

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МЕЛЬНИЧУК АНДРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 621.867.42

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ПОЛОГО
НАХИЛЕНОГО ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА З ОБЕРТОВИМ
КОЖУХОМ**

05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2018

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Гевко Іван Богданович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, професор кафедри менеджменту у
виробничій сфері.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Дідух Володимир Федорович,
Луцький національний технічний університет, завідувач
кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення
агропромислового комплексу;

кандидат технічних наук,
Серілко Дмитро Леонідович,
Національний університет водного господарства та
природокористування, старший викладач кафедри
будівельних, дорожніх, меліоративних,
сільськогосподарських машин і обладнання.

Захист відбудеться “09” листопада 2018 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розіслано “04” жовтня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У багатьох механізмах і машинах різних галузей економіки основними робочими й завантажувально-розвантажувальними органами є гвинтові конвеєри (ГК). Вони володіють рядом переваг, зокрема безперервністю процесу переміщення вантажів, широкою багатофункціональністю, можливістю не впливати на фізико-механічні властивості транспортованих матеріалів або забезпечувати, при потребі, їх трансформацію, проводити перевантаження матеріалів різних за структурою і фракційністю, герметичністю, простотою конструкції, надійністю в експлуатації, можливістю взаємодії з іншим обладнанням, конвеєрами тощо з метою забезпечення механізації й автоматизації виробничих операцій. Проте основним недоліком цих конвеєрів є порівняно низька продуктивність і, як наслідок, висока енергоємність транспортування.

Підвищення ефективності роботи ГК можливе шляхом формування умов, що сприяють зменшенню опору в зоні завантаження і збільшенню осьової швидкості переміщення матеріалу. Для забезпечення високої продуктивності виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими механізмами існує необхідність створення прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами (ГКОК), що дозволяють використовувати відцентрові сили при транспортуванні, а також частково впливати на процеси тертя між сипким матеріалом та робочими елементами ГК. Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробленні та практичній реалізації нових конструкцій ГК, що забезпечують зменшення питомих енерговитрат і підвищення продуктивності, є актуальним, доцільним, значущим і перспективним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Роботу виконано відповідно до тематики наукового напрямку Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в рамках науково-дослідної держбюджетної теми ДІ 233-17 «Моделювання, синтез та розробка енергоефективних транспортуючих та перевантажувальних систем для технологічної обробки насипних вантажів» (№ державної реєстрації 0117U002246), яка реалізується в рамках Постанови Кабінету Міністрів України «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою».

Мета роботи і завдання дослідження. Мета роботи – підвищення продуктивності та зниження питомих енерговитрат при функціонуванні положо нахилених гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами шляхом розроблення нової конструкції і вибору раціональних режимів її роботи.

Для досягнення мети в роботі поставлені та вирішені такі **завдання:**

- провести аналіз конструкцій та процесів роботи гвинтових конвеєрів і на цій основі розробити теоретичні передумови проектування модернізованих гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами;

- провести теоретичні та експериментальні дослідження кінематики сипкого вантажу під час транспортування гвинтовим конвеєром з обертовим кожухом і вивести залежності для визначення його продуктивності;

- встановити характер навантаження на робочі елементи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом із виведенням теоретичних та емпіричних залежностей для визначення енергосилових параметрів під час переміщення вантажу, зокрема потужності на приводі шнека, потужності на приводі кожуха, питомих енерговитрат;

- провести дослідження швидкостей сипкого матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом графоаналітичним методом;

- спроектувати і виготовити функціонально здатний зразок гвинтового конвеєра з обертовим кожухом та провести необхідний комплекс експериментальних досліджень з виведенням рівнянь регресії залежності продуктивності, потужностей на приводах шнека і кожуха та питомих енерговитрат під час транспортування сипких вантажів від режимів роботи конвеєра;

- розробити інженерну методику проектування гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами.

Об'єкт дослідження – процеси транспортування сипких матеріалів полого нахиленим гвинтовим конвеєром з обертовим кожухом.

Предмет дослідження – закономірності впливу режимів роботи полого нахиленого гвинтового конвеєра з обертовими кожухом на його продуктивність та питомі енерговитрати.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, основ конструювання деталей машин, а також сучасних методів математичного моделювання. Експериментальні дослідження здійснено за допомогою методів математичного планування експерименту з використанням комп'ютерної техніки і прикладного програмного забезпечення та стандартних методик із застосуванням спеціально спроектованого та виготовленого технологічного устаткування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше досліджено кінематику вантажу у полого нахиленому гвинтовому конвеєрі з обертовим кожухом, отримано параметричні рівняння траєкторії, швидкості та прискорення руху вантажу, які дозволяють визначати інтенсивність переміщення матеріалів та продуктивність роботи конвеєра;

- вперше встановлено закономірності зміни навантажень у полого нахиленому гвинтовому конвеєрі з обертовим кожухом та виведено аналітичні залежності для визначення енергосилових параметрів процесу;

- одержало подальший розвиток дослідження швидкостей сипкого матеріалу у полого нахиленому гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом графоаналітичним методом із встановленням умови швидкісного осьового переміщення вантажу, що залежить від співвідношення частот обертання шнека та кожуха;

- вперше визначено закономірності зміни кутового параметру вантажу для випадку тихохідного транспортування і усталеного руху для горизонтального та полого нахиленого конвеєрів з обертовим кожухом.

Практичне значення отриманих результатів. Проведено структурний синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з обертовими кожухами методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано

ряд конструкцій з покращеними технологічними характеристиками, що дало можливість часткового вирішення питання підвищення продуктивності транспортування сипких вантажів при зниженні питомих енерговитрат.

Розроблено та проведено випробовування нового ГКОК із встановленням його конструктивних та технологічних параметрів. Результати порівняльної оцінки модернізованого ГК із базовим підтвердили ефективність його застосування при транспортуванні сипких матеріалів. Отримано емпіричні залежності для визначення продуктивності, потужностей на приводах шнека та кожуха і питомих енерговитрат полоого нахиленого ГКОК.

Технічна новизна розробок захищена 11-ма деклараційними патентами України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати впроваджено у ФГ «СВІТОЧ» та СФНВГ «Коваль». Прогнозований річний економічний ефект від застосування гвинтового конвеєра з обертовим кожухом складає 31002 грн.

Особистий внесок здобувача. Основні положення дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно і у працях, опублікованих у співавторстві та в одноосібній праці розроблено теоретичні [1, 4, 6, 11, 12, 15] передумови роботи ГК, проведено комплекс експериментальних досліджень [2, 11], здійснено генерування конструкцій гвинтових механізмів [5, 8, 14], розроблено стендове обладнання для дослідження ГКОК [3, 9, 10], запропоновано нові конструкції ГК та їх захисних механізмів [13, 16-26], проведено техніко-економічне обґрунтування модернізованої конструкції ГКОК [7].

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на: ХІХ, ХХ наукових конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2016, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченій 100-річчю з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) (м. Тернопіль, 2018); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Механіка машин – основна складова прикладної механіки» присвячена 110-річчю з дня народження Кожевникова Сергія Миколайовича (м. Дніпро, 2017); ІV, V Міжнародних науково-технічних конференціях молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2015, 2016); ІІІ Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції навчально-наукового інституту технічного сервісу «Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин» (Харків, 2016). Робота доповідалась й отримала позитивний відгук на розширеному засіданні науково-технічного семінару Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Публікації. Результати наукових досліджень викладено у 26 наукових працях, з них – 7 статей у фахових виданнях України, 1 стаття – у закордонному виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus, 11 деклараційних патентів України на корисні моделі, 7 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 157 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 212 сторінок, в тому числі 155 сторінок основного тексту, 64 рисунки, 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень, наведено дані про їх апробацію, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз конструкцій ГК різних типів та гвинтових робочих органів і встановлено їх переваги та недоліки. Також проведено аналіз і узагальнення результатів досліджень ефективності цих транспортних засобів, в результаті якого з'ясовано, що основними показниками, які характеризують ефективність використання шнекових транспортерів, є продуктивність, матеріаломісткість та енергоємність. Констатовано, що значний вклад у створення наукових основ проектування гвинтових механізмів та проведення їх теоретичних і експериментальних досліджень здійснили А.П. Александров, О.Д. Алімов, К.В. Алферов, П.І. Басов, П.М. Василенко, Б.М. Гевко, Х. Герман, А.М. Григор'єв, І.Е. Груздєв, Б.М. Гутьяр, Л.В. Гячев, В.К. Дячков, Р.Л. Зенков, Ф.К. Іванченко, В.В. Красніков, Л.М. Куцин, В.С. Ловейкін, Д. Мак-Келві, І.В. Морін, А.А. Омельченко, Ю.А. Пертен, М.І. Пилипець, П.А. Преображенський, Р.М. Рогатинський, А.О. Співаковський, А.Я. Соколов, В.Д. Ткач, Г. Шенкель, М.К. Штуков та багато інших.

У розділі проведено аналіз робіт, які пов'язані з дослідженням руху сипких вантажів у гвинтових каналах та взаємодії їх із гвинтовими робочими органами, який показав, що спрощені розрахункові залежності не враховують особливостей гвинтових поверхонь, що призводить до суттєвих похибок, а використання складних реологічних моделей не виправдано, оскільки уточнення результатів є несуттєвим порівняно із ускладненням задач.

У результаті проведеного аналізу наукових літературних джерел та патентної інформації встановлено, що ряд питань проектування прогресивних конструкцій ГК з мінімальними питомими енерговитратами і підвищеною продуктивністю транспортування сипких матеріалів вимагають подальшого розроблення і дослідження. Тому завдання розроблення і теоретичного обґрунтування конструктивних, технологічних параметрів і енерговитрат полого нахилених ГКОК із застосуванням структурного синтезу та механіко-математичних і аналітичних методів моделювання залишається не вирішеною проблемою і має важливе наукове та практичне значення.

У **другому розділі** проведено структурний синтез конструкцій ГКОК методом морфологічного аналізу з ієрархічним групуванням, який дозволив різко зменшити кількість варіантів синтезованих альтернатив у порівнянні з класичною моделлю. Із згенерованих варіантів синтезованих ГКОК шляхом експертного оцінювання обрано й запатентовано моделі з покращеними експлуатаційними характеристиками. На основі проведеного синтезу розроблено класифікацію ГКОК за конструктивними ознаками.

У розділі досліджено кінематику сипкого матеріалу у ГКОК. Для встановлення характеру переміщення сипкого вантажу розглянуто рух виділеного об'єму матеріалу в координатах хуз (рис. 1). Із умови одночасного контакту

виділеного об'єму матеріалу A з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею обертового кожуха, його розміщення визначається радіальним параметром R і кутовим параметром θ .

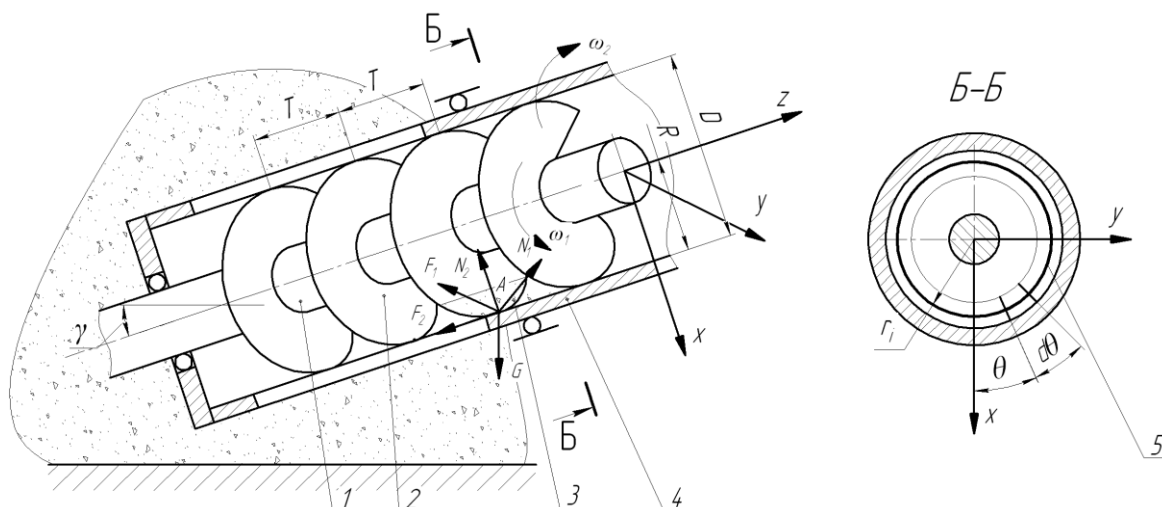


Рис. 1. Розрахункова схема переміщення виділеного об'єму матеріалу у ГКОК: 1 - привідний вал; 2 - шнек; 3 - виділений об'єм матеріалу; 4 - обертовий кожух; 5 - траєкторія руху матеріалу при швидкісному режимі

Співвідношення енергосилових параметрів під час переміщення виділеного об'єму матеріалу знайдено на основі рівняння рівноваги проєкцій всіх сил, що прикладені до матеріалу у декартовій системі координат хуз

$$\left. \begin{aligned}
 & N_1 \left(\sin \alpha \sin \theta - f_1 \frac{R \cdot \sin \theta \cdot \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-\cos \theta - f_2 \frac{R \cdot \sin \theta \cdot \left(\pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_2|} \right) - \\
 & - m \left(R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right) - R \sin \theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right) + mg \cdot \cos \gamma = 0; \\
 & N_1 \left(\sin \alpha \cos \theta - f_1 \frac{-R \cdot \cos \theta \cdot \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(\sin \theta - f_2 \frac{-R \cdot \cos \theta \left(\pm \omega_2 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{|\dot{s}_2|} \right) - \\
 & - m \left(R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right) + R \cos \theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right) = 0; \\
 & N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{T \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{2\pi |\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-f_2 \frac{T \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt} \right)}{2\pi |\dot{s}_2|} \right) + \frac{mT}{2\pi} \frac{d^2 \theta}{dt^2} - mg \cdot \sin \gamma = 0.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

де R – радіальний параметр матеріалу, м; θ – кутовий параметр матеріалу, рад; ω_1 – кутова швидкість обертання шнека, рад/с; ω_2 – кутова швидкість обертання кожуха,

рад/с; T – крок витків шнека, м; t – час, с; α – кут нахилу витків шнека на зовнішньому діаметрі, рад; f_1 – коефіцієнт тертя між виділеним об'ємом матеріалу і поверхнею шнека; f_2 – коефіцієнт тертя між виділеним об'ємом матеріалу і поверхнею кожуха; N_1, N_2 – нормальні реакції відповідно від поверхні шнека та поверхні кожуха, Н; γ – кут нахилу осі шнека, рад; g – прискорення вільного падіння, м/с²; m – маса виділеного об'єму матеріалу, кг; \dot{s}_1, \dot{s}_2 – модулі абсолютної швидкості руху виділеного об'єму матеріалу відносно шнека та кожуха відповідно, м/с.

Модулі абсолютної швидкості руху виділеного об'єму матеріалу відносно шнека та кожуха знайдено за формулами

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2}\right) \cdot \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt}\right)^2}; \quad (2)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 \cdot \left(\pm\omega_2 - \frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2} \cdot \left(\omega_1 - \frac{d\theta}{dt}\right)^2}. \quad (3)$$

Розв'язок системи рівнянь (1) відносно параметру θ в загальному випадку проведено на основі її аналізу та побудови графіків на ЕОМ, застосовуючи чисельний метод Рунге-Кутта. Знак “-” у системі рівнянь (1) та рівнянні (3) перед кутовою швидкістю обертання кожуха ω_2 відноситься до випадку, коли кожух обертається у протилежному напрямку обертання шнека, а знак “+” – для випадку, коли кожух обертається в напрямку обертання шнека.

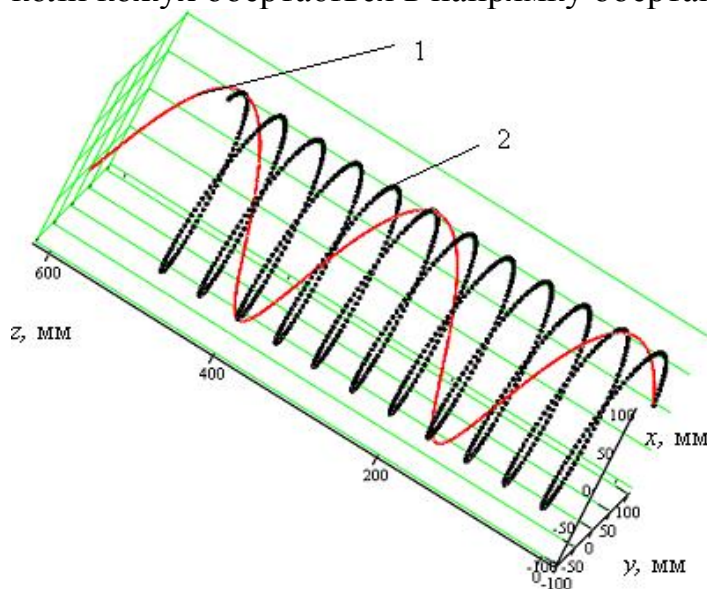


Рис. 2. Траєкторія руху матеріалу у швидкохідному конвеєрі:

- 1) кожух обертається у протилежному напрямку обертання шнека
 - 2) кожух обертається в напрямку обертання шнека
- $R=100$ мм; $\omega_1=32$ рад/с

Враховуючи, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування (період невстановленого руху матеріалу невеликий і не перевищує 0,6...0,8 с для швидкохідних конвеєрів), розглянуто стабільний режим транспортування у швидкохідному конвеєрі (рис. 2), в якому матеріал рухається за гвинтовою траєкторією і для якого дійсні умови: $\frac{d\theta}{dt} = \text{const} = \omega_s$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = \text{const}$, де ω_s – кутова швидкість обертання матеріалу, рад/с.

Модулі швидкості руху матеріалу у такому випадку визначено за виразами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2}\right) \cdot (\omega_1 - \omega_e)^2}; \quad |\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 \cdot (\pm\omega_2 - \omega_e)^2 + \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2} \cdot (\omega_1 - \omega_e)^2}. \quad (4)$$

Прискорення матеріалу визначається рівняннями:

$$\begin{cases} \ddot{x}_3 = R\omega_e \cos(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e); \\ \ddot{y}_3 = R\omega_e \cos(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e); \\ \ddot{z}_3 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

В результаті проведених досліджень встановлено, що для режиму швидкохідного транспортування доцільно надавати обертовий рух кожуху в напрямку протилежному обертанню шнека, а для процесу змішування транспортованого матеріалу доцільним є обертання кожуха в напрямку обертання шнека.

Також у розділі проведено дослідження енергосилових параметрів ГКОК. Зокрема визначено потужність на приводі шнека

$$N_w = \frac{\frac{\pi \cdot i(D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T \rho \left(-g \cdot \sin \gamma \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{R \cdot \sin(\omega_e t) \cdot (\pm\omega_2 - \omega_e)}{|\dot{s}_2|} \right) + f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \left(R\omega_e \cos(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e) - g \cdot \cos \gamma \right) \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \left(-\sin \alpha \sin(\omega_e t) - f_1 \frac{R \sin(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e)}{|\dot{s}_1|} \right) + \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{R \cdot \sin(\omega_e t) \cdot (\pm\omega_2 - \omega_e)}{|\dot{s}_2|} \right)} \times \quad (6)$$

$$\times R(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) \omega_1 + \frac{N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) - \frac{\pi \cdot i(D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T \rho g \cdot \sin \gamma}{\frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}} R \omega_1,$$

де D – зовнішній діаметр шнека; d – діаметр вала шнека; i – кількість робочих витків шнека; φ_0 – коефіцієнт завантаження, що формується у завантажувальному отворі; ρ – густина матеріалу, що транспортується; $\dot{z}_2 = \dot{z}_1 = \frac{T}{2\pi}(\omega_1 - \omega_e)$ – проекції швидкості руху матеріалу відносно кожуха та шнека на вісь z .

Потужність на приводі кожуха визначено за залежністю:

$$N_k = \frac{R \frac{\pi \cdot i(D^2 - d^2) \omega_2}{4} \varphi_0 T \rho f_2 \left[\left(-g \cdot \sin \gamma \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{R \cdot \sin(\omega_e t) \cdot (\pm\omega_2 - \omega_e)}{|\dot{s}_2|} \right) + f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \left(R\omega_e \cos(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e) - g \cdot \cos \gamma \right) \right) \right]}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \left(\sin \alpha \sin(\omega_e t) - f_1 \frac{R \sin(\omega_e t)(\omega_1 - \omega_e)}{|\dot{s}_1|} \right) + \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{R \cdot \sin(\omega_e t) \cdot (\pm\omega_2 - \omega_e)}{|\dot{s}_2|} \right)} \times \quad (7)$$

$$\times \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) - g \cdot \sin \gamma}{1}.$$

На базі виконаних теоретичних досліджень проведено порівняльний аналіз швидкохідних гвинтових конвєсєрів із обертовими та нерухомим кожухами (рис. 3 - рис. 6).

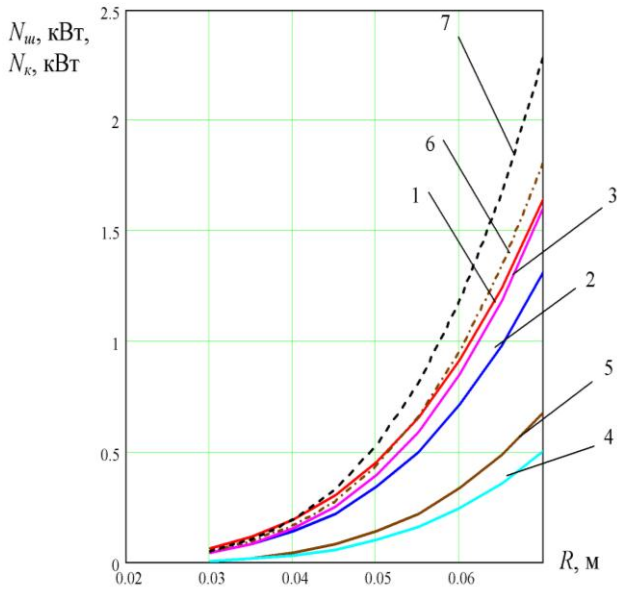


Рис. 3. Графіки залежності потужності привода шнека та кожуха від радіуса шнека: $\gamma=30^\circ$, $L=1,7\text{м}$, $d=0,04\text{м}$, $n_{ш}=700\text{об/хв.}$: потужність привода шнека 1 - $n_k=0\text{об/хв.}$; 2 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 3 - $n_k=600\text{об/хв.}$; потужність привода кожуха 4 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 5 - $n_k=600\text{об/хв.}$; сумарна потужність привода шнека та кожуха 6 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 7 - $n_k=600\text{об/хв.}$

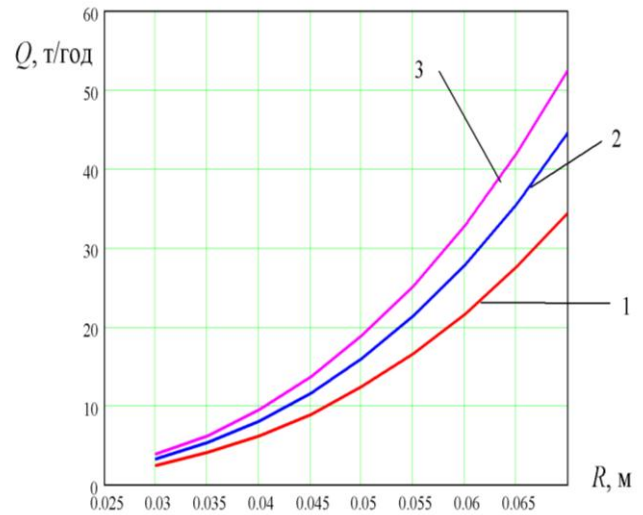


Рис. 4. Графіки залежності продуктивності конвеєра від радіуса шнека: $\gamma=30^\circ$, $L=1,7\text{м}$, $d=0,04\text{м}$, $n_{ш}=700\text{об/хв.}$: 1 - $n_k=0\text{об/хв.}$; 2 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 3 - $n_k=600\text{об/хв.}$

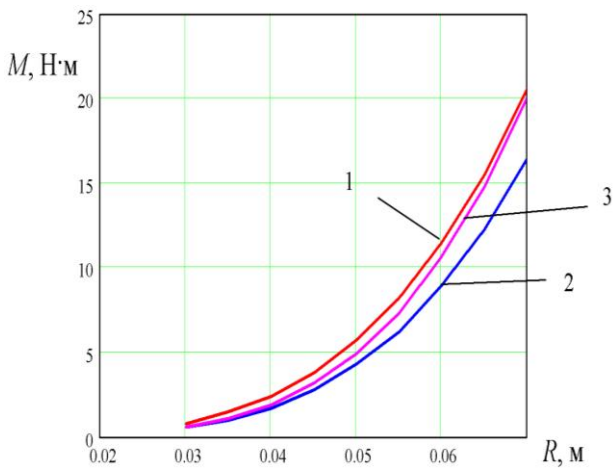


Рис. 5. Графіки залежності крутного моменту на шнекові від радіуса шнека: $\gamma=30^\circ$, $L=1,7\text{м}$, $d=0,04\text{м}$, $n_{ш}=700\text{об/хв.}$: 1 - $n_k=0\text{об/хв.}$; 2 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 3 - $n_k=600\text{об/хв.}$

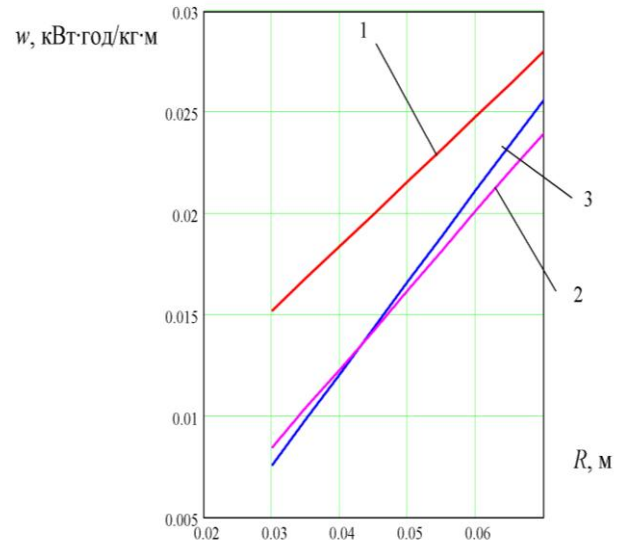


Рис. 6. Графіки залежності питомих енерговитрат конвеєра під час транспортування вантажу від радіуса шнека: $\gamma=30^\circ$, $L=1,7\text{м}$, $d=0,04\text{м}$, $n_{ш}=700\text{об/хв.}$: 1 - $n_k=0\text{об/хв.}$; 2 - $n_k=500\text{об/хв.}$; 3 - $n_k=600\text{об/хв.}$

В результаті аналізу встановлено, що використання ГКОК, дозволяє зменшити питомі енерговитрати під час транспортування вантажу порівняно із гвинтовими конвеєрами із нерухомим кожухом на 27-14 % для кожухів із частотою обертання 500об/хв. та на 25% - 8% для кожухів із частотою обертання 600об/хв. (рис. 6). При цьому перевага гвинтових конвеєрів із обертовим кожухом збільшується при меншому радіусі шнека та коефіцієнта швидкохідності. Також встановлено, що підвищення частоти обертання кожуха призводить до підвищення продуктивності гвинтового конвеєра на 22% для кожухів із частотою обертання 500 об/хв. та на 32% для кожухів із частотою обертання 600 об/хв. - порівняно із його роботою при нерухомому кожусі (рис. 4).

У розділі проведено дослідження швидкостей сипкого матеріалу у ГКОК графоаналітичним методом. Для побудови математичної моделі використано ряд припущень та спрощень, які суттєво не знижують точності запропонованих моделей. Під час транспортування виділеного об'єму матеріалу гвинтовим конвеєром його колову швидкість знаходимо за формулою $v_\tau = \omega_1 D / 2$. Якщо ж відбувається тільки осьове транспортування, його осьова швидкість дорівнює $v_z = \omega_1 T / 2\pi$. Розглянуто розгортку витка шнека діаметром D , відповідно на осях $O\varphi$ і Oz відкладено вектори колової та осьової швидкостей, із залежності $v_z = T(\omega_1 - \omega_2) / 2\pi$ випливає, що кінці векторів швидкостей частини матеріалу при будь-якому режимі транспортування лежать на прямій MN , що з'єднує кінці векторів \vec{v}_z і \vec{v}_τ (рис. 7). Нахил цієї прямої до осі $O\varphi$ рівний куту підйому витка α .

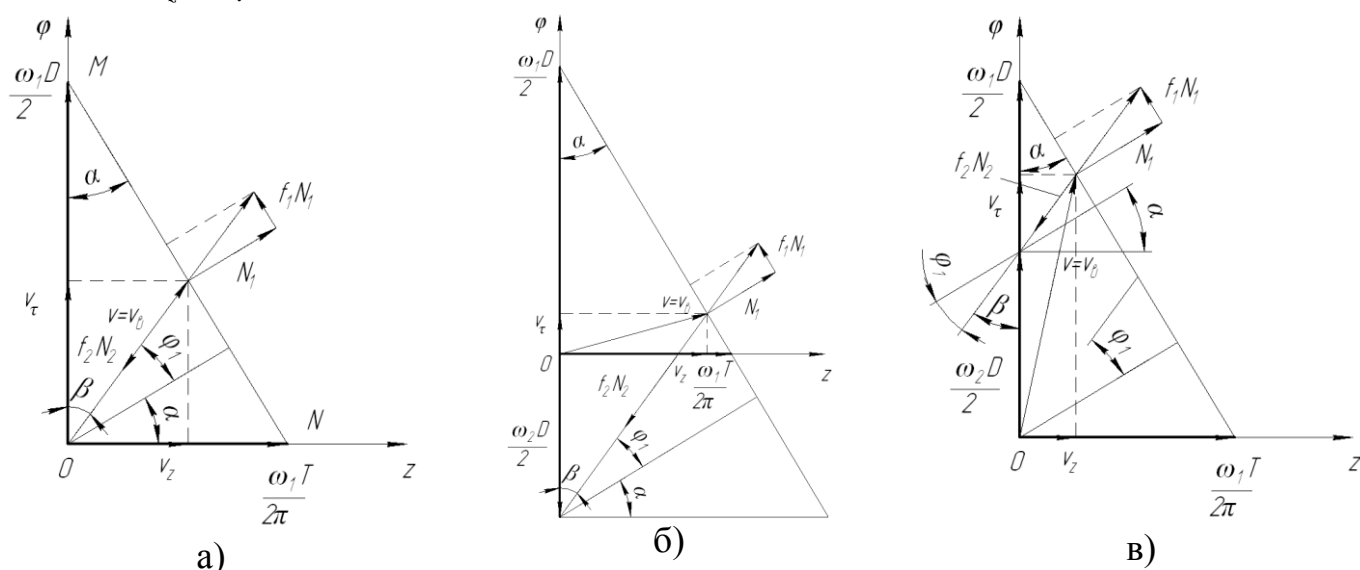


Рис. 7. Схеми до графоаналітичного розрахунку гвинтового конвеєра: а) без обертання кожуха; б) з обертанням кожуха проти напрямку обертання шнека; в) з обертанням кожуха в тому ж напрямку, що і обертання шнека

Згідно розрахункової схеми (рис. 7.б), коли кожух обертається проти напрямку обертання шнека, рівняння осьової і колової швидкості наступні:

$$v_z = \left(\frac{\omega_1 \operatorname{tg} \alpha - \omega_2 \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} + \omega_2 \right) \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta; \quad (8)$$

$$v_{\tau} = \frac{D(\omega_1 \operatorname{tg} \alpha - \omega_2 \operatorname{tg} \beta)}{2(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha)}, \quad (9)$$

де β - кут траєкторії руху вантажу.

Умова швидкісного осьового переміщення вантажу $v_{\tau} = 0$ забезпечується підбором величини кутової швидкості обертання кожуха, що обертається в протилежну сторону обертання шнека. Для випадку ідеального транспортування із врахуванням тертя матеріалу до поверхонь гвинтового робочого органу величина кутової швидкості обертання кожуха для осьового переміщення вантажу без колового руху в полого нахиленому конвеєрі складатиме:

$$\omega_2 = \omega_1 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (10)$$

На основі рівняння (10) побудовано графічні залежності величини кутової швидкості обертання кожуха від кута підйому витка (рис. 8) та коефіцієнта тертя f_1 між матеріалом, що транспортується та поверхнями робочих органів $\varphi_1 = \operatorname{arctg}(f_1)$.

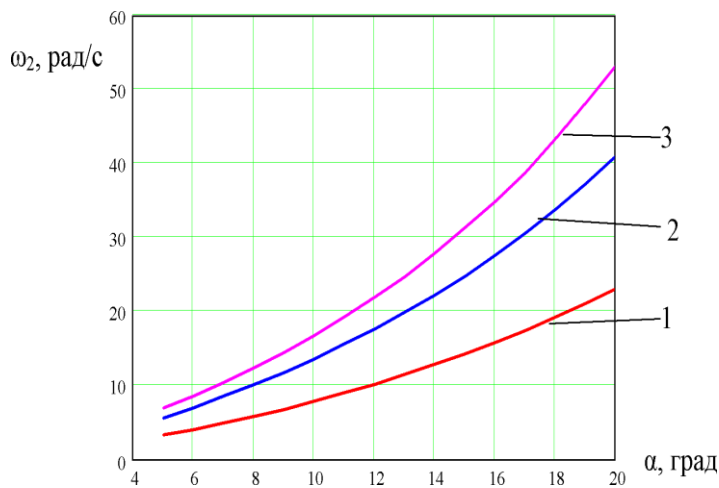


Рис. 8. Залежності величини кутової швидкості обертання кожуха від кута підйому витка для випадку ідеального транспортування, $\omega_1=60$ рад/с: 1 - $f_1=0,5$; 2 - $f_1=0,9$; 3 - $f_1=1,1$

величина підйому витка α має суттєвий вплив на частоту обертання кожуха, збільшення кута підйому витка від 5 до 20 град призводить до зростання частоти обертання кожуха на величину від 14 до 90 % від частоти обертання шнека. Також збільшення коефіцієнтів тертя між матеріалом та робочими органами від 0,5 до 1,1 підвищує необхідну частоту обертання кожуха на 43%.

Також для випадку тихохідного транспортування для усталеного руху визначено значення кутового параметру вантажу: - для горизонтального конвеєра:

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{f_2 [c\omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R\omega_2]}{\sqrt{c^2 \omega_1^2 + R^2 \omega_2^2}} \right). \quad (13)$$

- для полого нахиленого конвеєра

Якщо кожух і шнек обертаються в одному напрямку (рис. 7.в), то рівняння осьової і колової швидкості будуть наступними:

$$v_z = \left(\frac{\omega_1 \operatorname{tg} \alpha + \omega_2 \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} - \omega_2 \right) \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta; \quad (11)$$

$$v_{\tau} = \frac{D(\omega_1 \operatorname{tg} \alpha + \omega_2 \operatorname{tg} \beta)}{2(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (12)$$

Для такого конвеєра, змінюючи частоту обертання кожуха, можна регулювати швидкість подачі матеріалу до повного його зупинення при обертанні шнека. Загалом можна зробити висновок, що

$$\theta = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{f_2 [c\omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R\omega_2]}{\sqrt{c^2\omega_1^2 + R^2\omega_2^2}} \right\} + \operatorname{arcsin} \left\{ \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \sqrt{1 + \frac{f_2^2 [c\omega_1 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) - R\omega_2]^2}{c^2\omega_1^2 + R^2\omega_2^2}} \right\}, \quad (14)$$

де $c = T/(2\pi)$ - параметр кроку гвинтової поверхні шнека.

У третьому розділі розроблено програму і методику експериментальних досліджень ГКОК. Програма експериментальних досліджень передбачала етапи розроблення та виготовлення ГКОК з можливістю зміни основних робочих параметрів; проведення лабораторних досліджень для визначення залежностей продуктивності, потужності на приводі шнека, потужності на приводі кожуха, сумарної потужності на приводах шнека та кожуха, питомих енерговитрат нахиленого гвинтового конвеєра з обертовим кожухом від зміни частоти обертання шнека $n_{ш}$, частоти обертання кожуха $n_{к}$, та кута нахилу конвеєра γ для транспортування кукурудзи, ячменю та пшениці при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека; статистичне оброблення результатів експериментів з метою визначення рівнянь регресій та емпіричних залежностей, що адекватно описують досліджувані процеси. Продуктивність ГКОК визначалась безпосереднім зважуванням вантажу, переміщеного за одиницю часу. Потужність конвеєра оцінювалась за витратами електроенергії з допомогою перетворювачів частоти і персональних комп'ютерів з програмним забезпеченням Power Suite v.2.5.0.

Експериментальну установку (рис. 9) виконано у вигляді вала з шнеком, що знаходиться в циліндричному кожусі з можливістю обертового руху.

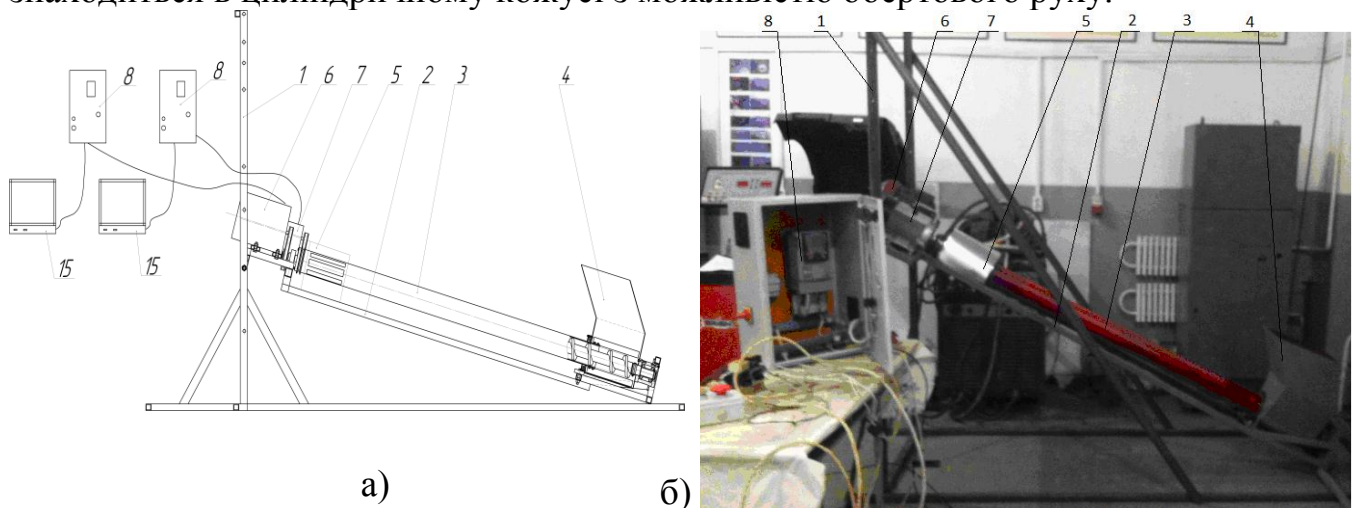


Рис. 9. Експериментальна установка: а) конструктивна схема; б) загальний вигляд; 1 - опора регулювання висоти подачі вантажу; 2 - рама; 3 - обертовий кожух з обертовим шнеком в середині; 4 - бункер; 5 - вивантажувальний патрубков; 6 - привід шнека; 7 - привід кожуха, 8 - перетворювачі частоти, 15 – персональний комп'ютер (ПК)

У верхній частині на нерухомій рамі закріплено вивантажувальний патрубков, електродвигун, який через пасову передачу з'єднано з валом, та інший електродвигун, який через пасову передачу з'єднано з циліндричним обертовим

кожухом. На нижній частині обертового кожуха знаходиться бункер. Регулювання висоти подачі вантажу та кута нахилу конвеєра відносно горизонту забезпечується опорним механізмом.

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.

При проведенні досліджень 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 частотні перетворювачі з фіксацією усіх необхідних даних у табличному чи графічному вигляді згідно розробленої методики проведення експериментальних досліджень.

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів положо нахиленого ГКОК на його продуктивність, потужність на приводі шнека, потужність на приводі кожуха, сумарну потужність на приводах шнека та кожуха, питомі енерговитрати під час транспортування сипких вантажів (параметри оптимізації Q , $N_{ш}$, $N_{к}$, $N_{с}$, w) розроблено методику і проведено повнофакторні експерименти із зміною трьох основних факторів: частоти обертання шнека $n_{ш}$, частоти обертання кожуха $n_{к}$, та кута нахилу конвеєра γ , тобто $Q=f(n_{ш}, n_{к}, \gamma)$, $N_{ш}=f(n_{ш}, n_{к}, \gamma)$, $N_{к}=f(n_{ш}, n_{к}, \gamma)$, $N_{с}=f(n_{ш}, n_{к}, \gamma)$, $w=f(n_{ш}, n_{к}, \gamma)$. Оброблення отриманих експериментальних даних проведено з використанням загальновідомих методик регресійного аналізу.

Четвертий розділ присвячено результатам проведених експериментальних досліджень з використанням повнофакторного експерименту. Отримано регресійні рівняння для визначення впливу зміни продуктивності ГКОК залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$ ($300 \leq n_{ш} \leq 700$ об/хв.), частоти обертання кожуха $n_{к}$ ($200 \leq n_{к} \leq 760$ об/хв.) та кута нахилу конвеєра γ ($14^\circ \leq \gamma \leq 36^\circ$) для транспортування сипких матеріалів при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека:

- під час транспортування кукурудзи:

$$Q_{(n_{ш}, n_{к}, \gamma)} = -1,22 + 1,31 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 5,69 \cdot 10^{-3} n_{к} + 9,28 \cdot 10^{-2} \gamma + 3,23 \cdot 10^{-6} n_{ш} n_{к} - 4,95 \cdot 10^{-5} n_{ш} \gamma - 2,04 \cdot 10^{-6} n_{к} \gamma + 3,48 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 5,79 \cdot 10^{-6} n_{к}^2 - 1,87 \cdot 10^{-3} \gamma^2; \quad (15)$$

- під час транспортування пшениці:

$$Q_{(n_{ш}, n_{к}, \gamma)} = -1,242 + 1,36 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 5,969 \cdot 10^{-3} n_{к} + 9,741 \cdot 10^{-2} \gamma + 3,41 \cdot 10^{-6} n_{ш} n_{к} - 5,182 \cdot 10^{-5} n_{ш} \gamma - 2,029 \cdot 10^{-6} n_{к} \gamma + 3,8 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 6,03 \cdot 10^{-6} n_{к}^2 - 1,967 \cdot 10^{-3} \gamma^2; \quad (16)$$

- під час транспортування ячменю:

$$Q_{(n_{ш}, n_{к}, \gamma)} = -0,974 + 1,053 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 4,55 \cdot 10^{-3} n_{к} + 7,342 \cdot 10^{-2} \gamma + 2,571 \cdot 10^{-6} n_{ш} n_{к} - 3,909 \cdot 10^{-5} n_{ш} \gamma - 1,218 \cdot 10^{-6} n_{к} \gamma + 2,75 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 4,592 \cdot 10^{-6} n_{к}^2 - 1,488 \cdot 10^{-3} \gamma^2. \quad (17)$$

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення продуктивності є: фактори $n_{ш}$, і n_k та комбінації цих факторів. Збільшення величини фактора γ призводить до зниження продуктивності на 5,9%. При цьому збільшення величини фактора n_k призводить до збільшення продуктивності на 9,8%.

На рис. 10 і рис. 11 зображено графічні залежності та поверхні відгуку залежності зміни продуктивності ГКОК під час транспортування кукурудзи.

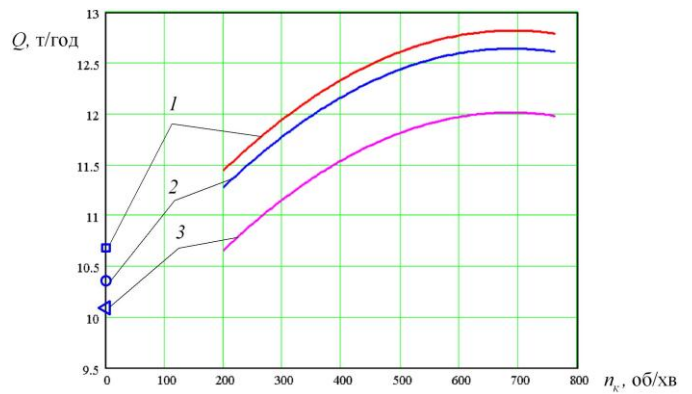


Рис. 10. Залежності продуктивності ГКОК від частоти обертання кожуха конвеєра ($D=96\text{мм}$; $n_{ш}=700\text{ об/хв.}$):
1) $\gamma=14^\circ$; 2) $\gamma=25^\circ$; 3) $\gamma=36^\circ$

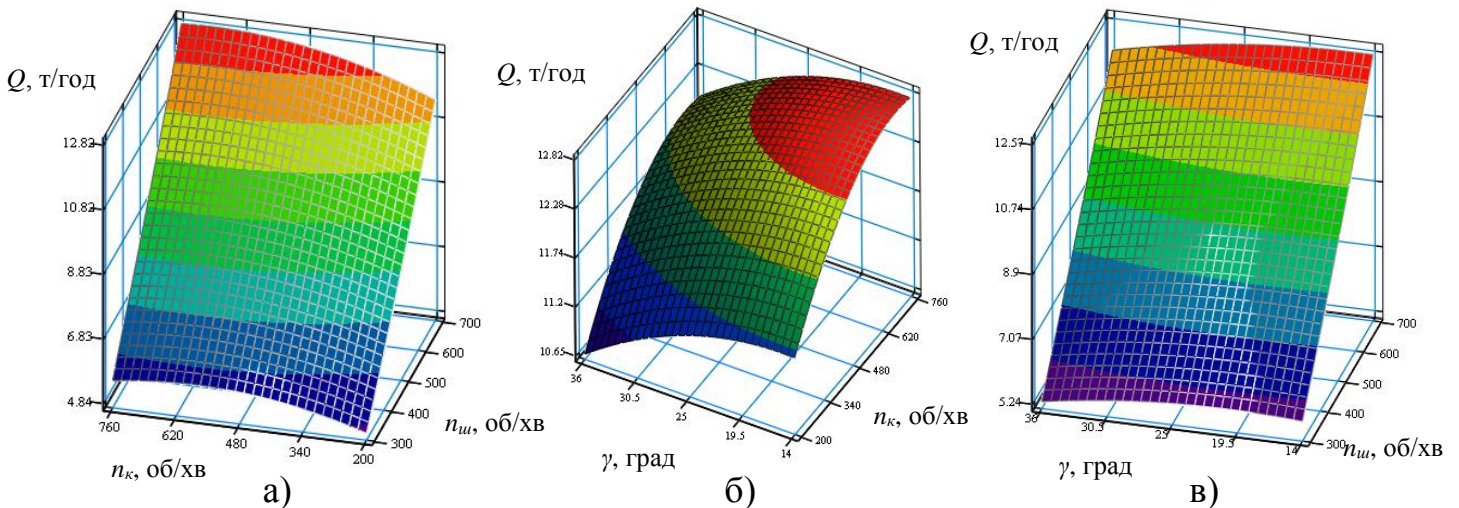


Рис. 11. Поверхні відгуку залежностей продуктивності ГКОК від частоти обертання шнека та частоти обертання кожуха: а) $\gamma=14^\circ$; б) $n_{ш}=700\text{ об/хв.}$; в) $n_k=480\text{ об/хв.}$

Встановлено, що найбільша продуктивність ГКОК досягається під час транспортування пшениці (становить 13,49 т/год.) і підвищення частоти обертання кожуха призводить до підвищення продуктивності конвеєра на 18-25% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. Рациональною є частота обертання кожуха від 480 до 600 об/хв., оскільки при цьому відбувається найбільший приріст продуктивності ГКОК. Розходження між результатами експериментальних та теоретичних досліджень знаходиться в межах 14%.

Отримано регресійні рівняння для визначення впливу зміни потужності на приводі шнека ГКОК залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$ ($420 \leq n_{ш} \leq 700\text{ об/хв.}$), частоти обертання кожуха n_k ($312 \leq n_k \leq 624\text{ об/хв.}$) та кута нахилу конвеєра γ ($14^\circ \leq \gamma \leq 36^\circ$) для транспортування сипких матеріалів при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека:

- під час транспортування кукурудзи:

$$N_{ш(n_{ш},n_{к},\gamma)} = 0,0482 + 1,76 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 1,54 \cdot 10^{-4} n_{к} + 4,28 \cdot 10^{-4} \gamma + 1,72 \cdot 10^{-7} n_{ш} n_{к} + 2,44 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 7,28 \cdot 10^{-7} n_{к} \gamma + 1,38 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 2,14 \cdot 10^{-7} n_{к}^2 - 1,9 \cdot 10^{-5} \gamma^2; \quad (18)$$

- під час транспортування пшениці:

$$N_{ш(n_{ш},n_{к},\gamma)} = 0,0625 + 2,02 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 1,51 \cdot 10^{-4} n_{к} + 6,57 \cdot 10^{-4} \gamma + 1,80 \cdot 10^{-7} n_{ш} n_{к} + 2,56 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 7,63 \cdot 10^{-7} n_{к} \gamma + 1,42 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 2,23 \cdot 10^{-7} n_{к}^2 - 2,04 \cdot 10^{-5} \gamma^2; \quad (19)$$

- під час транспортування ячменю:

$$N_{ш(n_{ш},n_{к},\gamma)} = 0,0480 + 1,58 \cdot 10^{-4} n_{ш} - 1,15 \cdot 10^{-4} n_{к} + 4,38 \cdot 10^{-4} \gamma + 1,38 \cdot 10^{-7} n_{ш} n_{к} + 1,96 \cdot 10^{-6} n_{ш} \gamma + 5,89 \cdot 10^{-7} n_{к} \gamma + 1,07 \cdot 10^{-7} n_{ш}^2 + 1,70 \cdot 10^{-7} n_{к}^2 - 1,57 \cdot 10^{-5} \gamma^2. \quad (20)$$

На рис. 12 зображено графічні залежності зміни потужності на приводі шнека ГКОК під час транспортування кукурудзи. Встановлено, що із збільшенням частоти обертання шнека, частоти обертання кожуха та кута нахилу ГКОК величина потужності на приводі шнека зростає. Збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека від 14 до 16%,

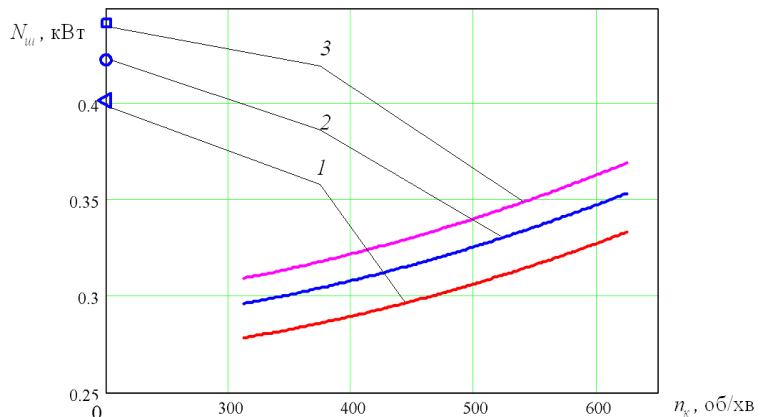


Рис. 12. Залежності потужності на приводі шнека ГКОК від частоти обертання кожуха конвеєра ($D=96$ мм; $n_{ш}=700$ об/хв.):
1) $\gamma=14^\circ$; 2) $\gamma=25^\circ$; 3) $\gamma=36^\circ$

а зміна кута нахилу ГКОК від 14 до 36 град. надає приросту потужності від 8 до 10%. Також за результатами досліджень встановлено, що надання обертового руху кожуху призводить до зниження потужності на приводі шнека від 16 до 30%, порівняно із його роботою при нерухомому кожусі, і найбільше зниження досягається при частоті обертання кожуха 312 об/хв., а найменше - при частоті обертання кожуха 624 об/хв. Розходження між результатами експериментальних та теоретичних досліджень знаходиться в межах 17%.

У розділі представлено отримані регресійні рівняння для визначення впливу зміни потужності на приводі обертового кожуха ГКОК залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$ ($420 \leq n_{ш} \leq 700$ об/хв.), частоти обертання кожуха n_k ($312 \leq n_k \leq 624$ об/хв) та кута нахилу конвеєра γ ($14^\circ \leq \gamma \leq 36^\circ$) для транспортування сипких матеріалів при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека:

- під час транспортування кукурудзи:

$$N_{к(n_{ш},n_{к},\gamma)} = -0,0326 + 7,14 \cdot 10^{-5} n_{ш} + 3,17 \cdot 10^{-5} n_{к} + 9,09 \cdot 10^{-4} \gamma + 2,06 \cdot 10^{-7} n_{к}^2; \quad (21)$$

- під час транспортування пшениці:

$$N_{k(n_{ш}, n_{к}, \gamma)} = -0,0376 + 7,86 \cdot 10^{-5} n_{ш} + 3,45 \cdot 10^{-5} n_{к} + 1 \cdot 10^{-3} \gamma + 2,17 \cdot 10^{-7} n_{к}^2; \quad (22)$$

- під час транспортування ячменю:

$$N_{k(n_{ш}, n_{к}, \gamma)} = -0,0262 + 5,74 \cdot 10^{-5} n_{ш} + 2,45 \cdot 10^{-5} n_{к} + 7,31 \cdot 10^{-4} \gamma + 1,66 \cdot 10^{-7} n_{к}^2. \quad (23)$$

Аналіз побудованих графічних відтворень проміжних загальних регресійних моделей впливу основних конструктивних параметрів конвеєра на потужність приводу обертового кожуха у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів показав, що максимальна потужність на приводі кожуха ГКОК для транспортування кукурудзи складає 0,15 кВт, а мінімальна – 0,04 кВт. Збільшення частоти обертання кожуха $n_{к}$ від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі кожуха до 60%, але при цьому збільшення кута нахилу ГКОК від 14 до 36 град. надає приросту потужності на приводі кожуха від 19 до 28%. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 420 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі кожуха на 12 - 15%, а розходження між результатами експериментальних та теоретичних досліджень знаходиться в межах 15%.

У розділі представлено результати експериментальних досліджень і отримані регресійні рівняння сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха ГКОК залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$, частоти обертання кожуха $n_{к}$ та кута нахилу конвеєра γ для транспортування сипких матеріалів при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека. Встановлено, що сумарна потужність на приводах шнека та обертового кожуха конвеєра для транспортування кукурудзи складає 0,52 кВт, а мінімальна – 0,2 кВт. Збільшення частоти обертання кожуха $n_{к}$ від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха від 22 до 25%, і при цьому збільшення кута нахилу конвеєра від 14 до 36 град. надає приросту сумарної потужності від 8 до 12%. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 420 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на 36 - 40%. Також за результатами досліджень встановлено, що надання обертового руху кожуху гвинтового конвеєра із частотою обертання більше 480 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха до 14 - 16% порівняно із потужністю на шнекові при нерухомому кожусі. При цьому зменшення частоти обертання кожуха від 480 об/хв. до 312 об/хв. надає можливість знизити сумарну потужність на приводах шнека та обертового кожуха до 10 - 12% порівняно із потужністю на шнекові при нерухомому кожусі, при цьому продуктивність конвеєра з обертовим кожухом залишається вищою ніж конвеєра із нерухомим кожухом. Розходження між результатами експериментальних та теоретичних досліджень знаходиться в межах 17%.

Також у четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень питомих енерговитрат транспортування матеріалів ГКОК і отримані рівняння регресії питомих енерговитрат ГКОК залежно від зміни частоти обертання шнека $n_{ш}$, частоти обертання кожуха $n_{к}$, та кута нахилу конвеєра γ для транспортування кукурудзи, ячменю та пшениці при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека:

- під час транспортування кукурудзи:

$$w_{(n_u, n_k, \gamma)} = 0,0132 - 9,31 \cdot 10^{-6} n_u - 6,4 \cdot 10^{-7} n_k + 1,34 \cdot 10^{-4} \gamma - 1,72 \cdot 10^{-8} n_u n_k + 8,12 \cdot 10^{-8} n_u \gamma - 7,28 \cdot 10^{-8} n_k \gamma + 1,35 \cdot 10^{-8} n_u^2 + 3,14 \cdot 10^{-8} n_k^2 + 2,18 \cdot 10^{-6} \gamma^2; \quad (24)$$

- під час транспортування пшениці:

$$w_{(n_u, n_k, \gamma)} = 1,065 \cdot 10^{-2} + 1,37 \cdot 10^{-6} n_u + 3,09 \cdot 10^{-6} n_k + 5,17 \cdot 10^{-5} \gamma - 2,59 \cdot 10^{-8} n_u n_k - 1,06 \cdot 10^{-7} n_u \gamma + 4,76 \cdot 10^{-8} n_k \gamma + 7,91 \cdot 10^{-9} n_u^2 + 2,84 \cdot 10^{-8} n_k^2 + 2,94 \cdot 10^{-6} \gamma^2; \quad (25)$$

- під час транспортування ячменю:

$$w_{(n_u, n_k, \gamma)} = 0,0115 + 1,57 \cdot 10^{-6} n_u + 2,29 \cdot 10^{-6} n_k + 5,22 \cdot 10^{-5} \gamma - 2,64 \cdot 10^{-8} n_u n_k - 1,06 \cdot 10^{-7} n_u \gamma + 4,78 \cdot 10^{-8} n_k \gamma + 8,06 \cdot 10^{-9} n_u^2 + 3,02 \cdot 10^{-8} n_k^2 + 3,15 \cdot 10^{-6} \gamma^2. \quad (26)$$

На рис. 13 зображено графічні залежності зміни питомих енерговитрат конвеєра з обертовим кожухом від частоти обертання кожуха під час транспортування кукурудзи. Встановлено, що збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до зростання питомих енерговитрат ГКОК від 18 до 20%.

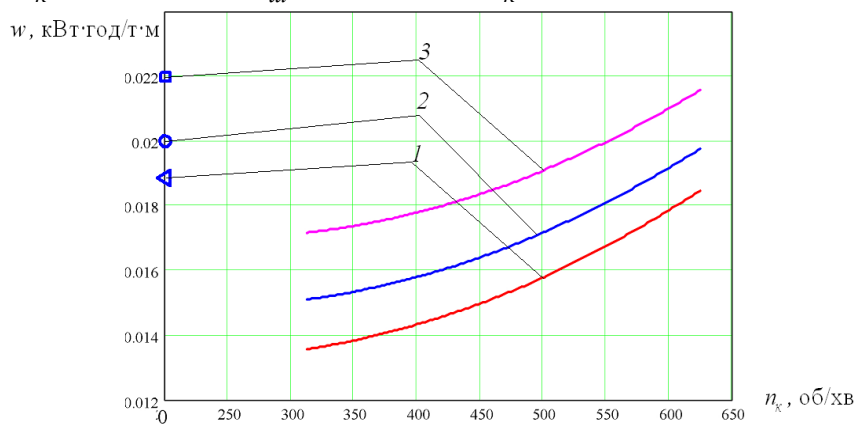


Рис. 13. Залежності питомих енерговитрат ГКОК від частоти обертання кожуха під час транспортування кукурудзи ($D=96\text{мм}$; $n_u=700\text{ об/хв.}$):

1) $\gamma=14^\circ$; 2) $\gamma=25^\circ$; 3) $\gamma=36^\circ$

При цьому збільшення кута нахилу конвеєра з обертовим кожухом від 14 до 36 град. надає приросту питомих енерговитрат конвеєра від 10 до 14%. Також за результатами досліджень встановлено, що надання обертового руху кожуху ГК призводить до зниження питомих енерговитрат конвеєра від 1,8 до 22% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. При цьому найбільше зниження питомих енерговитрат ГКОК досягається при частоті обертання кожуха 312 об/хв., а найменше - при частоті обертання кожуха 624 об/хв., але при такій частоті обертання кожуха забезпечується найвища продуктивність конвеєра. Розходження між результатами експериментальних та теоретичних досліджень знаходиться в межах 18%.

У п'ятому розділі проведено обґрунтування технологічності конструкції і розроблено інженерну методику проектування ГКОК, яка передбачає використання взаємозв'язаних параметрів, ступінь важливості яких може змінюватися у кожному окремому випадку. Основним критерієм при виборі конвеєра є властивості транспортованого вантажу, зокрема його густина, вологість, розміри частинок, температура, абразивні властивості та ін. Другим параметром є продуктивність, а до третього слід віднести цілу групу параметрів, що описують геометрію проектного

ГК. До них входять: довжина шнека, кут його нахилу, а також розміри і виконання завантажувального і розвантажувального патрубків.

Також у розділі представлено цілий ряд перспективних розробок різних типів ГК і їх гвинтових робочих органів, які захищені 11-ма деклараційними патентами на корисні моделі, і проведено обґрунтування економічної ефективності від використання ГКОК. При обертанні кожуха з частотою обертання 468 об/хв. (що відповідає 30Гц на частотному перетворювачі), а шнека з частотою обертання 700 об/хв. (50 Гц на другому частотному перетворювачі) продуктивність зростає на 20%. При цьому сумарні витрати потужності для обертання шнека та кожуха зростають у порівнянні з витратами потужності для обертання шнека без обертання кожуха на 1,82%. В перерахунку ефективність зростання продуктивності у порівнянні зі зростанням потужності становить 10,9%. Річна економія коштів на електроенергію за рахунок зростання продуктивності ГКОК становитиме 830,22 грн. З врахуванням витрат на оплату праці річна економія від використання гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становитиме 26570,27 грн.

При обертанні кожуха з частотою обертання 624 об/хв. (що відповідає 40Гц на частотному перетворювачі), а шнека з частотою обертання 700 об/хв. продуктивність зростає на 24%. При цьому потужність на шнеку спадає з 20% до 17% для двигуна 2,2 кВт, а потужність на кожуху складає 11% для двигуна 1,5 кВт. Ефективність зростання продуктивності у порівнянні зі зростанням потужності становить 1,5%. Річна економія від використання ГКОК у цьому випадку становить 31002,31 грн.

Окремі результати роботи впроваджено у ФГ «СВІТОЧ» та СФНВГ «Коваль».

ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове технічне вирішення наукової проблеми, яка полягає в підвищенні ефективності полого нахилених гвинтових конвеєрів шляхом розроблення нової конструкції гвинтового конвеєра з обертовим кожухом і вибору раціональних режимів її роботи із формуванням умов, що сприяють збільшенню осьової швидкості переміщення матеріалу.

2. Досліджено кінематику сипкого вантажу на основі рівнянь руху виділених об'ємів матеріалу у полого нахиленому швидкохідному гвинтовому ГКОК. Отримано параметричні рівняння та графіки траєкторії, швидкості та прискорення руху вантажу, які дозволяють визначати інтенсивність переміщення матеріалів та продуктивність роботи на стадії проектування конвеєра. Встановлено, що для режиму швидкохідного транспортування доцільно надавати обертовий рух кожуху в напрямку протилежному обертанню шнека, а для процесу змішування транспортованого матеріалу доцільним є обертання кожуха в напрямку обертання шнека. Проведено дослідження швидкостей сипкого матеріалу у ГКОК графоаналітичним методом. Встановлено залежності величини кутової швидкості обертання кожуха від кута підйому витка для випадку ідеального транспортування, коли усереднене значення швидкості переміщення вантажу у конвеєрі незначно відхиляється від розрахункового значення швидкості, отриманого без врахування сил тяжіння. Встановлено, що величина кута підйому витка α має суттєвий вплив на частоту обертання кожуха, збільшення кута підйому витка від 5 до 20 град

призводить до необхідності збільшення частоти обертання кожуха на величину від 14 до 90 % від частоти обертання шнека. Також збільшення коефіцієнтів тертя між матеріалом та робочими органами від 0,5 до 1,1 створює необхідність підвищувати необхідну частоту обертання кожуха на 43%.

3. Теоретично та експериментально досліджено характер навантаження на робочі елементи полого нахилоного ГКОК, виведено теоретичні та емпіричні залежності для визначення продуктивності та енергосилових параметрів під час переміщення вантажу, зокрема потужності на приводі шнека, потужності на приводі кожуха, сумарної потужності на приводах шнека та кожуха, питомих енерговитрат нахилоного ГКОК, що можна широко використовувати при проектуванні ГК у випадку обертання кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека. За результатами досліджень встановлено, що підвищення частоти обертання кожуха призводить до підвищення продуктивності ГК 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 продуктивності конвеєра. Рациональною є частота обертання кожуха від 480 до 600 об/хв, оскільки при цьому відбувається найбільший приріст продуктивності гвинтового конвеєра. Найбільший приріст продуктивності забезпечує збільшення частоти обертання шнека. Визначено значення кутового параметру вантажу для випадку тихохідного транспортування і усталеного руху для горизонтального та полого нахилоного конвеєрів з обертовим кожухом, що дозволяє підбирати частоту обертання кожуха відповідно до умов транспортування та характеристик сипкого вантажу із забезпеченням його нульового або мінімального кутового підйому з відповідним збільшення продуктивності транспортування.

4. Представлено результати експериментальних досліджень продуктивності, потужності на приводі шнека, потужності на приводі кожуха, сумарної потужності на приводах шнека та кожуха, питомих енерговитрат полого нахилоного ГКОК від зміни частоти обертання шнека $n_{ш}$, частоти обертання кожуха n_k , та кута нахилу конвеєра γ для транспортування кукурудзи, ячменю та пшениці при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека у таких межах зміни вхідних факторів: для продуктивності: $300 \leq n_{ш} \leq 700$ (об/хв.); $200 \leq n_k \leq 760$ (об/хв.); $14^\circ \leq \gamma \leq 36^\circ$; для решти параметрів із умови забезпечення підвищеної продуктивності конвеєра: $420 \leq n_{ш} \leq 700$ (об/хв.); $312 \leq n_k \leq 624$ (об/хв.); $14^\circ \leq \gamma \leq 36^\circ$.

5. Експериментально встановлено, що збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека від 14 до 16%. При цьому збільшення кута нахилу ГКОК від 14 до 36 град. надає приросту потужності від 8 до 10%. Також за результатами досліджень встановлено, що надання обертового руху кожуху ГК призводить до зниження потужності на приводі шнека від 16 до 30% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. При цьому найбільше зниження потужності на приводі шнека досягається при частоті обертання кожуха 312 об/хв., а найменше - при частоті обертання кожуха 624 об/хв., проте при такій частоті обертання кожуха забезпечується найвища продуктивність конвеєра.

Збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі кожуха до 60%. При цьому

збільшення кута нахилу ГКОК від 14 до 36 град. надає приросту потужності на приводі кожуха від 19 до 28%. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 420 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі кожуха на 12 - 15%.

6. Встановлено, що із збільшенням частоти обертання шнека, частоти обертання кожуха та кута нахилу ГКОК величина сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха конвеєра зростає. Максимальна сумарна потужність на приводах шнека та обертового кожуха конвеєра для транспортування кукурудзи складає 0,52 кВт, а мінімальна – 0,2 кВт. Збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха від 22 до 25%. При цьому збільшення кута нахилу конвеєра з обертовим кожухом від 14 до 36 град. надає приросту сумарної потужності від 8 до 12%. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 420 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на 36 - 40%. Також за результатами досліджень визначено, що надання обертового руху кожуху ГК із частотою обертання більше 480 об/хв. до 624 об/хв. призводить до підвищення сумарної потужності на приводах шнека та обертового кожуха до 14 - 16% порівняно із потужністю на шнекові при нерухомому кожусі. При цьому зменшення частоти обертання кожуха від 480 об/хв. до 312 об/хв. надає можливість знизити сумарну потужність на приводах шнека та обертового кожуха до 10 - 12% порівняно із потужністю на шнекові при нерухомому кожусі, при цьому продуктивність конвеєра з обертовим кожухом залишається вищою ніж ГК із нерухомим кожухом.

7. Досліджено, що із збільшенням частоти обертання кожуха, кута нахилу ГК та із зменшенням частоти обертання шнека величина питомих енерговитрат конвеєра з обертовим кожухом зростає. Збільшення частоти обертання кожуха n_k від 312 об/хв. до 624 об/хв. призводить до зростання питомих енерговитрат ГКОК від 18 до 20%. При цьому збільшення кута нахилу ГКОК від 14 до 36 град. надає приросту питомих енерговитрат конвеєра від 10 до 14%. За результатами досліджень встановлено, що надання обертового руху кожуху ГК призводить до зниження питомих енерговитрат конвеєра від 1,8 до 22% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. При цьому найбільше зниження питомих енерговитрат конвеєра досягається при частоті обертання кожуха 312 об/хв., а найменше - при частоті обертання кожуха 624 об/хв., проте при такій частоті обертання кожуха забезпечується найвища продуктивність конвеєра. Тому надання обертового руху кожуху ГК є доцільним способом зниження питомих енерговитрат та підвищення продуктивності конвеєра під час транспортування сипких матеріалів порівняно із ГК з нерухомим кожухом.

8. Проведено структурний синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з обертовими кожухами методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано ряд конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками, що дало можливість частково вирішити питання підвищення продуктивності транспортування сипких вантажів. На ряд розроблених конструкцій одержано 11 деклараційних патентів України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати впроваджено у ФГ «СВІТОЧ» та СФНВГ «Коваль». Прогнозований річний економічний ефект від застосування гвинтового конвеєра з обертовим кожухом складає 31002 грн.

ОСНОВНІ ОПУБЛІКОВАНІ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Фахові видання та публікації в закордонних збірниках

1. Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers / Iv.B. Nevko, O.L. Lyashuk, R.Y. Leshchuk, L.R. Rogatynska, A.L. Melnychuk // INMATEH – Agricultural Engineering. – Bucharest : INMA Bucharest / Romania, 2016. – Vol. 48, No. 1 – P. 35-42. *(Автором досліджено умови роботи гвинтового конвеєра та запропоновано конструктивні рішення модернізованих конструкцій. Індукується в міжнародній наукометричній базі SciVerse Scopus).*

Публікації у фахових виданнях

2. Дослідження продуктивності гвинтового конвеєра з обертовим кожухом / Р.М. Рогатинський, Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Р. Вар'ян, А.Л. Мельничук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні системи і технології тваринництва. – Харків, 2017. – Вип. 181. - С. 285-293. *(Автором прийнято участь у проведенні та статистичних обробленнях даних експерименту).*

3. Стендове обладнання для дослідження модернізованих гвинтових конвеєрів / Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, А.Р. Вар'ян, О.М. Кондратюк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2016. – Вип. 3 (75). - С. 274-282. *(Автором запропоновано використання частотного перетворювача у стендовому обладнанні та окремі конструктивні рішення при проектуванні установки).*

4. Рогатинський Р.М. Дослідження швидкостей зернового матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом графоаналітичним методом / Р.М. Рогатинський, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. – Луцьк, 2017. – № 38. - С. 125-132. *(Автором побудовано графічні залежності одержаних теоретичних результатів).*

5. Генерування конструкцій гвинтових механізмів методом морфологічного аналізу з ієрархічним групуванням / Р.М. Рогатинський, Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Р. Вар'ян, А.Л. Мельничук, І.М. Шуст // Перспективні технології та прилади. – Луцьк, 2017. – Вип. 10. - С. 186-192. *(Автором прийнято участь у генеруванні та відборі кращих варіантів генерованих конструкцій).*

6. Гевко Б.М. Дослідження технологічного процесу транспортування сипких матеріалів широко-універсальним шнековим транспортером / Б.М. Гевко, А.Л. Мельничук, І.М. Шуст // Вісник Тернопільського національного технічного університету. — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Т. 79. — № 3. — С. 143-148. *(Автором виведено аналітичні залежності для визначення силових, конструктивних і кінематичних параметрів шнекового транспортера).*

7. Техніко-економічне обґрунтування підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами / Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, Р.З. Золотий, І.М. Шуст // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2018. – Вип. 190. - С. 318-326. *(Автором запропоновано спосіб визначення очікуваного річного економічного ефекту).*

8. Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів / Ів.Б. Гевко, В.З. Гудь, І.М. Шуст, А.Л. Мельничук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків, – 2016. – Вип. 168. – С. 85-91. *(Автором прийнято участь у генеруванні та відборі кращих варіантів генерованих конструкцій).*

Тези конференцій та семінари

9. Установка для дослідження процесу перевантаження сипких вантажів конвеєрами з транспортуючими кожухами / Ів. Гевко, А. Дячун, А. Вар'ян, А. Мельничук // XIX наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: 18-19 травня 2016 р. : тези доп. – Тернопіль, 2016. – С. 22-23. *(Автором запропоновано використання частотного перетворювача у стендовому обладнанні та окремі конструктивні рішення при проектуванні установки).*

10. Стенд для дослідження транспортування вантажів гвинтовими конвеєрами з обертовими кожухами / Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, А.Р. Вар'ян // V Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”: 17-18 листопада 2016 р. : тези доп. – Тернопіль : вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – С. 149. *(Автором запропоновано та реалізовано метод контролю потужностей на приводах та окремі конструктивні рішення при проектуванні установки).*

11. Дослідження характеристик гвинтового конвеєра з обертовим кожухом / Р.М. Рогатинський, Ів.Б. Гевко, А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук // Всеукраїнська науково-технічна конференція “Механіка машин – основна складова прикладної механіки”, присвячена 110-річчю з дня народження Кожевникова Сергія Миколайовича : 11-13 квітня 2017 р. : тези доп. – Дніпро, 2017. – С. 312-313. *(Автором проведено узагальнення представлених результатів).*

12. Дослідження швидкості обертання кожуха гвинтового конвеєра / А.Є. Дячун, А.Л. Мельничук, А.Р. Вар'ян, В.З. Сай // XX наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: 17-18 травня 2017 р.: тези доп. – Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – С. 22. *(Автором встановлено основні параметри, що впливають на частоту обертання кожуха гвинтового конвеєра).*

13. Гевко Ів.Б. Гвинтові спіралі із пружно-запобіжним з'єднанням секцій / Ів.Б. Гевко, А.Л. Мельничук // IV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”: 25-26 листопада 2015 р. : тези доп. – Тернопіль : вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – С. 122-123. *(Автором запропоновано нові конструкції пружно-запобіжних з'єднань секцій гвинтових спіралей).*

14. Мельничук А.Л. Гвинтові конвеєри з ефективними завантажувальними механізмами / А.Л. Мельничук // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції навчально-наукового інституту технічного сервісу “Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин”: 1-2 грудня 2016 р. : тези доп. – Харків: ХНТУСГ, 2017. – С. 90.

15. Дячун А. Дослідження кінематики сипкого матеріалу у гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом / А. Дячун, А. Мельничук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 100-річчю з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті): 22-24 травня 2018 р. : тези доп. – Тернопіль, 2018. – С. 105-106. (*Автором виведено аналітичні залежності для дослідження кінематики сипкого матеріалу у гвинтовому конвеєрі з обертовим кожухом*).

Деклараційні патенти

16. Пат. № 119022. Україна, МПК (2017.01). В65G 33/00, В65G 33/26(2006.01). Гвинтовий конвеєр з обертовим завантажувальним кожухом і гвинтом / Гевко І.Б., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М., Дячун А.Є., Стадник І.Я. заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М., Дячун А.Є., Стадник І.Я. – № у 2017 01919 ; заявл. 28.02.17; опубл. 11.09.17, Бюл. №17. (*Частка всіх авторів однакова*).

17. Пат. № 119023. Україна, МПК (2017.01). В65G 33/00. Гвинтовий конвеєр з регульованим завантаженням / Гевко І.Б., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М., Дячун А.Є., Стадник І.Я. заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М., Дячун А.Є., Стадник І.Я. – № у 2017 01934 ; заявл. 28.02.17; опубл. 11.09.17, Бюл. №17. (*Частка всіх авторів однакова*).

18. Пат. 115032 Україна, МПК F16D 7/06 (2006.01). Пружно-запобіжна муфта гнучкого гвинтового конвеєра / Гевко І.Б., Дубиняк Т.С., Мельничук А.Л., Скиба О.П., Клендій В.М.; заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Дубиняк Т.С., Мельничук А.Л., Скиба О.П., Клендій В.М. – № у 2016 1153927; заявл. 14.11.16; опубл. 27.03.17, Бюл. № 6. (*Частка всіх авторів однакова*).

19. Пат. 121360 Україна, МПК F16D 7/06 (2006.01). Пружна муфта / Гевко І.Б., Дубиняк Т.С., Мельничук А.Л., Скиба О.П. ; заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Дубиняк Т.С., Мельничук А.Л., Скиба О.П. – № а 201702361; заявл. 14.03.17; опубл. 11.12.17, Бюл. № 23. (*Частка всіх авторів однакова*).

20. Пат. 112995 Україна, МПК F16D 7/06 (2006.01). Пружно-запобіжна муфта / Гевко І.Б., Комар Р.В., Мельничук А.Л., Дубиняк Т.С., Шуст І.М.; заявник і патентоотримувач Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – № у 060292017; заявл. 03.06.16; опубл. 10.01.17, Бюл. № 1. (*Частка всіх авторів однакова*).

21. Пат. 103550 Україна, МПК В65G 33/14 (2006.01). Пружний гнучкий гвинтовий робочий орган / Гевко І.Б., Мельничук А.Л., Шуст І.М.; заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Мельничук А.Л., Шуст І.М. – № у 2015 05086; заявл. 25.05.15; опубл. 25.12.15, Бюл. № 24. (*Частка всіх авторів однакова*).

22. Пат. 106936 Україна, МПК В65G 33/08 (2006.01). Гвинтова спіраль з конусоподібним кулачковим запобіжним з'єднанням секцій / Гевко І.Б., Мельничук А.Л. заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Мельничук А.Л. – № у 2015 11742; заявл. 27.11.15; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9. (*Частка всіх авторів однакова*).

23. Пат. 108024 Україна, МПК В65G 33/14 (2006.01). Гнучкий гвинтовий конвеєр з компенсаційним з'єднанням / Гевко І.Б., Мельничук А.Л. заявники і патентоотримувачі: Гевко І.Б., Мельничук А.Л. – № у 2016 00649; заявл. 27.01.16;

опубл. 24.06.16, Бюл. № 12. (*Частка всіх авторів однакова*).

24. Пат. 112512 Україна, МПК В21D 39/00 (2006.01). Гвинтовий конвеєр з ексцентричним кожухом, що повертається / Рогатинський Р.М., Гевко Ів.Б., Рогатинська О.Р., Шуст І.М., Мельничук А.Л. заявники і патентоотримувачі: Рогатинський Р.М., Гевко Ів.Б., Рогатинська О.Р., Шуст І.М., Мельничук А.Л. – № у 2016 04736; заявл. 28.04.16; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24. (*Частка всіх авторів однакова*).

25. Пат. 124911 Україна, МПК В65G 33/14 (2006.01). Гвинтовий конвеєр зі змінним діаметром кожуха / Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Шуст І.М., Мельничук А.Л., Круглик О.А. заявники і патентоотримувачі: Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Шуст І.М., Мельничук А.Л., Круглик О.А. – № у 2017 11316; заявл. 20.11.17; опубл. 25.04.18, Бюл. № 8. (*Частка всіх авторів однакова*).

26. Пат. 124912 Україна, МПК В65G 33/14 (2006.01). Гвинтовий конвеєр з кожухом, що повертається / Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Шуст І.М., Мельничук А.Л., Круглик О.А. заявники і патентоотримувачі: Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Шуст І.М., Мельничук А.Л., Круглик О.А. – № у 2017 11317; заявл. 20.11.17; опубл. 25.04.18, Бюл. № 8. (*Частка всіх авторів однакова*).

АНОТАЦІЯ

Мельничук А.Л. Обґрунтування конструкції та параметрів полого нахиленого гвинтового конвеєра з обертовим кожухом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дисертація присвячена теоретичному узагальненню і новому технічному вирішенню наукової проблеми, яка полягає в підвищенні ефективності полого нахилених гвинтових конвеєрів шляхом розроблення нових конструкцій з обертовими кожухами і вибору раціональних режимів їх роботи. Для вирішення поставлених задач проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень. Досліджено кінематику сипкого вантажу у полого нахиленому гвинтовому конвеєрі із обертовим кожухом і проведено дослідження швидкостей сипкого матеріалу графоаналітичним методом. Теоретично та експериментально досліджено характер навантаження на робочі елементи конвеєра і виведені теоретичні та емпіричні залежності для визначення продуктивності та енергосилових параметрів під час переміщення вантажу.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що обертання кожуха частотою від 480 до 620 об/хв. забезпечує підвищення продуктивності гвинтового конвеєра на 18-25%, а подальше підвищення є нераціональним, оскільки не впливає на продуктивність. Обертання кожуха в цих діапазонах призводить до зниження питомих енерговитрат конвеєра від 1,8 до 22% порівняно із його роботою при нерухомому кожусі. При цьому найбільше зниження питомих енерговитрат конвеєра досягається при частоті обертання кожуха 312 об/хв., а найменше - при частоті обертання кожуха 624 об/хв., проте при такій частоті обертання кожуха забезпечується найвища продуктивність конвеєра.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, шнек, кожух, частота обертання, продуктивність, питомі енерговитрати.

АННОТАЦИЯ

Мельничук А.Л. Обоснование конструкции и параметров полого наклоненного винтового конвейера с вращающимся кожухом. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.05 "Подъемно-транспортные машины". - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2018.

Диссертация посвящена теоретическому обобщению и новому техническому решению научной проблемы, которая заключается в повышении эффективности полого наклоненных винтовых конвейеров путем разработки новых конструкций с вращающимися кожухами и выбора рациональных режимов их работы. Для решения поставленных задач проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Исследовано кинематику сыпучего груза в полого наклонном винтовом конвейере с вращающимся кожухом и проведено исследование скоростей сыпучего материала графоаналитическим методом.

Теоретически и экспериментально исследованы характер нагрузки на рабочие элементы конвейера и выведены теоретические и эмпирические зависимости для определения производительности и энергосиловых параметров при перемещении груза.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что вращение кожуха с частотой от 480 до 620 об/мин. обеспечивает повышение производительности винтового конвейера на 18-25%, а дальнейшее повышение частоты вращения нерационально, поскольку не влияет на производительность. Вращения кожуха в этих диапазонах приводит к снижению удельных энергозатрат конвейера от 1,8 до 22% сравнительно с его работой при неподвижном кожухе. При этом наибольшее снижение удельных энергозатрат конвейера достигается при частоте вращения кожуха 312 об / мин., а меньше всего при частоте вращения кожуха 624 об / мин., Однако при такой частоте вращения кожуха обеспечивается более высокая производительность конвейера.

Ключевые слова: винтовой конвейер, шнек, кожух, частота вращения, производительность, удельные энергозатраты.

ANNOTATION

Melnichuk A.L. Justification of the design and parameters of a hollow inclined screw conveyor with a rotating casing. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.05.05 "Lifting Transport Equipment". - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

The thesis is devoted to theoretical generalization and a new technical solution of the scientific problem, which consists in increasing the efficiency of hollow inclined screw conveyors by developing new designs of screw conveyors with rotating casings and selecting rational operating modes with the formation of conditions conducive to an increase in the axial velocity of material movement.

The kinematics of the bulk cargo is studied on the basis of the equations of motion of the extracted volumes of material in a hollow inclined high-speed screw conveyor with a rotating casing. Parametric equations and graphs of the trajectory, speed and acceleration of the cargo movement are obtained, which allow to determine the intensity of material movement and the productivity of the work at the stage of designing the conveyor. The velocities of bulk material in a screw conveyor with a rotating casing in a grapho-analytical method were studied.

The character of the load on the working elements of a hollow inclined screw conveyor with a rotating casing has been theoretically and experimentally studied, theoretical and empirical dependences have been derived to determine the productivity and energy parameters when moving the cargo, in particular, the power on the screw drive, the power at the casing drive, the total power on the screw drives and casing, the specific energy consumption of a tilted screw conveyor with a rotating casing, can be widely used in the design of screw conveyors while rotating the casing in a direction opposite to the rotation direction of the screw.

According to the results of the research, it is established that an increase in the rotational speed of the casing leads to an increase in the productivity of the screw conveyor by 18-25% compared to its operation with a stationary casing. Also increase of the rotational speed of the casing above 620 rpm. is irrational, because this does not change the performance of the conveyor. The rational rotation speed of the casing is from 480 to 600 rpm, as this results in the greatest increase in the productivity of the screw conveyor.

According to the results of the research, it is established that the provision of rotational motion of the screw conveyor casing results in a decrease in the specific energy consumption of the conveyor from 1.8 to 22% compared to its operation with a stationary casing. At the same time, the maximum reduction in the specific energy consumption of the conveyor is achieved at a rotational speed of 312 rpm, and the minimum at a rotational speed of 624 rpm. However, at this casing rotation speed, the highest conveyor productivity is ensured. Therefore, the provision of rotational motion of the casing of the screw conveyor is expedient in the way of reducing the specific energy consumption and increasing the productivity of the conveyor when transporting bulk materials in comparison with a screw conveyor with a static casing.

A new design of a screw conveyor with a rotating casing with the establishment of its design and technological parameters has been developed and tested. The results of the comparative evaluation of the upgraded screw conveyor with the base confirmed the technological efficiency of its use in the transport of bulk materials. Empirical dependencies have been obtained to determine the productivity, capacities on the drives of the screw and casing and the specific energy consumption of a hollow inclined screw conveyor with a rotating casing.

The technical novelty of developments is protected by the 11 declarative patents of Ukraine on utility models. The received scientific and practical results are implemented in the FV "SVITICH" and SFNVG "Koval". The projected annual economic effect of using a screw conveyor with a rotating casing is 31002 UAH.

Key words: screw conveyor, screw, casing, speed, productivity, specific power consumption.