

УДК 628.4.03

Ihor V. Satin^{1,2}, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Landscaping and Municipal Waste Management of the Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise
ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Olena S. Panchenko², Senior Research Fellow
ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua

¹ Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

² Scientific, Research, Design and Technology Institute of Municipal Economy, State Enterprise, Kyiv, Ukraine

IMPROVING THE METHODOLOGY FOR ANALYSES OF THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE WITH STRATIFICATION APPROACH

***Abstract.** First, problem-solving for solid waste management should be based on solid field analysis of their morphological composition. It is important to conduct research for both urban and rural settlements to obtain results that are more reliable.*

The aim of this article is to improve methodological approaches to determining the morphological composition of solid waste. From the data analysis, it is established that the lack of morphological composition of solid waste in the methodology of research requirements for representativeness of research results, error rate and common approaches to the research plan leads to the inability to compare the results of such studies and reduces their value. This study presents a new approach to determining the morphological composition of solid waste. The process of field research of morphological composition in Sumy city took place in 4 stages – preliminary research, sampling planning, field research, evaluation of results. Obtained results show the importance of using the requirements for statistical reliability of results. The application of such an approach allows us to unify the results of the study, and to compare the individual results of determining the morphological composition between settlements and by years.

***Key words:** solid waste management; stratification; representativeness; sample; mixed household waste*

I.V. Satin^{1,2}, **O.S. Panchenko**²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

² Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З УРАХУВАННЯМ СТРАТИФІКАЦІЇ

***Анотація.** Вирішення проблеми управління побутовими відходами насамперед повинно базуватись на ґрунтовному натурному аналізі їх морфологічного складу. Причому важливо проводити дослідження як для міських, так і для сільських населених пунктів для отримання більш достовірних результатів.*

Метою роботи є удосконалення методологічних підходів до визначення морфологічного складу побутових відходів. Из аналізу літературних даних встановлено, що відсутність в методології досліджень морфологічного складу твердих побутових відходів вимог до репрезентативності результатів дослідження, рівня похибки та єдиних підходів до плану проведення дослідження призводить до неможливості порівнювати між собою результати таких досліджень та знижує їх цінність. У представленій роботі застосовано новий підхід до визначення морфологічного складу побутових відходів. Проведення процесу натурного дослідження морфологічного складу у м. Суми відбувалось у 4 етапи: попередні дослідження, планування вибірки, проведення польових досліджень, оцінка результатів. На прикладі проведеного дослідження показано значимість використання вимог щодо статистичної достовірності результатів. Застосування такого підходу дозволяє уніфікувати результати дослідження та порівнювати окремі результати визначення морфологічного складу між населеними пунктами та за роками.

Ключові слова: управління побутовими відходами; стратифікація; репрезентативність; вибірка; змішані побутові відходи

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.110-120>

Вступ

Постановка завдання. Морфологічний склад побутових відходів має суттєвий вплив на техніко-економічні показники об'єктів поводження з відходами. Саме тому на етапі передпроектних досліджень щодо майбутніх об'єктів важливим є ґрунтовне дослідження морфологічного складу побутових відходів.

Тверді побутові відходи (ТПВ) характеризуються як гетерогенна суміш невизначеної кількості предметів, матеріалів, речовин з великим різноманіттям механічних, фізико-хімічних та інших властивостей. Склад цієї суміші є непередбачуваним і має випадковий характер, оскільки до складу ТПВ можуть потрапляти різноманітні матеріали, що використовуються в побуті та на виробництві, і водночас він є прогнозованим за основними складовими. Відомо, що морфологічний склад ТПВ залежить від видів джерел утворення ТПВ, пори року, містобудівних характеристик міста, соціально-економічних умов життя населення та його загальноосвітнього і культурного рівнів, рівня благоустрою житла, технології пакувальних матеріалів і тари, технології та системи оптової та роздрібної торгівлі тощо.

Таким чином, методологія проведення дослідження має враховувати можливі впливи на морфологічний склад побутових відходів.

В Україні діють методичні рекомендації з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів, які затверджені наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства №39 від 16.02.2010. Але ці методичні рекомендації передбачають мінімальні вимоги до визначення морфологічного складу та не відображають детальний вміст компонентів, які можуть впливати на вибір технології, параметрів обладнання та на економічні показники підприємства.

Відсутність в методології досліджень вимог до репрезентативності результатів дослідження, рівня похибки та єдиних підходів до плану проведення дослідження призводить до неможливості порівнювати між собою результати таких досліджень та знижує їх цінність.

Робота виконується в рамках реалізації Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями Центру навколишнього середовища та здоров'я Імперського коледжу в Лондоні (Imperial College London), Королівського коледжу у Лондоні (King's College London) та Швейцарського інституту тропічного та громадського здоров'я в 2017 році у виданні «Environmental Science & Technology» опубліковані результати багаторічних досліджень з оцінки впливу сміттєспалювальних установок (MWIs) на навколишнє середовище. Досліджувались викиди всіх 22 сміттєспалювальних установок у Великобританії протягом 2003–2010 рр. Сировиною для сміттєспалювання є папір, харчові відходи, залишки пластику після оброблення, скло, електричні прилади та інші матеріали. Як відмічають науковці, за результатами досліджень морфологічний склад сировини змінюється щодня та відрізняється один від одного на всіх 22 установках. При цьому склад димових газів напряму залежить від складу сировини (ТПВ, які поступають для спалювання) [1]. Результати досліджень містять статистичні стандарти, а саме рівень достовірності 95% та значення максимальної допустимої похибки менше 20%.

Дослідження щодо складу побутових відходів проводились протягом одного року (2018–2019 рр.) у м. Нур-Султан, Республіка Казахстан з метою пошуку ефективних практик управління відходами [2]. Отримані авторами результати містять рівень достовірності – 90%, рівень похибки – 20%, кількість зразків – 10. Досить ґрунтовно автори [3] підійшли до вирішення питання щодо достовірності статистичних даних при оцінці морфологічного складу побутових відходів. У своїй праці [3] науковці впроваджують новий підхід до оцінки складу побутових відходів на регіональному та/або державному рівні. Основна увага приділяється отриманню точних і достовірних даних, оскільки вони мають вирішальне значення для ефективного планування системи управління відходами. Так, у статті описано методи стратифікації досліджуваної території, розроблено модель відбору представників, а також запропоновано модель для вибору репрезентативного регіону (на прикладі Чеської Республіки). У подальшому авторами планується застосувати та перевірити запропоновані моделі в польових умовах. Звертають увагу на важливість статистичних стандартів також інші дослідники [4–9].

При визначенні морфологічного складу побутових відходів в населених пунктах України науковцями акцентується увага на визначенні рівня репрезентативності вибірки, виборі варіанта відбору проб та описі характерних складових компонентів [10–12]. Такий же підхід демонструють деякі зарубіжні дослідники [13–15].

Таким чином, встановлення вимог до статистичної точності, встановлення рівня репрезентативності та планування дослідження дозволить уніфікувати результати дослідження та порівнювати окремі результати визначення морфологічного складу між населеними пунктами та роками.

Мета дослідження. Встановити мінімальні стандарти, за якими результати визначення морфологічного складу побутових відходів повинні завжди відповідати визначеній статистичній точності, шляхом удосконалення методології.

Результати дослідження

Проведення процесу дослідження морфологічного складу відбувалось за наступними етапами: 1) попередні дослідження; 2) планування вибірки; 3) проведення польових досліджень; 4) оцінка результатів.

Попередні дослідження. Етап попереднього дослідження стосується збору необхідної довідкової інформації про населений пункт. Це повинно лягти в основу подальшого етапу планування вибірки та проведення польових досліджень. Цей етап надає деякі передумови, необхідні для ефективної оцінки результатів проведених досліджень.

Для м. Суми зібрано наступні дані (табл. 1), які мають вплив на морфологічний склад побутових відходів.

Таблиця 1 – Загальна інформація про місто Суми

№	Найменування показника	Характеристика
1	Чисельність населення, чол.	263 760
2	Середній розмір домогосподарства по Сумській області, осіб	2,43
3	Середній дохід за місяць на одне домогосподарство, грн	10 398,0
4	Питома вага багатоквартирної забудови (з усіма видами благоустрою), %	80,9

Загальний опис організації системи поводження з відходами у м. Суми. Збирання відходів у м. Суми відбувається за планово-регулярною системою в багатоквартирній, садибній (приватній) забудові та нежитлових об'єктах (організації, установи, підприємства). Збирання ТПВ відбувається у три типи контейнерів за незмінною схемою: 1-й тип – для ПЕТ-пляшки; 2-й тип – «Дзвін» (скло, папір, пластик за переліком) та 3-й тип – для змішаних відходів. Всі контейнери 2-го класу за ДСТУ-8476. Місце видалення відходів – полігон ТПВ (розташований на території Верхньосироватської сільської ради). Об'єкт сортування вторинної сировини (скло, пластик, папір) розташовано на території ТОВ «А-Муссон». Об'єкт ущільнення та сортування вторинної сировини (пластик) розташовано на території ТОВ «Сервісресурс». Спеціально обладнані транспортні засоби із бічним та заднім завантаженням, також оснащені ущільнювачем (коефіцієнт ущільнення становить 2-3).

Побутові відходи, які утворюються в Сумах, за джерелами походження можна поділити на три основні групи: змішані ТПВ (утворюються від житлового сектору, невиробничої сфери: адміністративних установ, громадських зон та комерційних закладів, та виробничого сектору, комунально-складських зон та інше); ремонтні відходи або будівельні відходи (БВ), які потрапляють до планово-регулярної системи вивезення побутових відходів, та велико-габаритні відходи (ВГВ). Для захоронення на полігон ТПВ постачаються змішані ТПВ, ВГВ, БВ, які дозволено захоронювати на полігоні ТПВ.

Змішані тверді побутові відходи від домогосподарств збираються окремо у контейнери та транспортуються спеціально обладнаними транспортними засобами до місць видалення відходів – полігонів ТПВ. Ремонтні та будівельні

відходи, великогабаритні відходи транспортуються окремо від змішаних ТПВ до місць видалення відходів.

При проведенні досліджень виключено змішування твердих, великогабаритних, ремонтних, промислових та рідких відходів.

Планування вибірки. Слід зазначити, що морфологічний склад – це процентний вміст окремих компонентів в побутових відходах, що відрізняються за своїми властивостями. Визначення морфологічного складу здійснюють шляхом розділення змішаних побутових відходів та зважування всіх компонентів.

Дослідити всі побутові відходи, які утворюються в місті Суми, неможливо. Досліджується певна частина побутових відходів за деякий проміжок часу. Кількість відходів, яка визначена для дослідження, – це вибірка сукупність.

Одиниці вибірки – це найменші елементи вибіркової сукупності, які окремо відбираються, збираються, сортуються та аналізуються і для яких отримуються окремі результати аналізу. Для початкових досліджень за одиницю вибірки можна прийняти 1 куб. м побутових відходів. В подальших дослідженнях за одиницю вибірки рекомендується прийняти 1 контейнер об'ємом 1 100 л (або інше значення).

При виборі одиниці вибірки слід зазначити наступне:

- чим менший об'єм або значення одиниці вибірки, тим більша статистична точність результатів;
- чим менший об'єм або значення одиниці вибірки, тим більше часу потрібно для процесу сортування та аналізу для еквівалентного обсягу вибірки.

Загальна кількість одиниць вибірки залежить від двох основних критеріїв:

1. Неоднорідність показників морфологічного складу відходів, яка відображена коефіцієнтом варіації. Цей коефіцієнт варіації на початку досліджень, як правило, невідомий, але в подальших дослідженнях його слід оцінювати на основі результатів минулого дослідження (сезон або рік).

2. Бажана точність результатів (рівень достовірності або похибка).

Для початкових досліджень приймаємо об'єм вибірки 45 м³ (Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool)), табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристики вибірки, які прийняті для м. Суми

Одиниця вибірки	Загальний обсяг вибірки для дослідження, м ³
1 м ³	45 (еквівалентно ≈ 41 контейнеру об'ємом 1 100 л)

Для підвищення точності та інформативності результатів використовують методи стратифікації, табл. 3. Це статистичний розподіл неоднорідної вибіркової сукупності (наприклад, відходи, що утворюються в адміністративній одиниці населеного пункту) на більш однорідні групи або підгрупи (наприклад, відходи, що утворюються у певних житлових багатоквартирних будинках або приватному секторі), які в подальшому називаються шари.

Слід враховувати, що велика кількість факторів може впливати на склад або кількість побутових відходів і вони, в свою чергу, можуть різнитися залежно від місцевості. Наприклад:

- Тип житлової забудови (процентне співвідношення різних типів забудови);
- Тип системи опалення (рівень охоплення пічним опаленням);
- Сезонні міграції населення;
- Об'єм контейнерів;
- Періоди відпусток;
- Тип системи збору відходів (рівень охоплення роздільним збиранням);
- Рівні громадської освіти та обізнаності з питань управління відходами.

Таблиця 3 – Визначена стратифікація вибірки для м. Суми

Населений пункт	Обрані критерії розшарування	Проведені сезонні дослідження
Суми	<p>Соціально-економічний рівень: За типом житлової забудови:</p> <ul style="list-style-type: none"> • приватний сектор; • багатоквартирна забудова; <p>Збір в будній день:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Понеділок • П'ятниця 	Літо Осінь

Польові дослідження з визначення морфологічного складу ТПВ проводились з урахуванням наказу Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 16.02.10 р. №39 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів».

Дослідження морфологічного складу змішаних твердих побутових відходів проводились на господарській ділянці полігону ТПВ.

До виконання дослідження з визначення морфологічного складу ТПВ залучені спеціально навчені, підготовлені та проінструктовані працівники (далі – сортувальники). Інструктаж з методів сортування, техніки безпеки та охорони праці проводиться до початку польових досліджень.

Сортувальники забезпечуються спецодягом та засобами індивідуального захисту. Сортувальникам щоденно видають поліетиленові пакети для роздільного збирання компонентів твердих побутових відходів.

Маршрути сміттевозів обираються випадково. Схеми маршрутів не змінюються.

Загальний обсяг вибірки набирався з відповідного об'єму сміттевозів. Сміттевоз вивантажується на обраному майданчику польових досліджень з твердим покриттям поруч з картами захоронення ТПВ. Із загального обсягу ТПВ, що вивантажені зі сміттевозів, відбираються проби сумарним об'ємом 45 м³ (це орієнтовно дорівнює 3 повним сміттевозам об'ємом кузова 7 м³). Проба для зважування становила не менше 50 кг. Залишок ТПВ бульдозером зсовують з майданчика до тіла полігону, вивільнюючи його для проведення досліджень.

Сортувальники збирають визначені за морфологічним складом компоненти ТПВ у поліетиленові пакети. Компоненти розділяються на складові за матеріалами або маркуванням. Наприклад, кришечки пляшок відкручуються та пляшки спорожняються від рідини. Компоненти очищуються від бруду. Рідини та бруд також зважують. Для наповнення пакетів використовують

лопати та інші спецзасоби. Після закінчення відбору окремих компонентів у пакети завантажують залишок ТПВ, що не піддається класифікації та сортуванню.

Проводиться почергове зважування компонентів ТПВ у поліетиленових пакетах, а також залишку відходів. Сортувальник фіксує вагу для кожного типу матеріалу, відсортованого за формою відбору проб, переглядає форму, а потім заносить результати зважування у протокол. Після зважування заповнені пакети видаляють до приймальної карти полігону ТПВ.

Опрацювання результатів дослідження виконуються у наступному порядку:

- визначають масу кожного відсортованого компонента ТПВ шляхом підсумовування відповідних даних зважування;
- визначають загальну масу проби, що була розсортована, шляхом підсумовування усіх даних, одержаних в ході важення компонентів ТПВ та їх залишку;
- прийнявши за 100% (за масою) масу ТПВ, що була розсортована, розраховують вміст (у відсотках) кожного компонента ТПВ;
- за загальними даними з усіх проб шляхом статистичного оброблення визначають похибку серії вимірювань та оцінюють репрезентативність вибірки;
- визначають середній морфологічний склад ТПВ, що надходять на господарську ділянку полігону ТПВ у сміттєвозах.

Кожний зразок проби позначається наступними даними, які зібрані та записані в протоколі для кожного окремого зразка командою сортувальників відходів під час збору:

I. Номер протоколу.

II. Адреса зразка.

III. Дата збору.

Оцінка результатів

Результати досліджень зведено у табл. 4. На рис. 1 представлено морфологічні групи у складі змішаних ТПВ, ранжовані від найменшої до найбільшої частки у складі змішаних ТПВ.

Таблиця 4 – Маса компонентів за морфологічними групами у складі змішаних ТПВ, червень 2019 р.

№ п/п	Назва морфологічної групи	Найменування компонента ТПВ	Вміст компонентів (за масою), (%)
1	Картон та папір	Картон	0,61
		Папір	4,79
		Композитний папір	6,43
2	Скло та кераміка	Скляні пляшки білі та прозорі	9,50
		Скляні пляшки кольорові	4,04
		Віконне скло	0,44
		Кераміка	0,87
		Інші види скла	0,07

№ п/п	Назва морфологічної групи	Найменування компонента ТПВ	Вміст компонентів (за масою), (%)
3	Метали	Чорні метали	0,06
		Кольорові метали	0,81
4	Пластмаси	РЕТ-пляшки	3,09
		HDPE-контейнери	1,04
		Інші пластикові матеріали	2,15
		PP-пластик	0,42
		Композитний пластик	1,22
5	Відходи електронного та електричного обладнання	Невелика побутова техніка	1,31
		Комп'ютерна техніка	0,09
		Телевізори та інші прилади, що містять електронно-променеву трубку	0,00
6	Органічні відходи	Рослинна їжа	32,80
		Нерослинна їжа	7,49
		Опале листя та трава	1,37
		Гілки та рослинна деревина	2,64
7	Гума та шкіра	Гума та шкіра	0,75
8	Текстиль	Текстиль	3,98
9	Будівельні та ремонтні відходи*	Бетон	1,31
		Асфальт	0,00
		Пиломатеріали	0,00
		Гіпсокартон	0,42
		Ґрунти	0,00
		Змішані відходи будівництва	4,21
10	Небезпечні відходи	Фарба	0,00
		Відходи транспортних засобів та їх обладнання	3,18
		Відпрацьовані масла	0,00
		Акумулятори	0,09
		Змішані шкідливі побутові засоби	0,00
11	Залишок твердих побутових відходів після вилучення компонентів		4,82
12	Загальна маса проби твердих побутових відходів		100

Примітки: * – відходи у складі змішаних ТПВ

За результатами дослідження (рис. 1) у складі побутових відходів м. Суми переважають органічні відходи, а саме рослинна їжа, яка складає 32,80% від загальної кількості компонентів. На вміст скляних пляшок прозорих та білих припадає 9,5%, композитний папір складає 6,43%. Інші компоненти ТПВ не перевищують 5%.

Отримані результати корелюють з даними інших авторів, в тому числі зарубіжних [3, 4, 10], що дозволяє використовувати запропонований підхід до визначення морфологічного складу побутових відходів.

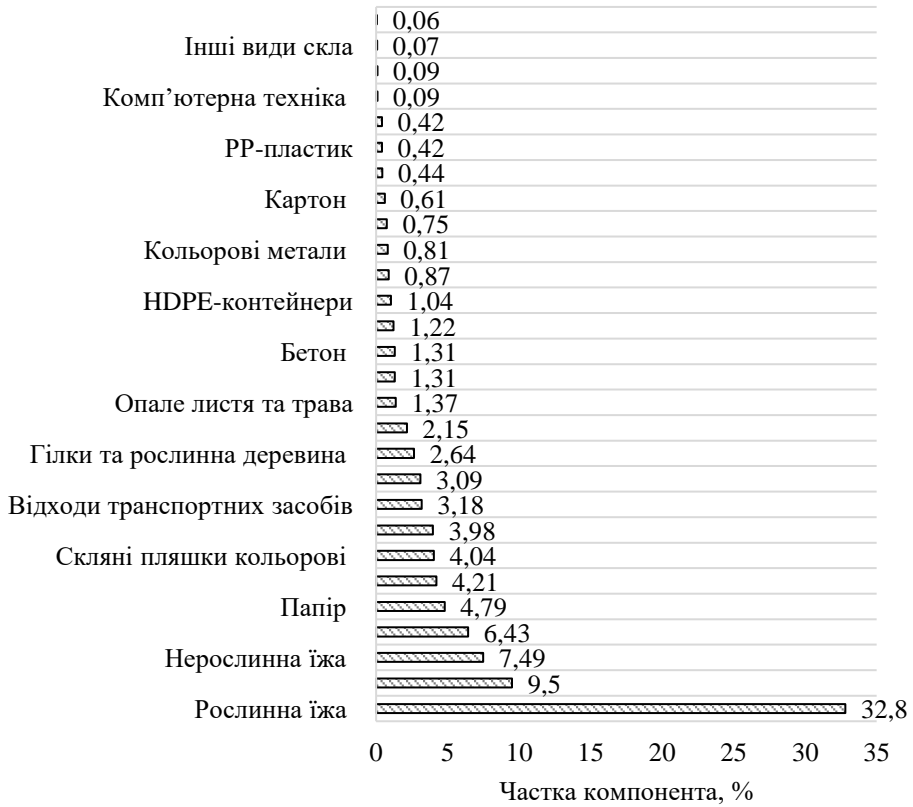


Рис. 1 – Ранжування компонентів у складі змішаних ТПВ

Висновки і перспективи подальших досліджень

На основі проведеного дослідження показано важливість впливу стратифікації на етапі вибору об'єктів для дослідження морфології побутових відходів, в тому числі для формування вибірки досліджень.

Основними критеріями для вибору кількості одиниць вибірки є неоднорідність показників морфологічного складу відходів, яка відображена коефіцієнтом варіації, а також бажана точність результатів. Також показано вплив стратифікації.

Проведене дослідження щодо визначення морфологічного складу побутових відходів м. Суми з використанням вимог щодо статистичної достовірності результатів дозволяє уніфікувати результати дослідження та порівнювати окремі результати визначення морфологічного складу між населеними пунктами та роками. У подальших дослідженнях планується застосувати запропонований підхід для дослідження морфологічного складу побутових відходів інших міст України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Douglas, P., Freni-Sterrantino, A., Leal Sanchez, M., Ashworth, D. C., Ghosh, R. E., Fecht, D., ... & Hansell, A. L. (2017). Estimating particulate exposure from modern municipal waste incinerators in Great Britain. *Environmental science & technology*, 51(13), 7511-7519.

2. Abylkhani, B., Guney, M., Aiymbetov, B., Yagofarova, A., Sarbassov, Y., Zorpas, A. A., ... & Inglezakis, V. (2021). Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(19), 24406-24418.
3. Šramková, K., Šomplák, R., Nevrlý, V., Jirásek, P., Smejkalová, V., & Popela, P. (2021). Stratification and multi-representative optimization approach to waste composition analysis. *Optimization and Engineering*, 1-28.
4. Kropáč, J. I. Ř. Í., Gregor, J. I. Ř. Í., & Pavlas, M. A. R. T. I. N. (2020, May). Municipal Waste Composition Analysis – Approaches to and Solutions for Czech Waste Management. In 2nd International Conference on: Technologies & Business Models for Circular Economy: Conference Proceedings, International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy (Vol. 21, pp. 85-94).
5. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C. H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238.
6. Sarigiannis, D. A., Handakas, E. J., Karakitsios, S. P., & Gotti, A. (2021). Life cycle assessment of municipal waste management options. *Environmental Research*, 193, 110307.
7. Mladenov, M. K. (2021). Potential of municipal solid waste generated in Bulgaria for energy production. *BULGARIAN CHEMICAL COMMUNICATIONS*, 180.
8. Van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753-765.
9. Nizar, M., Munir, E., & Munawar, E. (2021). Analysis of the Composition of Household Waste from the Community within the Framework of a Waste Prevention and Reduction Strategy. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22.
10. Крайнов, І. П., Крилюк, В. М., & Прокопчук, О. Л. (2014). Розподіл твердих побутових відходів за морфологічним складом для використання в якості альтернативного палива.
11. Погрібний, І. Я. (2012). Проблеми визначення морфологічного складу твердих побутових відходів з урахуванням сучасних умов переробки. *Ефективна економіка*, (11).
12. Sigal, O., Boulanger, Q., Vorobiov, L., Pavliuk, N., & Serhiienko, R. (2018). Research of Energy Characteristics of Municipal Solid Waste in Cherkassy.
13. Azarov, V. N., Stefanenko, I. V., Azarov, A. V., Menzelintseva, N. V., & Statyukha, I. M. (2020, August). Morphological composition of municipal solid waste in urban areas (on the Dagestan Republic example). In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 913, No. 5, p. 052061). IOP Publishing.
14. Özer, B., & Yay, A. S. E. (2021). Comparative life cycle analysis of municipal waste management systems: Kırklareli/Turkey case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.
15. Dvalishvili, N. L., & Tabatadze, M. S. (2019). The influence of municipal solid waste of Georgia on climate changes. In *Waste Management and Resource Efficiency* (pp. 189-194). Springer, Singapore.

Стаття надійшла до редакції 17.08.2021 і прийнята до друку після рецензування 23.11.2021

REFERENCES

1. Douglas, P., Freni-Sterrantino, A., Leal Sanchez, M., Ashworth, D. C., Ghosh, R. E., Fecht, D., et al. (2017). Estimating particulate exposure from modern municipal waste incinerators in Great Britain. *Environmental science & technology*, 51(13), 7511-7519.
2. Abylkhani, B., Guney, M., Aiymbetov, B., Yagofarova, A., Sarbassov, Y., Zorpas, A. A., et al. (2021). Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(19), 24406-24418.

3. Šramková, K., Šomplák, R., Nevrlý, V., Jirásek, P., Smejkalová, V., & Popela, P. (2021). Stratification and multi-representative optimization approach to waste composition analysis. *Optimization and Engineering*, 1-28.
4. Kropáč, J. I. Ř. Í., Gregor, J. I. Ř. Í., & Pavlas, M. A. R. T. I. N. (2020, May). Municipal Waste Composition Analysis – Approaches to and Solutions for Czech Waste Management. In *2nd International Conference on: Technologies & Business Models for Circular Economy: Conference Proceedings, International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy* (Vol. 21, pp. 85-94).
5. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C. H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112238.
6. Sarigiannis, D. A., Handakas, E. J., Karakitsios, S. P., & Gotti, A. (2021). Life cycle assessment of municipal waste management options. *Environmental Research*, 193, 110307.
7. Mladenov, M. K. (2021). Potential of municipal solid waste generated in Bulgaria for energy production. *Bulgarian chemical communications*, 180.
8. Van der Sloot, H. A., Kosson, D. S., & Hjelmar, O. (2001). Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Management*, 21(8), 753-765.
9. Nizar, M., Munir, E., & Munawar, E. (2021). Analysis of the Composition of Household Waste from the Community within the Framework of a Waste Prevention and Reduction Strategy. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22.
10. Krainov, I. P., Kryliuk, V. M., & Prokopchuk, O. L. (2014). Distribution of solid household waste by morphological composition for use as an alternative fuel (in Ukrainian).
11. Pohribnyi, I. Ya. (2012). Problems of determining the morphological composition of solid waste taking into account modern processing conditions. *Efficient economy*, (11) (in Ukrainian).
12. Sigal, O., Boulanger, Q., Vorobiov, L., Pavliuk, N., & Serhiienko, R. (2018). Research of Energy Characteristics of Municipal Solid Waste in Cherkassy.
13. Azarov, V. N., Stefanenko, I. V., Azarov, A. V., Menzelintseva, N. V., & Statyukha, I. M. (2020, August). Morphological composition of municipal solid waste in urban areas (on the Dagestan Republic example). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 913, No. 5, p. 052061). IOP Publishing.
14. Özer, B., & Yay, A. S. E. (2021). Comparative life cycle analysis of municipal waste management systems: Kirklareli/Turkey case study. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.
15. Dvalishvili, N. L., & Tabatadze, M. S. (2019). The influence of municipal solid waste of Georgia on climate changes. In *Waste Management and Resource Efficiency* (pp. 189-194). Springer, Singapore.

The article was received 17.08.2021 and was accepted after revision 23.11.2021

Сатін Ігор Валентинович

кандидат технічних наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури, завідувач відділу благоустрою, озеленення населених пунктів та поводження з побутовими відходами Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31

ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-2028-9791> **e-mail:** satin@nikti.org.ua

Панченко Олена Сергіївна

старший науковий співробітник Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства»

Адреса робоча: 03035 Україна, м. Київ, вул. Митрополита В. Липківського, 35

ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-3680-7036> **e-mail:** panchenko@nikti.org.ua