

УДК 621.3

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗБОРУ ДАНИХ ТА КЕРУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ПРИСТРОЯМИ НА БАЗІ СУЧАСНИХ  
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ**

**Бабенко М. І., Стаценко В. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Метою роботи є дослідження систем збору даних та керування електромеханічними пристроями на основі сучасних мікроконтролерів, що можуть застосовуватись у складі системи керування електроприводом живильників сипких матеріалів.

**Методика.** Дослідження процесу дозування сипкого матеріалу живильниками тарілчастого типу із замкненою системою керування технологічними параметрами.

**Результати досліджень.** Розроблено системи збору даних та керування технологічними параметрами живильника тарілчастого типу. Проведено дослідження процесу руху сипкого матеріалу та запропоновано алгоритми керування робочими органами.

**Наукова новизна.** В роботі досліджено роботу системи керування живильником тарілчастого типу, визначено її вплив на точність дозування сипких матеріалів.

**Практична значимість** полягає в підвищенні точності дозування сипких матеріалів, що дозволяє поліпшити якість суміші та кінцевого продукту.

**Ключові слова:** система керування, система збору даних, живильник, дозатор, сипкий матеріал

Суміші сипких матеріалів широкого використовуються в різних галузях промисловості. Наприклад, для виготовлення фурнітури, деталей низу взуття та плівок використовуються суміші полімерних матеріалів, які постачаються у вигляді твердих гранул. Основними параметрами, що визначають якість суміші та, значною мірою, якість кінцевого продукту, є її однорідність та відсотковий склад.

На сьогодні розроблені та використовуються промисловістю сотні конструкцій обладнання для дозування та змішування сипких матеріалів. Наявність такого розмаїття зумовлена складною природою руху сипких матеріалів, широким діапазоном їх фізико-механічних властивостей, здатністю до грудкоутворення, що можуть змінюватись в залежності від параметрів оточуючого середовища. Як наслідок, процеси руху сипких матеріалів складно контролювати, що призводить до зміни відсоткового складу суміші в цілому та появи локальних зон із відхиленням концентрації компонентів від заданої рецептури.

Умовно обладнання для виготовлення сипких композицій можна поділити на дві великі групи: безперервної та періодичної дії. Обладнання безперервної дії, що розглядається у роботі, має ряд суттєвих переваг до яких відносяться: висока продуктивність, можливість використання у складі автоматизованих технологічних комплексів, низькі масогабаритні показники. Але водночас процеси безперервного дозування та змішування висувають підвищені вимоги до контролю руху сипкого матеріалу. Це пов'язано з тим, що відхилення у потоці матеріалу практично неможливо виправити, оскільки матеріал рухається між технологічними ланками безперервним потоком.

В більшості випадків відсотковий склад суміші безпосередньо залежить від точності роботи пристроїв дозування сипких компонентів, що зумовлює актуальність розробки та дослідження як систем контролю параметрів потоку сипкого матеріалу, так і систем керування робочими параметрами дозаторів та живильників.

#### ***Постановка завдання***

Завданнями цієї роботи є визначення можливостей контролю потоку сипкого матеріалу в живильнику тарілчастого типу, створення систем збору інформації та керування процесом дозування, дослідження роботи запропонованих систем.

#### ***Результати досліджень***

Розглянемо систему дозування сипкого матеріалу, що показана на рис. 1. До її складу входять:

- конічно-циліндричний бункер (1), який забезпечує як зберігання матеріалу, так і його подачу через вихідний патрубок (2);
- живильник тарілчастого типу (3) із електроприводом тарілі (4), ножем (5) та сервоприводом ножа (6);
- формувач потоку сипкого матеріалу (7);
- датчик ваги (8), що дозволяє визначити кількість матеріалу, який знаходиться на поверхні формувача (7);
- пристрій керування (9), що забезпечує узгоджену роботу всіх компонентів системи.

Перед початком роботи сипкий матеріал завантажується у конічно-циліндричний бункер. Перевагами бункерів такого типу є простота конструкції, рівномірний розподіл навантажень всередині сипкого матеріалу, стала продуктивність,

а також можливість забезпечити рух матеріалу через вихідний патрубок без пульсацій з постійною швидкістю. Відсутність пульсацій у потоці матеріалу є особливо важливою при створенні замкнених систем керування, оскільки дозволяє значно спростити алгоритм керування.

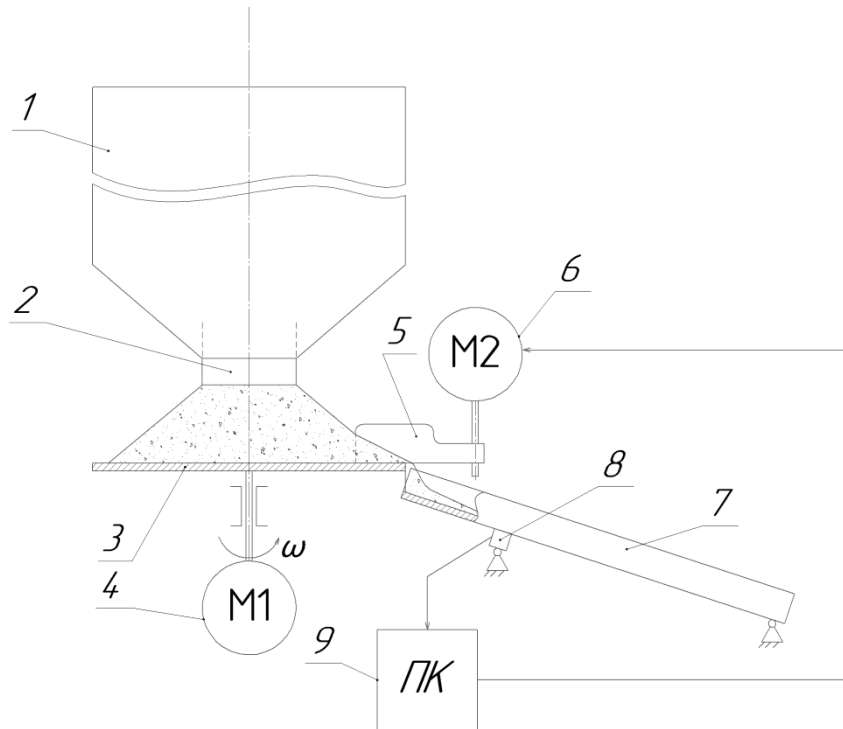


Рис. 1. Система дозування сипкого матеріалу

Під час роботи системи сипкий матеріал під дією сили тяжіння через вихідний патрубок надходить на поверхню таріли живильника. В результаті на тарілі матеріал формує усічений конус висота якого визначається відстанню між вихідним патрубком та поверхню тарілі, радіус верхньої основи дорівнює радіусу вихідного патрубку, а кут нахилу бічної стінки конуса – куту природнього укосу матеріалу. Якщо таріль є нерухомою, то процес руху матеріалу завершується після формування конусу.

Під час роботи живильника таріль обертається із сталою швидкістю, а ніж розташовується таким чином, щоб «захоплювати» частину конусу матеріалу. Чим менша відстань від кромки ножа до центру тарілі, тим більшу кількість матеріалу «захоплюватиме» ніж. В результаті обертання тарілі частинки сипкого матеріалу рухаються вздовж ножа та скидаються на формувач потоку. Кількість частинок та, відповідно, продуктивність живильника можна регулювати за рахунок зміни положення ножа.

Також існує можливість керування продуктивністю живильника за рахунок зміни швидкості обертання таріли, але при збільшенні цієї швидкості до деякої критичної величини, частинки починають рухатись по тарілі за рахунок відцентрових сил, тобто відбувається зміна кута нахилу бічної стінки конуса, що значно ускладнює процес керування. Тому в роботі швидкість обертання таріли підтримувалась сталою, а керування продуктивністю живильника здійснювалось виключно за рахунок зміни положення ножа.

Формувач потоку являє собою лоток, який забезпечую надходження сипкого матеріалу у змішувач. Частинки рухаються по формувачу за рахунок сили тяжіння. Кількість частинок на формувачі, а отже його вага та, відповідно, сигнал датчика визначаються продуктивністю живильника.

На рис. 2 наведена розрахункова схема, що дозволяє визначити кількість матеріалу, який буде знятий ножом за один оберт таріли. Під час обертання таріли, ніж «захоплює» заштриховану частину матеріалу ( $V_H$ ).

Також вважатимемо висоту конусу ( $H$ ), кут природнього укосу матеріалу ( $\alpha$ ), радіус вихідного отвору бункера ( $R_0$ ) константами.

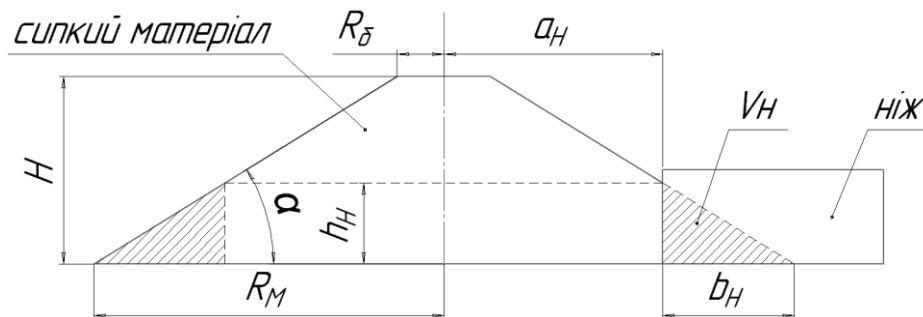


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення кількості матеріалу, що знімається ножом тарілчастого живильника

Об'єм матеріалу  $V_H$ , що знімається ножом за один оберт таріли, дорівнюватиме різниці між об'ємом усіченого конусу висотою  $h_H$  та об'ємом циліндру висотою  $h_H$  та радіусом  $R_M - b_H$ .

$$V_H = V_{\text{кон}} - V_{\text{цил}},$$

$$\text{де } V_{\text{кон}} = \frac{1}{3}\pi h_H (R_M^2 + R_M a_H + a_H^2); V_{\text{цил}} = \pi a_H^2 h_H.$$

Радіус матеріалу на поверхні таріли дорівнює:

$$R_M = \frac{H}{\text{tg}\alpha} + R_0.$$

Відстань від кромки ножа до краю матеріалу  $b_H$ :

$$b_H = R_M - a_H = \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha} + R_6 - a_H.$$

Відповідно, висота шару матеріалу, який знімає ніж, дорівнюватиме:

$$h_H = \operatorname{tg}\alpha \cdot b_H = H + R_6 \operatorname{tg}\alpha - a_H \operatorname{tg}\alpha.$$

Остаточно, об'єм  $V_H$  дорівнюватиме:

$$V_H = \frac{1}{3} \pi (H + R_6 \operatorname{tg}\alpha - a_H \operatorname{tg}\alpha) \left[ \left( \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha} + R_6 \right)_M^2 + \left( \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha} + R_6 \right) a_H + a_H^2 \right] - \pi a_H^2 (H + R_6 \operatorname{tg}\alpha - a_H \operatorname{tg}\alpha).$$

Отримані співвідношення дозволяють визначити об'ємну  $Q_V$  та масову  $Q_m$  продуктивності живильника в залежності від положення ножа:

$$Q_V = V_H \omega,$$

$$Q_m = V_H \omega \rho,$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання таріли,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\rho$  – насипна густина матеріалу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для визначення відсоткового складу суміші необхідно мати інформацію про продуктивність кожного з живильників, що входять до складу змішувального комплексу. Враховуючи, що продуктивність обладнання безперервної дії є функцією часу, для керування живильником необхідно отримувати інформацію про поточну продуктивність за час на протязі якого продуктивність не може суттєво змінитись.

З технологічних міркувань параметри потоку сипкого матеріалу необхідно визначати на вході у змішувач, тобто на поверхні формувача. В цій зоні відсутні будь-які перешкоди руху частинок, тобто вірогідність появи відхилень або розривів потоку є найменшою.

Для визначення продуктивності живильника у роботі використано тензOMETричний датчик ваги, розташований під поверхнею формувача (рис.1). До складу пристрою керування входять: 24-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) на основі мікросхеми НХ711, мікроконтролер АТmega328 та USB-інтерфейс (платформа Arduino Nano).

Кількість матеріалу на поверхні формувача визначає силу, яка діє на датчик та, відповідно, його сигнал. Оскільки на практиці часом реагування тензOMETричного датчика можна знехтувати, то час вимірювання продуктивності визначатиметься часом перетворення АЦП та часом обробки сигналу мікроконтролером. Експериментальні

дослідження роботи запропонованої системи свідчать, що час вимірювання не перевищує 100 мс.

Після визначення продуктивності живильника, система керування порівнює його із заданим значенням. Ця інформація дозволяє визначити необхідний напрямок переміщення ножа. Якщо поточне значення продуктивності менше за задане, то ніж переміщується ближче до центру тарілі, якщо більше – то далі від центру. Переміщення ножа забезпечується сервоприводом, положення якого визначається сигналами керування, що формуються мікроконтролера.

Для аналізу результатів роботи системи керування поточні значення продуктивності живильника та сигнали керування положенням ножа передаються через USB інтерфейс на персональний комп'ютер, що дозволяє здійснити їх подальшу обробку.

При проведенні експериментальних досліджень визначалась продуктивність живильника за фіксованих положень ножа. Положення змінювались через заданий проміжок часу, що дозволило отримати залежності, які визначають зв'язок між сигналами керування сервоприводом та продуктивністю живильника. На рис. 3 показані результати чотирьох експериментальних досліджень.

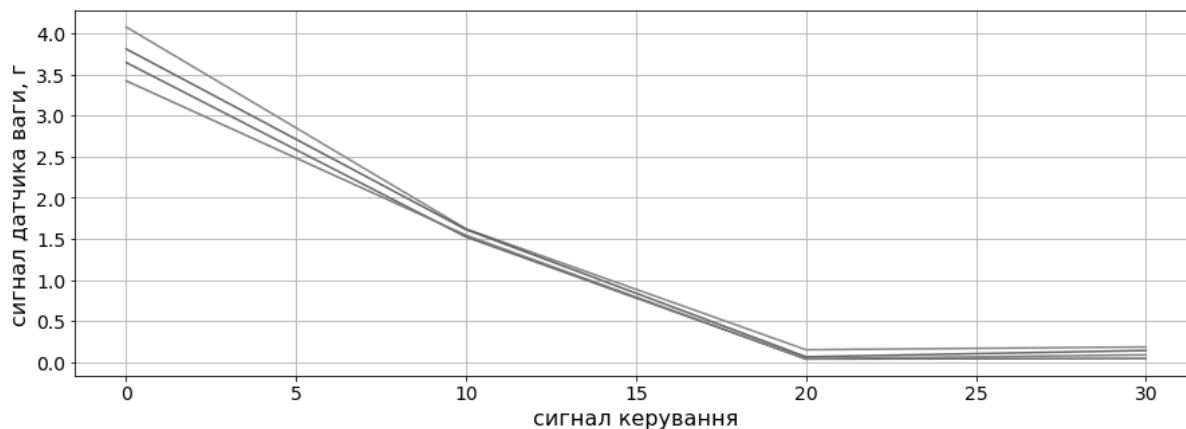


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень

За сигналів керування у межах від 20 до 30, ніж розташований далеко від центру тарілі та не «захоплює» матеріал. Чим менше значення сигналу керування, тим ближче до центру тарілі розташований ніж і тим більше частинок він «захоплює» за один оберт. Дисперсія отриманих результатів не перевищує 5,7%, що дозволяє

використовувати запропоновану систему керування у складі промислових змішувальних комплексів.

### **Висновки**

1) У роботі проведено теоретичне дослідження процесу дозування сипкого матеріалу живильником тарілчастого типу та розроблено математичну модель, що дозволяє визначити взаємозв'язок між положенням ножа та продуктивністю живильника.

2) Розроблено конструкцію системи збору даних та керування живильником тарілчастого типу.

3) Експериментальні дослідження свідчать, що запропонована система дозволяє контролювати продуктивність живильника з похибкою не більше 5,7%.

### **Список використаних джерел**

1. Стаценко В. В. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів: монографія / В. В. Стаценко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла. – К : КНУТД, 2017. – 220 с.
2. Агейкин Д. Н. Датчики контроля и регулирования – 2-е изд. / Д. Н. Агейкин, Е. Н. Костина – М. : Машиностроение, 1985. – 929 с.
3. Біла Т. Я. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів / Біла Т. Я., Стаценко В. В. // Вісник КНУТД. – 2010. – №6. – С.11-15.

### **References**

1. Statsenko, V.V., Burmistenkov, O.P. & Bila, T.Y. (2017). *Avtomatyzovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannya kompozycji sypkykh materialiv: monohrafiya* – Kyiv : KNUTD. – 220 p. [in Ukrainian].
2. Agejkin, D.N. & Kostina, E.N. (1985). *Datchiki kontrolja i regulirovanija* [Control and regulation sensors] – 2-e izd. – M.: Mashinostroenie. – 929 p. [in Russian].
3. Bila, T.Y. & Statsenko, V.V. (2010). *Modelyuvannya avtomatyzovanoyi systemy keruvannya pryvodom tarilchastoho dozatora sypkykh materialiv*. – Visnyk KNUTD. – №6. – P.11-15. [in Ukrainian].

**Babenko Maxim**  
[mazamaka603@gmail.com](mailto:mazamaka603@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Statsenko Volodymyr**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>  
ResearcherID: [C-3646-2017](https://orcid.org/C-3646-2017)  
[statsenko.v@knutd.com.ua](mailto:statsenko.v@knutd.com.ua)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

*Исследование систем сбора данных и управления электромеханическими устройствами на базе современных микроконтроллеров*

**Бабенко М. И., Стаценко В. В.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Целью работы является исследование систем сбора данных и управления электромеханическими устройствами на основе современных микроконтроллеров, которые могут применяться в составе системы управления электроприводами питателей сыпучих материалов.

**Методика.** Исследование процесса дозирования сыпучего материала питателями тарельчатого типа с замкнутой системой управления технологическими параметрами.

**Результаты исследований.** Разработаны системы сбора данных и управления технологическими параметрами питателя тарельчатого типа. Проведено исследование процесса движения сыпучего материала и предложены алгоритмы управления рабочими органами.

**Научная новизна.** В работе исследована работа системы управления питателем тарельчатого типа, определено её влияние на точность дозирования сыпучих материалов.

**Практическая значимость** заключается в повышении точности дозирования сыпучих материалов, что позволяет улучшить качество смеси и конечного продукта.

**Ключевые слова:** система управления, система сбора данных, питатель, дозатор, сыпучий материал

*The research of data acquisition and control systems based on modern microcontrollers for electromechanical devices*

**Babenko M., Statsenko V.**

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** The aim of the work is to study data acquisition and control systems for electromechanical devices based on modern microcontrollers, which can be used as part of a control system for bulk feeders electric drives.

**Methodology.** The bulk material dosing process investigation with disc feeders with a closed process control system.

**Findings.** Systems for data acquisition and control for a plate-type feeder technological parameters have been developed. The bulk material movement study has been carried out and algorithms for controlling working bodies have been proposed.

**Originality.** In this work, the plate type feeder control system operation is investigated, its influence on the bulk materials dosing accuracy is determined.

**Practical value** is to improve the accuracy of bulk materials dosing, which allows improving the mixture and the final product quality.

**Keywords:** control system, data acquisition system, feeder, dispenser, bulk material