

УДК 631.894: 879.4

МОДЕЛЮВАННЯ МАСОВОГО І ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ У ПРОЦЕСАХ КОМПОСТУВАННЯ

Павленко Сергій Іванович к.т.н., доцент

Ляшенко Олександр Олександрович інженер

*Відділ біоекотехнічних систем в тваринництві Національного наукового центру
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»*

Pavlenko S.

Ljashenko O.

*Department bioekotekhnichnyh livestock systems in National Scientific Center
"Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture"*

Анотація: розглянуто модельні схеми технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів. Проаналізовано зміни масового і енергетичного балансів у результаті біоконверсних перетворень та озпаду органічної речовини відходів. Проведено оцінювання біоенергетичного потенціалу сумішей та масового балансу процесів компостування, за якими можна спрогнозувати якісні й кількісні показники отримуваної продукції.

Ключові слова: компостування, органічні відходи, моделювання, енергетичний баланс.

Проблема

На сьогодні технологічний процес прискореного біотермічного компостування сільськогосподарських органічних відходів набуває актуальності у зв'язку зі зростанням потреби в органічних добривах (розвиток органічного виробництва) та загрозам шкідливих впливів на довкілля, що виникають у наслідок нераціонального поводження з відходами тваринницьких об'єктів.

Відмінність процесу компостування від традиційних способів накопичення і тривалого зберігання тваринницьких відходів (гній, послід, мулові осади, тощо) у тому, що цей процес є керованим і контрольованим – отже потребує певних технологічних знань та закономірностей, які при цьому відбуваються. Особливо це стосується біотермічних процесів, адже їх стимулювання забезпечує отримання високоякісних екологічно безпечних продуктів – компостів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основними положеннями щодо ефективного ведення процесу прискореного біотермічного компостування сільськогосподарських відходів [1] визначено, що попереднє готування компостних сумішей [2] є одним з перших і головних кроків керування процесом.

Питанням теоретичних досліджень біотермічних процесів компостування присвячено багато робіт, за результатами узагальнення яких [3] було встановлено, що математичні моделі процесів компостування базуються на масовому і тепловому балансах. Враховуючи те, що компостування гною або посліду доцільно вести з залученням інших сільськогосподарських відходів важливим аспектом є не тільки збалансування їх за основними технологічними показниками (вологість, відношення C:N [1, 4]) а і за раціональним вмістом біогенних органічних речовин, здатних до швидкого розпаду.

Матеріали і методи

Дослідження стосуються моделювання процесів перероблення сільськогосподарських відходів, а саме гною та посліду у сумішах з різноманітними рослинними відходами наявними у конкретному господарстві.

Масовий баланс процесу компостування від операції готування суміші до отримання компосту можна записати у вигляді наступного рівняння

$$m_{cm} = m_z + m_\theta = m_k + m_{CO_2} + m_{H_2O} \quad (1)$$

де m_{cm} , m_z , m_θ – маса суміші, гною і додаткового компоненту відповідно, кг;

m_k – маса компосту, кг;

m_{CO_2} , m_{H_2O} – маса видаленого двоокису вуглецю і води відповідно, кг.

Втрати маси, до моменту отримання кінцевого продукту, відбуваються за рахунок розпаду органічної речовини (вивільнення двоокису вуглецю) та звітнення вологи.

Кількість органічної речовини, яка потенційно може піддатись розпаду під час компостування, становить

$$\Delta m_{o,z} = m_z (1 - W_z) r_{o,z} k_{r,z}, \quad (2)$$

де $\Delta m_{o,z}$ – маса легкої органічної речовини (наприклад, гною), кг;

$r_{o,z}$ – відносний вміст органіки в сухій речовині гною, в.о.;

$k_{r,z}$ – коефіцієнт ступеню розпаду органічної речовини (у розрахунках прийнято 0,3), в.о.

Потенційна теплова енергія, вивільнена у результаті біохімічних процесів розпаду органіки, розраховується за формулою

$$E_n = \Delta m_{o,z} q_{o,z}, \quad (3)$$

де E_n – потенційна енергія легких органічних речовин, МДж;

$q_{o,z}$ – питома енергія розпаду органічної речовини, МДж/кг.

Питома енергія розпаду органічної речовини залежить від її біоенергетичних властивостей. Повне окислення вуглеводів супроводжується вивільненням від 16,8 до 17,6 МДж/кг, окислення білків – 23,7 МДж/кг, жирів – 38,9 МДж/кг. Так як гній у своєму складі вміщує окрім названих органічних речовин й інші високомолекулярні сполуки, то теплова енергія, що має бути вивільнена у процесі аеробного розпаду найбільш легких органічних сполук, буде мати усереднену величину. За літературними даними наводяться узагальнені показники від 21 МДж/кг [5] до 23,26 МДж/кг легкої органічної речовини [6]. У наших подальших розрахункових матеріалах приймається значення $q_{o,z} = 21$ МДж/кг.

Вивільнена теплова енергія витрачається насамперед на розігрівання гною та на випаровування води. Слід зазначити, що енергія на випаровування коливається у межах від 70% до 80% від всього енергоспоживання системою на компостування з урахуванням впливу зовнішніх факторів [6].

Враховуючи вищезазначене, енергоспоживання системи може бути достатньо належно оцінене тепловитратами на нагрівання маси гною і випаровування води

$$E_n = E_n + E_{\text{вип}} + E_k, \quad (4)$$

де E_n – енергія витрачена на розігрівання компостної маси, МДж;

$E_{\text{вип}}$ – енергія витрачена на випаровування води, МДж;

E_k – енергія втрачена через огорожувальні конструкції, МДж.

Питомі витрати теплової енергії на процес компостування з випаровуванням води, у т.ч. з урахуванням тепловтрат через конструкційні елементи системи компостування та на нагрівання компостної маси, становить у межах від 3,0 до 3,5 МДж/кг видаленої води [6]. Враховуючи, що теплота випаровування води змінюється від 2448,2 кДж/кг (при температурі 20°C) до 2368,2 кДж/кг (при температурі 55°C) і, ввівши поправний коефіцієнт 1,3 на нагрівання компостної маси, уточнимо зазначені теплові витрати. За нашими розрахунками, питомі витрати теплової енергії на випаровування води складатимуть у середньому 3,13 МДж/кг $\{1,3 \times (2,4482 + 2,3682)/2\}$. Таким чином, подалі у розрахункових моделях застосовуватиметься значення $q_{\text{вип}} = 3,13$ МДж/кг.

Масова кількість води, яка може бути видалена шляхом випаровування, може бути розрахована наступним чином

$$m_{H_2O} = E_n / q_{\text{вип}}. \quad (5)$$

З рівняння (1) масова кількість утвореного компосту становитиме

$$m_k = m_z - m_z(1 - W_z)r_{o.z}k_{r.z}(1 + q_{o.z} / q_{\text{вип}}). \quad (6)$$

Вологість утвореного компосту

$$W_k = (m_z W_z - m_{H_2O}) / m_k, \quad (7)$$

де W_k – вологість компосту, в.о.

Результати досліджень

Модельна схема 1. Найбільш можливим тривіальним технологічним процесом перероблення гною є накопичення і зберігання його у відкритих гноєсховищах, а за певних умов на відкритих польових майданчиках. Перепрівання відбувається за некерованих умов під впливом лише зовнішніх природних факторів. Модель такого процесу представлена на рис. 1.

Для прикладу, за вихідну сировину взято безпідстилковий гній вологістю 80% (з вигульних майданчиків). Лівий стовбець діаграми (рис. 2) відображає масовий склад гною у якому з загальної кількості сухої речовини в 200 кг маса органічної речовини складає 170 кг (17%) й відповідно 30 кг золи (3%). Розпаду піддається 51 кг (5%) легкої органічної речовини під час якого вивільняється близько 1 ГДж теплової енергії (другий стовбець). Цієї енергії достатньо для випаровування 342 кг води.

Як на перший погляд присутній очевидний ефект – маса кінцевого продукту зменшилась на майже 40% (правий стовбець). Разом з тим вологість зменшилась тільки на 4,5%, тобто компостна маса залишається достатньо вологою і потребує додаткової обробки або тривалого витримування на польових майданчиках. Відповідним чином зріс вміст сухої речовини до 25%, у т.ч. органічної речовини до 20%, яка не піддається швидкому розпаду, і золи до 5%.

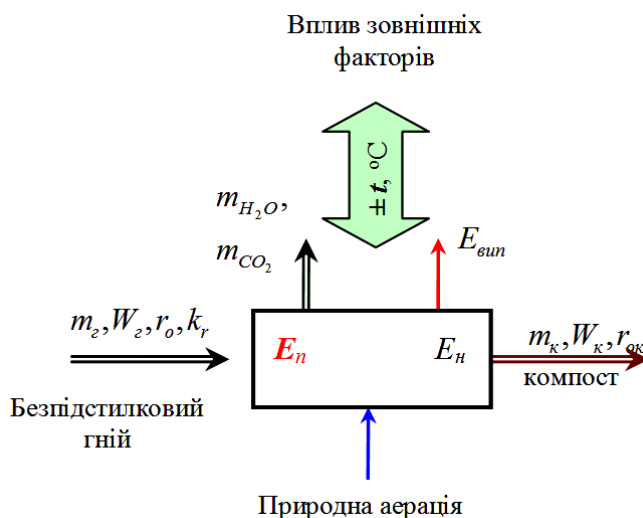


Рис. 1. Схема моделі з енергетичними і масовими потоками при тривалому зберіганні гною

Досить високі енергетичні витрати на випаровування води стримують розвиток біотермічних процесів, які не виходять за межі мезофільного режиму (до 35-38°C).

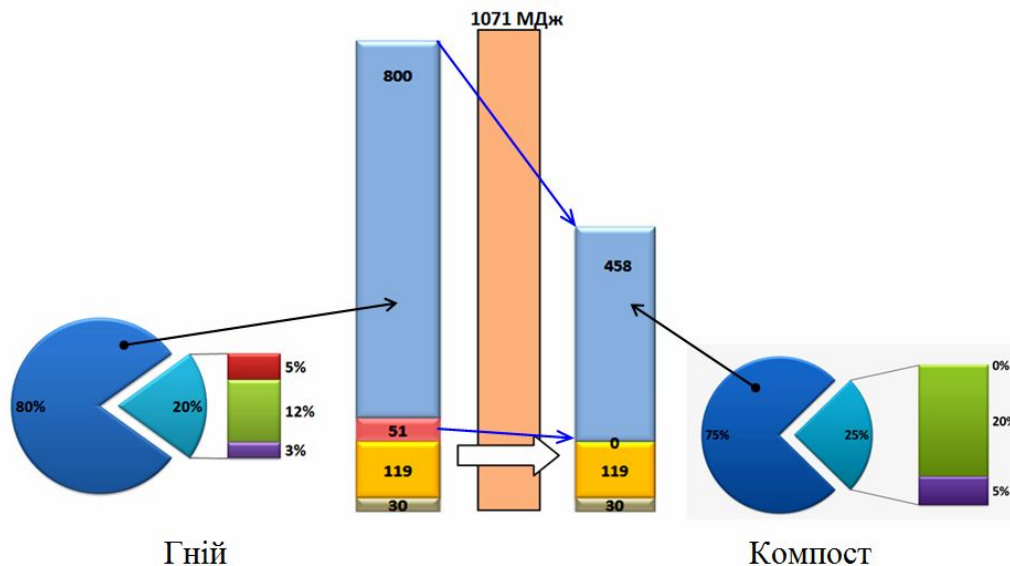


Рис. 2. Діаграма масового і енергетичного балансу компостування безпідстилкового гною (масою 1000 кг)

Поглиблення розпаду органіки наприклад до 50%, як це відбувається при зберіганні гною понад одного року в буртах, дозволить знизити обсяг компостної маси до 345 кг з

кінцевою вологістю близько 67% (за умови не потрапляння дощових вод).

Модельна схема 2 (з керованою примусовою аерацією). Основний принцип закладений в технологічних процесах за цією модельною схемою полягає в попередній підготовці збалансованих компостних сумішей шляхом урегулювання вологості і вмісту поживних біогенних речовин, зокрема вуглецю і азоту.

Процес (рис. 3) передбачає залучення щонайменше двох основних компонентів: гній (як основний вихідний компонент для переробки в органічні добрива) та солома (як додатковий енергетичний компонент для нарощування органічної складової в компостній суміші).

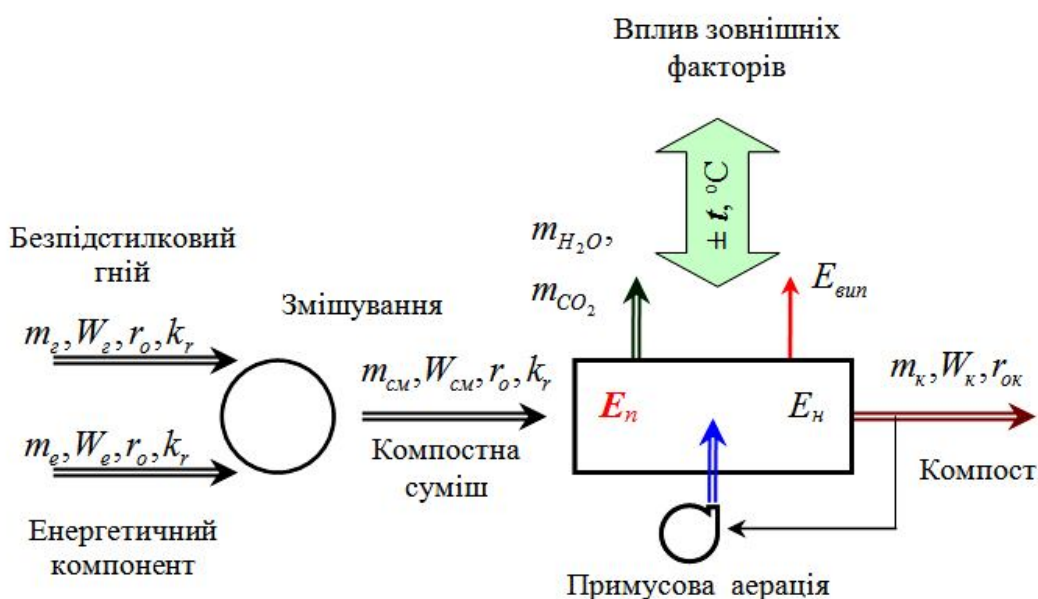


Рис. 3. Схема моделі енергетичного і масового потоків при компостуванні гною з уведенням енергетичного компоненту

Принцип роботи системи з керованою аерацією (у тому числі з рекуперацією тепла) побудований на ощадному подаванні повітря в компостну суміш для збагачення її киснем, контролем температурного режиму й підтриманням його у межах термофільного режиму. Такий технологічний підхід дозволяє інтенсифікувати процес розпаду органічної речовини й уникати переохолодження компостної суміші, тобто вивільнення вологи буде відбуватись переважно завдяки випаровуванню й видаляться аераційними потоками повітря.

Підготовка компостної суміші за рахунок уведення соломи у межах 20% (рис. 4) від маси гною дозволяє отримати компостну суміш вологістю близько 73% з значно підвищеним вмістом органічної речовини 23,8% (органіка гною – 12,7%). Енергетичний потенціал такої суміші, що складає понад 1,6 ГДж, дозволяє видалити понад 520 кг вологи шляхом прямого випаровування й отримати компост вологістю 60%. Маса компосту у порівнянні з сумішшю зменшується щонайменше вдвічі.

Розпад органічної складової компостної суміші і випаровування води за рахунок вивільненої теплової енергії призводить до зміни відносних показників вмісту води, зольних елементів та органіки в готовому компості (рис. 5). Це суттєво поліпшує його агротехнічні

властивості: підвищується рівень вмісту сухої речовини до 40% (400 кг на тонну) та питомий вміст біогенних речовин.

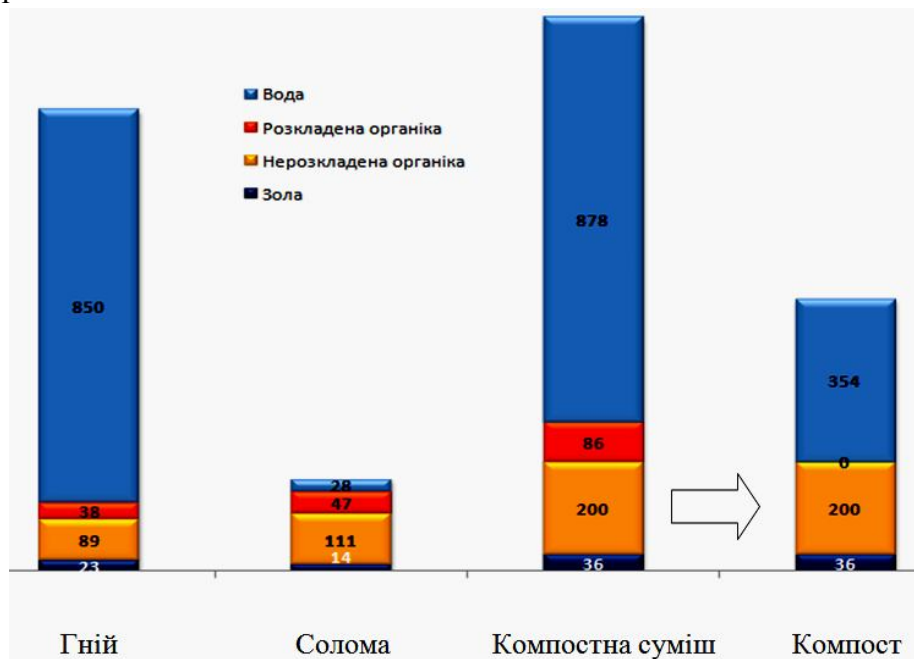


Рис. 4. Масовий баланс процесу за модельною схемою 2

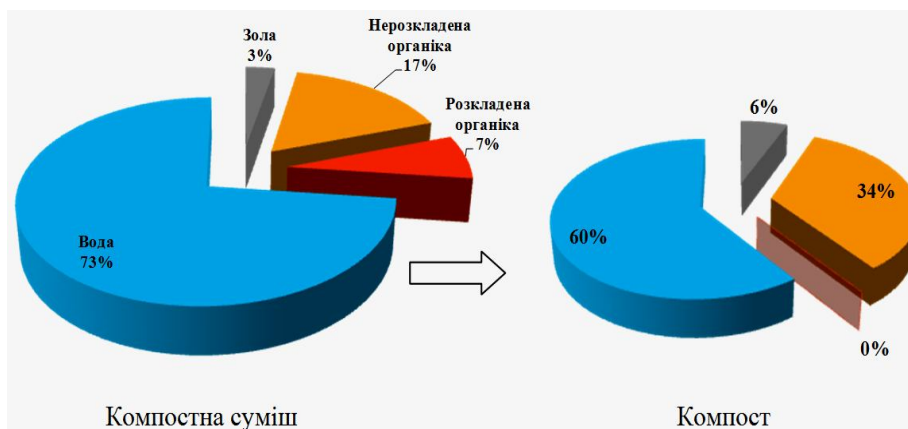


Рис. 5. Зміна відносних показників складу суміші і компосту по завершенню біотермічних процесів за модельною схемою 2

Модельна схема 3 багатостадійної системи компостування з механізованими операціями змішування компонентів, перелопачуванням компостних сумішей і одночасною аерацією (рис. 6).

Особливість цього процесу полягає у застосуванні періодичного механізованого перелопачування компостних сумішей через певні проміжки часу у залежності від температурного режиму. Завдяки цій операції відбувається відновлення структури суміші, збагачення її киснем з одноразовим частковим подрібненням довговолоконистих включень і перепрілих часток.

Основний недолік – охолодження компосту, особливо в зимовий період, але температурний режим відновлюється протягом 1-3 діб у залежності від обсягів його

переробляння й у більшості випадків перевищує рівень що настав напередодні перелопачування.

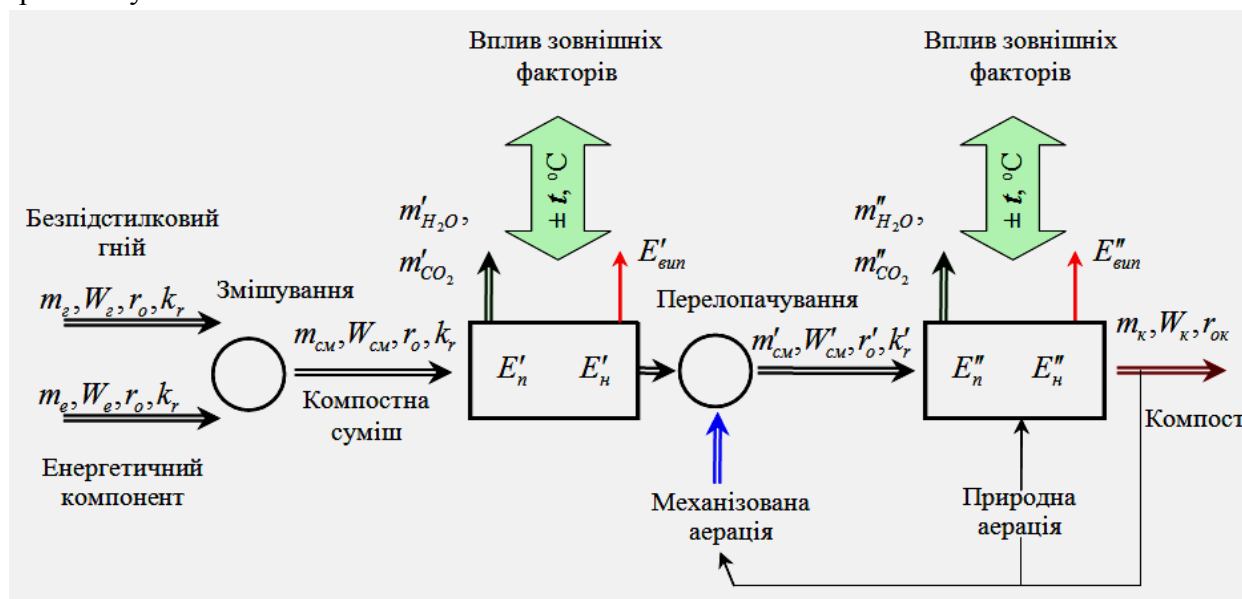


Рис. 6. Схема моделі енергетичного і масового потоків при компостуванні гною з енергетичним компонентом

Відмінність у тому, що енергетичний потенціал суміші розподіляється у залежності від частоти й кількості операцій її перелопачування та від ступеню розпаду органічної речовини на кожному з етапів. Щоб уникнути значних втрат теплової енергії компостні бурти повинні бути з наступними параметрами: висота – не менше ніж 1,5 м, ширина – понад 3 м, довжина не обмежується і визначається переважно геометричними розмірами майданчиків для компостування.

Періодичність перелопачування залежить від температурного стану компостної маси й взаємопов'язане зі ступенем розпаду її органічної речовини. Якщо кількість операцій перелопачування визначати спираючись на ступінь розпаду органіки, наприклад у межах 6-8% для кожного циклу, то для отримання компосту з глибиною розпаду органічної складової до 30% достатньо провести 4 або 5 перелопачувань.

Перше перелопачування проводять на стадії досягнення максимальних термофільних температур. По-перше, це обумовлено тим, що на стадії розігрівання відбувається найбільш інтенсивний розпад легкорозпадних органічних сполук з відповідним споживанням кисню. По-друге, перехід температурного режиму за межі $+70^{\circ}\text{C}$ призводить до пастеризаційних процесів, тобто за рахунок накопичення теплової енергії відбувається мікробне самогубство, у тому числі й термофільної мікрофлори. По-третє, змінюється реакція середовища в кислотну сторону, що обмежує інтенсифікацію звітрення аміаку. Четверте, на початкових етапах компостування можливі викиди неприємних запахів, особливо у тих випадках, коли компостуванню піддаються не «свіжі» відходи, а саме ті, у яких розпочались анаеробні процеси. Таким чином, перше перелопачування проводять на 3-5 добу після закладання компостної суміші в бурт. Якщо щільність укладеної маси не досить висока і має місце природних аераційних процесів під впливом факторів навколишнього середовища (наприклад вітер, дощові опади тощо) термін проведення першого перелопачування

збільшується до 7-10 діб. В зимовий період змішування й аерацію проводять через 10-15 діб у залежності від температури бурту і навколишнього середовища.

Друга і наступні операції перелопачування проводять з постійним збільшенням проміжку часу між ними з погляду не те, що інтенсивність розпаду органіки падає, сповільнюється споживання кисню і вивільнення теплової енергії, маса більш тривалий час знаходиться у розпушеному стані.

Висновки

Компостування це керований біотермічний процес, який передбачає на попередній стадії готування компостних сумішей дотримання технологічних вимог щодо вологості, структури, вмісту біогенних речовин, у т.ч. відношення С:N. Наступним кроком є контроль за температурним режимом процесу з періодичним перелопачуванням суміші з метою аерації і відновлення її структури.

Попереднє оцінювання сумішей за біоенергетичним потенціалом дозволяє планувати та корегувати масовий і енергетичний баланси, що дозволить більш ефективно керувати процесом й отримати компости з заданими агротехнічними показниками. Уведення додаткових рослинних відходів суттєво нарощує енергетичні і якісні показники компостних сумішей, а також скорочує терміни їхньої переробки.

Список літератури

1. Ляшенко О.О. Основні положення процесу прискореного біотермічного компостування сільськогосподарських органічних відходів // О.О. Ляшенко, Г.Є. Мовсесов / Збірник наукових праць ІМТ НААН України «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». – Запоріжжя: ІМТ НААН. – 2011. – Вип. 2(8). – С. 124-133.
2. Ляшенко О.О. Методологія готування збалансованих сумішей органічних відходів перед компостуванням // О.О. Ляшенко / Матеріали IV Міжнародної конференції «Сотрудничество для решения проблемы отходов» (31 января – 1 февраля 2007 г., г. Харьков). – Харьков, 2007. – С. 183-186.
3. Ляшенко О.О. Математичне моделювання біотермічних процесів компостування: Огляд та загальні положення // О.О. Ляшенко / Збірник наукових праць ІМТ НААН України «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». – Запоріжжя: ІМТ НААН. – 2011. – Вип. 2(8). – С. 165-177.
4. Створити наукові основи та дослідити залежності якісних показників процесу біоконверсного перероблення гною з вологопоглинальними матеріалами від його головних технологічних режимів: Звіт про НДР (заключний) // ІМТ УААН. Керівник НДР Ляшенко О.О. – №ДР 0107U009308; Облік. № 021U000688. – Запоріжжя, 2010. – 160 с.
5. Туровский И.С. Осадок сточных вод – источник получения энергии / И.С. Туровский, Ю.И. Туровский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1984. - №1.
6. Haug R.T. Composting process design criteria: Part 1 – Feed conditioning / R.T. Haug // BioCycle. – 1986, August. – P. 38-43.

References

1. Ljashenko O.O. The main provisions of the accelerated process biotermichnoho agricultural organic waste composting // A.A. Ljashenko, G.E. Movsesov / Proceedings of BMI NAAS of Ukraine "Mechanization, greening and convert biosyrovyny in livestock." - Zaporozhye: BMI NAAS. - 2011. - Vol. 2 (8). - P. 124-133.
2. Ljashenko O.O. Methodology for the preparation of a balanced mixture of organic waste to composting // AA Ljashenko / Materials IV international conference " Collaboration solutions for the problems of waste " (31 January - 1 February 2007, Kharkov g). - Kharkov, 2007. - P. 183-186.
3. Ljashenko O.O. Mathematical modeling of the composting process biotermichnyh: Overview and general provisions // AA Ljashenko / Proceedings of BMI NAAS of Ukraine "Mechanization, greening and convert biosyrovyny in livestock." - Zaporozhye: BMI NAAS. - 2011. - Vol. 2 (8). - P. 165-177.

4. *Create and explore the scientific basis depending on quality indicators for bioconversion TREATMENT manure from volohopohlylnymy materials from its main technological regimes : Report on R & D (final) // BMI UAAN . Head of research Ljashenko O.O. - № DR 0107U009308; Accounting . № 021U000688. - Zaporozhye, 2010. - 160 p.*
5. *Turovsky I.S. Sediment stochnyh water - Source obtaining of energy / I.S. Turovsky , Y.I. Turovsky // Vodosnabzhenye sanytarnaya and Technology .- 1984 . - № 1.*
6. *Haug R.T. Composting process design criteria: Part 1 - Feed conditionin g/ R.T. Haug // BioCycle. - 1986 , August. - P. 38-43.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОВОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ПРОЦЕССАХ КОМПСТИРОВАНИЯ

Аннотация: рассмотрены модельные схемы технологических процессов компстирования сельскохозяйственных органических отходов. Проанализированы изменения массового и биоэнергетического балансов в результате биоконверсных превращений и разложения органического вещества отходов. Проведено оценивание биоэнергетического потенциала смесей и массового баланса процессов компстирования, за которыми можно спрогнозировать качественные и количественные показатели получаемой продукции.

Ключевые слова: компстирование, органические отходы, моделирования, энергетический баланс.

MODELING BALANCES OF MASS AND BIOENERGY FOR COMPOSTING PROCESSES

Summari: the model schemes of technological composting processes of agricultural organic wastes are considered. Changes of mass balance and bioenergy as a result biological transformations and degradation of organic substance of wastes are analysed.

The evaluation of biopower potential of mixtures and mass balance of processes of punching, after that it is possible спрогнозувати the quality and quantitative indexes of the got products, is conducted.

Keywords: composting, organic waste, modeling energy balance.