

УДК621.86

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА З ОБЕРТОВИМ КОЖУХОМ

Рогатинський Р.М. д.т.н., проф., Гевко І.Б., докт. техн. наук., проф.,  
Дячун А.Є., канд. техн. наук, доц., Мельничук А.Л., Вар'ян А.Р.  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

*Для підтвердження гіпотези про підвищення продуктивності перевантажувальних операцій за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами розроблено експериментальну установку, яка дозволяє провести експериментальні дослідження цих систем згідно розроблених методик, з можливістю моделювання досліджуваних процесів в широких діапазонах з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження. Представлено результати експериментальних досліджень продуктивності гвинтового конвеєра з обертовим кожухом при транспортуванні зернових кормових матеріалів.*

**Постановка проблеми.** Гвинтові транспортно-технологічні механізми є одними з найпоширеніших засобів, що використовуються в сільськогосподарському виробництві. Вони використовуються для змішування, дозування, сепарації та необхідного переміщення сільськогосподарських матеріалів. При виконанні ними транспортно-технологічних процесів не завжди досягається необхідне зменшення енерговитрат, а при підвищенні продуктивності часто виникають перевантаження, що призводять до значних деформацій та руйнувань елементів цих машин. Тому, для забезпечення високої продуктивності виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими механізмами можливе створення їх прогресивних конструкцій з транспортуючими кожухами, що дозволяють забезпечувати зрушування транспортуючого матеріалу з метою забезпечення необхідного тертя шнека з матеріалом та кожухом.

**Аналіз останніх досліджень.** Розробленню конструкцій експериментального устаткування для дослідження гвинтових механізмів присвячені праці Турпаєва А.І. [1], Сисоліна В.П. [2], Григор'єва А.М. [3], Гевка Б.М. [4], В.С. Ловейкіна [5] та інших. Однак цілий ряд питань, що стосуються дослідження характеристик гвинтових механізмів, регулювання частоти обертання їх окремих елементів, продуктивності при виконанні транспортно-технологічних процесів зернових кормових матеріалів залежно від різних параметрів, особливо навантаження, потребують свого подальшого вирішення.

**Мета роботи.** Метою роботи є розроблення експериментальної установки для дослідження процесів транспортування та змішування зернових матеріалів

сільськогосподарського виробництва та визначення продуктивності роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом.

**Реалізація роботи.** З метою підвищення продуктивності транспортування і змішування сільськогосподарських вантажів гвинтовими механізмами актуальним залишається питання пошуку їх прогресивних конструкцій. До таких механізмів належать гвинтові конвеєри з обертовими кожухами. На основі проведеного патентного пошуку, аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [6] нами розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами [7-12], на базі яких спроектовано і виготовлено експериментальну установку, загальний вигляд якої представлено на рисунку 1.

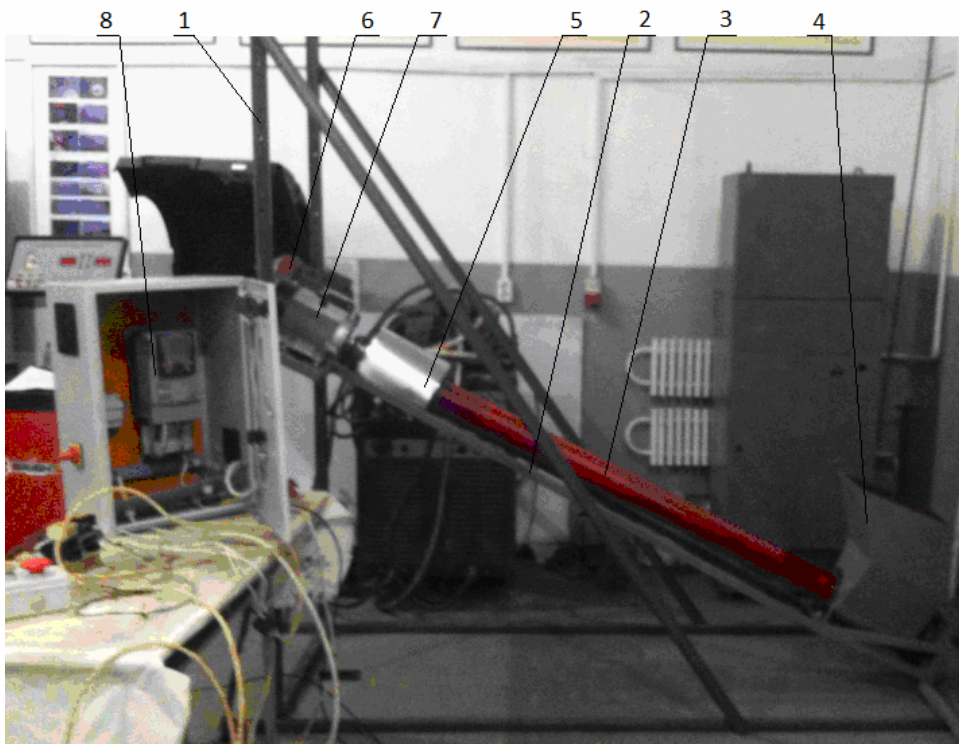


Рисунок 1 - Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – опора регулювання висоти подачі вантажу; 2 - рама; 3 - обертовий кожух із шнеком всередині; 4 – бункер; 5 – вивантажувальний патрубок; 6 – привід шнека; 7 – привід кожуха; 8 – пункт керування частотою обертання приводів кожуха та шнека

Експериментальна установка може працювати у режимі прискореного транспортування вантажу та у режимі змішування сипких матеріалів. У першому випадку кожух обертається проти напрямку обертання шнека, у другому випадку – у напрямку обертання шнека.

Сипкий матеріал через бункер потрапляє в кожух на шнек, яким і здійснюється його транспортування. Обертові рухи шнек та кожух отримують через пасові передачі від двигунів, керування якими здійснюється з ПК через

частотний перетворювач із фіксацією усіх необхідних даних у табличному чи графічному вигляді згідно розробленої методики проведення експериментальних досліджень. Продуктивність гвинтового конвеєра при різних коефіцієнтах заповнення кожуха та частотах обертання шнека та кожуха визначається в автоматизованому режимі. Силові характеристики можна визначати при плавному та різкому пуску, реверсуванні та моделюванні різноманітних навантажень в автоматизованому режимі за допомогою перетворювача частоти та персонального комп'ютера.

Експериментальна установка дозволяє досліджувати:

1. Продуктивність, гвинтового конвеєра в режимі транспортування із обертанням кожуха в напрямку протилежному напрямку обертання шнека.
2. Продуктивність гвинтового конвеєра в режимі транспортування або змішування без обертанням кожуха.
3. Продуктивність гвинтового конвеєра в режимі змішування із обертанням кожуха в напрямку обертання шнека.
4. Продуктивність гвинтового конвеєра при застосуванні завантажувальних лопаток із обертанням кожуха в необхідному напрямку залежно від конструктивних особливостей завантажувальних лопаток.
5. Крутні моменти та потужності приводів обертання кожуха та шнека при всіх згаданих вище режимах роботи.
6. Сили тертя, що виникають між кожухом та транспортованим матеріалом.
7. Моменти пуску двигунів приводів обертання кожуха та шнека при застосуванні обертового руху кожуха та без такого після раптової вимушеної зупинки гвинтового конвеєра із завантаженим транспортованим матеріалом.
8. Температури нагрівання кожуха в режимах обертання та статички.
9. Якість змішування транспортованих матеріалів при роботі гвинтового конвеєра в режимі змішування із обертанням кожуха в напрямку обертання шнека.
10. Коефіцієнти завантаження гвинтового конвеєра та коефіцієнти, що враховують пересипання вантажу в зворотному напрямку при застосуванні обертового руху кожуха та завантажувальних лопаток.

При проведенні експериментів можна встановлювати та змінювати:

1. Частоту обертання шнека (різко чи в плавному режимі) від 0 до 700 об/хв.;
2. Частоту обертання кожуха (різко чи в плавному режимі) від 0 до 760 об/хв.;
3. Кут нахилу гвинтового конвеєра відносно горизонту від 0 до 90 градусів;
4. Кількість і форму лопаток від 1 до 6 шт.;
5. Кут нахилу лопаток від 15 до 60 градусів.

З допомогою розробленої та виготовленої експериментальної установки можна виконувати дослідження із перевірки гіпотез про:

- підвищення продуктивності транспортування матеріалу при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека, за рахунок створення додаткової відцентрової сили та підвищення осьової швидкості транспортованого матеріалу;
- зменшення крутного моменту пуску електродвигуна приводу шнека після раптової зупинки, коли його запуск відбувається при обертанні кожуха, за рахунок зміни статичного коефіцієнта тертя між матеріалом та кожухом на динамічний коефіцієнт тертя;
- підвищення якості змішування транспортованих матеріалів при роботі гвинтового конвеєра в режимі змішування із обертанням кожуха в напрямку обертання шнека, за рахунок збільшення градієнту нерівномірності швидкості переміщення шарів транспортованого матеріалу;
- підвищення коефіцієнта завантаження вертикального гвинтового конвеєра за рахунок використання завантажувальних лопаток, які дозволяють створювати силу подачі матеріалу, що врівноважує, або перевищує відцентрову силу на шнеку у завантажувальному бункері;
- зниження коефіцієнта, що враховує пересипання вантажу в зворотному напрямку при застосуванні обертового руху кожуха за рахунок створення додаткових примусових сил тертя, напрямлених протилежно напрямку пересипання вантажу;
- зниження температури нагрівання кожуха в режимі обертання за рахунок примусового охолодження в повітрі.

Для встановлення впливу застосування обертового кожуха на властивості гвинтового конвеєра на основі методики проведення досліджень з використанням повнофакторного експерименту визначено продуктивність запропонованого конвеєра залежно від частоти обертання шнека  $n$ , частоти обертання кожуха  $n_k$ , та кута нахилу конвеєра  $\gamma$  для транспортування кукурудзи, ячменю та пшениці при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека.

Продуктивність заміряли за допомогою електронних ваг. Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалось для подальшого статистичного оброблення даних експерименту.

Функцію відгуку, тобто продуктивність  $Q=f(n, n_k, \gamma)$ , визначену експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома.

Вхідними змінними факторами ПФЕ  $3^3$  прийнято: частота обертання шнека  $n$ , яку кодували індексом  $x_1$ ; частота обертання кожуха  $n_k$ , яку кодували індексом  $x_2$ ; кут нахилу конвеєра  $\gamma$ , який кодували індексом  $x_3$ .

Характеристику факторів та значення їх рівнів для транспортованих матеріалів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристика факторів та значення їх рівнів

Кодоване позначення фактора	Найменування фактора	Значення рівнів фактора
$x_1$	Частота обертання шнека $n$ , об/хв	300-500-700
$x_2$	Частота обертання кожуха $n_k$ , об/хв	200-480-760
$x_3$	Кут нахилу конвеєра $\gamma$ , град	14-25-36

Загальний вигляд рівняння регресії продуктивності залежно від зміни частоти обертання шнека  $n$ , частоти обертання кожуха  $n_k$  та кута нахилу конвеєра  $\gamma$ , тобто  $Q_{(x_1, x_2, x_3)} = f(n, n_k, \gamma)$  за результатами проведених ПФЕ 3<sup>3</sup> у кодованих величинах дорівнює:

- під час транспортування кукурудзи:

$$Q_{(x_1, x_2, x_3)} = 8,88 + 3,373x_1 + 0,487x_2 - 0,29x_3 + 0,181x_1x_2 - 0,109x_1x_3 - 0,006x_2x_3 + 0,139x_1^2 - 0,451x_2^2 - 0,226x_3^2; \quad (1)$$

- під час транспортування пшениці:

$$Q_{(x_1, x_2, x_3)} = 9,34 + 3,55x_1 + 0,513x_2 - 0,306x_3 + 0,191x_1x_2 - 0,114x_1x_3 - 0,006x_2x_3 + 0,152x_1^2 - 0,473x_2^2 - 0,238x_3^2; \quad (2)$$

- під час транспортування ячменю:

$$Q_{(x_1, x_2, x_3)} = 7,127 + 2,708x_1 + 0,392x_2 - 0,232x_3 + 0,144x_1x_2 - 0,086x_1x_3 - 0,0037x_2x_3 + 0,11x_1^2 - 0,36x_2^2 - 0,18x_3^2. \quad (3)$$

Відповідно у натуральних величинах рівняння регресії (1-3) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

- під час транспортування кукурудзи:

$$Q_{(n, n_k, \gamma)} = -1,22 + 1,31 \cdot 10^{-2}n + 5,69 \cdot 10^{-3}n_k + 9,28 \cdot 10^{-2}\gamma + 3,23 \cdot 10^{-6}nn_k - 4,95 \cdot 10^{-5}n\gamma - 2,04 \cdot 10^{-6}n_k\gamma + 3,48 \cdot 10^{-6}n^2 - 5,79 \cdot 10^{-6}n_k^2 - 1,87 \cdot 10^{-3}\gamma^2; \quad (4)$$

- під час транспортування пшениці:

$$Q_{(n, n_k, \gamma)} = -1,242 + 1,36 \cdot 10^{-2}n + 5,969 \cdot 10^{-3}n_k + 9,741 \cdot 10^{-2}\gamma + 3,41 \cdot 10^{-6}nn_k - 5,182 \cdot 10^{-5}n\gamma - 2,029 \cdot 10^{-6}n_k\gamma + 3,8 \cdot 10^{-6}n^2 - 6,03 \cdot 10^{-6}n_k^2 - 1,967 \cdot 10^{-3}\gamma^2; \quad (5)$$

- під час транспортування ячменю:

$$Q_{(n, n_k, \gamma)} = -0,974 + 1,053 \cdot 10^{-2}n + 4,55 \cdot 10^{-3}n_k + 7,342 \cdot 10^{-2}\gamma + 2,571 \cdot 10^{-6}nn_k - 3,909 \cdot 10^{-5}n\gamma - 1,218 \cdot 10^{-6}n_k\gamma + 2,75 \cdot 10^{-6}n^2 - 4,592 \cdot 10^{-6}n_k^2 - 1,488 \cdot 10^{-3}\gamma^2. \quad (6)$$

За результатами експериментальних досліджень побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних



поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів (рис. 2-5) продуктивності  $Q$  як функцію від двох змінних факторів  $x_{i(1,2)}$  за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора  $x_{i(3)} = const$ .

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення продуктивності є: фактори  $x_1$ ,  $x_2$ , ( $n$ ,  $n_k$ ) та комбінації цих факторів. Збільшення величини фактора  $x_3$  ( $\gamma$ ) призводить до зниження продуктивності.

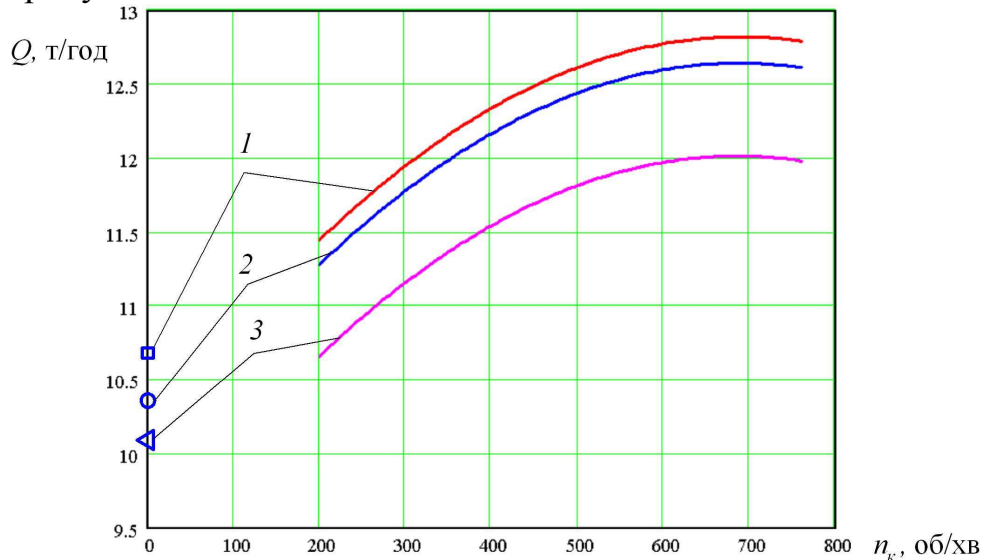


Рисунок 2 – Графіки залежності продуктивності гвинтового конвеєра від частоти обертання кожуха конвеєра під час транспортування кукурудзи (діаметр шнека  $D=96$ мм; частота обертання шнека  $n=700$  об/хв): 1)  $\gamma=14$  град; 2)  $\gamma=25$  град; 3)  $\gamma=36$  град

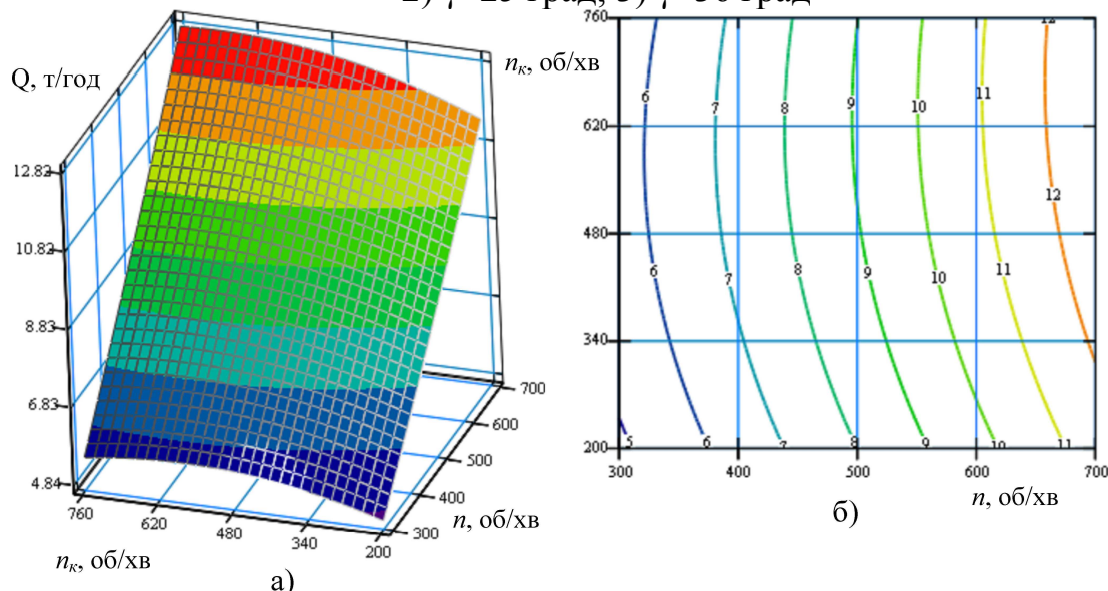


Рисунок 3 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності продуктивності конвеєра  $Q_{(n, n_k)}$  під час транспортування кукурудзи від частоти обертання шнека та частоти обертання кожуха ( $\gamma=14$ град,  $D=96$ мм)

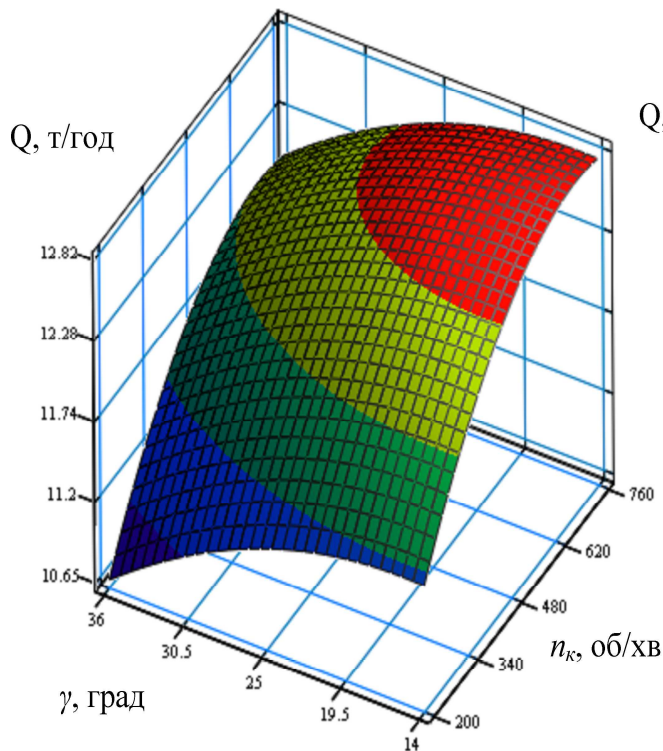


Рисунок 4 - Поверхня відгуку залежності продуктивності конвеєра  $Q_{(n_k, \gamma)}$  під час транспортування кукурудзи від частоти обертання кожуха та кута нахилу конвеєра ( $n=700$  об/хв.,  $D=96$ мм)

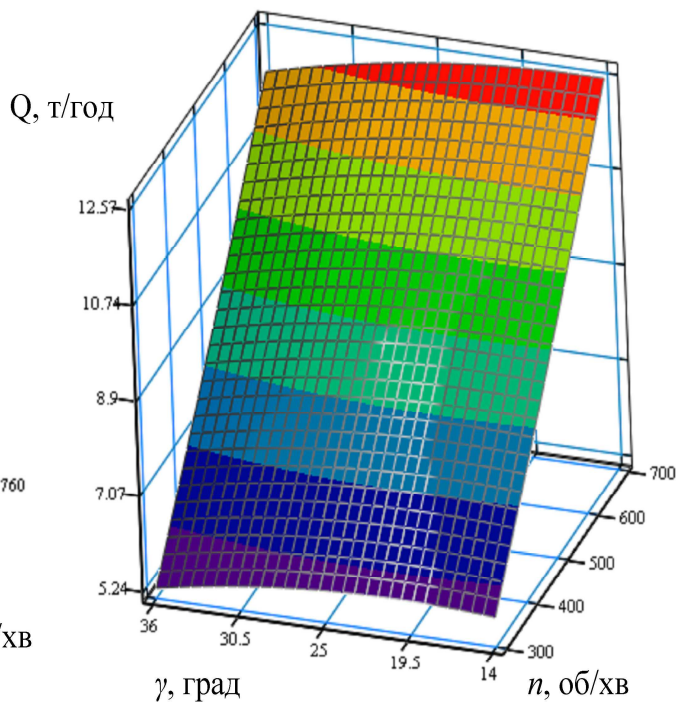


Рисунок 5 - Поверхня відгуку залежності продуктивності конвеєра  $Q_{(n, \gamma)}$  під час транспортування кукурудзи від частоти обертання шнека та кута нахилу конвеєра ( $n_k=480$  об/хв.,  $D=96$ мм)

**Висновки.** Розроблене експериментальне устаткування для проведення досліджень гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами у повній мірі дозволяє провести експериментальні дослідження цих систем згідно розроблених методик, а використання перетворювача частоти серії Altivar і ПК з програмним забезпеченням PowerSuite версії 2.3.0 дозволяє проводити експериментальні дослідження з можливістю моделювання досліджуваних процесів в широких діапазонах з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження. За результатами досліджень встановлено, що підвищення частоти обертання кожуха призводить до підвищення продуктивності гвинтового конвеєра на 18-25% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. Також підвищення частоти обертання кожуха вище 620 об/хв є нераціональним, оскільки це не змінює продуктивність конвеєра. Раціональною є частота обертання кожуха від 480 до 600 об/хв, оскільки при цьому відбувається найбільший приріст продуктивності гвинтового конвеєра, при різних частотах обертання шнека.

### Список літератури

1. Турпаев А. И. Винтовые механизмы и передачи [Текст] / А. И. Турпаев. – М. : Машиностроение, 1982. - 223с.
2. Сисолін В. П. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи. Конструкція і проектування [Текст] / В. П. Сисолін - К. : Урожай, 2001. - 382с.
3. Григорев А. М. Винтовые конвейеры [Текст] / А. М. Григорев. - М. : Машиностроение, 1972. - 184с.
4. Гевко Б. М. Механізми з гвинтовими пристроями [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатинський. – Львів: Світ, 1993. – 208с.
5. Ловейкін В. С. Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів [Текст] / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – 2005. – Вип. 23. – С. 181–195.
6. Рогатинський Р.М. Синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з транспортуючими кожухами [Текст] / Р.М. Рогатинський, Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Р. Вар'ян // 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.
7. Пат. №81131 Україна, МПК В65G 33/00. Стенд для дослідження гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами / Дячун А.Є., Грудовий Р.С., Рогатинська Л.Р.; заявник і патентовласник Дячун А. Є., Грудовий Р.С., Рогатинська Л.Р. – №u201214771; заявл. 24.12.12; опубл. 10.06.13, Бюл. № 12.
8. Пат. №81550 Україна, МПК В65G 33/16. Гвинтовий конвеєр з обертовим кожухом / Грудовий Р.С., Дячун А. Є.; заявник і патентовласник Грудовий Р.С., Дячун А. Є. – №u2012 12700; заявл. 07.11.12; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.
9. Пат. № 106099 Україна, МПК (2016.01) В65G 33/08. Гвинтовий конвеєр з обертовим кожухом / Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б.; заявник і патентовласник Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б. – № u201511562; заявл. 23.11.15; опубл. 11.04.16, Бюл. № 7.
10. Пат. № 106100 Україна, МПК В65G 33/14. Гвинтовий завантажувач з лопатками / Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б.; заявник і патентовласник Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б. – № u201511564; заявл. 23.11.15; опубл. 11.04.16, Бюл. № 7.
11. Пат. № 106962. Україна, МПК В65G 33/00. Гвинтовий конвеєр з транспортуючим кожухом / Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б.; заявник і патентовласник Рогатинський Р.М., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Рогатинська Л.Р., Гевко Ів.Б. – № u201512119; заявл. 07.12.15; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9.



12. Пат. № 111207. Україна, МПК В65G 33/00. Гвинтовий конвеєр з обертовим завантажувальним кожухом / Гевко Ів.Б., Вар'ян А.Р., Дячун А.Є., Нагорняк Г.С., Гарматюк О.О., Мосій О.Б.; заявник і патентовласник Гевко Ів.Б., Вар'ян А.Р., Дячун А.Є., Нагорняк Г.С., Гарматюк О.О., Мосій О.Б. – № u201602882; заявл. 22.03.2016р.; опубл. 10.11.2016р., Бюл.№ 21.

## Аннотація

### **Исследование производительности винтового конвейера с вращающимся кожухом**

Рогатынский Р.М. Гевко Ив.Б., Дячун А.Е.,  
Мельничук А.Л., Варьян А.Р.

*Для подтверждения гипотезы о повышении производительности перегрузочных операций с помощью винтовых конвейеров с вращающимся кожухами разработана экспериментальная установка, которая позволяет провести экспериментальные исследования этих систем согласно разработанным методикам, с возможностью моделирования исследуемых процессов в широких диапазонах с высокой точностью в автоматизированном режиме управления и фиксацией необходимых результатов исследования. Представлены результаты экспериментальных исследований производительности винтового конвейера с вращающимся кожухом при транспортировке зерновых кормовых материалов*

## Abstract

### **The study of productivity of screw conveyor with the revolved casing**

Rogatynskyi R.M., Gevko Iv.B., Dyachun A.Y.,  
Melnichuk A.L., Varyan A.R.

*For confirmation of hypothesis about the rise of productivity of shifting operations by screw conveyers with the revolved casing the experimental device which allows to conduct experimental researches of these systems accordant to developed methods is exploited, with possibility of explored processes modeling in wide ranges with high accuracy in the automated mode and fixing of necessary results of research. The results of experimental researches of productivity of screw conveyor with the revolved casing at transporting of corn feed materials are presented*