

УДК 621.867.4

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-24-06

Дячун А.Є., Дмитрів О.Р., Гевко Б.Р., Коваль С.О., Цапик Р.П.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті представлено розроблену на основі отриманих патентів України та виготовлену конструкцію експериментальної установки гвинтового конвеєра з обертовим кожухом для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів. Дослідний зразок гвинтового конвеєра з обертовим кожухом надає можливість зміни кута нахилу конвеєра з відповідними модифікаціями бункера, частоти та напрямку обертання гвинтового робочого органу та кожуха, а також дозволяє забезпечити швидку зміну гвинтових робочих органів різних конструкцій: звичайних, із змінним діаметром вала у зоні завантаження, із змінним кроком витків, гофрованих, з прорізами, з лопатями. Забезпечено можливість керування гвинтового конвеєра та збору експериментальних даних за допомогою ПК, частотних перетворювачів Altivar 71 та програмного забезпечення PowerSuite. Використання експериментальної установки дозволяє досліджувати: продуктивність гвинтового конвеєра при змішуванні сипких матеріалів, потужності приводів та крутні моменти на валах електродвигунів, величину моменту тертя, що виникає між кожухом та сипким матеріалом, коефіцієнт неоднорідності змішування сипких матеріалів.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, змішування, гвинтовий робочий орган, кожух, сипкий матеріал, експериментальна установка.

Постановка проблеми. Змішування сипких матеріалів є одним із найпоширеніших процесів харчової, хімічної, біохімічної промисловості, будівництва, аграрного виробництва тощо. Однією із тенденцій щодо підвищення економічної ефективності змішування сипких матеріалів є заміна окремих машин для змішування та переміщення таких матеріалів на гвинтові конвеєри-змішувачі, що одночасно забезпечують функції змішування, транспортування та розподілу сипких матеріалів [1-3].

Змішувачі на базі гвинтових конвеєрів порівняно із конструкціями альтернативних змішувачів неперервної дії характеризуються простотою конструкції, герметичністю, можливістю застосування в автоматизованих процесах, мають високу продуктивність а також можуть швидко перенастроюватись на різноманітні режими транспортування та змішування сипких матеріалів залежно від їх характеристик та необхідної якості змішування.

Одним із важливих завдань підвищення переваг гвинтових конвеєрів є забезпечення якісного об'ємного змішування компонентів та згладжування зміни їх концентрації внаслідок нерівномірного завантаження із бункера. Для підвищення параметрів цих показників порівняно із роботою типових тихохідних гвинтових конвеєрів, що поєднують операції транспортування та змішування виникає необхідність у модернізації конструкції гвинтових конвеєрів, зокрема зміною геометричних параметрів гвинтових робочих органів [4], додаванням обертового руху кожухові [5-8] та коливного руху шнекові [9].

Завданням модернізації гвинтових конвеєрів із додаванням нових елементів у їх конструкції та кінематиці є підвищення ефективності змішування сипких матеріалів за рахунок збільшення траєкторії переміщення частинок компонентів із зони завантаження до зони вивантаження без збільшення габаритних розмірів змішувачів.

Для визначення впливу модифікації гвинтових конвеєрів на траєкторію переміщення частинок окремих компонентів використано метод дискретних елементів [10-12], математичне моделювання [13-15] та експериментальні дослідження [16-17].

Ефективність процесу змішування гвинтовими конвеєрами залежить від їх конструктивних особливостей, зокрема від геометрії обмеженого об'єму, де проходить змішування, матеріалів робочих елементів, швидкості і часу змішування, властивостей сипких компонентів, що піддаються змішуванню, таких як розміри частинок, вологість, коефіцієнти тертя. Дослідження

впливу цих параметрів аналітичними методами є складними і не забезпечують достатньої точності, тому важливими є експериментальні дослідження із проектуванням і виготовленням установок гвинтових конвеєрів, зокрема із обертовими кожухами.

Основне завдання та одержані результати роботи. Метою роботи є розроблення та виготовлення конструкції експериментальної установки гвинтового конвеєра з обертовим кожухом для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів.

Однією із сучасних тенденцій проектування гвинтових конвеєрів є створення можливості транспортування з одночасним поєднанням різноманітних технологічних операцій оброблення сипких матеріалів. Серед таких операцій як калібрування, подрібнення, очищення, сепарація важливе місце займають процеси змішування різних сипких матеріалів, тому створення, виготовлення та дослідження прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів для забезпечення вказаного процесу є актуальним завданням.

На основі попередньо виконаного літературно-патентного пошуку та модифікованого морфологічного аналізу здійснено синтез та одержано патенти України на корисні моделі на декілька конструкцій гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами [18-22], що забезпечують одночасне транспортування та змішування сипких матеріалів. Для дослідження запропонованих конструкцій гвинтових конвеєрів спроектовано і виготовлено експериментальну установку.

Дослідний зразок гвинтового конвеєра з обертовим кожухом із можливістю зміни кута нахилу конвеєра, частоти та напрямку обертання гвинтового робочого органу та кожуха, зміни конструкції гвинтових робочих органів зображено на рисунках 1, 2, 3, 4 та 5.

Основним конструктивними елементами експериментального зразка гвинтового конвеєра (рис. 1, 2, 3, 4) є: базова рама 1, на якій нерухомо встановлено вісь 2. На вісі 2 розміщено два підшипникових вузли 3, що закріплені на рухомій рамі 4. Це дозволяє, обертаючи рухоми раму 4 на підшипникових вузлах 3 відносно осі 2, змінювати кут нахилу робочих органів конвеєра відносно горизонту.

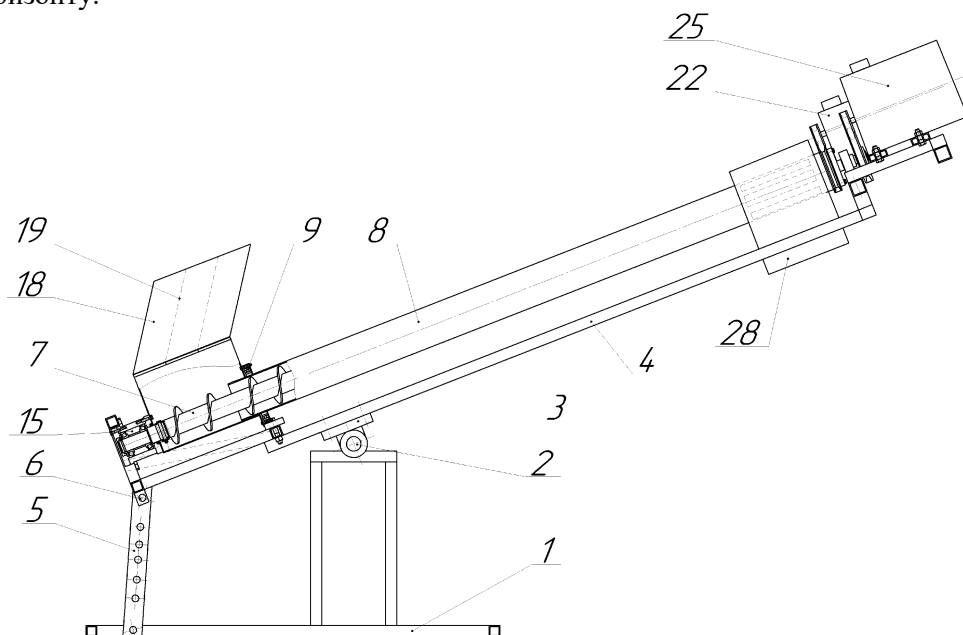


Рисунок 1– Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження процесу одночасного транспортування і змішування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром з обертовим кожухом

Фіксація кутового розміщення рухомої рами 4, що визначається план-матрицею проведення експериментальних досліджень, виконується за допомогою планки 5 та болтів 6, що встановлюються у отвори планки 5, рухомої рами 4 та базової рами 1.

Гвинтовий робочий орган 7 встановлено в середині обертового кожуха 8, що на двох підшипникових вузлах 9 та 10 розміщений на рухомій рамі 4. З верхньої та нижньої торцевої сторони гвинтового робочого органу за допомогою болтів 11 встановлено дві півосі 12 та 14. Це дозволяє швидко замінювати різні типи гвинтових робочих органів.

Нижня піввісь 12 встановлена у підшипниковому вузлі 15 із двома спареними конічними роликowymi підшипниками, що дозволяє протидіяти осьовим навантаженням на гвинтовий робочий орган. Підшипниковий вузол 15 жорстко приєднано до рухомої рами 4. Верхня піввісь 14 встановлена у підшипнику 16, що розміщений у шківі 17, який жорстко приєднано до обертового кожуха 8. Також можливий варіант розміщення верхньої піввісі 14 у підшипниковому вузлі, що приєднаний до рухомої рами 4.

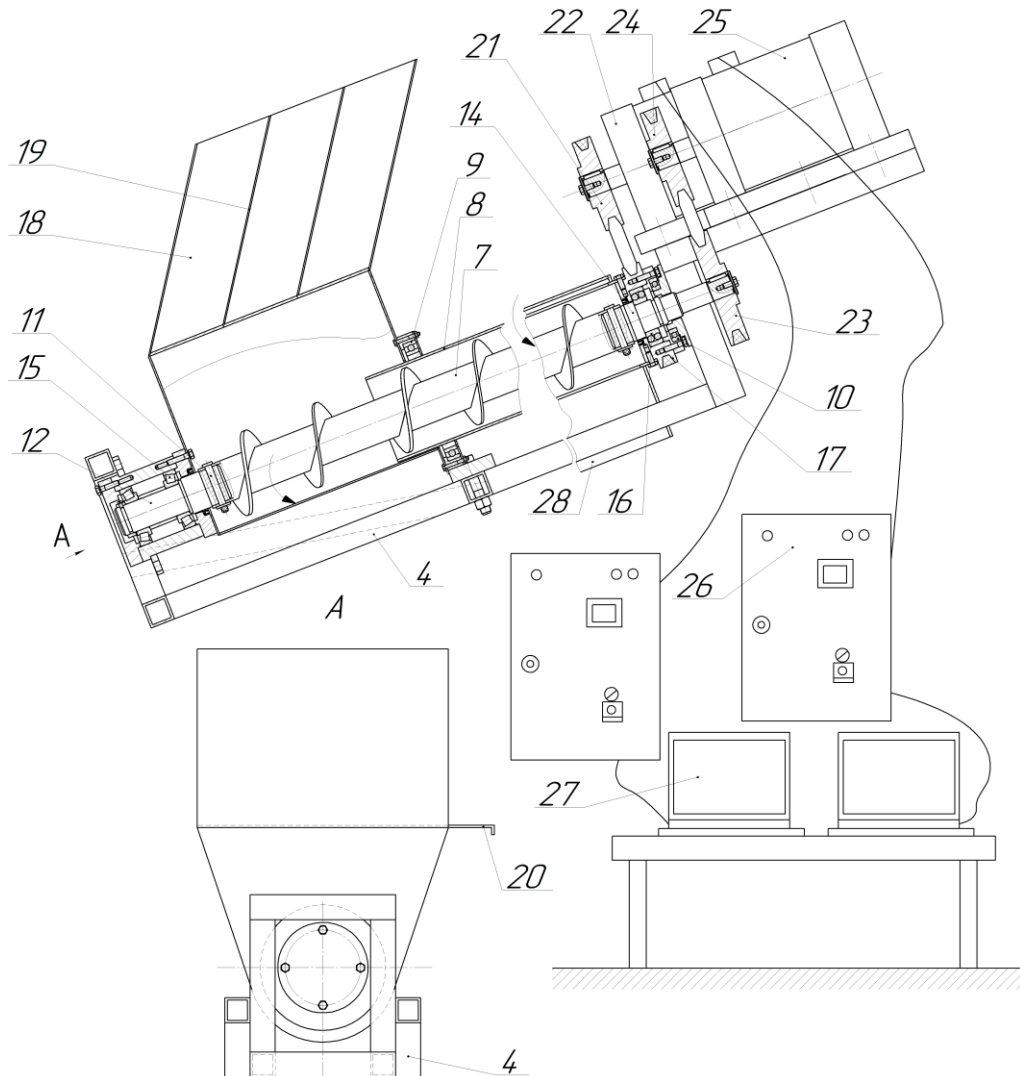


Рисунок 2 – Робочі органи експериментальної установки для дослідження процесу одночасного транспортування і змішування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром з обертовим кожухом

Для завантаження сипких матеріалів у конвеєр використано бункер 18 із радіусним дном, що жорстко закріплений на рухомій рамі 4. У бункері 18 встановлено перегородки 19, кількість яких та відстань між ними можна змінювати залежно від необхідної кількості різних сипких матеріалів, що піддаються одночасному транспортуванню та змішуванню. Для регулювання коефіцієнта завантаження конвеєра у бункері 18 також встановлені шибери 20, що дозволяють змінювати величину отворів пересипання матеріалів окремо для кожного з об'ємів між перегородками 19 бункера 18.

Для розвантаження конвеєра в межах патрубку 28 на обертовому кожусі 8 сформовано рівномірно розміщені по колу прямокутні пази.

Шків 17 обертового кожуха 8 через пасову передачу 21 приєднано до електродвигуна 22. На верхній піввісі 14 закріплено шків 23, що через пасову передачу 24 приєднано до електродвигуна 25.

До електродвигунів 24 та 25 за допомогою кабелів під'єднано два окремих перетворювачі 26 частоти струму (Altivar 71), що подається із мережі до електродвигунів. Керування роботою перетворювачів частоти струму, а відповідно і електродвигунами та конвеєром загалом здійснюється за допомогою двох ПК 27 з програмним забезпеченням PowerSuite.

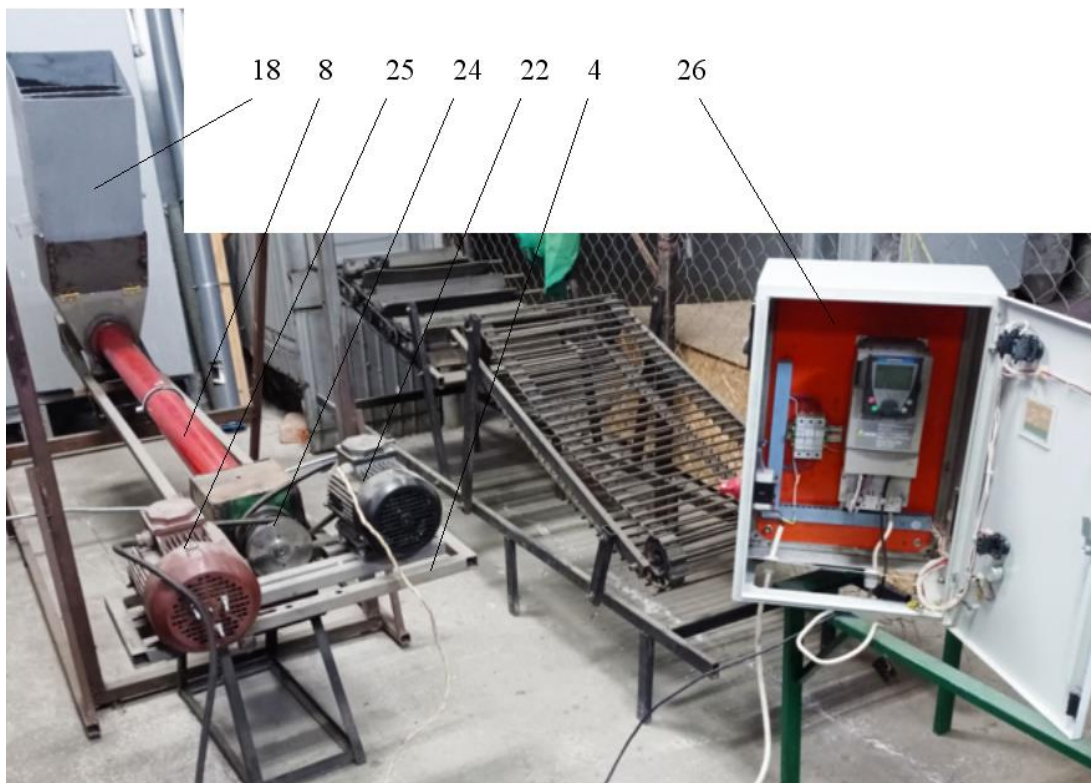


Рисунок 3 – Фото загального вигляду експериментальної установки

Застосування частотних перетворювачів 26 дозволяє плавно збільшувати та зменшувати частоти обертання кожуха 8 та гвинтового робочого органа 7 у широкому діапазоні, що забезпечує виконання досліджень відповідно до розробленої методики проведення експериментів.

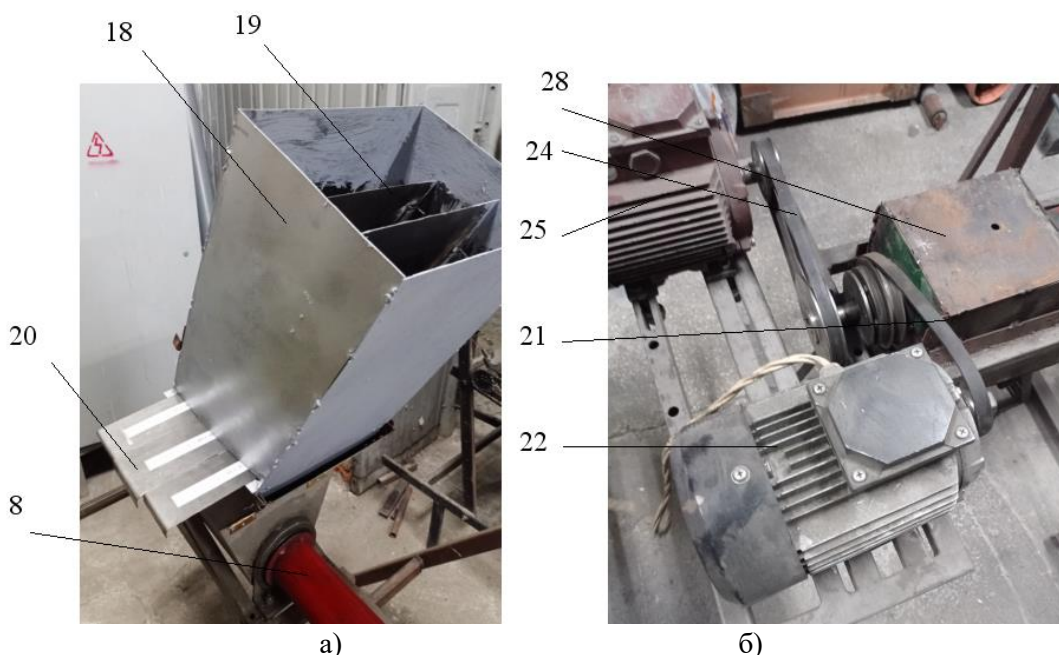


Рисунок 4 – Фото бункера а) та приводів б) експериментальної установки

Гвинтовий конвеєр працює у режимах транспортування вантажу із підвищеною продуктивністю при обертанні кожуха 8 проти напрямку обертання гвинтового робочого органу 7 та у режимі змішування сипких матеріалів із обертанням кожуха 8 у напрямку обертання гвинтового робочого органу 7.

Під час виконання експериментальних досліджень різні види сипкого матеріалу подавали між перегородками 19 бункера 18. При вмиканні електродвигунів 22 та 25 за допомогою гвинтового робочого органу 7 та обертового кожуха 8 відбувалось транспортування із одночасним змішуванням сипкого матеріалу вздовж кожуха 8 до парубка 28, звідки матеріал переміщувався у мірну тару. Керування режимами роботи двигунів 22 та 25 здійснювалось за допомогою ПК 26, частотних перетворювачів Altivar 71 та програмного забезпечення PowerSuite. В результаті одержували інформацію у вигляді чисельних даних, представлених графіками зміни потужності, що витрачається для транспортування та змішування сипких матеріалів, та крутних моментів на валах двох електродвигунів.

Продуктивність транспортування та змішування сипкого матеріалу визначали методом зважування матеріалу, що піддавався транспортуванню і змішуванню за визначений проміжок часу.

При проведенні експериментальних досліджень можливе використання різноманітних гвинтових робочих органів: звичайних, із змінним діаметром вала у зоні завантаження, із змінним кроком витків, гофрованих, з прорізами, з лопатями.

Використання експериментальної установки (рис. 1–4) дозволяє досліджувати:

1. Продуктивність гвинтового конвеєра при одночасному транспортуванні та змішуванні сипких матеріалів із обертанням кожуха в напрямку обертання гвинтового робочого органу або при його нерухомому стані.

2. Потужності приводів та крутні моменти на валах електродвигунів для забезпечення обертання кожуха та шнека при одночасному транспортуванні та змішуванні сипких матеріалів.

3. Величину моменту тертя, що виникає між кожухом та матеріалом, що піддається транспортуванню.

4. Моменти пуску електродвигунів приводів обертання кожуха та гвинтового робочого органу для різних комбінацій їх роботи.

5. Коефіцієнт неоднорідності змішування сипких матеріалів при роботі гвинтового конвеєра із обертанням кожуха в напрямку обертання гвинтового робочого органу або при його нерухомому стані.

Частота обертання гвинтового робочого органу становить від 0 до 1400 об/хв, частота обертання кожуха - від 0 до 700 об/хв. Кут нахилу гвинтового конвеєра від 0 до 90 градусів з відповідними модифікаціями бункера.

Величину моменту тертя, що виникає між кожухом та матеріалом, що піддається транспортуванню та змішуванню гвинтовим конвеєром можливо визначати за схемою, представленою на рис. 5. При обертанні гвинтового робочого органу конвеєра динамометричним ключем 1 вимірювали крутний момент, що виникає на обертовому кожуху 2 за допомогою важеля 3 із розміщеними на ньому мірними вантажами 4. Замість мірних вантажів також можна використовувати динамометр.



Рисунок 5 – Фото процесу визначення величини моменту тертя, що виникає між кожухом та матеріалом, що піддається транспортуванню та змішуванню гвинтовим конвеєром

Висновок. Представлено розроблену на основі отриманих патентів України та виготовлену конструкцію експериментальної установки гвинтового конвеєра з обертовим кожухом для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів. Дослідний зразок гвинтового конвеєра з обертовим кожухом надає можливість зміни кута нахилу конвеєра від 0 до 90 градусів з відповідними модифікаціями бункера, частоти та напрямку обертання гвинтового робочого органу від 0 до 1400 об/хв та кожуха - від 0 до 700 об/хв, а також дозволяє забезпечити швидку зміну гвинтових робочих органів різних конструкцій: звичайних, із змінним діаметром вала у зоні завантаження, із змінним кроком витків, гофрованих, з прорізами, з лопатями. Забезпечено можливість керування гвинтового конвеєра та збору експериментальних даних за допомогою ПК, частотних перетворювачів Altivar 71 та програмного забезпечення PowerSuite. Використання експериментальної установки дозволяє досліджувати: продуктивність гвинтового конвеєра при змішуванні сипких матеріалів, потужності приводів та крутні моменти на валах електродвигунів, величину моменту тертя, що виникає між кожухом та сипким матеріалом, коефіцієнт неоднорідності змішування сипких матеріалів.

Інформаційні джерела

1. Hewko V.M., Popovich P.V., Diachun A.Y., Lyashuk O.L., Liubachivskyi R.O. The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest/Romania, 2015. Vol. 47. No. 3. P. 156-163.
2. Рогатинський Р.М., Гевко Ів.Б., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р. Синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків, 2016. Вип. 168. С. 149-155.
3. Рогатинський Р.М., Гевко Ів.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. Тернопіль, 2014. 280 с.
4. Дячун А.Є., Ляшук О.Л., Котик Р.М., Михайлюк В.П., Гандзій В.С. Дослідження кінематики сипкого матеріалу у гвинтовому конвеєрі-змішувачі із обертовим кожухом та гофрованим шнеком. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2019. Вип. 198. С. 233-243.
5. Rogatynskyi R., Nevko I., Diachun A., Rogatynska O., Melnychuk A. The cargo movement model by the screw conveyor surfaces with the rotating casing. Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU, 2018. Vol. 92. No 4. P. 34-41.
6. Rohatynskyi R., Gevko I., Diachun A., Lyashuk O., Skyba O., Melnychuk A. Feasibility study of improving the transport performance by means of screw conveyors with rotary casings. Acta Technologica Agriculturae. Nitra/Slovak, 2019. Vol. 4. P. 141-146.
7. Гевко Ів.Б., Дячун А.Є., Мельничук А.Л., Золотий Р.З., Шуст І.М. Техніко-економічне обґрунтування підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2018. Вип. 190. С. 318-326.
8. Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Мельничук А.Л. Дослідження швидкостей зернового матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом графоаналітичним методом. Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2017. №38. С. 125-132.
9. Дячун А.Є., Чвартацький Р.І., Мельничук С.Л., Маруніч О.П. Дослідження кінематики вантажу у середньошвидкісному гвинтовому конвеєрі-змішувачі із осьовим коливанням шнека. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». Вінниця, 2017. №1(96). С. 181-186.
10. Jovanović A., Pezo L., Stanojlović S., Kosanić N., Lević L. Discrete element modelling of screw conveyor-mixers. Hemijska industrija. 2015. Vol. 69(1). P. 95-101.
11. Zhao R., Guo L., Gao W., Xiao X., Liu Y. Structure Optimization Design of Screw Conveyor based on EDEM. Journal of Physics: Conference Series. 2022. 2200. 012002.
12. Cai R., Hou Z., Zhao Y. Numerical study on particle mixing in a double-screw conical mixer. Powder Technol. 2019. 352. P. 193-208.

13. Гевко І.Б., Вітровий А.О., Гурик О.Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Луцьк, 2001. Вип. 8. С. 72-82.

14. Рогатинський Р., Гевко І., Рогатинська Л. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. Вісник ТНТУ. 2013. № 1 (69). С. 116–125.

15. Гевко І. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. Вісник ТНТУ. Тернопіль, 2011. № 1 (16). С. 69-77.

16. Senda S., Renanto, Roesyadi A., Sumaryono W., Bindar Y. The Power Consumption Performance of an Orbiting Screw Solid-Solid Mixer. ITB J. Eng. Sci. 2012. Vol. 44. No. 3. P. 287-302.

17. Pezo L.L., Pezo M., Terzic' A., Jovanovic' A.P., Loncar B., Govedarica D., Kojic' P. Experimental and Discrete Element Model Investigation of Limestone Aggregate Blending Process in Vertical Static and/or Conveyor Mixer for Application in the Concrete Mixture. Processes. 2021. 9. 1991.

18. Стенд для дослідження характеристик гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом: пат. 154547 Україна: МПК В65G 33/08 (2006.01). № u202301799; заявл. 18.04.2023; опубл. 22.11.2023, Бюл. №47. 4 с.

19. Стенд для дослідження характеристик гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом: пат. 154996 Україна: МПК В65G 33/08 (2006.01). № u202302289; заявл. 15.05.2023; опубл. 10.01.2024, Бюл. №2. 3 с.

20. Гвинтовий конвеєр-змішувач з обертовим кожухом: пат. 154380 Україна: МПК В65G 33/08 (2006.01). № u202302288; заявл. 15.05.2023; опубл. 09.11.2023, Бюл. №45. 4 с.

21. Гвинтовий конвеєр-змішувач з обертовим кожухом: пат. 154025 Україна: МПК В65G 33/08 (2006.01). № u202301805; заявл. 18.04.2023; опубл. 27.09.2023, Бюл. №39. 3 с.

22. Гвинтовий змішувач з обертовим кожухом: пат. 137347 Україна: МПК В65G 33/08 (2006.01). № u201905473; заявл. 21.05.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. №19. 3 с.

Diachun A.Y., Dmytriv O.R., Hevko B.R., Koval S.O., Tsapyk R.P.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

EXPERIMENTAL AUTOMATED EQUIPMENT OF THE SCREW CONVEYOR WITH THE ROTATING CASING FOR BULK MATERIALS MIXING

The article presents the design of the experimental equipment of the screw conveyor with the rotating casing developed on the basis of the received patents of Ukraine and manufactured for the study and selection of rational parameters of the simultaneous transportation and mixing of bulk materials. The experimental sample of the screw conveyor with the rotating casing provides the possibility of changing the conveyor inclination angle with the corresponding modifications of the hopper, the frequency and direction of the screw working body and the casing rotation, and also allows for quick change of the screw working bodies of various designs: conventional, with a variable diameter of the shaft in the loading area, with a variable pitch of flights, corrugated, with slots, with blades. The ability to control the screw conveyor and collect experimental data using the PC, Altivar 71 frequency converters, and PowerSuite software is provided. The use of an experimental equipment allows to study: the productivity of the screw conveyor when mixing bulk materials, the power of drives and torques on the electric motors shafts, the magnitude of the friction torque that occurs between the casing and the bulk material, the coefficient of inhomogeneity of the bulk materials mixing.

Keywords: screw conveyor, mixing, screw working body, casing, bulk material, experimental equipment.