

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.86

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).11-21](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).11-21)В. З. Гудь¹, доц., д-р техн. наук, А. Г. Никитюк¹, А. Є. Боровік², А. О. Головатий³¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: vic_g@ukr.net²Приазовський державний технічний університет, м. Дніпро, Україна³Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Експериментальна установка для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами

У статті представлено розроблену та виготовлену конструкцію експериментальної установки для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами. Розроблена установка для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами включає трисекційний бункер, який дозволяє проводити дослідження неоднорідності змішування двох- та трьохкомпонентних сумішей, і має можливість регулювати швидкість просипання окремих компонентів. Також експериментальна установка надає можливість зміни кута нахилу вітки гвинтового конвеєра в межах від 0 до 60 град., частоту обертання гвинтового робочого органу в межах від 0 до 1400 об/хв., а також дослідження якості змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами оснащених додатковими елементами, зокрема Г-подібними елементами висотою 10, 20 та 30 мм. Конструкція експериментальної установки оснащена перетворювачем частоти Altivar 71, з допомогою якого надано можливість керування частотою обертання шнека оснащеного змішувальними елементами та збору необхідних дослідних даних в ПК. Керування частотним перетворювачем Altivar 71 відбувається з ПК за використання програмного забезпечення PowerSuite. Використання експериментальної установки для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами оснащеної частотним перетворювачем Altivar 71 дозволяє досліджувати продуктивність процесу одночасного транспортування-змішування сипких матеріалів, витрати потужності приводу, обертовий момент на валу електродвигуна установки, а також після проведених вимірів, коефіцієнт неоднорідності отриманих сумішей.

експериментальна установка, дослідження, перетворювач частоти, параметри, процес, змішування, шнек, гвинтовий робочий орган, додаткові елементи

Постановка проблеми. Гомогенізація сипких середовищ є фундаментальним технологічним процесом у харчовій, хімічній, будівельній та аграрній галузях промисловості. Сучасним вектором підвищення техніко-економічної ефективності даного процесу є інтеграція операцій перемішування та переміщення шляхом впровадження гвинтових конвеєрів-змішувачів. Зазначене обладнання виконує подвійну функцію: забезпечення заданого вектора переміщення вантажу та інтенсифікацію міжкомпонентної дифузії. У даному обладнанні гвинтові робочі органи (ГРО) широко застосовуються як автономні агрегати або елементи автоматизованих ліній для маніпуляцій із сипкими, в'язкими та штучними матеріалами. Режим експлуатації ГРО передбачають як суміщення транспортно-технологічних циклів, так і реалізацію виключно процесу гомогенізації. Розробка та оптимізація конструктивних

параметрів ГРО, що забезпечують високий ступінь однорідності суміші за мінімальних енерговитрат, вимагає застосування системного аналізу та обов'язкової верифікації результатів шляхом експериментальних досліджень.

Модернізація гвинтових конвеєрів шляхом імплементації інноваційних конструктивних елементів спрямована на інтенсифікацію процесу гомогенізації сипких середовищ. Встановлення кореляції між модифікаціями робочих органів та якісними показниками змішування винятково аналітичними методами є утрудненим через високу складність математичного моделювання багатофазних систем, що не дозволяє досягти необхідної прогностичної точності. З огляду на це, пріоритетного значення набуває проведення натурних експериментальних досліджень із застосуванням спеціалізованих стендових установок. Проектування та апробація таких стендів дозволяють здійснити верифікацію теоретичних положень, а також встановити раціональні конструктивно-кінематичні параметри гвинтових робочих органів, оснащених додатковими елементами-інтенсифікаторами, для оптимізації суміщених процесів транспортування та змішування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням проектування та аналізу різноманітних модифікацій гвинтових змішувачів присвячено численні наукові праці. Значна частина досліджень спрямована як на розроблення та апробацію нових конструктивних рішень [3, 5, 13, 17, 20, 23–30], так і на теоретико-експериментальне вивчення особливостей їх функціонування [3, 5, 13, 17, 20, 23–30]. Зокрема, методологічні засади створення нових гвинтових робочих органів висвітлено у роботах Р. Рогатинського [15, 17, 19–22, 25, 26, 31, 32], І. Гевка [1–14, 16–32], О. Ляшука [10, 11], В. Васильківа [1] та інших дослідників. Натомість аналіз робочих процесів, математичне моделювання та визначення раціональних параметрів експлуатації змішувачів представлені у працях Б. Гевка [15], Р. Рогатинського [15, 17, 19–22, 25, 26, 31, 32], М. Пилипця [15, 16, 18], І. Гевка [2, 3, 7, 13, 14, 17, 19–22], О. Ляшука [24–30], Д. Дмитріва [14, 21, 22], О. Гурика [2, 7].

Незважаючи на значний обсяг напрацювань, специфіка вимог до процесу перемішування у різних галузях (аграрний сектор, фармація, будівництво, харчова промисловість) зумовлює необхідність подальшої модернізації обладнання. У цьому контексті актуальною науково-практичною задачею є розроблення та комплексне експериментальне дослідження гвинтових транспортерів-змішувачів, оснащених інтенсифікуючими додатковими елементами.

Метою роботи є опис конструкції розробленої та виготовленої експериментальної установки для дослідження і вибору раціональних параметрів процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами.

Виклад основного матеріалу. Гвинтові конвеєри класифікуються як багатофункціональне обладнання, що застосовується не лише для горизонтального та похилого транспортування штучних, кускових, сипких і в'язких вантажів, а й для реалізації супутніх технологічних процесів. Зокрема, конструктивні особливості робочих органів дозволяють використовувати дані механізми як гвинтові змішувачі, що забезпечують гомогенізацію багатокомпонентних сипких і в'язких середовищ безпосередньо в процесі їх переміщення. З метою створення конструкцій таких засобів, які б відповідали найвищим вимогам, необхідно проводити розроблення, виготовлення та дослідження їх експериментальних взірців, що дозволяє здійснювати вибір раціональних конструкцій і параметрів спеціальних гвинтових елементів. До таких спеціальних гвинтових елементів також відносяться конструкції гвинтових робочих органів з додатковими елементами, які забезпечують ефективне змішування окремих компонентів. Для експериментального дослідження останніх нами розроблено і виготовлено експериментальну установку, опис якої представлено далі.

На рис. 1 зображено експериментальну установку для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами, яка забезпечує фіксацію досліджуваних характеристик при виконанні експериментів, ефективне дозування точного об'ємного співвідношення змішувальних компонентів і можливість заміни гвинтових елементів в процесі дослідження. Зокрема на рис. 1. а зображено конструктивну схему установки, а на рис. 1. б її загальний вигляд.

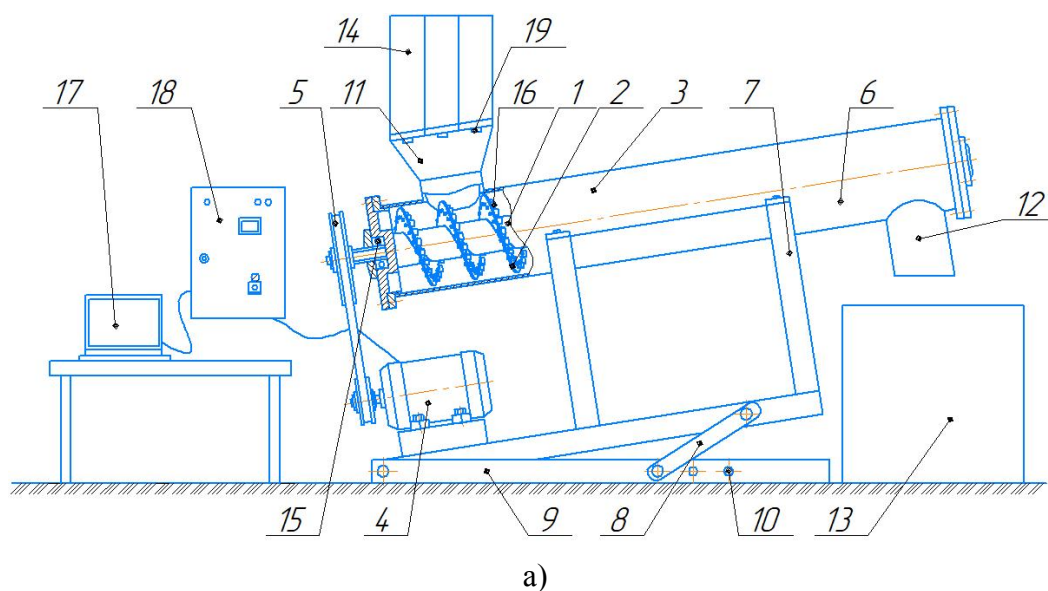


Рисунок 1 - Конструкція експериментальної установки для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами:

а) конструктивна схема; б) загальний вигляд

Джерело: розроблено авторами

Експериментальна установку для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами виконана у вигляді вала 1 з гвинтом 2, які розміщені в кожусі 3 з можливістю кругового провертання і які з'єднано з електродвигуном 4 за допомогою пасової передачі 5. Нижню частину кожуха 6 жорстко з допомогою болтового з'єднання закріплюють на поворотній рамі 7, на якій, також, закріплено електродвигун 4. Поворотна рама 7 шарнірно із можливістю кутового провертання з однієї сторони, та фіксацією з іншої сторони за допомогою регульовальної опори 8, закріплена на базовій рамі 9. Для регулювання кута нахилу поворотної рами 7 у нижній частині базової рами 9 виконані отвори 10, в яких здійснюється фіксація регульовальної опори 8. Регульовальна опора 8 з іншої сторони з можливістю кругового обертання закріплена до нижньої частини поворотної рами 7. Вона надає можливість зміни кута нахилу кожуха 3 в межах від 0 до 60 град. Зі сторони розташування електродвигуна 4 у верхній знімній частині кожуха 3 закріплений завантажувальний бункер 11 (рис. 2). З іншої сторони кожуха 3 у його нижній частині розташований вивантажувальний патрубок 12, під яким встановлена місткість для відбору досліджуваного матеріалу 13. Над завантажувальним бункером 11 розташований додатковий бункер регульованої подачі компонентів 14, який жорстко закріплений до завантажувального бункера 11. Вал 1 встановлено в підшипникових опорах 15, які закріплені по обох боках кожуха 3. Також, вал 1 (рис. 3) включає жорстко закріплений гвинт 2, на якому в отворах закріплюються додаткові елементи 16 для інтенсифікації міжкомпонентної дифузії (рис. 4). Довжина вала 1 з гвинтом 2 перекидає відстань від завантажувального бункера 11 до вивантажувального патрубку 12.



Рисунок 2 –
Завантажувальний
бункер



Рисунок 3 – Гвинтовий робочий орган оснащений досліджуваними
додатковими елементами в підшипниковій опорі

Джерело: розроблено авторами

Керування електродвигуном 4 здійснюється з персонального комп'ютера 17 через перетворювач частоти обертання двигуна 18 (рис. 5).



Рисунок 4 – Гвинтовий робочий орган з досліджуваними
додатковими елементами

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 5 – Перетворювач
частоти

На гвинтовий робочий орган з додатковими елементами, який виготовлено для дослідження на розробленій установці (рис. 3 і рис. 4), отримано патент на корисну модель України за № 161908 (рис. 6), а на саму установку підготовлено заявку на винахід. Самі додаткові елементи 16 є різної величини, а саме з полицьками 10, 20 та 30 мм, і можуть закріплюватись на гвинту 2 під різним кутом. Основні конструктивні параметри досліджуваного гвинтового робочого органу з додатковими елементами є наступними: діаметр шнека – 96 мм (відповідно кожуха зовнішній – 106 мм і внутрішній – 100 мм); висота шнека – 25 мм; крок шнека – 62 мм; кількість витків на шнеку – 12,5; кількість додаткових Г-подібних елементів – 33.

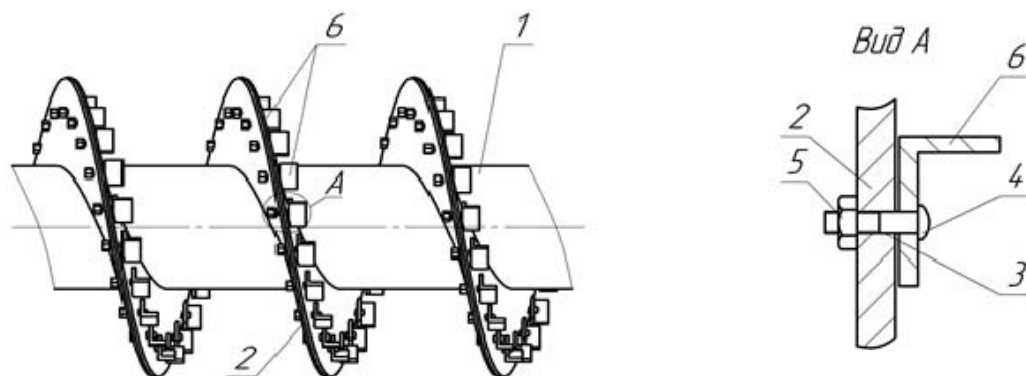


Рисунок 6 – Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів (пат. України № 161908):

1 - вал; 2 – гвинт; 3 – кріпильні отвори; 4 – кріпильні гвинти; 5 – гайки; 6 - елементи Г-подібної форми
Джерело: розроблено авторами

Для підвищення точності та достовірності результатів експериментальних досліджень з використанням експериментальної установки для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами до її складу введено перетворювач частоти обертання двигуна 18 марки ALTINAR-71. Керування параметрами електропривода здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Power Suite (версія 2.3.0). Використання вказаного програмного забезпечення на персональному комп'ютері 17 дозволяє в автоматизованому режимі встановлювати та регулювати частоту обертання вала електродвигуна 4. Система забезпечує плавне варіювання кутової швидкості в діапазоні 0–1480 об/хв. Програмно-апаратний комплекс дозволяє в реальному часі фіксувати енергетичні показники та величини обертальних моментів залежно від навантаження. Результати вимірювань експортуються у вигляді табличних даних та графічних залежностей для подальшого аналізу на моніторі персонального комп'ютера 17. Функціональні можливості робочого термінала перетворювача частоти обертання двигуна 18 забезпечують візуалізацію експлуатаційних характеристик, електричних величин, робочих параметрів та діагностику системних несправностей. Інтерфейс термінала дозволяє здійснювати конфігурування параметрів персонального комп'ютера 17, реалізувати локальне керування перетворювачем за допомогою клавіатури, а також забезпечує архівацію та відновлення налаштувань у енергонезалежній пам'яті.

Методика проведення експериментальних з використанням установки для дослідження характеристик гвинтових спіралей, оснащених додатковими елементами 16 для інтенсифікації міжкомпонентної дифузії полягає в наступному. Перед проведенням експериментальних досліджень транспортно-змішувальних характеристик відповідних гвинтових спіралей гвинт 2 поза межами установки оснащують відповідними додатковими елементами 16 для інтенсифікації міжкомпонентної дифузії (рис. 5). Далі вал 1 з гвинтом 2 оснащеним додатковими елементами 21 вставляють у кожух 3 і закріплюють у ньому в підшипникових опорах 15. Далі поворотну раму 7

провертають на необхідний кут відносно базової рами 9 і за допомогою регулювальної опори 8 фіксують на базовій рамі 9 в одному з отворів 10. Потім проводять завантаження додаткового бункера регульованої подачі компонентів 14 необхідними для дослідження компонентами.

Наступним етапом є запуск електродвигуна 4 в потрібному напрямку з потрібною частотою обертання через перетворювач частоти обертання двигуна 18 з персонального комп'ютера 17, що забезпечує передачу обертового руху через пасову передачу 5 на вал 1 з гвинтом 2. Після цього з додаткового бункера регульованої подачі компонентів 14 здійснюють гравітаційне вивантаження необхідних для дослідження компонентів у необхідній пропорції до завантажувального бункера 11 з допомогою шиберів вимірювання подачі компонентів 19 (рис. 7), якими його оснащено у його нижній вивантажувальній частині. Причому, до проведення експериментальних досліджень проводять заміри витікання окремих компонентів з окремих відсіків бункера регульованої подачі компонентів 14 при різних значеннях відкриття шиберів. Із завантажувального бункера 11 ці компоненти гвинтом 2, змішуючись, переміщуються по кожусі 3 до вивантажувального патрубку 12, з якого потрапляють у місткість для відбору досліджуваного матеріалу 13.

Після проведення комплексу експериментів проводять фіксацію даних про витрати енергії та величину обертового моменту, які поступають з перетворювача частоти обертання двигуна 18 у персональному комп'ютері 17, а також проводять відбір необхідних зразків (проб) змішаних компонентів з місткості для відбору досліджуваного матеріалу 13.



Рисунок 7 - Бункер регульованої подачі компонентів оснащений шиберами вимірювання подачі компонентів

Джерело: розроблено авторами

За необхідності процес повторюють стільки разів, скільки необхідно для досягнення заданої довжини транспортування. Також слід відмітити, що при проведенні з допомогою розробленої установки експериментальних досліджень транспортно-змішувальних характеристик гвинта 2, оснащеного відповідними додатковими елементами 16, гвинт 2 можна використовувати з різними конструктивними параметрами, такими, як крок, товщина витка, висота витка.

До переваг розробленої та виготовленої експериментальної установки для дослідження ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими елементами відноситься забезпечення фіксації досліджуваних характеристик при виконанні експериментів, ефективне дозування точного об'ємного співвідношення змішувальних компонентів і можливість заміни гвинтових елементів в процесі дослідження.

Висновок. В роботі представлено опис і характеристики розробленої та виготовленої конструкції експериментальної установки, призначеної для дослідження процесу одночасного транспортування та змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами з додатковими інтенсифікуючими елементами. Установка дозволяє обґрунтувати раціональні параметри функціонування обладнання та оцінити ефективність змішування багатокомпонентних сумішей. Вона включає трисекційний бункер, який дозволяє проводити дослідження неоднорідності змішування двох- та трикомпонентних сумішей, і має можливість регулювати швидкість просипання окремих компонентів. Також експериментальна установка надає можливість зміни кута нахилу вітки гвинтового конвеєра в межах від 0 до 60 град., частоту обертання гвинтового робочого органу в межах від 0 до 1400 об/хв., а також дослідження якості змішування сипких матеріалів гвинтовими робочими органами, оснащеними додатковими елементами, зокрема Г-подібними елементами висотою 10, 20 та 30 мм. Конструкція експериментальної установки оснащена перетворювачем частоти Altivar 71, з допомогою якого надано можливість керування частотою обертання шнека оснащеного змішувальними елементами та збору необхідних дослідних даних в ПК. Керування частотним перетворювачем Altivar 71 відбувається з ПК за використання програмного забезпечення PowerSuite, що дозволяє досліджувати продуктивність процесу одночасного транспортування-змішування сипких матеріалів, витрати потужності приводу, обертовий момент на валу електродвигуна установки, а, також, після проведених вимірів, коефіцієнт неоднорідності отриманих сумішей.

Список літератури

1. Васильків В.В., Гевко І.Б., Бабарика С.Ф. Синтез нових конструкцій гвинтових робочих органів машин внесення твердих органічних добрив. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. №2. С. 170-173.
2. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Визначення динамічних навантажень у гвинтовому змішувачі. *Вісник НУ «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2002. № 442. С. 90–93.
3. Гевко І.Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*. 2011. Том 16, № 1. С. 69-77.
4. Гевко І., Любачівський Р., Дячун А. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. 2012. № 16. С. 237 – 246.
5. Гевко І.Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук, спец. 05.20.01 «Механізація сільськогосподарського виробництва». Луцьк, 1997. 18 с.

6. Гевко І.Б. Структурний синтез імпульсних запобіжних муфт і шнеків методом морфологічного аналізу. *Вісник ТНТУ*. 2012. № 3(67). С. 121-134.
7. Гевко І.Б., Вітровий А.О., Гурик О.Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 2001. Вип. 8. С. 72-82.
8. Гевко І.Б., Гудь В.З. Синтез гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2(33). С. 25-33.
9. Гевко І.Б., Дячун А.Є., Любачівський Р.О. Структурний синтез гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями методом морфологічного аналізу. *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт*. 2012. Вип. 128/2012. С. 37 – 41.
10. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Клендій В.М. Синтез гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 112 – 121.
11. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Пік А.І., Марчук Н.М., Маруніч О.П. Синтез гвинтових транспортерів-змішувачів. *Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей*. 2020. Вип. 45. С. 35-44.
12. Гевко Ів., Довбуш Т., Цюнь О., Довбуш А., Станько А. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх досліджень. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 2021. Вип. 47. С. 63-72.
13. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження./ Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З. та ін. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
14. Дмитрів Д.В., Гевко І.Б., Левенець В.Б. Надійність роботи шнеково-гвинтових змішувачів. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 2007. Вип. 16. С. 62-74.
15. Механізми з гвинтовими пристроями. / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін. Львів: Світ, 1993. 208 с.
16. Пилипець М. І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з пружним валом для гнучких гвинтових конвеєрів. *Вісник НУ «Львівська політехніка»: «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні»*. 2000. № 412. С. 84–91.
17. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження./ Рогатинський Р.М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., та ін. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
18. Пилипець М. І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з секційними елементами для гнучких гвинтових конвеєрів. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 1999. Вип. 5. С. 207–217.
19. Рогатинський Р.О., Гевко І.Б., Рогатинська Л.Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 116–125.
20. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.
21. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатково-гвинтового змішувача. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 2000. Вип. 6. С. 129-135.
22. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В., Гудь В.З., Дмитрів О.Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. стат.* 2020. Вип. 45. С. 84-93.
23. Hevko I.B., Dyachun A.Ye., Hud V.Z., Rohatynska L.R., Klendiy V.M. Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, 2015, Vol. 45, № 1, c. 77-86.
24. Hevko I.B., Lyashuk O.L., Leshchuk R.Y., Rogatynska L.R., Melnychuk A.L. Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, 2016, Vol. 48, № 1, c. 35-42.
25. Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyer with Hinge-Pan Operating Device. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskyi, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Volodymyr Kobelnyk. Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169-182.
26. Research in resonant oscillations of the telescopic screw – granular media system caused by external periodic forces. *INMATEH - Agricultural Engineering*. V. Hud, R. Rogatynskyy, Iv. Hevko, O. Lyashuk, A. Pic, O. Huryk. Polytechnic University of Bucharest, 2020, Vol. 60, № 1, P. 29-36.

27. Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. O. L., Lyashuk; I. B., Hevko; V. Z., Hud; I. G., Tkachenko; O. V., Hevko; M. O., Sokol; O. P., Tson; V. R., Kobelnyk; D. Z., Shmatko; A. I., Stanko. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2022, Vol. 68, № 3, P. 499-510.
28. Research of resonance vibrations of the system "Telescopic screw is a bulk medium" caused by torsional vibrations. V. Hud, I. Hevko, O. Lyashuk, O. Hevko, M. Sokil, I. Shust. Karaganda, 2020, № 2 (98), Ст. 119-126.
29. Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. Karaganda State University Publishing house. I. Hevko, O. Lyashuk, M. Sokil, L. Slobodian, V. Hud, Yu. Vovk. Karaganda, 2019, № 2 (94), Ст. 73-81.
30. Hud V., Lyashuk O., Hevko I., Ungureanu N., Vlăduț N.-V., Stashkiv M., Hevko O., Pik A. Enhancement of Agricultural Materials Separation Efficiency Using a Multi-Purpose Screw Conveyor-Separator. *Agriculture*, 2023. Vol. 13, № 4. P. 870. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>.
31. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів : пат. 161908 Україна : МПК B21D 11/06 / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, А. Є. Дячун, А. О. Брикса, Н. А. Антончак, А. Г. Никитюк, В. В. Мартинюк ; заявник Україна. № u202503401 ; заявл. 14.07.2025 ; опубл. 14.01.2026, Бюл. № 2.

References

1. Vasylykiv, V.V., Hevko, I.B., & Babaryka, S.F. (2009). Synthesis of new designs of screw working bodies of machines for applying solid organic fertilizers. *Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 170-173 [in Ukrainian].
2. Hevko, I.B., & Guryk, O.Ya. (2002). Determination of dynamic loads in a screw mixer. *Bulletin of Lviv Polytechnic University: Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering*, 442, 90–93 [in Ukrainian].
3. Hevko, I.B. (2011). Modeling of the nature of the load on the screw working bodies. *Bulletin of TNTU*, Vol. 16, No. 1, 69-77 [in Ukrainian].
4. Hevko, I., Lyubachivskyi, R., & Dyachun, A. (2012). Synthesis of mixers with screw working bodies. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research*, 16, 237-246 [in Ukrainian].
5. Hevko, I.B. (1997). *Development and research of low-frequency devices for performing technological processes with flexible screw conveyors*. Extended abstract of candidate's thesis. Lutsk [in Ukrainian].
6. Hevko, I.B. (2012). Structural synthesis of impulse safety couplings and screws by the method of morphological analysis. *Bulletin of TNTU*, 3(67), 121-134 [in Ukrainian].
7. Hevko, I.B., Vitrovyi, A.O. & Guryk, O.Ya. (2001). A dynamic model of the process of transporting loose materials by a screw conveyor. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, Issue 8, 72-82 [in Ukrainian].
8. Hevko, I.B., & Gud, V.Z. (2019). Synthesis of screw conveyors with the possibilities of technological transformation and mobile change of the trajectory of material overload. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 2(33), 25-33 [in Ukrainian].
9. Hevko, I.B., Dyachun, A.E., & Lyubachivskyi, R.O. (2012). Structural synthesis of screw conveyors with advanced technological capabilities by the method of morphological analysis. *Bulletin of SevNTU: coll. of science Ave. Series: Mechanical engineering and transport*, 128/2012, 37-41 [in Ukrainian].
10. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., & Klendiy, V.M. (2014). Synthesis of screw conveyors with flexible working bodies. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research*, 18, 112 – 121 [in Ukrainian].
11. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Peak, A.I., Marchuk, N.M., & Marunych, O.P. (2020). Synthesis of screw conveyors-mixers. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, 45, 35-44 [in Ukrainian].
12. Hevko, I., Dovbush, T., Tsyon, O., Dovbush, A., & Stanko, A. (2021). Synthesis of helical working bodies with elastic surfaces and the results of their research. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, 47, 63-72 [in Ukrainian].
13. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Gud, V. Z., Dmytriv, O. R., Dubynyak, T. S., Navrotska, T. D., & Kruglik, O. A. (2019). Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental research. Ternopil: FOP Palyanitsa V. A. [in Ukrainian].
14. Dmytriv, D.V., Hevko, I.B., & Levenets, V.B. (2007). Reliability of screw-screw mixers. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, 16, 62-74 [in Ukrainian].
15. Hevko, B.M., Danylchenko, M.G., Rohatynskyi, R.M. et al. (1993). *Mechanisms with screw devices*. Lviv: Svit [in Ukrainian].

16. Pylypets, M.I., Hevko, I.B., & Vitrovyi, A.O. (2000). Optimization of the working body with an elastic shaft for flexible screw conveyors. *Bulletin of Lviv Polytechnic University: "Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering"*, 412, 84–91 [in Ukrainian].
17. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Gud, V.Z., Dyachun, A.E., Melnychuk, A.L., & Slobodian, L.M. (2019). *Prospective screw conveyors: designs, calculation, research*. Ternopil: FOP Palyanytsia V. A. [in Ukrainian].
18. Pylypets, M.I., Hevko, I.B., & Vitrovyi, A.O. (1999). Optimization of the working body with sectional elements for flexible screw conveyors. *Agricultural machines: Collection of scientific articles*, 5, 207–217 [in Ukrainian].
19. Rohatynskiy, R.O., Hevko, I.B., & Rohatynska, L.R. (2013). Optimization of parameters of screw transport and technological systems. *Bulletin of TNTU*, 1 (69), 116–125 [in Ukrainian].
20. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., & Dyachun, A.E. (2014). *Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms*. Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU [in Ukrainian].
21. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., & Dmytriv, D.V. (2000). Modeling the operation of a small-sized blade-screw mixer. *Agricultural machinery. Collection of scientific articles*, 6, 129–135 [in Ukrainian].
22. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., Dmytriv, D.V., Gud, V.Z., & Dmytriv, O.R. (2020). Modeling of mixing of components by screw conveyors-mixers. *Agricultural machinery. Collection of scientific articles*, 84–93 [in Ukrainian].
23. Hevko, I.B., Dyachun, A.Ye., Hud, V.Z., Rohatynska, L.R., & Klendiy, V.M. (2015). Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, Vol. 45, № 1, pp. 77–86.
24. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Leshchuk, R.Y., Rogatynska, L.R., & Melnychuk, A.L. (2016). Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, Vol. 48, № 1, pp. 35–42.
25. Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyor with Hinge-Pan Operating Device. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskiy, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Volodymyr Kobelnyk. *Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169–182.
26. Hud, V., Rogatynskyy, R., Hevko, Iv., Lyashuk, O., Pic, A., & Huryk, O.. (2020). Research in resonant oscillations of the telescopic screw – granular media system caused by external periodic forces. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, Vol. 60. № 1. pp. 29–36.
27. Lyashuk, O. L., Hevko, I. B., Hud, V. Z., Tkachenko, I. G., Hevko, O. V., Sokol, M. O., Tson, O. P. et. al. (2022). Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest*, Vol. 68, № 3, P. 499–510.
28. Hud, V., Hevko, I., Lyashuk, O., Hevko, O., Sokil, M., & Shust, I. (2020). Research of resonance vibrations of the system "Telescopic screw is a bulk medium" caused by torsional vibrations. *Karaganda*, № 2 (98), pp. 119–126.
29. Hevko, I., Lyashuk, O., Sokil, M., Slobodian, m L., Hud, V., & Vovk, Yu. (2019). Resonant oscillation of vertical working part of conveyor-loader. *Karaganda State University Publishing house*, 2 (94), 73–81.
30. Hud, V., Lyashuk, O., Hevko, I., Ungureanu, N., Vlăduț, N.-V., Stashkiv, M., Hevko, O., & Pik, A. (2023). Enhancement of Agricultural Materials Separation Efficiency Using a Multi-Purpose Screw Conveyor-Separator. *Agriculture*, Vol. 13, № 4. P. 870. (<https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>).
31. Screw for mixing with mechanical fastening of elements : Patent 161908 Ukraine : IPC B21D 11/06 / R. M. Rohatynskiy, I. B. Hevko, T. A. Dovbush, A. Ye. Dyachun, A. O. Bryksa, N. A. Antonchak, A. H. Nykytiuk, V. V. Martyniuk ; applicant Ukraine. No. u202503401 ; appl. 14.07.2025 ; publ. 14.01.2026, Bull. No. 2.

Victor Gud¹, Assoc. Prof., DSc., **Andriy Nikityuk¹**, **Artem Borovik²**, **Artem Holovaty³**

¹*Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine*

²*Azov State Technical University, Dnipro, Ukraine*

³*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Experimental Setup for Studying the Efficiency of Mixing Bulk Materials By Screw Working Bodies with Additional Elements

Homogenization of bulk media is a fundamental technological process in the food, chemical, construction and agricultural industries. The modern vector for increasing the technical and economic efficiency of this process is the integration of mixing and moving operations by introducing screw conveyors-mixers.

Modernization of screw conveyors by implementing innovative structural elements is aimed at intensifying the process of homogenization of bulk media. Establishing a correlation between modifications of working bodies and qualitative indicators of mixing exclusively by analytical methods is difficult due to the high complexity of mathematical modeling of multiphase systems, which does not allow achieving the necessary predictive accuracy. In view of this, conducting full-scale experimental studies using specialized bench installations is of priority. Designing and testing such stands allow for verification of theoretical provisions, as well as establishing rational structural and kinematic parameters of screw working bodies equipped with additional intensifier elements to optimize combined transportation and mixing processes.

The purpose of the work is to describe the design of the developed and manufactured experimental installation for research and selection of rational parameters of the process of simultaneous transportation and mixing of bulk materials by screw working bodies with additional elements.

The installation allows to substantiate the rational parameters of the equipment functioning and to assess the efficiency of mixing multicomponent mixtures. It includes a three-section hopper, which allows to conduct research on the heterogeneity of mixing of two- and three-component mixtures, and has the ability to regulate the speed of pouring of individual components. The experimental installation also provides the ability to change the angle of inclination of the screw conveyor branch in the range from 0 to 60 degrees, the speed of rotation of the screw working body in the range from 0 to 1400 rpm, as well as to study the quality of mixing of bulk materials by screw working bodies equipped with additional elements, in particular L-shaped elements with a height of 10, 20 and 30 mm. The main design parameters of the studied screw working body with additional elements are as follows: screw diameter – 96 mm (respectively, the outer casing – 106 mm and the inner casing – 100 mm); screw height – 25 mm; screw pitch – 62 mm; number of turns on the screw – 12.5; number of additional L-shaped elements – 33. The design of the experimental installation is equipped with an Altivar 71 frequency converter, which provides the ability to control the speed of rotation of the screw equipped with mixing elements and collect the necessary experimental data in a personal computer. The Altivar 71 frequency converter is controlled from a personal computer using the PowerSuite software, which allows you to study the productivity of the process of simultaneous transportation-mixing of bulk materials, drive power consumption, torque on the shaft of the installation's electric motor, and also, after measurements, the coefficient of heterogeneity of the mixtures obtained.

experimental setup, research, frequency converter, parameters, process, mixing, screw, screw working body, additional elements

Одержано (Received) 20.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 09.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 12.03.2026