

УДК 621.3

## СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Ничеглод В. В., Стаценко В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідження процесу дозування сипкого матеріалу тарілчастим живильником безперервної дії з метою визначення факторів, що дозволяють зменшити величину пульсацій.

**Методика.** Використані відомі методи математичного моделювання та статистичної обробки результатів експериментальних досліджень.

**Результати досліджень.** Розроблено конструкцію стенду для дослідження системи керування тарілчастим живильником безперервної дії. Проведено експериментальні дослідження процесу дозування сипкого матеріалу.

**Наукова новизна.** Проведено аналіз факторів, що впливають на параметри потоку сипкого матеріалу на виході тарілчастого живильника безперервної дії. Визначено величину пульсацій продуктивності живильника за різних режимів роботи обладнання. Отримані результати підтверджені експериментальними дослідженнями.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволять прогнозувати величину відхилень відсоткового складу суміші від заданої рецептури. Запропоновано конструктивні зміни, які дозволять зменшити величину пульсацій продуктивності живильника.

**Ключові слова:** дозування, живильник, система керування, сипкий матеріал, процес змішування

Суміші сипких матеріалів широко застосовуються у підготовчих виробництвах легкої промисловості. Їх використовують для виготовлення деталей низу взуття, фурнітури, плівок та інших виробів [1].

Вихідні компоненти для створення сумішей постачаються у вигляді твердих гранул, які необхідно змішати у заданому співвідношенні. Якість змішування визначається двома основними параметрами: однорідністю та відсотковим складом суміші. Сучасне змішувальне обладнання являє собою технологічні комплекси до складу яких входять три основні ланки: бункери, живильники та змішувач [1, 2]. За принципом дії їх поділяють на два типи: періодичної та безперервної дії. Обладнання періодичної дії передбачає виготовлення суміші порціями. Сипкі компоненти у заданому співвідношенні завантажуються у змішувач, після чого перемішуються. Під час безперервного змішування сипких матеріал рухається суцільним потоком та одночасно перемішується. Це дозволяє зменшити енерговитрати та масогабаритні

показники змішувача та, водночас, зберегти високу продуктивність. Основною проблемою, що виникає під час використання змішувальних комплексів безперервної дії, є необхідність підтримування на заданому рівні параметрів потоків компонентів суміші. Наявність пульсації в цих потоках призведе до появи локальних зон із відсотковим складом, що не відповідає заданому, тобто до зниження однорідності.

Формування потоку сипкого матеріалу, який надходить у змішувач, здійснюється за допомогою живильників. Відповідно, їх основним завданням є забезпечення заданої продуктивності та мінімальної величини пульсацій. Не зважаючи на велику кількість робіт, направлених на вдосконалення живильників безперервної дії, на сьогодні не існує обладнання, що дозволяє повністю уникнути появи пульсацій та розривів у потоці матеріалу. Значною мірою це пов'язано із складною природою руху сипких матеріалів та залежністю їх властивостей від параметрів оточуючого середовища. Це зумовлює актуальність робіт, направлених на дослідження процесів руху частинок, що виникають під час роботи живильників безперервної дії.

#### **Постановка завдання**

Метою роботи є дослідження процесу дозування сипкого матеріалу тарілчастим живильником безперервної дії та визначення факторів, що дозволяють зменшити величину пульсацій.

#### **Результати досліджень**

Структурна схема системи керування тарілчастим живильником показана на рис. 1.

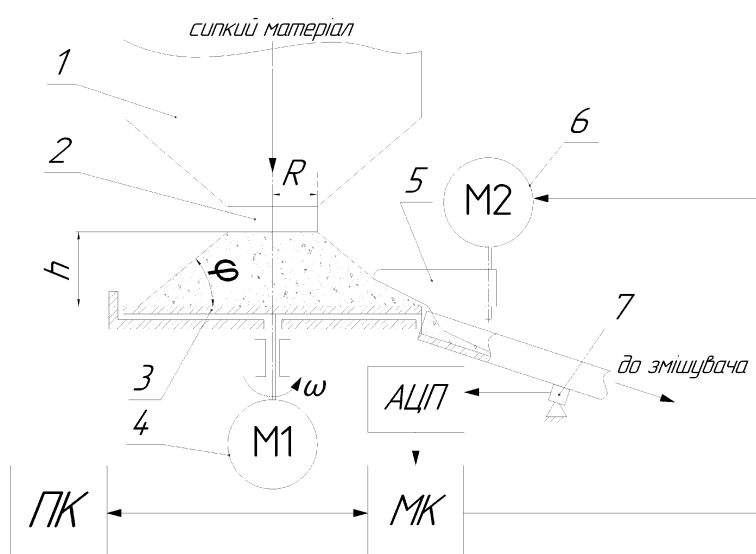


Рис. 1. Структурна схема системи керування тарілчастим живильником безперервної дії

Перед початком роботи сипкий матеріал завантажується у бункер циліндрично-конічної форми (1). Під бункером розміщується живильник, який складається з тарелі (3), що обертається із постійною швидкістю  $\omega$ , приводу (4) та ножа (5). Вихідний патрубок бункера (2) розташовують безпосередньо над центром тарелі. Сипкий матеріал під дією сили тяжіння висипається на таріль та розташовується на ній у вигляді усіченого конуса, кут нахилу бічної стінки якого дорівнює куту природнього укосу матеріалу  $\varphi$ .

Під час роботи системи ніж розташовують таким чином, щоб він «захоплював» край конуса матеріалу. За рахунок обертання тарелі матеріал рухається вздовж ножа до краю диску. Далі частинки за допомогою формувача потоку подаються до вхідного патрубку змішувача.

Така конструкція дозволяє змінювати продуктивність живильника трьома способами:

- зміною швидкості обертання тарелі.
- зміною відстані між вихідним патрубком бункера та поверхнею тарелі.
- зміною відстані між кромкою ножа та центром тарелі.

Останній варіант є найбільш перспективним з точки зору застосування в автоматизованих системах керування, оскільки положення ножа можна змінювати за допомогою сервопривода (6). Такий спосіб забезпечує високу точність та швидкість реакції системи, а також має відносно низьку вартість, оскільки сервопривод має на порядок меншу потужність ніж привод тарелі живильника.

Контроль параметрів потоку матеріалу здійснюється за допомогою датчика маси, який розміщений під поверхнею формувача та підключений до мікроконтролера. Під час роботи живильника сигнал датчика визначається сумою маси формувача та матеріалу, що розміщений на ньому. Враховуючи, що маса формувача є постійною величиною, можна вважати, що будь-яка зміна сигналу датчика зумовлена виключно змінами у потоці сипкого матеріалу.

У дослідному стенді використано тензометричний датчик, який має практично лінійну залежність між величиною сили, що діє на нього, та вихідним сигналом. Це дозволяє суттєво спростити подальшу обробку отриманих даних. Сигнал від датчика перетворюється у цифрову форму за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та зчитується мікроконтролером, який порівнює його із заданим значенням.

Відомо [2], що продуктивність живильника пов'язана із його конструктивними та технологічними параметрами співвідношенням:

$$Q = \frac{h^2 \omega \rho}{2 \operatorname{tg} \varphi} \left[ R + \left( \frac{h}{3 \operatorname{tg} \varphi} \right) \right], \quad (1)$$

де  $h$  – відстань між вихідним патрубком та поверхнею тарелі, м;  $\rho$  – насипна густина сипкого матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – радіус вихідного патрубка, м.

В ідеальному випадку таріль живильника обертається із заданою швидкістю, положення ножа та властивості сипкого матеріалу є незмінним. За таких умов продуктивність залишатиметься сталою, а величина пульсацій буде мінімально можливою. На практиці на технологічні параметри живильника впливають різноманітні фактори, які можуть змінюватись у часі. До таких факторів відносяться сили тертя між поверхнею тарелі, ножем та сипким матеріалом. Величина цих сил змінюється внаслідок нахилу тарелі, дефектів на її поверхні, вібрації пристрою, потрапляння малих частинок матеріалу (пилу) у зону контакту ножа та тарелі, тощо.

Для визначення величини впливу цих факторів проведено експериментальне дослідження. Перед його початком у бункер змішувача при відкритому вихідному патрубку завантажувалася сипкий матеріалу. Положення ножа фіксувалось таким чином, щоб він захоплював зовнішній шар конуса матеріалу. Під час проведення експерименту положення ножа не змінювалось. На двигун тарелі подавалася постійна напруга, яка також залишалася сталою протягом проведення дослідження. Для визначення продуктивності фіксувались сигнали тензометричного датчика після того як живильник переходив в усталений режим роботи. Дослід повторювався для двох заданих положень ножа. Результати показані на рис. 2.

В обох випадках характер зміни продуктивності має чітко виражену періодичну складову, частота якої збігається із частотою обертання тарелі. Чисельна оцінка величини цих коливань здійснювалась на основі коефіцієнту пульсацій, який визначається за формулою:

$$k = \left( 1 - \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$  – середні мінімальні та максимальні значення продуктивності для кожного з періодів, відповідно.

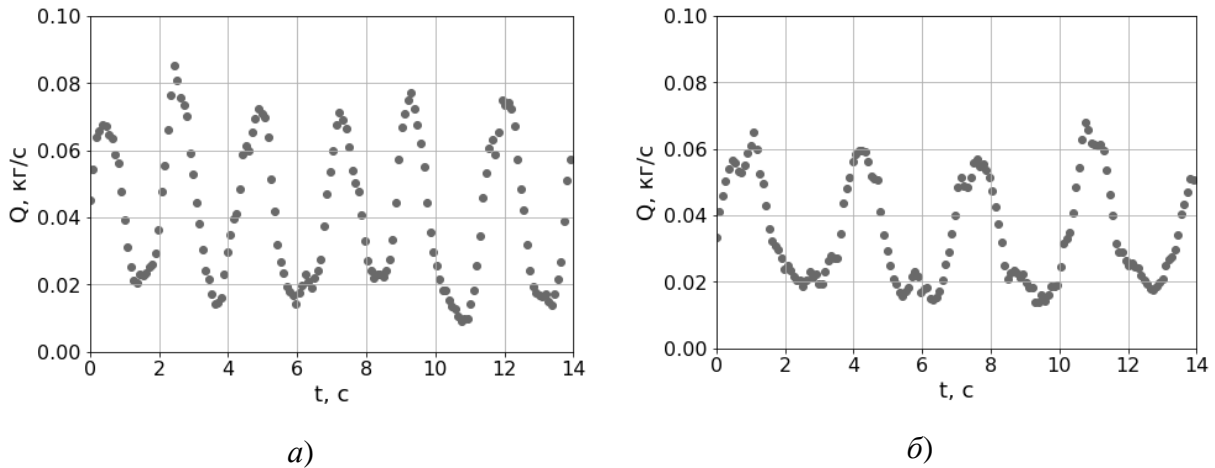


Рис. 2. Залежність величини продуктивності від часу для заданих відстаней від центру тарелі до кромки ножа: а) 73 мм; б) 80 мм

З метою аналізу отриманих результатів розраховано основні статистичні параметри та коефіцієнти пульсацій для обох дослідів. Результати розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження процесу дозування

Параметр	Дослід 1	Дослід 2
Відстань від центра тарелі до кромки ножа, м	0,073	0,080
Середнє значення продуктивності, кг/с	0,0414	0,0351
Середньоквадратичне відхилення	0,021	0,0157
Дисперсія	0,0004	0,0002
Коефіцієнт пульсацій, %	75,7	68

Отримані значення підтверджують гіпотезу про значні зміни у величині сил тертя, що виникають під час обертання тарелі. Ці зміни зумовлюють появу пульсацій продуктивності живильника, які негативно впливають на однорідність суміші, оскільки величини, частоти та фази цих пульсацій у живильників різних компонентів будуть не синхронізованими. В результаті не зважаючи на те, що середня величина продуктивності живильників відповідатиме заданій, відсотковий склад окремих об'ємів суміші може відрізнятись на величину коефіцієнту пульсацій.

### Висновки

- 1) Запропонований у роботі стенд для дослідження системи керування тарілчастим живильником безперервної дії дозволяє визначати параметри потоку сипкого матеріалу у процесі роботи.
- 2) Результати проведених досліджень свідчать, що у потоці матеріалу на виході живильника можуть виникати пульсації, які пов'язані із дією сил тертя на робочі органи обладнання та мають періодичний характер.
- 3) Коефіцієнт пульсацій продуктивності живильника становить 68-76%.
- 4) Зменшення величини пульсацій та підвищення якості кінцевого продукту вимагає створення замкненої системи керування приводом тарелі, яка дозволить підтримувати швидкість її обертання на заданому рівні не залежно від сил опору, що діють на неї.

### 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. Глобин А. Н. Дозаторы: монография / А. Н. Глобин, И. Н. Краснов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 384 с.
3. Біла Т. Я. Моделювання автоматизованої системи керування приводом тарілчастого дозатора сипких матеріалів / Т. Я. Біла, В. В. Стаценко // Вісник КНУТД. – 2010. – №6. – С.11-15.

### References

1. Statsenko, V.V., Burmistenkov, O.P. & Bila, T.Y. (2017). *Avtomatyizovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannya kompozycij sypkyx materialiv* [Automated complexes for the bulk materials continuous preparation]. Kyiv: Kyivskyy natsionalnyy universytet tehnologiy ta dyzaynu [in Ukrainian].
2. Globin, A.N. & Krasnov, I.N. (2016). *Dozatory* [Dispensers]: monohrafiya –M.-Berlin: Direct-Media [in Russian].
3. Bila, T.Y. & Statsenko, V.V. (2010). *Modelyuvannya avtomatyizovanoyi systemy keruvannya pryvodom tarilchastoho dozatora sypkyx materialiv* [Modeling an automated drive control system for a plate-shaped bulk material feeder]. *Visnyk Kyivskogo natsionalnogo universytetu tehnologiy ta dyzaynu* [in Ukrainian].

*Nychehlod Volodymyr*  
[petrobest008@ukr.net](mailto:petrobest008@ukr.net)  
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

**Стенд для исследования системы управления дозирующим оборудованием непрерывного действия**

**Ничеглод В. В., Стаценко В. В.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Исследование процесса дозирования сыпучего материала тарельчатым питателем непрерывного действия с целью определения факторов, позволяющих уменьшить величину пульсаций.

**Методика.** Используются известные методы математического моделирования и статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

**Результаты исследований.** Разработана конструкция стенда для исследования системы управления тарельчатым питателем непрерывного действия. Проведены экспериментальные исследования процесса дозирования сыпучего материала.

**Научная новизна.** Проведен анализ факторов, влияющих на параметры потока сыпучего материала на выходе тарельчатого питателя непрерывного действия. Определена величина пульсаций производительности питателя при различных режимах работы оборудования. Полученные результаты подтверждены экспериментальными исследованиями.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволят прогнозировать величину отклонений процентного состава смеси от заданной рецептуры. Предложены конструктивные изменения, которые позволят уменьшить величину пульсаций производительности питателя.

**Ключевые слова:** дозирование, питатель, система управления, сыпучий материал, процесс смешивания

**Test bench for continuous action dispensing equipment control system.**

**Nychehlog V., Statsenko V.**

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** Investigation of the dispensing bulk material process with a continuous action plate feeder in order to determine factors that can reduce the amount of ripple.

**Methodology.** The well-known mathematical modeling and statistical processing of the experimental studies results methods are used.

**Findings.** A test bench design has been developed for the study of a continuous disk drive control system. Experimental studies of the bulk material dosing process were carried out.

**Originality.** The analysis of factors affecting the bulk material flow parameters at the a continuous plate feeder output is carried out. The feeder performance ripple values are determined for various equipment operation modes. The results are confirmed by experimental studies.

**Practical value.** The results obtained will allow predicting the deviations magnitude of the mixture composition percentage from a given formulation. Design changes that will reduce the ripple values of the feeder performance are proposed.

**Keywords:** dispensing, feeder, control system, bulk material, mixing process