ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.389

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/27>

Василенко І.А.

Український державний хіміко-технологічний університет

Брич К.А.

НВК «Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІ ступенів – академічний ліцей № 15»

Кам'янської міської ради

Чупринов Є.В.

Державний університет економіки і технологій

Скиба М.І.

Український державний хіміко-технологічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО СКЛАДНИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

У статті показано розроблений авторами прилад для контролю показників процесу компостування органічного складника твердих побутових відходів ідальні навчального закладу. Проаналізувавши процес аеробного зброджування відходів, виявлено необхідність контролю стадій утворення компосту для виготовлення зрілого кінцевого продукту. Під час компостування можна спостерігати зміну запаху, кольору, температури, густини, виділення фільтрату. Ці параметри вказують на стадії зброджування та сигналізують про правильність перебігу процесу і його завершення. Особливої уваги потребує контроль вологості суміші. Її оптимальним значенням вважається 50–60%, інколи можливі вищі показники. Важливо не допускати зниження вологості нижче 30%, що сприятиме пригніченню бактеріальної активності або її припиненню. Значна вологість суміші обмежує доступ кисню до реакційних центрів та сприяє виникненню анаеробних процесів. Відомі контролери, доступні в спеціалізованих магазинах, мають високу вартість та не мають можливості їх модернізації під потреби дослідження. Тому перспективним є розроблення контролера на базі платформи Arduino, що має економічні переваги та просто збирається із застосуванням готових датчиків і модулів, може бути доповнений за необхідності розширення функціоналу. Крім того, цей прилад може бути застосований для вимірювання показників відкритого ґрунту або ґрунту кімнатних рослин (визначенням зміни вологості та температури у ґрунтах саду ліцею під дією факторів навколишнього природного середовища із метою спостереження та аналізування процесів зростання дерев, кущів і квітів), для вимірювання у процесі освітньої діяльності (спостереження за ґрунтами міста, лісу, саду, городу тощо, аналізування характерної рослинності на певних ділянках території, визначення впливу зміни параметрів навколишнього середовища на стан ґрунту, інші спостереження та уроки з елементами STEM-освіти).

Ключові слова: відходи, компостування, датчик контролю, Arduino, температура, вологість.

Постановка проблеми. Починаючи з 2017 р., учні та співробітники Комунального закладу «Навчально-виховний комплекс «Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІ ступенів – академічний ліцей № 15» Кам'янської міської ради долучилися до програми сортування сміття та отримали у користування власний компостер.

Відомі технології компостування потребують додаткових витрат на закупівлю біологічних препаратів або каліфорнійських черв'яків, які також потребують утеплення компостера та особливого догляду.

Тому виникла ідея розроблення власних дешевих та ефективних технологій компостування

органічного складника твердих побутових відходів ліцею [1]. Компостування – один із найвідоміших способів перероблення органічного складника твердих побутових відходів. Процес відбувається під дією аеробних мікроорганізмів, при цьому їх життєдіяльності сприяють: наявність вологи (повинна складати 70–75%), забезпечення комфортних умов (зрошення водою з температурою 20–25°C). Окрім того, процес компостування можна умовно розділити на 4 стадії: мезофілну (саморозігрівання суміші), термофілну (спостерігається температурний максимум), охолодження (зниження температури суміші до значення навколишнього середовища), дозрівання (стабільна температура) [2].

Для виготовлення якісного компосту треба здійснювати контроль за процесом на кожній із зазначених стадій. Це можна здійснити за допомогою електронного пристрою – контролера – на базі платформи Arduino, що дозволяє контролювати параметри вологості та температури в процесі компостування твердих органічних відходів їдальні навчального закладу, виділити та вивчити стадії процесу. Готовий компост може застосовуватись як органічне добриво для підживлення кімнатних і садових рослин, плодових дерев та кущів на території навчального закладу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз можна придбати вже готовий контролер, що має набір необхідних функцій [3], але вартість таких приладів може сягати 5 000–6 000 грн. Попередні розрахунки показали, що на базі платформи Arduino можна створити подібний пристрій за 700–1 000 грн та поповнювати його необхідними датчиками (за необхідності).

Постановка завдання. Для здійснення контролю над процесом компостування органічних відходів необхідно розробити пристрій для:

- контролю температури води для зрошення суміші твердих органічних відходів та мікробіологічної добавки у процесі компостування;
- контролю вологості суміші в компостері для підтримання оптимальних значень;
- виявлення, спостереження і дослідження окремих стадій компостування, що відрізняються одна від одної температурним режимом та низкою інших ознак.

Виклад основного матеріалу. Для функціонування приладу контролю було розроблено комп'ютерну програму в середовищі Arduino IDE на мові програмування C++. Виведення результатів здійснюється на LCD-дисплей приладу в реальному часі та з можливістю запису на карту

пам'яті у вигляді масиву даних, що перетворюється на графічну залежність для аналізу стадій процесу компостування відходів.

Під час написання програми використовувались стандартні бібліотеки:

1) OneWire – протокол, що використовується для керування температурними датчиками. Ці датчики прості у використанні та дозволяють зчитувати відкалібровані цифрові температурні дані. Популярні під час створення ланцюгів Arduino;

2) LiquidCrystal – бібліотека, яка дозволяє Arduino керувати рідкокристалічними екранами дисплея. Бібліотека працює у 4-бітному і 8-бітному режимі. Тобто може використовуватись для чорно-білих та кольорових дисплеїв.

У процесі збирання деталі приладу з'єднувались між собою за допомогою дрітків шляхом спаювання. Для налагодження роботи датчика вологості здійснювалось відкалібрування шляхом співвідношення даних датчика до реальних показників вологості (коли вологість середовища відома). Наприклад, вологість води складає 100%, а вологість повітря від фена – 0%.

Опитування датчиків здійснюється раз на секунду, результат виводиться на екран. Дані вимірювань є остаточними, коли їх значення протягом 60 секунд не змінюється.

Складниками приладу є (рис. 1) такі: програмований контролер Arduino UNO R3 (1 шт.); екран для Arduino з кнопками LCD keypad shield (1 шт.); ємнісний датчик вологості ґрунтів (1 шт.); температурний датчик водонепроникний DS18B20 (1 шт.); роз'єм Jack 3.5 мм TRS, штекер (2 шт.); роз'єм Jack 3.5 мм TRS, гніздо (2 шт.); батарейка типу «Крона» (1 шт.); роз'єм живлення для батарейки типу «Крона»; штекер живлення Power Jack (1 шт.); корпус (1 шт.). Схема приладу (рис. 3): 1 – програмований контролер Arduino UNO R3; 2 – LCD-модуль; 3 – ємнісний датчик вологості ґрунтів; 4 – температурний датчик водонепроникний DS18B20.

Прилад може бути доповнений датчиками для вимірювання pH, концентрації газів над сумішшю тощо.

Сировиною для компосту обрано подрібнені очистки від овочів та фруктів, шкірка бананів, використана чайна заварка, сухі листочки від кімнатних рослин. Під час виготовлення компосту необхідно контролювати такі параметри:

1) зовнішній вигляд. У процесі біодеструкції суттєво змінюється зовнішній вигляд відходів (від часток, що добре розрізняються та ідентифікуються, до темної однорідної маси, що вказує на

Рис. 1. Схема приладу: 1 – програмований контролер Arduino UNO R3; 2 – LCD-модуль; 3 – ємнісний датчик вологості ґрунтів; 4 – температурний датчик водонепроникний DS18B20

завершення процесу). На 70-й день було отримана пластичну, майже однорідну масу, що вже може застосовуватися за призначенням;

2) запах. Нормальний процес компостування є аеробним, тому кількість кисню не повинна бути нижче 16–18,5%. Якщо концентрація кисню знижується до значення 5%, то спостерігаються анаеробні умови. Найпростішим способом контролю за цим показником є запах суміші. Запах гниття вказує на порушення процесу аеробного компостування. Якщо біодеструкція відбувається правильно, то запах змінюється від кислого до «земляного». Слід зазначити, що стійкого гнилісного або різкого запаху не спостерігалось. Тому можна рекомендувати встановлювати портативні компостери навіть у квартирі (наприклад на балконі) і виготовляти добриво для власних потреб. Відсутність гнилісного запаху також указує на те, що процес компостування здійснювався правильно в аеробних умовах;

3) вологість. Для компостування потрібна волога, оптимальним значенням вважається вологість на рівні 50–60%, інколи можливі вищі значення. Важливо контролювати цей параметр та не допускати зниження вологості нижче 30%, що сприятиме пригніченню бактеріальної активності або її припиненню. Значна вологість суміші обмежує доступ кисню до реакційних центрів та сприяє виникненню анаеробних процесів. Тому важливо зробити отвори для відведення надлишкової вологи та уникати перезволоження.

Під час компостування кожного дня здійснювалися вимірювання вологості суміші за допомогою ємнісного датчика вологості від сконструйованого пристрою. Вологість динамічно змінювалась, указуючи на активність мікроорганізмів. Виміряні значення показано на рис. 2. Вони вказують на періоди активності мікроорганізмів, що збігались із підвищеннями температури та виділенням значної кількості фільтрату. Під час процесу компостування зафіксовано два піки виділення вологи – на 7-й та 21-й день. На 70-й день компостування вологість мала значення 78%, що було зафіксовано як постійна величина, тому було ухвалено рішення припинити процес і застосувати отриманий продукт;

Рис. 2. Зміна вологості суміші під час компостування органічних відходів

4) температура. Для мезофілів характерні температури на рівні 20–40°C. Підвищення температури може бути не значне, але спостерігатись разом зі зміною інших показників. Цей параметр відслідковувався за допомогою розробленого датчика контролю.

Спостерігаючи за температурою під час компостування, можна виділити його стадії та прогнозувати готовність компосту, спостерігати за активністю мікроорганізмів та ефективністю компостування. Портативний компостер для досліджень не оснащений системою аерації, не утеплений, тому виділена теплота вільно виділялась у навколишнє середовище, при цьому температура в приміщенні була стабільною і дорівнювала 23°C. Але перепад температур зафіксований за допомогою датчика температури та показаний на рис. 3. Датчик поміщався у середні шари відходів і фіксував стадії компостування:

- мезофільну – 1–3 доби;
- термофільну – 4–7 доба;
- охолодження – 8–18 доба;
- дозрівання – 19–70 доба.

Поліноміальна крива апроксимації та достовірність апроксимації, нанесені на графіках на рис. 3, дозволяють побачити усереднену криву та отримати рівняння залежності для розрахунку та прогнозування перебігу процесу;

Рис. 3. Зміна температури під час компостування

5) густина. Під час переходу від відходів до компосту густина суміші буде підвищуватись. Цей параметр може вказувати на завершення процесу деструкції та отримання стабільної суміші.

Зазначається, що в процесі компостування відбувається ущільнення суміші відходів, тому за допомогою вимірювань висоти суміші в компостері, що представляє собою циліндр, та маси відходів було здійснено розрахунок зміни густини від відходів до компосту. Результати розрахунку наведено на рис. 4. Отже, у день завантаження відходів до компостера густина складала 402,14 г/дм³, всі розрахунки здійснені із застосуванням програми Excel з офісного пакета програм Microsoft Office. Спочатку суміш мала достатньо ділянок, заповнених повітрям. Під час компостування густина підвищувалась, виникала необхідність у періодичному перемішуванні для розподілення кисню повітря об'ємом. Густина готового компосту складає 0,5–0,8 г/см³ (500–800 г/дм³). На 43-й день компостування густина досягла постійного значення – близько 643 г/дм³;

Рис. 4. Зміна густини суміші під час компостування

6) виділення фільтрату. У процесі розмноження мікроорганізмів відбувається продукція води, що стікає через дренажні отвори. Ця волога використовується як рідке добриво для рослин, особливо квітучих та плодоносних. Ця рідина активно виділялась з 3-го до 25-го днів компостування. Під час компостування зафіксовано два піки інтенсивного виділення води – на 7-й та 21-й день. У ці дні фільтрат характеризувався більш низькою в'язкістю та прозорістю, в інші дні рідина мала темний колір та високу в'язкість. Перший пік збігався з піком температури суміші і відповідав термофільній стадії компостування. Другий пік спостерігався на стадії дозрівання й ущільнення суміші.

Виділену вологу було використано для підживлення кімнатних рослин. На 1 дм³ відстояної води додавалось 15 мл фільтрату, утворений розчин використовувався для поливу квітів. Реакція квітів на такий полив зазначена як позитивна, з'явилися квіточки на фіалках, хлорофітумі, спатифілумі, азалії, каланхое та бегонії, проросли чотири кісточка авокадо, вперше зацвіли кактус та молода орхідея.

Порівнявши показники зразків готового добрива з нормативними, маємо такий результат (табл. 1). Раніше проведені дослідження показували, що показник вологості виходить за межі допустимого значення. У промислових масштабах надлишкова волога збільшує об'єм добрива та впливає на витрати для його транспортування, але наш дослід направлений переважно на використання добрив у місті їх утворення (школа, присадибна ділянка тощо). Але за наявності приладу-контролера цей показник можна відслідковувати та виключити надлишкове зволоження, що може негативно вплинути на ефективність процесу компостування. Інші параметри повністю відповідають нормативним.

Таблиця 1

**Порівняння показників зразків
готового добрива з нормативними**

Показник	Компост	Норма
Термін дозрівання	3 місяці	–
pH	7,8	6,5–8,5
Амонійний азот	0,5	<1,2%
Азот	2,0	1,5–3,0%
Органічні речовини	74	70–75%
Вологість	78	70–75%

Висновки. Таким чином, розроблений прилад для здійснення контролю показників процесу компостування органічного складника твердих

побутових відходів. Контролер на базі платформи Arduino має економічні переваги та просто збирається із застосуванням готових датчиків та модулів, може бути доповнений за необхідності розширення функціоналу [4].

Також цей прилад може бути застосований для:

1) вимірювання показників відкритого ґрунту або ґрунту кімнатних рослин (визначення зміни вологості та температури у ґрунтах саду ліцею під дією факторів навколишнього природного середовища із метою спостереження та аналізування про-

цесів зростання дерев, кущів і квітів; визначення вологості з метою виявлення необхідності поливу кімнатних рослин і дослідження оптимальних умов вологості та температури води для зрошення);

2) вимірювання в процесі освітньої діяльності (спостереження за ґрунтами міста, лісу, саду, городу тощо; аналізування характерної рослинності на певних ділянках території; визначення впливу зміни параметрів навколишнього середовища на стан ґрунту; інші спостереження та уроки з елементами STEM-освіти).

Список літератури:

1. Спосіб компостування органічної складової твердих побутових відходів: пат. 144606 України: МПК⁷ C02F7/00. № u202003017; заявл. 20.05.2020 опубл. 12.10.2020. Бюл. № 9.
2. Миронов В.В. Влияние режимов подготовки на агрохимический состав компоста. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2005. № 2. С. 146–148.
3. Контроллер для ферментации компоста в открытых и закрытых бункерах. URL: <http://mushroom-climate.com/ru/controllers/aks-f> (дата звернення 25.12.2020).
4. Авторське право на твір № 97933 Україна. Комп'ютерна програма «Контроль температури та вологості компосту» / Василенко І.А., Брич К.А., Куманьов К.А. – зареєстроване 09.06.2020 р.

Vasylenko I.A., Brich K.A., Chuprinov E.V., Skuba M.I. DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CONTROL OF INDICATORS THE PROCESS OF COMPOSTING ORGANIC COMPONENT OF SOLID WASTE

The article shows, developed by the authors, a device for monitoring the indicators of the composting process of the organic component of solid waste in the dining room of the educational institution. After analyzing the process of aerobic waste fermentation, the need to control the stages of compost formation for the manufacture of mature final product. During composting, you can see a change in odor, color, temperature, density, filtrate. These parameters indicate the stage of fermentation and signal the correctness of the process and its completion. The humidity control of the mixture needs special attention. Its optimal value is considered to be 50–60%, sometimes higher rates are possible. It is important not to allow the humidity to drop below 30%, which will help to suppress or stop bacterial activity. Significant humidity of the mixture limits the access of oxygen to the reaction centers and promotes anaerobic processes. Well-known controllers, available in specialty stores, have a high cost and do not have the ability to upgrade them for research needs. Therefore, the development of a controller based on the Arduino platform is promising, which has economic advantages and is simply assembled using ready-made sensors and modules, can be supplemented if necessary to expand the functionality. In addition, this device can be used to: measure the performance of open ground or soil of houseplants (determination of changes in humidity and temperature in the soil of the lyceum garden under the influence of environmental factors to observe and analyze the growth of trees, shrubs and flowers); measurement in the process of educational activities (observation of soils of the city, forest, garden, vegetable garden, etc.; analysis of characteristic vegetation in certain areas; determining the impact of changes in environmental parameters on soil condition; other observations and lessons with elements of STEM-education).

Key words: waste, composting, control sensor, Arduino, temperature, humidity.