

УДК 631.333.92:879.4

### Вплив технологічних факторів на процеси компостування

**Павленко С. І.**, к.т.н., доцент, с.н.с. Національний університет біоресурсів і природокористування, тел.: +380675628927, e-mail: si.pavlenko17@gmail.com

#### Анотація

Втрати поживних біогенних речовин підстилкового посліду пов'язані з фізико-хімічними і мікробіологічними процесами, які відбуваються безпосередньо після виділення екскрементів тваринами, а також під час накопичення, зберігання та перероблення. Під впливом механізованих втручань і біоконверсних перетворень відбуваються зміни в масовому балансі біогенних компонентів тваринницьких відходів та в біоенергетичному потенціалі.

**Мета.** Дослідження технологічних процесів прискореного біотермічного компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику технічними засобами механізованого компостування.

**Методи.** Метод натурних спостережень і методи планування експерименту. Динаміка температур у буртах досліджувалася з використанням

персонального комп'ютера, до якого підключався електронний термометр ТМ-32/Н-5Т з системою температурних зондів на основі датчиків температури DS18B20.

**Результати.** Проведено дослідження технологічних процесів прискореного біотермічного компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику технічними засобами механізованого компостування і визначено динаміку хімічного складу та зміни температурного поля буртів.

**Висновки.** Порівняльний аналіз показників хімічного складу обробленої механізованими способами сировини та необробленої показав значні переваги, що надає додаткову обробку. Механічне перелопачування сировини – аерація забезпечує ріст внутрішніх температур до максимальної температури 65–71°C.

**Ключові слова:** послід, компост, бурт, хімічний склад, біотермічний процес, температура.

УДК 631.333.92:879.4

### The influence of technological factors on composting processes

**Pavlenko S. I.**, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher National University of Life and Environmental Sciences, tel.: +380675628927, e-mail: si.pavlenko17@gmail.com

#### Annotation

The loss of nutrient biogenic substances of the litter manure is associated with physico-chemical and microbiological processes that occur immediately after the excrement of animals, as well as during the accumulation, storage and processing. Under the influence of mechanized interventions and bioconversion, changes occur in the mass balance of biogenic components of livestock waste and in bioenergy potential.

**Purpose.** Research of the technological processes of accelerated biothermal composting of litter on the basis of sunflower husks by means of mechanized composting.

**Methods.** The method of field observations and methods for planning the experiment. The dynamics of the temperature in the coils was investigated using a personal computer to which an electronic thermometer TM-32/H-5T with a temperature probe system based on DS18B20 temperature sensors was connected.

**Results.** Investigations of technological processes of accelerated biothermal composting of litter on the basis of sunflower husks by means of mechanized composting were carried out, and dynamics of the chemical composition and changes in the temperature field of the collars were determined.

**Conclusions.** A comparative analysis of the chemical composition of mechanically treated raw materials and raw material showed significant

advantages that additional processing provides. Mechanical shoveling of raw materials – aeration ensures the growth of internal temperatures to a maximum temperature of 65–71°C.

**Keywords:** litter, compost, bur, chemical composition, biothermal process, temperature.

УДК 631.333.92:879.4

## Влияние технологических факторов на процессы компостирования

**Павленко С. И.**, к.т.н., доцент, с.н.с., Национальный университет биоресурсов и природопользования, тел.: +380675628927, e-mail: si.pavlenko17@gmail.com

### Аннотация

Потери питательных биогенных веществ подстильного помета связаны с физико-химическими и микробиологическими процессами, которые происходят непосредственно после выделения экскрементов животных, а также во время накопления, хранения и переработки. Под влиянием механизированных вмешательств и биоконверсных преобразований происходят изменения в массовом балансе биогенных компонентов животноводческих отходов и в биоэнергетическом потенциале.

**Цель.** Исследование технологических процессов ускоренного биотермического компостирования подстильного помета на основе шелухи подсолнечника техническими средствами механизированной компостирования.

**Методы.** Метод натурных наблюдений и методы планирования эксперимента. Динамика температур в буртах исследовалась с использованием персонального компьютера, к которому подключался электронный термометр ТМ-32/Н-5Т с системой температурных зондов на основе датчиков температуры DS18B20.

**Результаты.** Проведены исследования технологических процессов ускоренного биотермического компостирования подстильного помета на основе шелухи подсолнечника техническими средствами механизированной компостирования и определена динамика химического состава и изменения температурного поля буртов.

**Выводы.** Сравнительный анализ показателей химического состава обработанного механизированными способами сырья и необработанного показал значительные преимущества, которые предоставляет дополнительная обработка. Механическое перелопачивание сырья – аэрация обеспечивает рост внутренних температур до максимальной температуры 65–71°C.

**Ключевые слова:** помет, компост, бурт, химический состав, биотермический процесс, температура.

**Постановка проблемы.** Управління процесами переробки органічних відходів у часі й просторі – одна з основних задач механізованих процесів компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику. Технічні засоби, що використовуються для забезпечення фізичних, хімічних та агротехнологічних вимог, повинні мати відповідні техніко-економічні показники і регламенти по застосуванню [1, 2]. Дані дослідження направлені на подальший розвиток результативності й ефективності процесів.

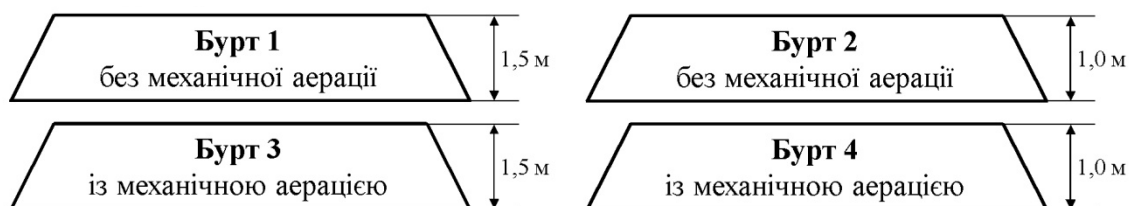
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Втрати поживних біогенних речовин підстилкового посліду пов'язані з фізико-хімічними та мікробіологічними процесами, які відбуваються безпосередньо після виділення екскрементів тваринами, а також під час накопичення, зберігання і перероблення. Під впливом механізованих втручань і біоконверсних перетворень відбуваються зміни в масовому балансі біогенних компонентів тваринницьких відходів і в біоенергетичному потенціалі, які, з одного боку, хоч і приховано свідчать про рівень експлуатаційних затрат на переробку, а з іншого – на якісні показники отриманого продукту (органічне добриво, компост, біогаз) [3–5].

**Мета досліджень.** Дослідження технологічних процесів прискореного біотермічного компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику технічними засобами механізованого компостування.

**Матеріали і методи досліджень.** В якості майданчика використано закритий ангар з бетонним покриттям розміром 90×18,0 м. Свіжий (вивантажений з приміщень) підстилковий послід на основі лушпиння соняшнику розвантажується

щільними буртами на підготовлений майданчик з використанням доопрацьованого розкидача органічних добрив ПРТ-10. Схеми

закладки натурних буртів представлені на рисунку 1.



**Рис. 1.** Схеми закладки натурних буртів  
**Fig. 1.** Schemes of pile layout

Подальші дослідження проводилися на чотирьох буртах: бурт 1 – бурт висотою 1,5 м без подальших механічних аерацій і без додаткового зволоження; бурт 2 – бурт висотою 1,0 м без подальших механічних аерацій і без додаткового зволоження; бурт 3 – бурт висотою 1,5 м з подальшими механічними аераціями та з додатковим зволоженням; бурт 4 – бурт висотою 1,0 м з подальшими механічними аераціями та з додатковим зволоженням.

Безпосередньо процес формування натурних буртів з використанням доопрацьованого розкидача органічних добрив ПРТ-10 представлено на рисунку 2.



**Рис. 2.** Процес формування натурних буртів з використанням доопрацьованого розкидача органічних добрив ПРТ-10:

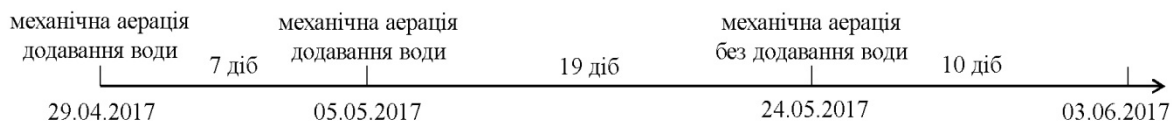
а – без додаткового зволоження; б – з додатковим зволоженням

**Fig. 2.** The process of formation of natural piles using the refined organic fertilizer spreader PRT-10:

a – without additional moisture; б – with additional moisture

Подальші заплановані механічні аерації і формування буртів виконувалися з використанням ковшового навантажувача Т-156 і доопрацьованого розкидача органічних добрив ПРТ-10. Зволоження виконується з метою доведення компостної суміші до необхідної вологості. Технічним засобом доставки води був пожежний автомобіль на базі ГАЗ-53 з об'ємом ємкості 4 м<sup>3</sup>. Вода для зволоження подається під час механічної аерації шляхом її розпилення за допомогою спеціального пристрою.

У процесі досліджень бурти 3 і 4 підлягали механічним аераціям, часові інтервали яких представлені на рисунку 3. Дослідження проводилися в період з 29.04.2017 по 03.06.2017.



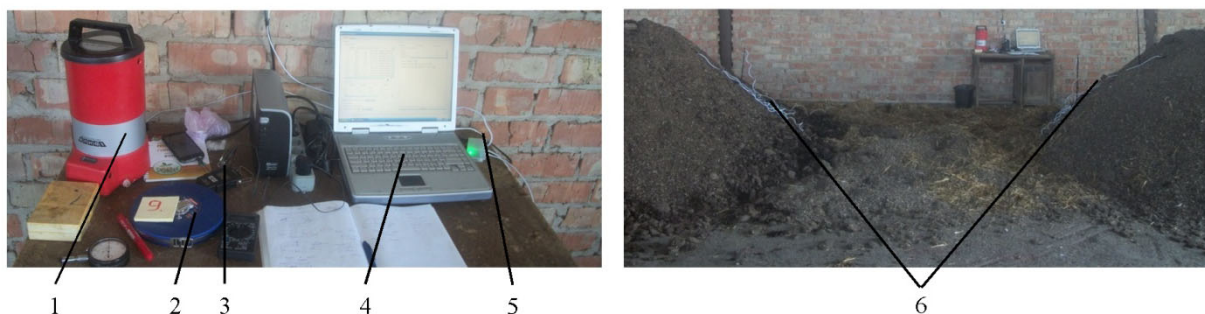
**Рис. 3.** Часові інтервали технологічних операцій при процесі прискореного біотермічного компостування

**Fig. 3.** Time intervals of technological operations in the process of accelerated biotermic composting

Визначення хімічного складу НРК проводилося згідно стандартних методик у лабораторії Державної установи «Держгрунтоохорона» (Дніпропетровська філія). Визначення масового вмісту золи проводиться згідно з ГОСТ 26714-85. Визначення масового вмісту органічної речовини та вуглецю проводиться згідно з ГОСТ 27980-88. Визначення масового вмісту загального азоту проводиться згідно з ГОСТ 26715-85. Визначення масового вмісту амонійного азоту проводиться згідно з ГОСТ 26716-85. Визначення співвідношення вуглецю й азоту (С:N) проводиться згідно з ГОСТ 27980-88.

Найважливішим критерієм оцінювання ефективності процесу компостування є

контроль і підтримка температурного режиму. Динаміка температур у буртах досліджувалася з використанням персонального комп'ютера, до якого підключався електронний термометр ТМ-32/Н-5Т з системою температурних зондів на основі датчиків температури DS18B20 (рис. 4). Абсолютна похибка вимірювань термометра ТМ-32/Н-5Т складає 0,1°C. Моніторинг за температурним режимом з використанням електронного термометра ТМ-32/Н-5Т проводився кожні 10 хв, при цьому дані записувалися на персональний комп'ютер у відповідний файл бази даних.



**Рис. 4.** Вимірювальні прилади й обладнання:

1 – воломір ВЛК-01; 2 – рулетка будівельна; 3 – ваги електронні ручні; 4 – персональний комп'ютер; 5 – електронний термометр ТМ-32/Н-5Т; 6 – датчики температури DS18B20

**Fig.4.** Measuring instruments and equipment:

1 – moisture meter VLK-01; 2 – roulette construction; 3 – electronic manual scales; 4 – personal computer; 5 – electronic thermometer ТМ-32/Н-5Т; 6 – temperature sensors DS18B20

Схема розташування температурних зондів у буртах висотою 1,5 м і 1,0 м представлена на рисунку 5.

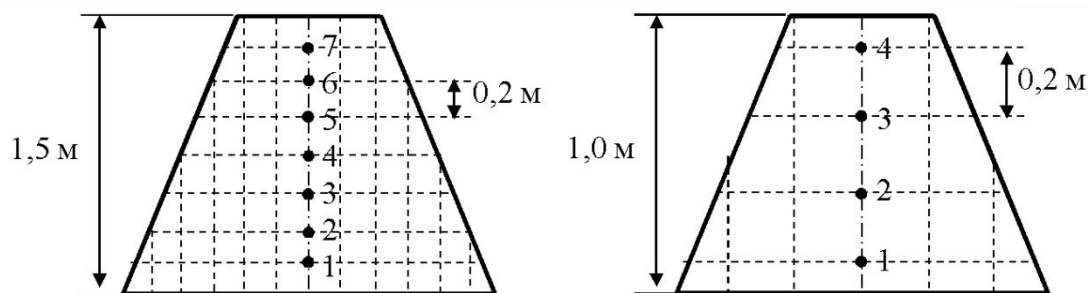


Рис. 5. Схема розташування температурних зондів  
Fig. 5. The layout of the temperature probes

**Результати досліджень.** Згідно часових інтервалів технологічних операцій при процесі прискореного біотермічного компостування натурних буртів були проведені незалежні агрохімічні аналізи отриманого продукту.

Показники вмісту загального азоту в необробленому та обробленому компості зростають у часі за близькою до лінійної регресійної залежності (рис. 6). Однак спостерігаються значні відмінності щодо інтенсивності процесу накопичення та абсолютних значень цього показника в бік оброблених компостів.

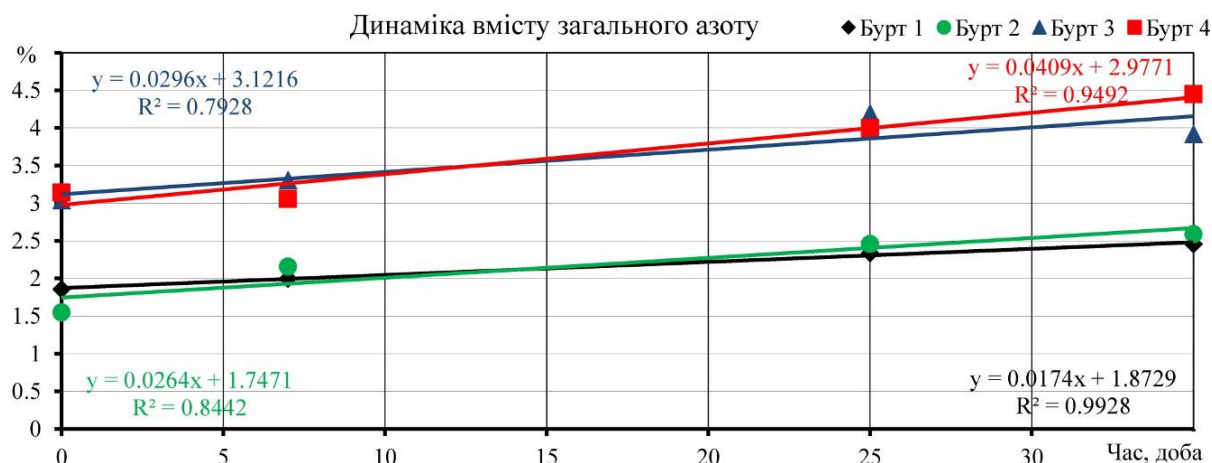
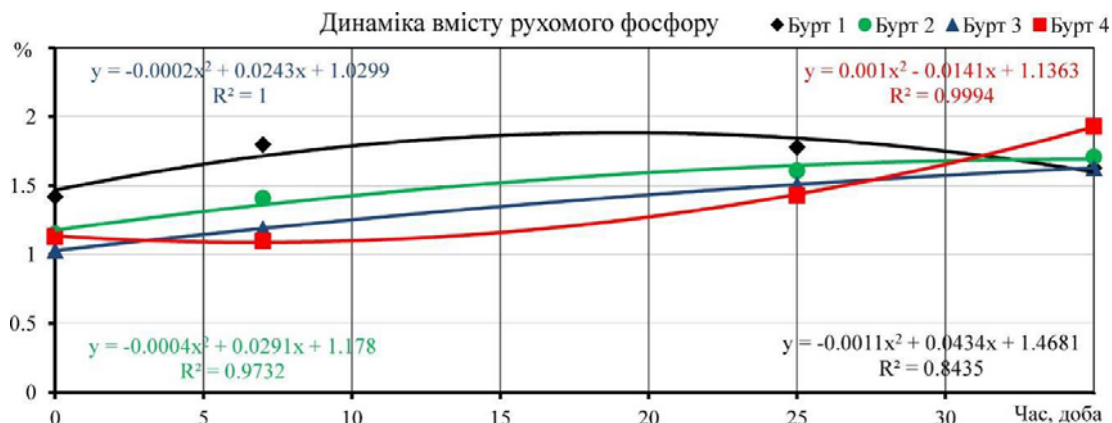


Рис. 6. Динаміка вмісту загального азоту в натурних буртах  
Fig. 6. Dynamics of total nitrogen content in wild boar

Так початковий адитивний регресійний член у необробленому матеріалі складає 1,8%, а мультиплікативний (показує інтенсивність процесу) – 0,017–0,026. У порівнянні, в обробленій сировині відповідні показники складають 2,9–3,12%, 0,029–0,041. Ці відмінності загалом і формують значне збільшення загального азоту в обробленому матеріалі: 4,0–4,5% проти 2,5–2,7% у необробленому. Аналогічна за змістом спостерігається порівняльна залежність показника вмісту аміачного азоту (рис. 6) – початковий адитивний регресійний член у необробленого компосту становить 0,61–0,65%, а мультиплікативний – 0,0096–0,0126 проти показників у обробленій сировині: 1,08–1,05%; 0,0172–0,0224. Це також забезпечує значне перевищення вмісту аміачного азоту в обробленій сировині – 1,93% проти 1,07% у необроблених.

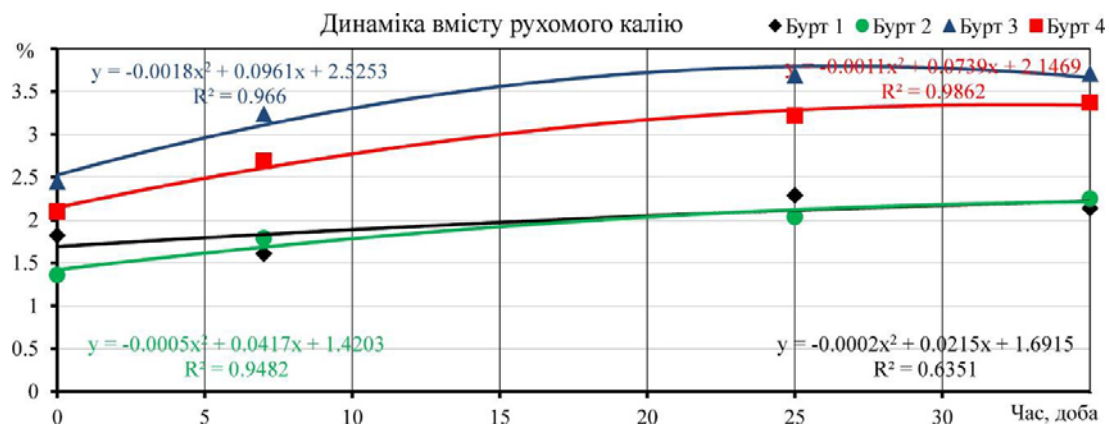
На рисунку 7 наведена порівняльна динаміка вмісту рухомих фосфатів у буртах оброблених та первинної сировини.



**Рис. 7.** Динаміка вмісту рухомого фосфору в натурних буртах  
**Fig. 7.** Dynamics of the content of mobile phosphorus in wildlife

Перш за все слід зазначити факт нелінійності регресійних кривих – присутності максимальних значень з подальшим зниженням цього показника. Це є наслідком процесів переходу розчинних фосфатів у нерозчинні форми. Проте факт знаного стимулювання процесу накопичення розчинних фосфатів після обробки не викликає сумнівів, така адитивна складова регресійної кривої зростає в 1,67 рази при висоті бурту 1 м. Вміст рухомих фосфатів після первинної обробки зростає з 1,18% до 1,97%. Щодо висоти бурту в 1,5 м має практично таке ж значення – 1,64. Інтенсивність процесів накопичення після обробки сировини має незначне (в 1,2 рази) зростання при висоті бурту 1 м, проте в бурті з висотою 1,5 м цей показник збільшується в 3,5 рази. Також слід зазначити, що стимулювання накопичення розчинних фосфатів приводить і до стимулювання процесів переходу фосфатів у нерозчинну фазу. Для висоти бурту 1 м процес зв'язування фосфатів швидший у первинній сировині. Це підтверджує співвідношення коефіцієнтів регресії другого ступеню – 2,0 рази. Проте щодо висоти бурту 1,5 м, де загальна стимуляція накопичення розчинних фосфатів сягає 3,5 рази, процес зв'язування також має перевищення у 4,5 рази в порівнянні з первинною сировиною. Зважаючи на наявність позитивних факторів щодо зростання інтенсивності накопичення рухомих фосфатів після обробки компоту, без негативних факторів щодо переходу їх до нерозчинних форм треба зробити висновок про наявність оптимального терміну в процесі компостування – 25 діб.

На рисунку 8 наведена порівняльна динаміка процесів накопичення рухомого калію в обробленій та первинній сировині.



**Рис. 8.** Динаміка вмісту рухомого калію в натурних буртах  
**Fig. 8.** Dynamics of the content of mobile potassium in wild boar

Як у випадку з рухомими фосфатами, простежується нелінійна залежність динамічних кривих, у яких присутні максимальні значення з подальшим зниженням вмісту рухомих сполук калію. На відміну від показника рухомих фосфатів у буртах з висотою 1,5 м для рухомих сполук калію це найбільш виразно простежується в метровому бурті. Таким чином, для рухомого калію також характерні процеси переходу в нерозчинні форми. Впровадження технологічної схеми гідроаерації компосту для процесу накопичення калію також має значні позитивні добутки. Так первинна обробка підвищує вміст розчинного калію в 1,63 рази при висоті бурту 1 м і в 1,7 рази при висоті бурту 1,5 м. Інтенсивність накопичення калію при висоті бурту 1 м зростає в 2,75 рази, а при 1,5 м – в 1,5 рази. Як уже було зазначено, процеси накопичення зв'язування калію значно ефективніше йдуть при висоті бурту 1 м. Так у порівнянні з процесами в первинній сировині зв'язування рухомого калію в масовому виразі йде в 4 рази швидше. У порівнянні цих процесів щодо висоти бурту 1,5 м процес зв'язування рухомого калію йде в 1,8 рази швидше. Якщо порівнювати інтенсивність переходу розчинних сполук калію в нерозчинні у технологічно обробленому компості при висоті бурту 1 м та 1,5 м, то зв'язування калію в масовому виразі проходить значно швидше в метровому бурті – в 2,8 рази. Проте необхідно зробити висновок, що дотримуючись оптимального терміну компостування 25 діб, ці відміни стають менш важливішими.

Таким чином, порівняльний аналіз показників хімічного складу обробленої механізованими способами сировини та необробленої показав значні переваги, що надає додаткова обробка. Вміст поживних речовин зростає, що пов'язано зі стимулюванням мікробіологічних процесів, сорбцією речовин на муміфікованій матриці та зберіганням хімічних форм, що створюють рухомі форми, які здатні для поглинання рослинами. Відносно зниження маси (за рахунок окислення вуглецю) при зберіганні вмісту поживних речовин покращує логістичну складову та продуктивність машино-тракторних агрегатів при внесенні органічних добрив.

У результаті дослідження отримана динаміка зміни температури в кожній точці натурального бурта згідно розробленої методики. Механічне перелопачування сировини – аерація забезпечує ріст внутрішніх температур (7 точок виміру по висоті бурту  $H = 1,5$  м) до максимальної температури 65–71°C і до 50–58°C при висоті бурту  $H_2 = 1,0$  м на 2–3 день після укладання бурту. За 15–17 діб температура складає до 50°C, що не відповідає термофільному режиму життєдіяльності бактерій і процеси поступово переходять у мезофільний режим – до 40°C.

До кінця періоду спостереження (до 36 доби) внутрішня температура в бурті 1 ( $H = 1,5$  м), згідно рисунку 9, складала 39–45°C, а в нижніх шарах – до 30°C.

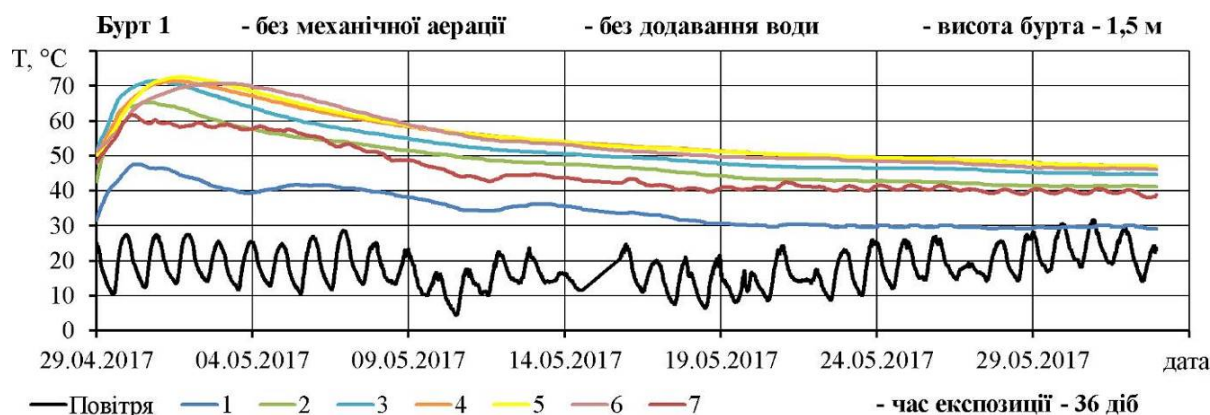
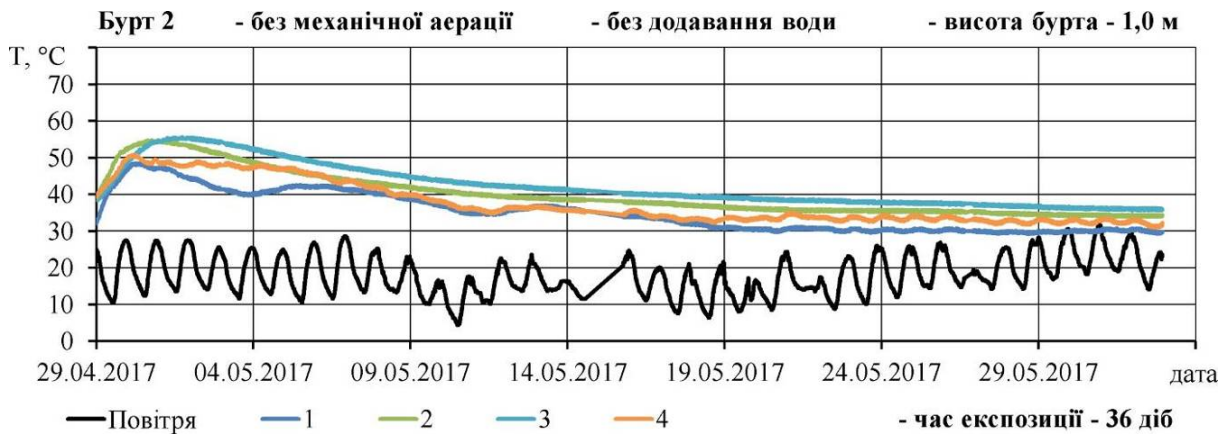


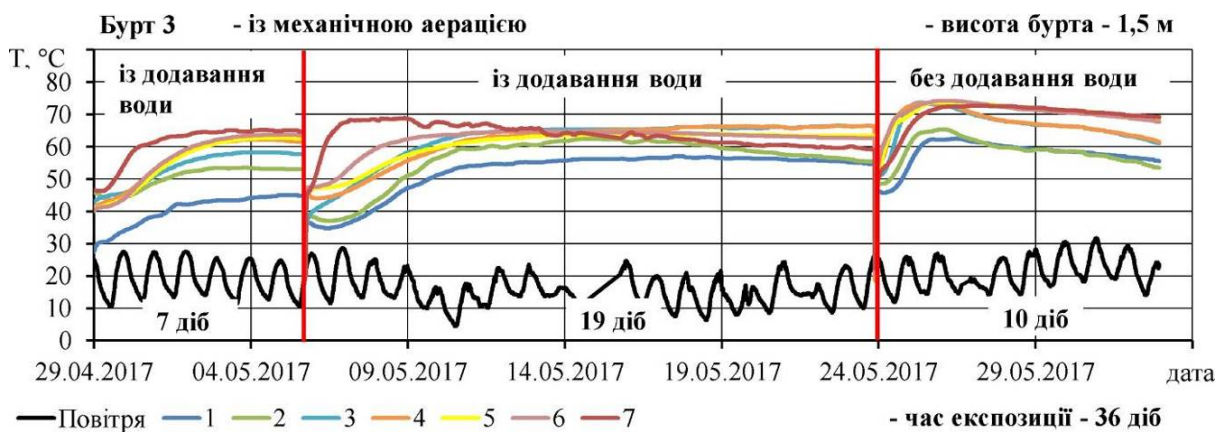
Рис. 9. Динаміка температурного поля бурта 1  
Fig. 9. Dynamics of the temperature field of the boat 1

У бурті 2 ( $H = 1,0$  м), згідно рисунку 10, у відповідні часові періоди температура становила на  $5\text{--}8^\circ\text{C}$  менше. За зміни температури навколишнього середовища впродовж доби від  $10$  до  $25^\circ\text{C}$  у період спостережень коливань внутрішньої температури не відбувалосьь.



**Рис. 10.** Динаміка температурного поля бурта 2  
**Fig. 10.** Dynamics of the temperature field of the burt 2

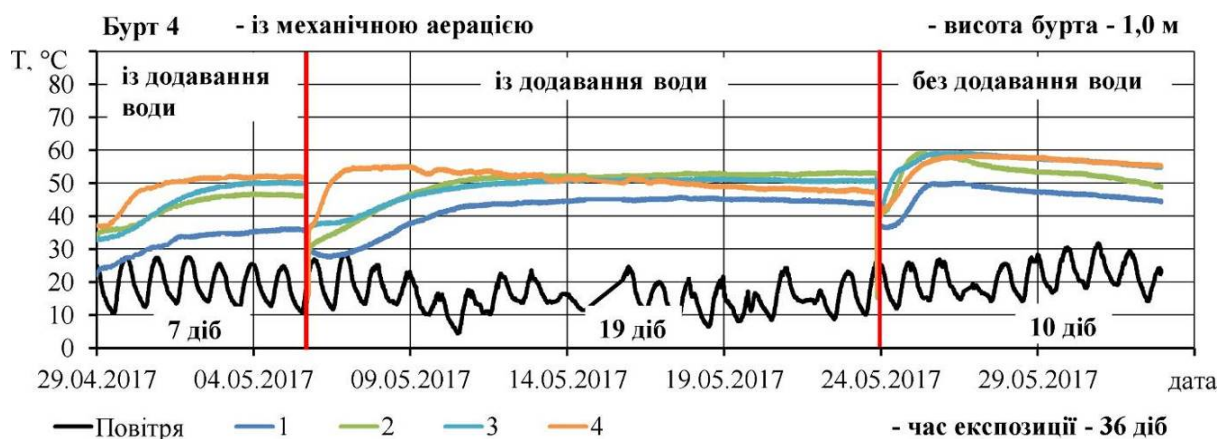
У бурті 3 (рис. 11) з механічним перелопачуванням і додаванням рідини (води) температура підвищувалась до  $61\text{--}65^\circ\text{C}$  ( $H = 1,5$  м) на 2-3 день по всіх 7 точках виміру, а потім знижувалась на  $3\text{--}5^\circ\text{C}$  і стабільно трималась впродовж спостереження. Перелопачування сировини без додавання рідини на 20 добу показало підвищення температури до  $70\text{--}72^\circ\text{C}$  з поступовим затуханням термічних процесів на 10 добу і зниженням температури до  $50^\circ\text{C}$ .



**Рис. 11.** Динаміка температурного поля бурта 3  
**Fig. 11.** Dynamics of the temperature field of the burt 3

У бурті 4 (при  $H = 1,0$  м) і з аналогічними обробками, як і в бурті 3, термічні процеси на  $5\text{--}10^\circ\text{C}$  нижчі (рис. 12). При аерації температура сировини зменшується до  $38\text{--}44^\circ\text{C}$ . Вплив коливання зовнішньої температури ( $10\text{--}25^\circ\text{C}$ ) на зміну внутрішніх температур статистично незначний.





**Рис. 12.** Динаміка температурного поля бурта 4  
**Fig. 12.** Dynamics of the temperature field of the burt 4

### Висновки

1. Порівняльний аналіз показників хімічного складу обробленої механізованими способами сировини і необробленої показав значні переваги, що надає додаткова обробка. Вміст поживних речовин зростає, що пов'язано зі стимулюванням мікробіологічних процесів, сорбцією речовин на муміфікованій матриці та зберіганням хімічних форм, які створюють рухомі форми, що здатні для поглинання рослинами. Відносне зниження маси (за рахунок окислення вуглецю) при зберіганні вмісту поживних речовин покращує логістичну складову і продуктивність машино-тракторних агрегатів при внесенні органічних добрив.

2. Механічне перелопачування сировини – аерація забезпечує ріст внутрішніх температур (7 точок виміру по висоті бурту  $H = 1,5$  м) до максимальної температури  $65-71^{\circ}\text{C}$  і до  $50-58^{\circ}\text{C}$  при висоті бурту  $H = 1,0$  м на 2–3 день після укладання бурту. За 15–17 діб температура складає до  $50^{\circ}\text{C}$ , що не відповідає термофільного режиму життєдіяльності бактерій і процеси поступово переходять у мезофільний режим – до  $40^{\circ}\text{C}$ .

### Бібліографія

1. Павленко С. І. Обґрунтування технологічної схеми процесу компостування органічних відходів на відкритих майданчиках. *Технічні системи і технології тваринництва: вісник Харківського національного технічного університету*

*сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 157. С. 197-201.

2. Обґрунтувати перспективні напрямки і технологічні схеми виробництва органо-мінеральних добрив шляхом компостування: звіт в УкрІНТЕІ / Ін-т мех. тварин. УААН. № ДР0101U007033; інв. 0302U001868. Запоріжжя, 2002. 47с.

3. Миронов В. В. Технологии и технические средства интенсификации производства органических удобрений на фермах крупного рогатого скота: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Мичуринск-Наукоград., 2010. 38 с.

4. Павлов П. И. Научно-технические решения ресурсосбережения при использовании навозопогрузчиков непрерывного действия: дис. ... докт. техн. наук. Саратов, 2002. 441 с.

5. Голуб Г. А. Агропромислове виробництво істівних грибів. Механіко-технологічні основи: монографія. К.: Аграрна наука, 2007. 332 с.

### Bibliografia

1. Pavlenko S. I. Obgruntuvannya tehnologichnoyi shemi protsesu kompostuvannya organichnih vidhodiv na vidkritih maydanchikah. *Tehnichni sistemi i tehnologiyi tvarinnitstva: visnik harkivskogo natsionalnogo tehnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka*. Harkiv, 2015. Vip. 157. S. 197–201.

2. Obgruntuvati perspektivni napryamki i tehnologichni shemi virobnitstva organo-mineralnih dobriv shlyahom kompostuvannya: zvit v UkrINTEI / In-t meh. tvarin. UAAN. #

DR0101U007033; Inv. 0302U001868.  
Zaporizhzhya, 2002. 47 s.

3. Mironov V. V. Tehnologii i tehniczeskie sredstva intensivatsii proizvodstva organicheskikh udobreniy na fermah krupnogo rogatogo skota: avtoref. dis. ... dokt. tehn. nauk. Michurinsk-Nauko- grad., 2010. 38 s.

4. Pavlov P. I. Nauchno-tehniczeskie resheniya resursosberezheniya pri ispolzovanii navozopogruzchikov nepreryivnogo deystviya: dis. ... dokt. tehn. nauk. Saratov, 2002. 441 s.

5. Golub G. A. Agropromislove virobnitstvo yistivnih gribiv. Mehaniko-tehnologichni osnovi: monografiya. K.: Agrarna nauka, 2007. 332 s.

### Bibliography

1. Pavlenko S. I. Justification of the technological scheme of the process of composting of organic waste in open areas. *Technical systems and technologies of animal husbandry: the bulletin of the Kharkiv National*

*Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko.* Kharkiv, 2015. Issue 157. P. 197–201.

2. To substantiate perspective directions and technological schemes of production of organo-mineral fertilizers by composting: a report in UkrISTEI / Int. fur animals UAAS DR0101U007033; inv. 0302U001868. Zaporozhye, 2002. 47 p.

3. Mironov V.V. Technologies and technical means of intensification of production of organic fertilizers on cattle farms: author's abstract. dis ... doc. tech sciences Michurinsk-Naukadgrad., 2010. 38 p.

4. Pavlov, P.I. Scientific and technical solutions of resource saving in the use of continuous-loader loaders: diss. ... doc. tech sciences Saratov, 2002. 441 p.

5. Golub G. A. Agricultural production of edible fungi. Mechanical and technological foundations: monograph. K.: Agrarian Science, 2007. 332 p.