10	+35	13	+40	15
Кількість одиниць обладнання	од.	10										
Години роботи	год./рік	1920										
Години роботи (3 р.)	год./рік	5760										
Сума оброблювальних відходів	т/рік	12000										
Зп. персоналу (на од. обладнання)	грн./год.	25	+5	3	+10	7	+15	11	+18	13	+21	15
Вартість площі (на од. обладнання)	грн./год.	2	+10	7	+20	15						
Вартість енергоресурсів (на од. обладнання)	грн./год.	20	+7	3	+15	7	+20	10	+25	15		
Вартість ремонту (на од. обладнання)	грн./год.	10	+10	8	+15	12						
Грошовий потік (на од. обладнання)	грн./рік	1500000	+15	10								
Собівартість (на од. обладнання)	грн./рік	1000000	-100	4	-85	11	-100	12				

За результатами автоматизованого обчислення спеціалізованої імітаційної математичної моделі у програмі «Індекс-Е» з урахуванням наведених у

табл. 1 та 2 даних сформовано візуалізовані річні та підсумкові еколого-економічні індекси щодо досліджуваних об'єктів (рис. 6–9).

Рисунок 6 – Динаміка річних індексів екологічного ефекту від об'єктів що досліджуються у прогнозований період (коефіцієнти викидів забруднюючих речовин та прибутку у розрахунку на 1 тону перероблених відходів загальною кількістю одиниць обладнання у рік) за проектом «Попередня підготовка дисперсної фракції відходів»

Рисунок 7 – Динаміка річного індексу економічного ефекту від об'єктів що досліджуються у прогнзований період (коефіцієнт прибутку на 1 тону оброблених відходів у рік)

Рисунок 8 – Динаміка річного індексу техніко-економічного ефекту від об'єктів що досліджуються у прогнзований період (коефіцієнт витрат коштів у розрахунку на 1 тону оброблених відходів у рік) за проектом «Попередня підготовка дисперсної фракції відходів»

Рисунок 9 – Результати розрахунку підсумкових індексів екологічного – «а» і економічного – «б») ефекту від об'єктів що досліджуються у прогнзований період (середні значення коефіцієнтів прибутку та впливу обладнання на навколишнє природне середовище у розрахунку на 1 тону оброблених відходів) за проектом «Попередня підготовка дисперсної фракції відходів»

Порівняльний аналіз отриманих показників прогнзованої ефективності використання описаних методів гранулювання дисперсних відходів та необхідного для їх реалізації обладнання, наведених на рисунках 6-9 показує, що:

- коефіцієнт витрат коштів на рік (у розрахунку на 1 тону оброблених відходів в прогнзований період функціонування модельованого проекту) при

експлуатації гранулятора з псевдозрідженим шаром (об'єкта «Б»), за заданими параметрами режиму роботи у прогнзований період, на фоні позитивної динаміки річних еколого-економічних індексів в середньому на 62% менше значення цього показника при використанні тарілчастого гранулятора (об'єкта «А»);

- коефіцієнт впливу об'єкта «Б» на навколишнє природне середовище (середній рівень негативної екологічної дії / 1 тону оброблених відходів) – індекс «Y1» на 176,47% менше значення цього показника при роботі об'єкта «А»;

- коефіцієнт прибутку від обладнання в рік (на 1 тону оброблених відходів) – індекс «Y2» при використанні об'єкта «А» на 32% більше за аналогічний показник при експлуатації устаткування, відповідного об'єкту «Б».

Аналіз отриманих в процесі застосування нового спеціалізованого програмного додатку «Індекс-Е» даних дозволяє зробити швидкий та обґрунтований висновок що розглянуті об'єкти: «А» - (тарільчастий гранулятор) та «Б» - (гранулятор з псевдозрідженим шаром) є відносно екологічно безпечними і економічно рентабельними. Однак, об'єкт «Б» у порівнянні із об'єктом «А» (із урахуванням особливостей заданих параметрів режиму функціонування обладнання – продуктивності і т. д.) за комплексом еколого-економічних показників, характерних для його середньострокової експлуатації (для періоду 15 років), за умови більш тривалого використання, необхідних корекції економічних параметрів роботи, має більш виражений рівень екологічної і економічної ефективності (навіть при деякому зниженні середнього економічного ефекту, що пояснюється переважним інвестуванням, підвищеною оплатою необхідної більш кваліфікованої праці персоналу і т. д.) та на підставі цього може бути рекомендовано до впровадження на коксохімічному заводі в якості технічного забезпечення схеми переробки твердих побутових відходів, як компонента схеми санітарної очистки міста Авдіївка (Донецька область, Україна), з можливістю підвищення потужності «АКХЗ» (при відновленні повноцінної його роботи) використанням продуктів гранулювання дисперсної фракції ТПВ шляхом подальшої промислової термічної переробки із одержанням твердого палива і теплової енергії, використовуючи для цього наявне обладнання підприємства.

ВИСНОВКИ. Таким чином, здійснення на підставі проведеного в роботі імітаційного математичного моделювання еколого-економічної ефективності формування та довгострокової експлуатації технічного забезпечення технологічних системи переробки дрібнодисперсної фракції несортіваних складованих твердих побутових відходів в умовах модернізації промислових підприємств на прикладі обґрунтування системи використання ТПВ на ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод» із застосуванням комп'ютерної програми «Індекс-Е», оцінка використання досліджених варіантів типового обладнання процесів гранулювання відходів (гранулятора з псевдозрідженим шаром та тарільчастого гранулятора) із деталізованим дослідженням комплексної взаємодії прогнозованої динаміки значень екологічних і виробничих параметрів устаткування доводить що:

- використання замкнутого і циклічного процесу псевдозрідження при обробці твердих побутових відходів в герметичних апаратах безперервної дії значно менше впливає на навколишнє середовище у порівнянні з обробкою сировини в тарільчастих гра-

нуляторах. Програмний (математичний) розрахунок коефіцієнтів впливу дослідних об'єктів на навколишнє середовище показав значну екологічну ефективність технології гранулювання в псевдозрідженому шарі, що з урахуванням змодельованих змін та модернізацій устаткування на 178,26% менше впливає на довкілля, ніж окотування в апаратах, що обертаються (тарільчастому грануляторі);

- впровадження технології обробки твердих побутових відходів у псевдозрідженому шарі з використанням комплексного багатофункціонального обладнання і великою кількістю керованих параметрів процесу потребує на 62% меншу витрату коштів за річний період (у розрахунку на 1 тону оброблених відходів в прогнозований період функціонування модельованого проекту) ніж використання технології гранулювання сировини в апаратах, що обертаються (тарільчастому грануляторі);

- застосована методика дослідження і використаний прикладний програмний додаток дозволяють значно прискорити та спростити процес наукового обґрунтування проектувальних робіт з підвищення екологічної безпеки технічного забезпечення систем поводження з відходами, тому є перспективним інструментом розробки і оцінювання ефективності схем санітарного очищення малих населених пунктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аніщенко Л. Я., Пісня Л. А., Свердлов Б. С., Барміна І. В. Особливості розробки схем санітарного очищення малих міст. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2015. Вип. 37. С. 127–134.
2. Кожушко Г. М., Дугнист Л. В., Кислиця С. Г. Проблема ртутного забруднення навколишнього середовища. *Світлотехніка та електроенергетика*. № 1. 2013 р. С. 37–43.
3. ДБН Б.2.2-6:2013 Склад та зміст схеми санітарного очищення населеного пункту. Київ, 2013.
4. Аніщенко Л. Я., Свердлов Б. С., Пісня Л. А., Барміна І. В. Досвід використання ДБН Б.2.2-6:2013 при розробці схеми санітарного очищення малого міста. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: XI Міжнародна наук.-практ. конференція. Харків, 7-11 вересня 2015 р. 36. наук. ст. УкрНДІЕП. Х.: Райдер, 2015. С. 127–135.
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.07.2017 р. №505-р Про затвердження проекту «Нове будівництво комплексу з переробки твердих побутових відходів з системою збору, утилізації полігонного газу та виробництва електричної енергії у м. Дергачі Харківської області» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/250180646>.
6. Парфенюк А. С., Антонюк С. И., Топоров А. А. Альтернативное решение проблемы твердых отходов в Украине. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. С. 36–41.
7. Парфенюк А. С., Литвинова Т. И. Перспективность создания многоцелевых биогазовых комплексов в Украине. *Донбас 2020: перспективы развития*

очима молодих вчених: VIII Міжнародний науково-практичний форум. Донецький національний технічний університет. Красноармійськ: «ДонНТУ», 2016. С. 126–128.

8. Краснянский М. Е. Утилизация и рекуперация отходов: Учебное пособие. Х: Бурун и К, К.: КНТ, 2007. 288 с.

9. Шмандий В. М. Управление техногенной безопасностью урбосистемы на стадии образования и поступления отходов в окружающую среду: монография. Х., 2001. 152 с.

10. Вамболь В. В., Костюк В. Е., Кирилас Е. И. Выбор структуры и параметров газоконденсатного потока в блоке охлаждения газа, полученного при термической обработке отходов. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». Вып. 67. 2015. С. 186–196.

11. Вамболь В. В. Энергетический анализ усовершенствованной технологии плазменной утилизации отходов. *Екологічна безпека*. 2015. № 2. С. 63–68.

12. Попович О. Р., Захарко Я. М., Мальований М. С. Проблемы утилизации та переробки будівельних відходів. Теорія і практика будівництва : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». № 755. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. С. 321–324.

13. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №75876. «Комп'ютерна програма для прогнозування еколого-економічної ефективності, оцінки та обґрунтування підбору складу технічного забезпечення систем поводження з відходами «Індекс-Е»» / Бондаренко І.В., Усенко А.В.; заявник та автор: Бондаренко Іван Валерійович. № 76997; Заяв. 10.01.2018 р.

14. Bondarenko I. V., Anischenko L. Y., Rudyk Y. I. Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. *Visnyk of Lviv State University of Life Safety*. Lviv: LSULS, 2017. №2 (16) P. 119–128.

15. Kutniashenko O., Smoliaga V., Litvinova T. Improving the efficiency of household waste recycling by pre-preparation of their dispersed fraction. Полі-технічний журнал MetalJournal. Metallurgical and Mining Industry. English edition. 2016. № 8. С. 6–14.

16. Парфенюк А. С., Кутняшенко А. И. Предварительная подготовка дисперсной фазы бытовых отходов существующих свалок к утилизации. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Серія: Машинобудування та матеріалознавство. Красноармійськ, 2015. Вип. 1(12). С. 105–111.

ASSESSMENT OF WASTE MANAGEMENT SYSTEM FACILITIES EFFICIENCY IN THE CONDITIONS OF SMALL SETTLEMENTS

I. Bondarenko

Research Institute "Ukrainian Research Institution Environmental Problems"
vul. Bakulina, 6, Kharkiv, 61166, Ukraine. Email: i.v.bondarenko@ukr.net

O. Kutniashenko

State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University"
ploshcha Shybankova, 2, Pokrovsk, 85300, Ukraine. Email: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Purpose. The purpose of the work is to give justified, objective assessment of the expected efficiency of formation and operation of the technical facilities for waste management in the conditions of industrial enterprises upgrading on the example of creation of the solid household waste use system at Avdiivka Coke and Chemical Plant PJSC and determination of optimal option of the required industrial state-of-the-art equipment using the automated modelling. Based on the determined relevance of the problem of low efficiency in waste management infrastructure design in the conditions of small settlements of Ukraine which characteristic feature is that the most villages and urban villages are lacking the specialized solid waste management enterprises and specialized industry-specific engineering facilities, have outdated waste collection systems, chemical and bacteriological contamination of soils and underground waters, territory flooding with waste rare particles and solid household waste filtrate, and solutions poor efficiency in the course of implementation of main development phases of sanitation schemes, **Methodology.** The mathematical simulation of environmental and economic indices of long-term implementation of specialized processes was conducted. **Originality.** Using the developed program "Index-E" and by estimating the simulation model with the detailed study of a complex of interaction of environmental and industrial parameters of technical facilities options and with external economic, social and political factors which can have significant impact on the composition and functioning mode of the process line for a long period of its operation. **Practical value.** The efficiency in the formation of the fine particle processing system equipment for the unsorted stockpiled solid household waste at the production-technical site of AKHZ PJSC (Avdiivka, Ukraine) was forecast. **Conclusions.** Based on the assessment of the data obtained, the most efficient equipment was selected and recommended - granulator with pseudoliquidified layer for solid household waste pelletizing with possible increased energy-saving of industrial processes of strategic coke and chemical enterprise of Ukraine and upgrading of the sanitation scheme of the settlement. References 16, tables 2, figures 9.

Key words: wastes, modeling, assessment, equipment, pelletizing, "Index-E" program.

REFERENCES

1. Anishchenko, L. Y. (2015), «Peculiarities of development of sanitation schemes for small settlements», *Problems of environmental protection and ecological safety*, Issue 37. - pp. 127-134.
2. Kozhushko, H. M. (2013), «Problem of mercury pollution of the environment with discharge lamp waste», *Light equipment and electrical energy*, no1, pp. 37-43.
3. BDN Б.2.2-6:2013 Composition and content of sanitation scheme of the settlement,(Ukraine), Kyiv, 2013.
4. Anishchenko, L. Y., Sverdlov, B. S., Pisnia, L. A., Barmina, I. V. (2015), «Experience in the use of DBN Б.2.2.-6:2013 in the development of sanitation scheme of small settlement», *Ecological Safety: problems and ways to solve: XI International Scientific and Practical Conference. Kharkiv, September 7-11, 2015*, *Collection of Scientific Articles*, UkrNDIEP, Kh.: Rider, pp. 127 – 135.
5. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 505-p dd. 19.07.2017 concerning Approval of the project "New construction of the complex for solid household waste processing with the collection system, field gas utilization and power generation in Derhachi, Kherson region" [E-resource] – Access mode: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250180646>.
6. Parfeniuk, A. S., Antoniuk, S. I., Toporov, A. A. «Alternative solution for the problem of solid waste in Ukraine», *Eco technology and Resource Saving*, no 2, pp. 36-41.
7. Parfeniuk, A. S. (2016) «Perspective creation of multipurpose biogas complexes in Ukraine», *Donbass 2020: Prospective development as seen by the eyes of young scientists: VIII International Scientific and Practical Forum* Donetsk national Technical University, Krasnoarmiysk: "DonNTU", pp. 126-128.
8. Krasniansky, M. E. (2007), *Utylizatsiya ta pererobka vidkhodiv: Navchal'nyy posibnyk* [Waste disposal and recycling: Study guide], Burun and K, K.: KNT, 288 p.
9. Shamdiy, V. M. (2001), «Antropohenne upravlinnya bezpekoyu mis'koyi systemy na etapi formuvannya vidkhodiv ta vnesennya do navkolyshn'oho seredovyscha» [Anthropogenic security management of the urban system at the stage of waste formation and input to the environment], Kharkiv.
10. Vambol, V. V. (2015), «Selection of structure and parameters of gas-droplet flow in the cooling unit for the gas produced by waste thermal treatment», *Open information and computer integrated technology: Collection of Scientific Works National Aerospace University named after N. Ye. Zukovsky "Kharkiv Aviation Institute"*, Issue 67, pp. 186–196.
11. Vambol, V. V. (2015), «Energy analysis of the upgraded plasma waste disposal technology», *Ecological Safety*, no. 2, pp. 63-68.
12. Popovich, O. R. (2013), «Problems of construction waste disposal and processing», *Theory and Practice of Construction: Collection of Scientific Works*, no. 755, pp. 321–324.
13. Bondarenko, I. V., Usenko, A. V (2018), "Software for environmental and economic efficiency forecasting, assessment and substantiation of the selection of the waste management technical facilities "Index-E", Certificate of Copyright Registration for the Work No. 75876, No. 76997; Application dd. 10.01.2018.
14. Bondarenko, I. V., Anishchenko, L. Y., Rudyk, Y. I. (2017), «Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment», *Visnyk of L'viv State University of Life Safety*, no. 2 (16), pp. 119-128.
15. Kutniashenko, O. (2016), «Improving the efficiency of household waste recycling by preparation of their dispersed fraction», *Politechnic Journal Metal Journal, Metallurgical and Mining Industry. English edition*, no. 8, pp. 6-14.
16. Parfeniuk, A. S., Kutniashenko, A. I. (2015), «Preliminary preparation of the household waste disperse phase of the existing landfills for utilization», *Scientific works of Donetsk National Technical University. Series: Machine Building and Materials Sciences*, no. 1(12), pp. 105-111.

Стаття надійшла 13.11.2018.