

УДК 628.473

І.В. Сатін,

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОБНОГО КОМПОСТУВАННЯ БІОРОЗПАДНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

Робота присвячена дослідженню особливостей аеробного компостування біорозпадної фракції твердих побутових відходів і господарсько-побутових осадів стічних вод з отриманням органічного добрива.

Експериментально отримані математичні залежності впливу основних чинників на хід процесу компостування. У результаті проведення дослідно-промислових досліджень були встановлені оптимальні параметри компостування, що дозволяють за мінімальні терміни знешкоджувати біорозпадні відходи і отримати органічне добриво.

Метод аеробного компостування біорозпадної фракції твердих побутових відходів і господарсько-побутових осадів стічних вод дозволяє отримати якісне органічне добриво і внаслідок цього може бути рекомендована для використання на комунальних підприємствах.

Ключові слова: навколишнє природне середовище, забруднення, тверді побутові відходи, осади стічних вод, компостування, ресурсозбереження.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Розвиток міст, промисловості, збільшення щільноти населення призводять до значного забруднення відходами навколишнього природного середовища. Щорічно в Донецькій області утворюється близько 3,0 млн. т твердих побутових відходів (ТПВ). З ростом добробуту суспільства кількість відходів зростає. У переважній більшості випадків відходи складуються на смітниках, більша частина яких розміщена без належного дотримання екологічної безпеки.

З ресурсної точки зору доцільно максимально вигідно використовувати ТПВ. Частина твердих побутових відходів містить утильні компоненти, наприклад, харчові відходи, папір, метали, пластик та скло. При цьому харчові відходи становлять 30 – 50% (за масою) від загальної кількості ТПВ. Такі компоненти можна повернути для повторного використання. Харчові відходи можуть бути використані у якості добрива. Після закінчення природного процесу аеробного компостування отриманий компост може додати корисних біофільних елементів до ґрунтів (азот, фосфор, калій, вуглець) [1-5].

Осади побутових стічних вод (ОСВ) утворюються на каналізаційних очисних спорудах та призводять до відторгнення земель під їх складування. На сьогодні використовується приблизно 3 – 5% ОСВ як вторинна сировина. Велика кількість азоту, що міститься в ОСВ, робить придатними їх для компостування та підвищує цінність компосту як добрива.

Аналіз останніх досліджень і літературних джерел свідчить, що переробка біорозпадної фракції ТПВ та осадів стічних вод шляхом аеробного компостування можлива та дозволяє утилізувати ці відходи і знізити екологічне навантаження на навколишнє середовище [1, 4, 5]. Як відзначають Дрейер А. А. і Сачківська А. Н., додавання осадів побутових стічних вод при компостуванні біорозпадної фракції ТПВ поліпшує цінність добрива та прискорює біохімічні реакції [1].

Існуючі методи біологічної переробки ТПВ та ОСВ є металоємними і вимагають значних капітальних витрат [4, 5]. Процес знешкодження недостатньо відпрацьовано і не виконано його оптимізація. Тому науково-дослідні роботи з вивчення аеробного компостування з метою його вдосконалення, визначення оптимальних параметрів і зниження експлуатаційних витрат є досить актуальними.

Незважаючи на наявність досліджень у галузі аеробного компостування ТПВ та ОСВ, проблема оптимізації та наукового обґрунтування технічних параметрів компостування при спільному використанні біорозпадної фракції ТПВ та ОСВ залишається невирішеною.

Таким чином, наукове обґрунтування оптимального режиму компостування біорозпадних відходів дозволить забезпечити сталу роботу процесу на промислових об'єктах та за рахунок зниження кількості депонованих відходів зменшити рівень негативного впливу на довкілля.

Зв'язок з практичними завданнями. Робота виконана відповідно до Постанови Верховної Ради України від 5.03.1998 р. 188/98-ВР «Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки»; Державної програми «Ресурсозбереження», затвердженої ДКНТ України від 31.03.1993 р.; у рамках регіональної «Програми охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки Донецької області на 2001 – 2005 рік з перспективою розвитку до 2010 року», а також у рамках державної програми Міністерства освіти і науки України за пріоритетним напрямком №4 «Екологічно чиста енергетика і технології, що зберігають ресурси».

Постановка завдання. Метою роботи є наукове обґрунтування раціонального процесу знешкодження біорозпадної фракції твердих побутових відходів (ТПВ) разом з осадами побутових стічних вод (ОСВ) шляхом

аеробного компостування, що дозволить понизити навантаження на навколишнє природне середовище.

Матеріал дослідження та наукові результати. У результаті вивчення теоретичних уявлень про процес компостування сформульовано метод переробки та відібрано найбільш істотні фактори для експериментальних досліджень процесу: дисперсність часток, співвідношення вуглецю та азоту, вологість суміші, висота штабеля, вільний об'єм або щільність суміші, витрата повітря на внутрішню аерацію суміші, перемішування та температура суміші. Сукупність факторів розділена на групи залежно від характеру і ступеня участі в процесі.

Дослідження процесу компостування проводилися здобувачем у дослідно-промислових умовах у теплий період року (з температурою вище +8 °C) на господарсько-побутових каналізаційних очисних спорудах (КОС) м. Горлівки. Були використані біорозпадна фракція ТПВ та ОСВ Горлівських КОС. У якості наповнювача, для створення вільного об'єму усередині суміші, використовували опале листя, сіно або папір.

Процес компостування передбачалося проводити в контролюваних умовах з примусовою подачею повітря знизу суміші (рис. 1). Виміри виконувалися відповідно до діючих нормативних документів і атестованих методик. Агрехімічні властивості компосту вивчали за такими показниками, як вміст органічної речовини, вміст гумусу, величина pH, N_{заг} і P_{заг}. Контроль над процесом компостування здійснювався шляхом реєстрації зміни температури суміші в різних рівнях, вологості, зольності, водневого показника (pH), витрати повітря та щільності суміші. Також використовувалися непрямі органолептичні та оптичні показники.

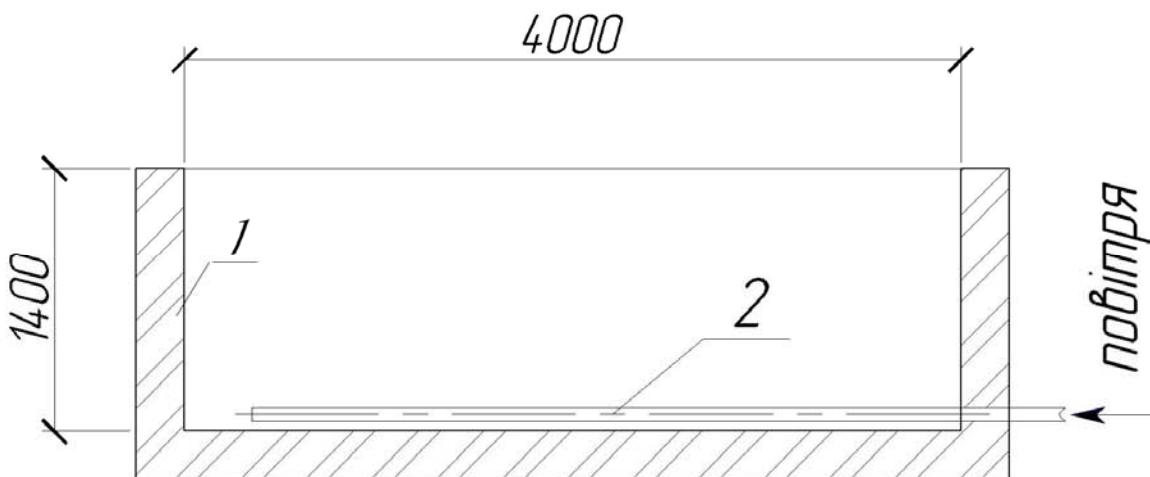


Рис. 1 – Дослідно-промислова установка об'ємом 10 м³
де 1 – теплоізольована стінка; 2 – перфоровані труби.

Вміст мінеральних компонентів, мікроелементів, важких металів визначали за напівкількісним спектральним та атомно-абсорбційним методом з п'ятикратним обсягом вибірки. Санітарно-бактеріологічні показники посередньо оцінювали за вмістом бактерій групи кишкової палички *Escherichia coli* у водній витяжці.

Спираючись на положення досліджень інших вчених, можна стверджувати, що основним показником процесу буде швидкість приготування компосту. При цьому кінцевий продукт повинен відповісти санітарним і агрехімічним нормам. Температура суміші є важливим показником зрілості компосту і мікробіологічного благополуччя. Важливим є зростання температури до її стабілізації в максимальних значеннях.

Припущене, що швидкість дозрівання компосту визначається темпом зростання температури суміші до стабілізації на максимальному рівні. Найбільш характерним є базовий темп зростання температури на 7-й день дослідження, T_{0-7} , що являє собою безрозмірну величину:

$$T_{0-7} = \frac{t_7}{t_0},$$

де t_7 – температура ядра суміші на 7-й день дослідження, °C; t_0 – початкова температура суміші, °C, що завжди дорівнює температурі навколишнього повітря.

При побудові плану експерименту варіювали параметри факторів «витрата повітря, q », «щільність суміші, ρ » та «висоту завантаження, h ». Інші параметри були зафіксовані. За параметр оптимізації обрали базовий темп зростання T_{0-7} . Експеримент проводився 30 діб, планом з 8 дослідів. Кожній дослід мав індивідуальне сполучення факторів згідно з матрицею 2^3 .

Результати дослідно-промислових досліджень були опрацьовані та отримані рівняння множинної регресії методом Брандона у вигляді залежності ($r = 0,6$):

$$T_{(0-7)} = 1.922 \cdot h^{4,743} \cdot \rho^{1,449} \cdot q^{-0,484},$$

Адекватність рівняння регресії у області визначення факторів: $q \in [0,9;1,4] \text{ м}^3/(\text{доб}\cdot\text{кг})$; $\rho \in [300;500] \text{ кг}/\text{м}^3$; $h \in [0,4;1,4] \text{ м}$. Це рівняння може бути використане для розрахунку параметрів установок для компостування.

На підставі дослідно-промислових досліджень визначені оптимальні параметри аеробного компостування: щільність суміші становить $360 \text{ кг}/\text{м}^3$, витрата повітря – $1 \text{ м}^3/\text{кг}\cdot\text{доб}$, висота завантаження – 1,3 м.

Під час дослідно-промислових випробувань визначено, що різне сполучення факторів впливає на швидкість підйому температури усередині суміші. Так, якщо позначити період часу від початку завантаження суміші до моменту досягнення максимальної температури як n ($\max t(n)$) та зіставити з базовим темпом зростання температури T_{0-7} , то виявимо тісний зворотний

зв'язок ($r = -0,91$). Виявлена кореляція доводить припущення та підтверджує необхідність використання базового темпу зростання T_{0-7} як індикатора процесів на початковій стадії процесу.

Досягнення більш високих температур (вище 55 °C) відображається більш високими темпами зростання T_{0-7} (більше 2,1). Завантаження з меншими показниками темпу зростання характеризувалися повільним зростанням температури, домінуванням аеробних зон та недосягненням температури пастеризації суміші.

Поле температур всередині суміші являє собою ядро з вираженим градієнтом. Максимум температур перебуває в центрі на висоті від 0,6 до 0,8 м. Характерне розташування зон більш низьких температур 54,5 – 55 °C біля дна та на поверхні. Це може пояснюватися тим, що знизу подається повітря з температурою навколошнього середовища, що і остуджує нижні шари. Верхні шари суміші охолоджені стосовно температури ядра атмосферним повітрям. Температура біля стінок установки не впала нижче 55 °C.

У завантаженнях з показниками T_{0-7} більше 2,1 ядро температурного поля переміщалося до низу у діапазоні від 0,3 до 0,5 м по висоті. А в завантаженнях з мінімальними показниками темпу зростання температури такого явища не спостерігалося. Це свідчить про неповноту дозрівання суміші.

Нерівномірність температурного поля робить необхідним перемішування у визначеній послідовності. У першу чергу необхідно перемістити нагору суміш із нижнього шару (0,2 м). Потім із центра суміш перемістити нагору по краях біореактора. Доведено, що після посягання температури пастеризації (55 °C) необхідно кожні 5 – 6 днів перемішувати суміш.

Інтенсивність випару вологи з поверхні компостної суміші також залежить від параметрів завантаження. Мінімальний рівень критичної вологості становить 40%. Для умов оптимального компостування на 6-й день необхідно робити зволоження суміші, потім повторювати при кожному зниженні вологості до 40%. В умовах експерименту суміш досягала критичної позначки в 40% три рази – на 6-й, 13-й і 29-й дні. Компенсація вологості відбувається до максимального рівня – 60%.

Для підтвердження правильності вибору оптимальних параметрів компостування необхідно оцінити отриманий продукт із погляду його застосування як добрива. При цьому орієнтуємося на параметри, що забезпечують темп зростання T_{0-7} більше 2,1. Основною мірою оцінки агрехімічних властивостей будуть технічні умови на органічні добрива та ГДК речовин для ґрунтів.

Аналіз інтегральної фітотоксичності водних витяжок ($T_{0-7} > 2,1$) за методом Гродзинського на тест-об'єктах *Lepidium sativum L.* показав відсутність

депресивного впливу при використанні компосту. За санітарно-бактеріологічними показниками отримані компости з $T_{0-7} > 2,1$ по закінченню експерименту можна охарактеризувати як «чисті» або «слабко забруднені». Інші досліди, які не досягли в максимальній температурі 55°C (з $T_{0-7} < 2,1$), мають високе забруднення.

Таким чином, у санітарно-гігієнічному відношенні використання даного продукту у якості добрива можна вважати безпечним.

Порівняння агрехімічних показників з нормативною величиною показує готовність компосту для використання його як добрива (табл. 1).

Таблиця 1 – Агрехімічні показники отриманого компосту

Назва показника	Од. вим.	Нормативна величина	Значення у дослідах, при $T_{0-7} > 2,1$	
D_{50} - відсоток фракцій величиною 50 мм.	%	≤ 2	0,5 – 1,0	
Масова частка органічної речовини (за сух. реч.)	%	≥ 40	54,7 – 57,6	
Вологість	%	20-80	48 – 50	
Реакція середовища, pH		6, 5-8,0	6,8 – 7,1	
NPK	Азот (N) загальний	%	$\geq 1,8$	1,9 – 2,1
	Фосфор (P_2O_5) загальний	%	$\geq 1,0$	0,8 – 1,2
	Калій (K_2O) загальний	%	$\geq 0,1$	0,5 – 1,8

Втрати органічної речовини склали 20 – 24 % у дослідах з $T_{0-7} > 2,1$, що свідчить про повне протікання біохімічного окислювання.

Результати досліджень умов аеробного компостування біорозпадної фракції ТПВ та осадів стічних вод (ОСВ) у дослідно-промислових умовах підтверджують, що при створенні оптимальних умов для розвитку мезофільної і термофільної мікрофлори можна отримати придатний до використання компост за 29 – 30 днів.

При цьому важливо дотримуватись ряду рекомендацій з поліпшення якості компосту. На першій стадії доцільно протягом 3 діб не аерувати суміш біорозпадних відходів і ОСВ, це сприяє домінуванню анаеробних зон. Первісне анаеробне розкладання сприяє інтенсифікації транспорту біореагентів (ферментів різного походження) і набряканню целюлозомістких і лігніномістких субстратів. Експериментально встановлено, що внесення ОСВ у харчові відходи прискорює процес аеробного розкладання в 1,3 – 1,5 рази. Це пояснюється наявністю в ОСВ амілази та уропепсина, а також інших ферментних компонентів. До того ж, ОСВ насичені мікрофлорою більшою мірою, ніж біорозпадні фракції ТПВ. Все це надалі сприяє інтенсифікації процесу компостування.

Початок аеробного компостування відбувається з моменту включення системи примусової аерації. Важливо при цьому досягти температури 55 °C і притримати її не менше 2 діб. Якщо зростання температури відбувається повільно ($T_{0.7} \leq 2,1$), то температура суміші не досягає рівня пастеризації. Низькі темпи зростання температури також можуть розтягти процес компостування у часі, тому що в деяких випадках температура ядра компосту може більше 2 місяців бутивищою за температуру навколошнього середовища. Таке затягування призведе до втрат органічної речовини до 50 – 60 %, що різко знижить цінність компосту як добрива. Однак впливати на скорочення тривалості компостування необхідно тільки шляхом створення оптимальних умов компостування.

Вимірювання температури ядра суміші доцільно проводити щодня, тричі на день. Контроль кислотно-основного стану суміші також має відбуватися щодня. На початковій стадії біотермічної мінералізації спостерігалося слабке зниження pH до 6 – 5,5 за рахунок розкладання вуглеводів з утворенням слабких органічних кислот як проміжних продуктів. При зростанні температури амоніфікуючи мікроорганізми гідролізують органічні сполуки азоту з виділенням аміаку, що збільшує активну реакцію середовища pH до 7,5 – 8.

У загальному випадку підвищення кислотності знижує температуру суміші. Тому значення pH у процесі компостування не повинне бути нижче 5 і вище 9 одиниць. При менших значеннях варто коректувати pH шляхом внесення вапна, при більших значеннях – стабілізувати аміачною селітрою.

Отриманий компост може містити солі важких металів, які впливають на санітарно-гігієнічний стан ґрунтів. Тому для ґрунту, у який вноситься добриво, враховують фоновий склад важких металів і ГДК забруднювачів. Запропоновано такі варіанти використання отриманих компостів: відновлення порушених земель; вертикальне планування територій; формування нових територій; благоустрій смітників та кладовищ; зелене будівництво і тепличне

квіткове господарство; рекомендується використання цього компосту у якості компонента для виготовлення газонного ґрунту шляхом змішування компосту з піском у відповідній пропорції. Якщо концентрація важких металів у компості занадто висока, можливе виготовлення брикетів, які додають до вугілля (до 50% від загальної маси палива) і надалі спалюють у вугільній котельні або використовують у будівельній індустрії.

Для захисту від мікробіологічного зараження рекомендується застосування додаткового вапнування компосту негашеним вапном. Вапно підвищує значення pH і дозволяє значно знизити кількість розчинних солей важких металів.

Висновки:

1. В роботі запропоновано шляхом аеробного компостування біорозпадної фракції ТПВ та господарсько-побутових ОСВ отримати органічне добриво та знизити антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

2. Отримано регресійну формулу, що описує взаємодію факторів, які впливають на процес аеробного компостування біорозпадних відходів у добрива.

3. На підставі дослідно-промислових досліджень визначені оптимальні параметри аеробного компостування: щільність суміші становить $360 \text{ кг}/\text{м}^3$, витрата повітря – $1 \text{ м}^3/\text{кг}\cdot\text{доб}$, висота завантаження – 1,3 м. Приведені параметри характеризують компост, який відповідає санітарно-гігієнічним та агрохімічним вимогам.

4. Запропонований метод знешкодження біорозпадної фракції ТПВ і господарсько-побутових ОСВ впроваджено в практику КП «Макіївський міськводоканал» та Горлівського ПУВКГ компанії «Вода Донбасу».

Література

1. Дрейер А. А. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка / Дрейер А. А., Сачков А. Н., Никольский К. С. – М. : «Экология города», 1997. – 230 с.
2. Гуляев Н. Ф. Расчеты аэрационного, влажностного и теплового режимов при ускоренном механизированном обезвреживании во вращающихся емкостях // Санитарная очистка городов / Н. труды АКХ. – ОНТИ АКХ, 1964. – Вып. 25. – С. 19-34.
3. Афанасьев В. Н. Критическая влажность компостируемых отходов животноводства и птицеводства. // Вестник сельскохозяйственной науки / Афанасьев В. Н., Миллер В. В. - 1987, №5. – С. 129-133.

4. Шевчук В. Я. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини / Шевчук В. Я., Чеботко К. О., Разгуляєв В. М. – К. : 2001. – 205 с.

5. Касимов А. М. Твердые бытовые отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование. Учебное пособие / А. М. Касимов, В.Т.Семенов, А.Н. Александров, А.М. Коваленко. – Харьков : ХНАГХ, 2006. – 301 с.

Аннотация

Работа посвящена исследованию особенностей аэробного компостирования биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов и хозяйствственно-бытовых осадков сточных вод с получением органического удобрения.

Экспериментально получены математические зависимости воздействия основных факторов на ход процесса компостирования. В результате проведения опытно-промышленных исследований были установлены оптимальные параметры компостирования, позволяющие за минимальные сроки обезвредить биоразлагаемые отходы и получить органическое удобрение.

Технология аэробного компостирования биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов и хозяйственно-бытовых осадков сточных вод позволяет получить качественное органическое удобрение и в силу этого может быть рекомендована для использования на коммунальных предприятиях.

Ключевые слова: окружающая природная среда, загрязнения, твердые бытовые отходы, осадки сточных вод, компостирование, ресурсосбережение.

Annotation

The thesis is devoted to the analysis of features of the aerobic composting of a biodegradable fraction of solid domestic waste and household-domestic waste, an organic fertilizer being obtained.

Mathematical dependency of the influence of basic factors on composting was obtained experimentally. Experimental-industrial experimentation resulted in fixing optimal parameters for composting which allow neutralizing biodegradable waste for a minimum period of time and getting an organic fertilizer.

Techniques of the aerobic composting of a biodegradable fraction of solid domestic and household-domestic sewage sludge allow producing a qualitative organic fertilizer and due to this the techniques can be recommended for public utilities.

Keywords: environment, pollution, household waste, deposits of sewage, composting, resource-savings.