

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

СЕРІЛКО ДМИТРО ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 621.867.42

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ ЗАБІРНИХ
ПРИСТРОЇВ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ**

05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2015

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
Рогатинський Роман Михайлович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ловейкін Вячеслав Сергійович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України,
завідувач кафедри конструювання машин і обладнання;

кандидат технічних наук, доцент
Шимчук Олександр Петрович,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри автомобільних доріг та аеродромів

Захист відбудеться 02 вересня 2015 р. о 14⁰⁰ 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, навчальний корпус №2, ауд. 79

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №2.

Автореферат розісланий «31» липня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Простота конструкції гвинтових конвеєрів, мала трудомісткість робіт з їх виготовлення, а також порівняно невелика вартість, можливість транспортування матеріалів без забруднення навколишнього середовища і втрат зумовило їх широке застосування в різних галузях промисловості та сільського господарства для транспортування сипких, порошкоподібних, дрібнокускових матеріалів.

Разом з тим до основних недоліків цих транспортуючих засобів відносять порівняно низьку продуктивність і високу енергоємність процесу транспортування. Особливо це стосується вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів. Це пов'язано з тим, що при значних кутових швидкостях гвинта відцентрові сили інерції в зоні завантаження стають більшими за гравітаційні, під дією яких сипкий матеріал поступає в гвинтовий канал шнека. А тому дослідження процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра та розробка нових конструкцій забірних пристроїв цих транспортерів з обґрунтуванням їх конструктивно-кінематичних параметрів є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження, що складають основу дисертаційної роботи, виконано відповідно до наукової тематики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною тем: «Розробка теорії та дослідження транспортно-технологічних та перевантажувальних систем з розрідженими потоками» (№ державної реєстрації 0105U000742), «Розробка теорії транспортування сипких вантажів швидкісними гвинтовими конвеєрами із еластичними робочими органами» (№ державної реєстрації 0108U001105), «Синтез систем неперервного транспорту на основі розкриття закономірностей формування потоку вантажу робочими поверхнями» (№ державної реєстрації 0111U002586).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи - підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами шляхом розробки конструкцій та обґрунтування параметрів забірних пристроїв цих транспортуючих засобів.

Відповідно до мети було визначено такі завдання:

- провести аналіз відомих способів завантаження гвинтових конвеєрів та конструкцій їх забірних пристроїв і окреслити шляхи їх вдосконалення;
- розробити математичну модель процесу завантаження гвинтового конвеєра;
- обґрунтувати аналітичні залежності для визначення розподілу тиску сипкого матеріалу в бункері з розташованим у ньому гвинтовим конвеєром із урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу та висоти його засипки;
- на основі проведеного аналізу процесу завантаження гвинтового конвеєра розробити конструкції ефективних забірних пристроїв та обґрунтувати їх конструктивно-кінематичні параметри;
- експериментально дослідити закономірності впливу конструктивних і кінематичних параметрів забірних пристроїв на показники процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром;
- розробити методику розрахунку забірною пристрою вертикального гвинтового конвеєра.

Об'єкт дослідження – процеси та системи завантаження вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів сипким матеріалом.

Предмет дослідження – закономірності завантаження та впливу конструктивних і режимних параметрів вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів із новими забірними пристроями на їхню продуктивність та енергоефективність.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведено з використанням фундаментальних засад теоретичної механіки, механіки суцільного середовища, методів диференціального та інтегрального числення, теорії математичного та комп'ютерного моделювання. Експериментальні дослідження виконували з використанням методу математичного планування експерименту на спеціально розробленому устаткуванні. Статистичну обробку експериментальних даних проведено з використанням прикладних програм для ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше побудовано математичну модель руху сипкого середовища в забірній частині гвинтового конвеєра, на основі якої встановлено закономірності впливу кутової швидкості гвинта та геометричних параметрів забірної частини швидкохідного гвинтового конвеєра на його продуктивність;

- вперше визначено розподіл тиску сипкого матеріалу в бункері, в якому знаходиться гвинтовий конвеєр, що дозволило встановити його взаємозв'язок з геометричними параметрами бункерів різної форми;

- побудовано модель впливу параметрів бункера на витрату сипкого матеріалу при боковому витіканні на основі регресійної залежності, що дало можливість уточнити закономірності руху сипкого матеріалу у гвинтовому каналі забірної пристрою гвинтового конвеєра;

- виведено залежності швидкостей руху частинок сипкого матеріалу по нерухомій гвинтовій поверхні від її геометричних параметрів, коефіцієнту тертя та початкової швидкості, які дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри запропонованого забірної пристрою швидкохідного гвинтового конвеєра.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено, виготовлено та експериментально досліджено конструкцію забірної пристрою, який забезпечує необхідний коефіцієнт заповнення вертикального гвинтового конвеєра незалежно від частоти обертання гвинта при менших розмірах і, відповідно, масі та вартості даного транспортного засобу. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблено методику розрахунку забірної пристрою.

Технічну новизну розроблених конструкцій захищено 7 патентами України на корисні моделі. Результати досліджень впроваджено на підприємстві «ТОВ ПІ Ізотерм-С» в Рівненській області, окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів за напрямком підготовки «Машинобудування», та спеціалістів за спеціальністю «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» в Національному університеті водного господарства та природокористування.

Особистий внесок здобувача.

Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконано автором самостійно [2, 8, 10, 11, 14]. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем обґрунтовано параметри та методику розрахунку забірних пристроїв гвинтових конвеєрів [1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15,], а також запропоновано нові конструкції гвинтових конвеєрів [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Апробація результатів дисертацій. Основні положення та результати роботи доповідали та обговорювали на міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми водного господарства та природокористування присвяченій 85-річчю НУВГП», м. Рівне (21-22 листопада 2007 р.); науковому семінарі «Проблеми та перспективи розвитку підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин», м. Краматорськ (17-20 вересня 2007 р.); дванадцятій науковій конференції ТДТУ, м. Тернопіль (14-15 травня 2008 р.); всеукраїнській науковій конференції ТДТУ, м. Тернопіль (13-14 травня 2009 р.); третій міжнародній конференції: «Актуальні проблеми водного господарства та природокористування НУВГП», м. Рівне (21-23 жовтня 2009 р.); міжнародній науково - технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», ТНТУ, м. Тернопіль (19-21 травня 2010); 10-му міжнародному симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові (25-27 травня 2011 р.); науковому семінарі «Підйомно-транспортні машини» Підйомно-транспортної Академії наук України, м. Тернопіль (29-29 березня 2012 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Нові досягнення в галузі проектування і експлуатації підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин», ХНАДУ, м. Харків (19-21 вересня 2012 р.); міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», ТНТУ, м. Тернопіль (19-20 грудня 2012 р.); XVIII Науковій конференції ТНТУ, м. Тернопіль (29-30 жовтня 2014); III Міжнародній конференції молодих учених та студентів ТНТУ, м. Тернопіль (19-20 листопада 2014). У повному обсязі дисертація доповідалась і отримала позитивний відгук на наукових семінарах у Національному університеті водного господарства і природокористування та Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

Публікації. Результати наукових досліджень викладено у 22 друкованих працях (5 – одноосібних), з яких – 7 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в закордонному періодичному фаховому виданні, 7 матеріалів тез конференцій і симпозиумів, 7 патентів України на корисні моделі.

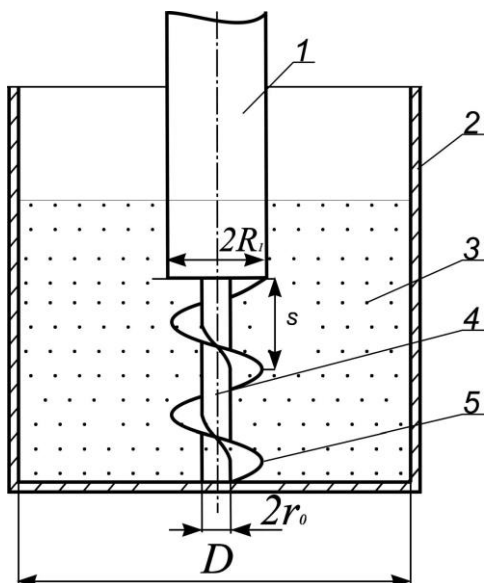
Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації – 192 сторінки, у тому числі 99 рисунків, 26 таблиць, список використаних джерел із 136 найменувань і 5 додатків на 39 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації – 137 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано її мету, завдання дослідження і основні положення, викладено наукову новизну та

практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проаналізовано способи завантаження гвинтових конвеєрів і конструкції їх забірних пристроїв. Проведено аналіз досліджень як щодо гвинтових конвеєрів у цілому, так і забірних пристроїв цих транспортуючих засобів. Проведений аналіз виявив, що відомі технічні рішення стосується в основному гвинтових конвеєрів, які працюють з відносно невеликими кутовими швидкостями, коли відцентрові сили інерції суттєво не впливають на процес їхнього завантаження. Проблемами транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами займалися такі вчені: Л.М. Александр, М.П. Александров, О.Д. Алімов, К.В. Алферов, П.І. Басов, А.А. Вайнсон, П.М. Василенко, Б.М. Гевко, І.Б. Гевко, Р.Б. Гевко, Х. Герман, А.М. Григор'єв, І.Е. Груздев, Л.В. Гячев, В.К. Дьячков, В.П. Желтов, П.М. Заїка, Р.Л. Зенков, В.Г. Іванов, Ф.К. Іванченко, Г.В. Корнєєв, Л.М. Куцин, В.С. Ловейкін, Д. Мак-Келві, І.В. Морін, О.О. Омельченко, Ю.А. Пертен, В.І. Пономарьов, П.А. Преображенский, М.І. Пилипець, Р.М. Рогатинський, О.Р. Рогатинська, А.О. Співаковський, А.Я. Соколов, А.С. Щербаков, В.Ф. Ярошенко. У їхніх працях викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами, обґрунтовано раціональні конструктивні та кінематичні параметри. Аналіз цих робіт дозволив зробити висновок про відсутність досліджень закономірностей процесу завантаження швидкохідних гвинтових конвеєрів.



1 - кожух, 2 - бункер, 3 - сипкий матеріал, 4 - вал гвинта, 5 - гвинт

У другому розділі викладено результати теоретичного дослідження процесу руху сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра, схему якого наведено на рис. 1. Сипкий матеріал під дією сил тяжіння поступає в міжвитковий простір гвинтового каналу і внаслідок обертання гвинта транспортується до вивантажувального патрубку. При збільшенні кутової швидкості гвинта відцентрові сили інерції, які діють на частинки сипкого матеріалу, в бункері можуть бути більшими від гравітаційних сил в зоні завантаження, в результаті чого зменшується коефіцієнт заповнення, а отже, і продуктивність гвинтового конвеєра.

Для обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів було розроблено математичну модель процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра. З метою спрощення рівнянь руху використано циліндричну систему координат і прийнято припущення, що під дією відцентрових сил вантаж зосереджується в периферійній зоні гвинтового каналу (рис.2), тобто сипкий матеріал переміщується потоком товщиною l в «умовному» каналі шириною B , зовнішнім R_1 і внутрішнім R_0 радіусами. При цьому силами тертя між матеріалом і валом, радіусом r_0 шнека нехтується.

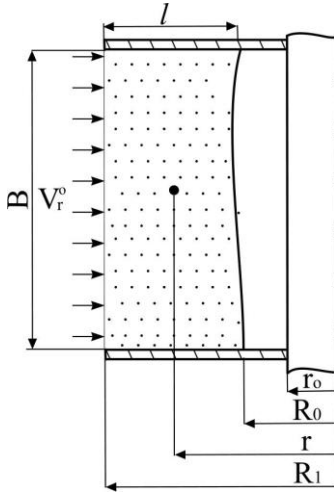


Рис. 2. Схема розташування сипкого матеріалу в перерізі гвинтового каналу

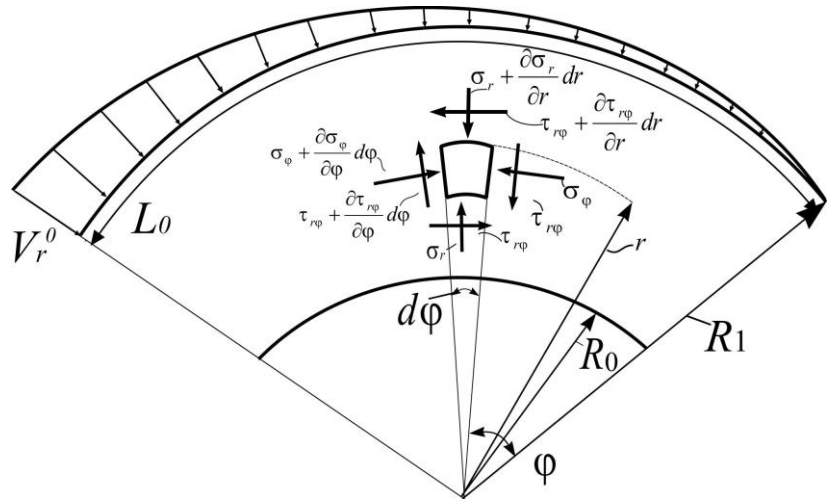


Рис. 3. Плоска модель руху сипкого середовища в гвинтовому каналі

Оскільки $l/B < 1$, то розглядали квазіплоску модель сипкого середовища в гвинтовому каналі (рис. 3), рівняння руху та неперервності якого мають вигляд:

$$\begin{cases} \rho \left(V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi^2}{r} \right) = \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} + \rho F_r; \\ \rho \left(V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r V_\varphi}{r} \right) = \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} + \rho F_\varphi; \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де V_r , V_φ – радіальна та трансверсальна швидкості матеріалу; σ_φ , σ_r , $\tau_{r\varphi}$ – компоненти тензора напружень в полярних координатах; r та φ – радіальна та трансверсальна координати виділеного елемента; F_φ , F_r – проекції масових сил на ці координати; ρ – щільність матеріалу.

Оскільки висота каналу прийнята значно менша його ширини, то зміну радіальної складової швидкості від максимального значення V_r^0 до нуля вздовж радіуса апроксимуємо лінійною залежністю, тобто $\partial V_r / \partial r = C(\varphi)$, звідки $V_r = C(\varphi)r + C_0$, де $C(\varphi)$ – деяка функція, яка залежить від кутової координати φ , C_0 – константа. З врахуванням граничних умов: $V_r|_{r=R_0} = 0$, $V_r|_{r=R_1} = -V_r^0$ рівняння зміни радіальної складової швидкості має вигляд:

$$V_r = \frac{2V_c(r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right), \quad (2)$$

де $V_c = Q/L_0B$ – середня швидкість, з якою матеріал поступає з бункера у гвинтовий канал; Q – об'ємна продуктивність гвинтового конвеєра; L_0 – довжина гвинтового каналу в забірній частині, φ_1 – кінцеве значення координати φ , $L_0 = \varphi_1 R_1$.

Трансверсальну складову швидкості V_φ при відомому розподілі V_r , отримано із рівняння неперервності:

$$V_\varphi = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi - \frac{\varphi^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r), \quad (3)$$

де $\psi(r)$ – деяка функція від r , для визначення якої прийнемо, що відносні кутові швидкості частинок матеріалу в гвинтовому каналі транспортуючої частини шнека розподіляються по закону: $\omega = \omega_0 - CR_0/r^2$, ω_0 – кутова швидкість гвинта; C – деяка константа, яка залежить від геометричних параметрів гвинта.

Відповідно, об'ємна продуктивність гвинтового конвеєра буде рівна:

$$Q = B \times \int_{R_0}^{R_1} \frac{\omega r dr}{\cos \alpha} = \frac{B}{\cos \alpha} \left[0,5\omega_0(R_1^2 - R_0^2) - CR_0 \ln \frac{R_1}{R_0} \right]. \quad (4)$$

Константу C визначали, прирівнюючи значення продуктивності за залежністю (4) та за класичним визначенням $Q = \pi(R_1^2 - R_0^2)B \cdot S \cdot K_{II} \omega / 2\pi$, де S – крок гвинта; α – кут підйому гвинтової лінії.

$$C = \frac{\omega_0(R_1^2 - R_0^2)}{2R_0 \ln(R_1/R_0)} (1 - K_{II}), \quad (5)$$

де K_{II} – коефіцієнт продуктивності «умовного» гвинтового конвеєра.

Значення функції $\psi(r)$ в залежності (3) отримано за умови того, що $V_\varphi|_{\varphi=\varphi_1} = (\omega_0 - CR_0/r^2)r$:

$$\psi(r) = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r - V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1. \quad (6)$$

Розподіл напружень визначали з рівнянь руху (3) для випадку безнапірного шнеку, для якого прийнято $\partial \tau_{r\varphi} / \partial \varphi = 0$, $\sigma_\varphi = k\sigma_r$, $V_r|_{\varphi=\varphi_1} = 0$, де k – коефіцієнт бокового тиску, який залежить від кута внутрішнього тертя сипкого матеріалу. Зробивши заміну $\sigma = \sigma_r - \sigma_\varphi$, з врахуванням (2), (3), (6) рівняння руху суцільного середовища в проекції на вісь r має вигляд:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\sigma}{r} = \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right)^2 r - \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \frac{2V_c(R_1 - R_0)}{(R_1 - R_0)\varphi_1}, \quad (7)$$

Інтегруванням рівняння (7) із врахуванням $\sigma_{r=R_0} = 0$, отримано розподіл напружень в сипкому середовищі:

$$\sigma = \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0^2)r^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0 r^2}{2} + Br(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{r} - AR_0B \ln r \right] - \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0^2)R_0^3}{3} + \frac{A\omega_0 R_0^3}{2} + BR_0(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{R_0} - AR_0B \ln R_0 \right], \quad (8)$$

де $A = 2V_c / (R_1 - R_0)\varphi_1$, $B = CR_0$.

Графічні залежності напружень у сипкому середовищі, яке знаходиться в кінці забірної частини гвинтового конвеєра від кутової швидкості гвинта і коефіцієнта продуктивності подано на рис. 4.

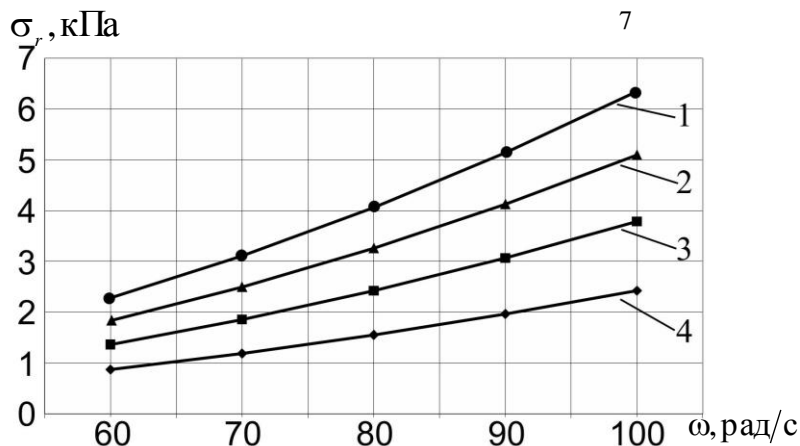


Рис. 4. Залежності напружень σ_r у сипкому середовищі в забірній частині від кутової швидкості гвинта ω для різних значень коефіцієнта продуктивності: 1 – $K_{\pi} = 0,8$; 2 – $K_{\pi} = 0,75$; 3 – $K_{\pi} = 0,7$; 4 – $K_{\pi} = 0,65$

Аналізуючи отримані залежності, робимо висновок, що для забезпечення коефіцієнту продуктивності $K_{\pi} = 0,7..0,75$, що відповідає раціональним значенням коефіцієнту заповнення $\varphi_3 = 0,6..0,8$, необхідно створити в зоні завантаження надлишковий тиск $P = 1,8..2,5$ кПа при кутовій швидкості гвинта $\omega = 70$ рад/с і $P = 3,0..4,2$ кПа при $\omega = 90$ рад/с. Вирішити цю задачу можна шляхом збільшення розмірів бункера або застосовуючи примусову подачу матеріалу в забірну частину конвеєра.

Враховуючи необхідність створення максимального тиску в забірній частині, обґрунтовано аналітичні залежності, які розкривають вплив параметрів бункера, фізико-механічних властивостей матеріалу та діаметра кожуха гвинта на величину максимального тиску. Для цього розглядали рівновагу елементарного шару сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері (рис. 5) під дією сил: тяжіння G , тертя між виділеним шаром і стінками бункера dF_{T_1} між виділеним шаром і кожухом гвинтового конвеєра dF_{T_2} .

$$G + P \cdot A_E - (P + dP) \cdot A - dF_{T_1} - dF_{T_2} = 0, \quad (9)$$

де $G = \rho \cdot g \cdot A_E \cdot dy$ – вага виділеного елемента; $A_E = \pi/4(D^2 - d^2)$ – площа його поперечного перерізу; D – діаметр бункера; d – діаметр кожуха конвеєра.

Елементарні сили тертя, що діють на виділений шар

$$dF_{T_1} = f_1 \cdot N_1 = f_1 \cdot \pi \cdot q \cdot D \cdot dy; \quad dF_{T_2} = f_2 \cdot N_2 = f_2 \cdot \pi \cdot q \cdot d \cdot dy. \quad (10)$$

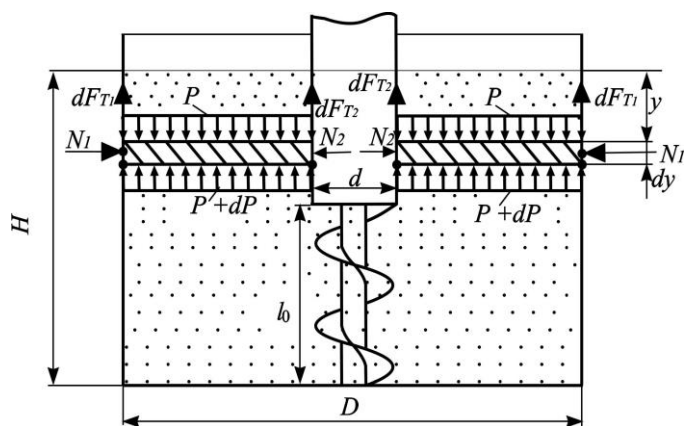


Рис. 5. Схеми дії сил і розподілу тиску в циліндричному бункері із сипким матеріалом

де $q = kP$ – боковий тиск; N_1 – сила тиску стін бункера на виділений елемент; N_2 – сила тиску кожуха гвинтового конвеєра на виділений шар; f_1, f_2 – коефіцієнти тертя частинок матеріалу по поверхні бункера і по поверхні кожуха конвеєра.

Тоді рівняння (9) матиме вигляд:

$$A_E dP = (B_1 - B_2 P) dy, \quad (11)$$

де $B_1 = \rho g A_E$; $B_2 = k\pi(f_1 D + f_2 d)$.

Інтегруючи дане рівняння при початкових умовах: $P|_{y=0} = 0$, отримали:

$$P = \frac{\rho g (D^2 - d^2)}{4k(f_1 D + f_2 d)} \times \left(1 - e^{-\frac{4k(f_1 D + f_2 d)y}{D^2}} \right). \quad (12)$$

При відсутності конвеєра ($d = 0$) вираз (12) перетворюється у відому формулу Янсена. Аналогічно визначали тиск в бункері конічної форми, кут нахилу стінки якого рівний α_1 . Залежність тиску сипкого матеріалу в бункерах циліндричної і конічної форм наведено на рисунку 6.

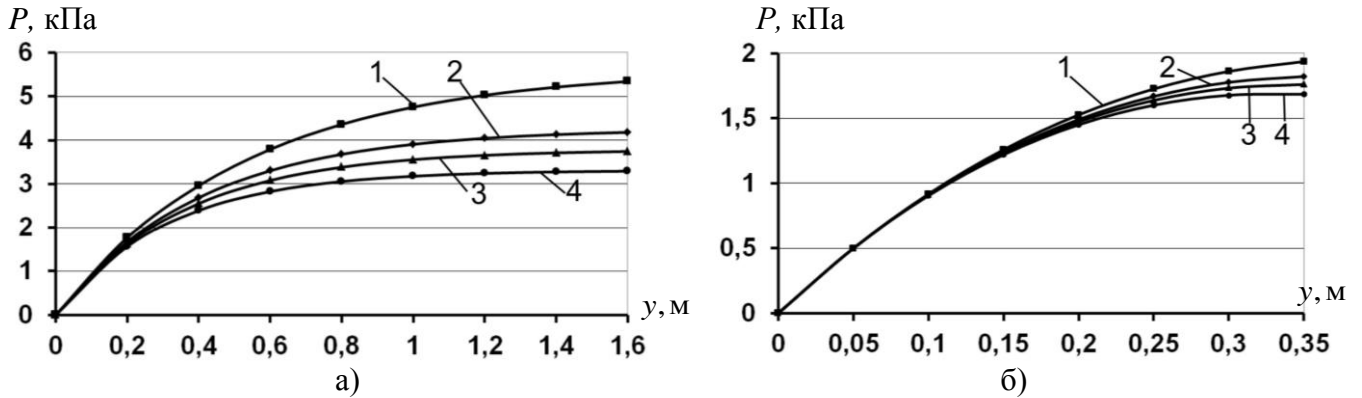


Рис. 6. Залежність тиску сипкого матеріалу від висоти шару засипки для бункерів циліндричної форми (а) та конічної форми (б) при $D=0,3$ м, $\rho=1060$ кг/м³, $f_1=f_2=0,35$, $\alpha_1=15^\circ$:
1 – $d=0$ м; 2 – $d=0,075$ м; 3 – $d=0,1$ м; 4 – $d=0,125$ м

Як бачимо з наведених графіків (рис. 6), наявність гвинтового конвеєра в бункері з сипким матеріалом суттєво впливає на величину осьового, а отже і бокового тиску, наявність якого в забірній частині гвинтового конвеєра є запорукою стабільної роботи даного транспортуючого засобу. При висоті засипки $y = (2 \dots 3)D$ значення тиску в циліндричному бункері практично не залежить від висоти засипки, але його максимальне значення суттєво зменшується при збільшенні діаметру кожуха. Так, наприклад, при відношенні діаметра кожуха до діаметра бункера $d/D = 0,4$ тиск зменшується в 1,6 раз, в порівнянні з тиском в аналогічному бункері без конвеєра.

Враховуючи конструкцію бункера, зовнішній діаметр кожуха гвинтового конвеєра та необхідний радіальний тиск, використовуючи отримані залежності, можна визначити геометричні параметри бункера.

Для забезпечення раціонального коефіцієнту заповнення гвинтового конвеєра розроблено нову конструкцію забірної пристрою (рис. 7), який складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в корпусі гвинтового конвеєра 3, додаткового гвинта 4 з пустотілим валом з вікнами 5, між якими розміщені лопаті 6, та гвинтовою лопаттю 7.

Між основним і додатковими розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра 8, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 9 та 10, які утворюють два гвинтові канали 11 та 12, перший з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункеру 1 всередину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування матеріалу із лопаті 7 на лопать основного гвинта 2. Гвинтовий конвеєр працює таким чином: сипкий матеріал із бункера 1 через гвинтовий канал потрапляє на лопаті 6 додаткового гвинта 4 і внаслідок відцентрових сил інерції рухається через вікна 5 і потрапляє на лопать 7, яка

транспортує його до гвинтового каналу, який має таку ж по напрямку навивку як і основний гвинт. По інерції матеріал рухається по гвинтовому каналу і потрапляє на лопаті основного гвинта 2, який транспортує його до вивантажувального патрубка.

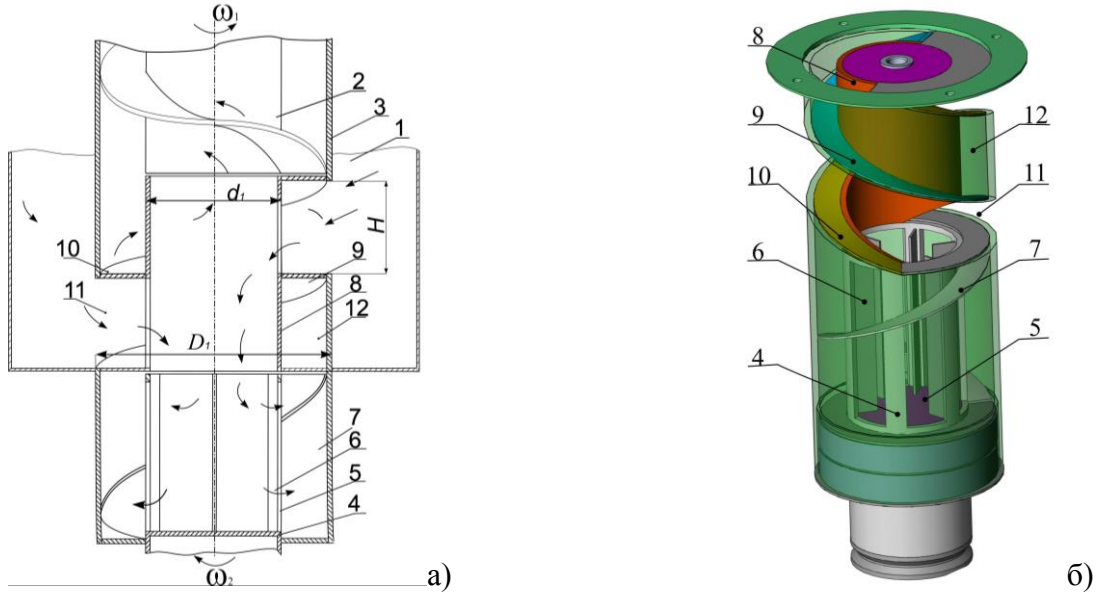


Рис. 7. Схема (а) та комп'ютерна модель (б) забірною пристрою гвинтового конвеєра

З метою встановлення взаємозв'язку між конструктивними параметрами основного і додаткового гвинтів, а також їхніми кутовими швидкостями розглянуто рух частинки сипкого матеріалу по нерухомій гвинтовій поверхні додаткового елемента (рис.8).

Диференціальне рівняння руху частинки матиме вигляд:

$$m(dV/dt) = -G_q \sin \alpha - F_3 - F_4, \quad (13)$$

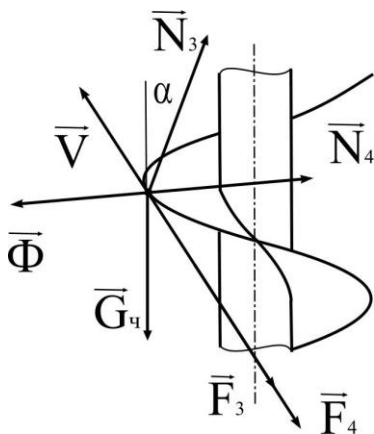


Рис. 8. Сили, прикладені до частинки матеріалу, яка рухається по нерухомій гвинтовій поверхні

де G_q – вага частинки матеріалу; α – кут підйому гвинтової лінії; Φ – відцентрова сила інерції; N_3 та N_4 – нормальні реакції гвинтової поверхні та кожуха додаткового елемента; V – швидкість частинки матеріалу; R – радіус кожуха; F_3 – сила тертя частинки матеріалу по поверхні гвинтової лопаті; F_4 – сила тертя частинки матеріалу по поверхні кожуха додаткового елемента. Тут $F_3 = f_3 N_3 = f_3 mg \cos \alpha$, $F_4 = f_4 \Phi = f_4 m \cdot (V \cos \alpha)^2 / R$, де f_3, f_4 – коефіцієнти тертя частинок матеріалу по гвинтовій поверхні і по поверхні кожуха додаткового елемента.

Відповідно рівняння (13) матиме вигляд:

$$dV/dt = A_1 V^2 + B_3, \quad (14)$$

де $A_1 = -f_4/R$; $B_3 = -g(\sin \alpha + f_3 \cos \alpha)$.

Зробивши заміну $dV/dt = V dV/dS$ і проінтегрувавши (14), при початкових умовах: $V_{S=0} = V_0$, отримали вираз для визначення швидкості частинки матеріалу в кінці гвинтового каналу ($S = L$):

$$V_1 = \sqrt{\frac{(A_1 V_0^2 + B_3) \cdot e^{2AL} - B_3}{A_1}}, \quad (15)$$

де S – дугова координата; L – довжина гвинтового каналу; V_0 – абсолютна швидкість частинки матеріалу, з якою вона покидає лопать додаткового гвинта.

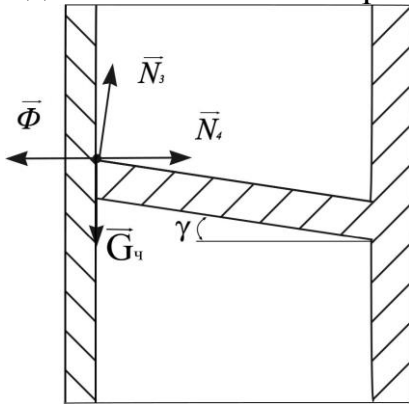


Рис. 9. Сили, прикладені до частинки матеріалу на похилій лопаті

З метою зменшення сили тертя матеріалу по кожуху додаткового елемента, запропоновано конструкцію забірною пристрою гвинтового конвеєра, лопаті додаткового елемента якого нахилені під деяким кутом до осі конвеєра рис. 9. В цьому випадку швидкість руху частинки матеріалу в кінці гвинтового каналу визначається з рівняння (15), в якому коефіцієнт B_3 буде рівний:

$B_3 = -g \cos \gamma (\sin \alpha + f_3 \cos \alpha) + f_4 \operatorname{ctg} \gamma$, де γ – кут нахилу гвинтової лопаті до горизонтальної площини.

Аналізуючи отриману залежність, можна зробити висновок, що коефіцієнти тертя сипкого матеріалу по поверхнях лопаті та кожуха додаткового елемента суттєво впливають на швидкість руху матеріалу в гвинтовому каналі, від якої залежить кутова швидкість додаткового гвинта. Так, при значеннях $f_3 = f_4 = 0,25$, $\omega = 96$ рад/с, а при $f_3 = f_4 = 0,15$, $\omega = 54$ рад/с.

Використовуючи рівняння (15), отримали залежності витрати сипкого матеріалу в гвинтовому каналі від зовнішнього D_1 , внутрішнього d_1 діаметрів і висоти отвору H (рис. 7) додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра, та кутової швидкості додаткового гвинта, які наведено на рис. 10.

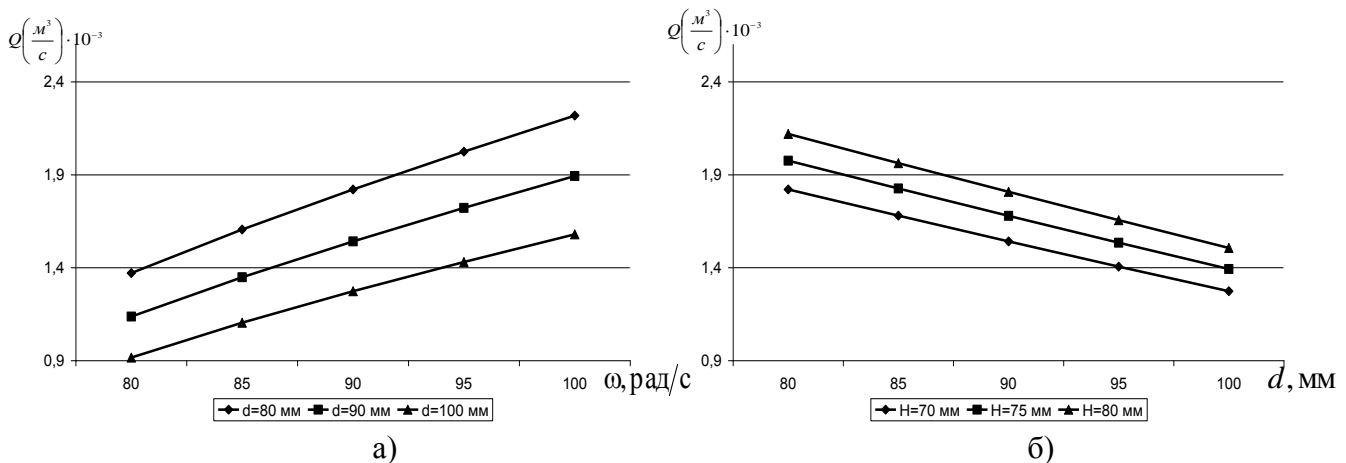


Рис. 10. Залежність витрати сипкого матеріалу в гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра від його геометричних та кінематичних параметрів (а – при $h=80$ мм, б – при $\omega=90$ рад/с, $D_1=160$ мм, $d_1=100$ мм, $f_1=f_2=0,25$)

Знаючи залежність швидкості руху від координати S , визначено роботу, затрачену на транспортування частинки матеріалу масою m , по нахиленій лопаті:

$$A_H = \int_0^L m \left(g \cos \gamma (\sin \alpha + f_3 \cos \alpha) + f_4 \left(\frac{V^2}{R} - \operatorname{ctg} \gamma \right) \right) dS = \frac{m(A_1 V_0^2 + B_3)}{2A_1} (e^{-2AL} - 1). \quad (16)$$

Для прямої лопаті приймають кут $\gamma = 0$.

На рис. 11. подано залежності відношення робіт $A_{II} / A_H = f(\gamma)$ за умови рівних коефіцієнтів тертя ($f_3 = f_4 = f$).

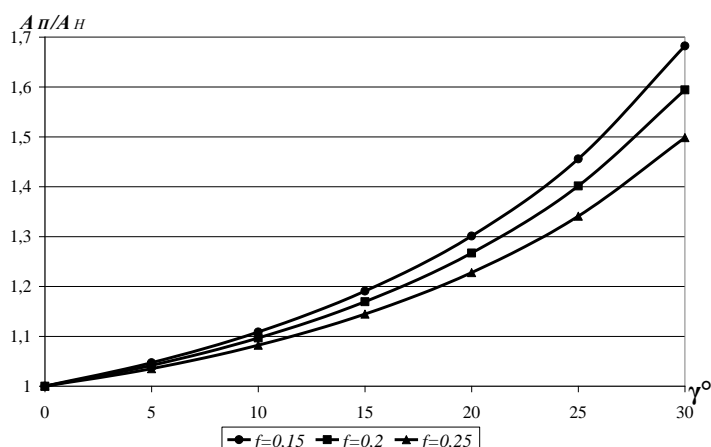


Рис. 11. Залежності зміни відношення робіт, які затрачуються на переміщення частинки матеріалу по прямій A_{II} та нахиленій лопаті A_H , в залежності від кута нахилу лопаті, при різних значеннях коефіцієнта тертя

Із наведених графічних залежностей бачимо, що у випадку нахилу гвинтової лопаті додаткового елемента забірною пристрою до осі гвинтового каналу на кут 75° , робота, яка затрачується на переміщення частинки матеріалу по прямій A_{II} та нахиленій лопаті A_H зменшується на 14...19 % при різних значеннях коефіцієнта тертя.

Оскільки робота, яка затрачається на переміщення сипкого матеріалу по гвинтовому каналу додаткового елемента, суттєво залежить від коефіцієнта тертя, то для зменшення енергозатрат на транспортування та розмірів забірною пристрою на стінки каналу необхідно наносити антифрикційне покриття (тефлонова стрічка).

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням, програмою яких було передбачено створення експериментального бункерного пристрою із змінними геометричними параметрами для дослідження процесу витікання сипкого матеріалу та розроблення і створення експериментального вертикального гвинтового конвеєра, який оснащений спеціальним забірною пристроєм із змінними кінематичними параметрами. Схема та загальний вигляд установки для дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера, яка імітує процес завантаження забірною пристроєм вертикального гвинтового конвеєра, наведено на (рис.12).

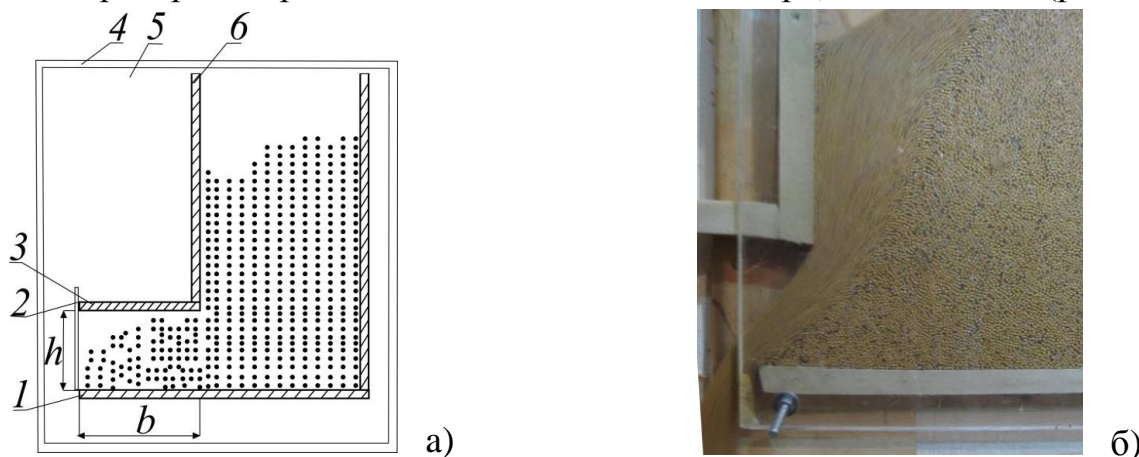


Рис. 12. Схема установки для дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера (а) та процес витікання (б): 1 – дно бункера; 2 – шибєр; 3 – завантажувальний патрубєк; 4 – основа; 5 – прозора стінка із органічного скла для проведення спостережень; 6 – стінка-кожух бункера

Описано будову та принцип її роботи, представлено методику планування і обробки результатів багатofакторного експерименту. Подано методику визначення витрати сипкого матеріалу від геометричних параметрів патрубка бункера, ширини бункера та кута нахилу його стінки та наведені рівні та інтервали зміни цих факторів.

Для проведення експериментальних досліджень транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром, оснащеним спеціальним забірним пристроєм, було розроблено та виготовлено дослідну установку, конструктивну схему та загальний вигляд якої представлено на рис 13.

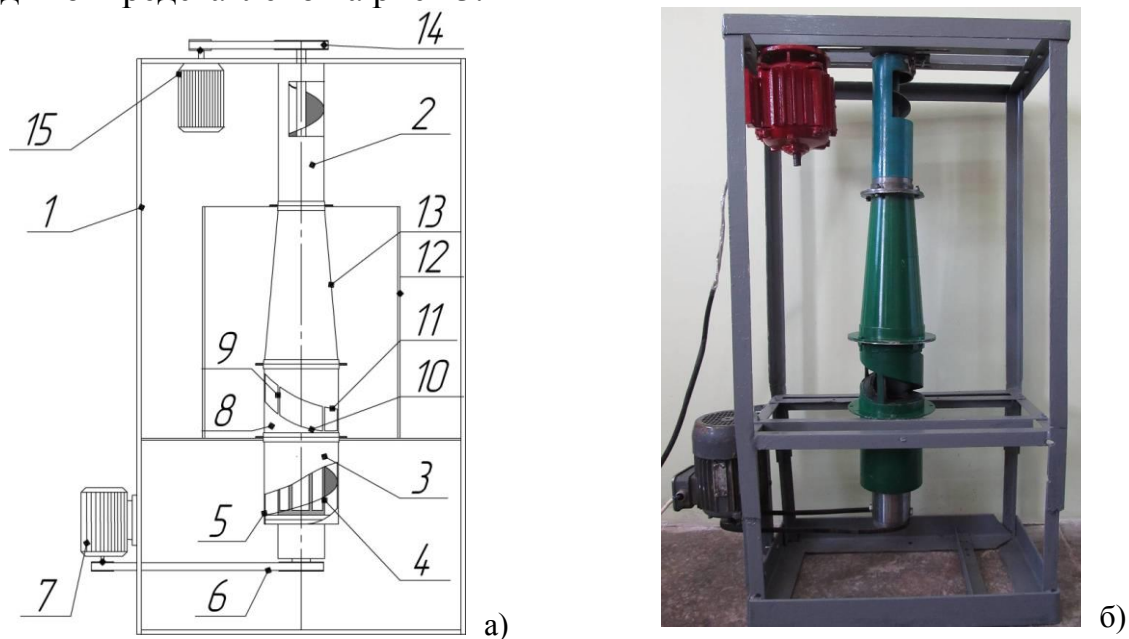


Рис. 13. Схема а) та загальний вигляд (б) дослідної установки (без бункера)

На рамі 1 дослідної установки встановлений із можливістю повздовжнього переміщення та фіксації вертикальний гвинтовий конвеєр 2, оснащений забірним пристроєм 3, який складається з додаткового пустотілого гвинта 4, розміщеного в корпусі 5, привід якого здійснюється за допомогою клинопасової передачі 6 від електродвигуна 7. Між гвинтовим конвеєром 2 та гвинтом 4, розміщено додатковий елемент 8, який складається з пустотілого циліндра 9, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 10 та 11, що утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із бункера 12 всередину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування сипкого матеріалу на лопать конічної частини 13 гвинтового конвеєра 2. Привод основного гвинтового конвеєра 2 здійснюється за допомогою клинопасової передачі 14 від електродвигуна 15. Живлення трифазних асинхронних двигунів 7 та 15 здійснюється через перетворювач частоти Altivar 31, що забезпечує стабільну роботу приводу.

Методикою експериментальних досліджень передбачено визначення продуктивності як забірного пристрою, так і гвинтового конвеєра в цілому, в залежності від кутових швидкостей основного і додаткового гвинтів, які вимірювалися тахометром ТЧ-10Р.

У четвертому розділі наведено результати проведених експериментальних досліджень.

Для визначення впливу параметрів бункера на процес бокового витікання було

проведено математичне планування експерименту, за результатами якого було встановлено залежність витрати сипкого матеріалу Q від значущих факторів – параметрів патрубка дослідної установки b та h (рис. 12) в області їх зміни: $b_{\min} = 25$ мм, $b_{\max} = 35$ мм, $h_{\min} = 40$ мм, $h_{\max} = 80$ мм.

$$Q = F(b, h) = a_0 + a_1b + a_2h + a_{12}bh + a_{11}b^2 + a_{22}h^2. \quad (17)$$

Значення коефіцієнтів регресійної моделі для різних матеріалів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта	Полістирол	Гірчиця	Пісок
a_0	253,98	231,73	-150,9
a_1	6,56	10,62	0,69
a_2	-1,84	-4,59	7,18
a_{12}	0,0005	0,011	-0,0012
a_{11}	0,21	-0,29	-0,07
a_{22}	0,07	0,053	-0,0279

Аналізуючи результати дослідження витрати сипкого матеріалу через гвинтовий канал додаткового елемента Q_T , які визначено за допомогою рівняння регресії (17) та експериментальним шляхом Q_E , встановлено, що максимальна похибка цих результатів не перевищує 5,6% для піску, 8,9% для гірчиці та 11,1% для полістиролу.

Після аналізу поверхонь відгуку залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера від параметрів додаткового елемента (рис. 14) зроблено висновок, що вони є близькими до площин, тому використавши метод найменших квадратів було проведено апроксимацію цих поверхонь площинами.

$$Q = A_2d + A_3H + A_4. \quad (18)$$

Значення коефіцієнтів, A_2 , A_3 , A_4 будуть рівні:

для піску: $A_2 = 29,21$; $A_3 = 35,57$; $A_4 = -4210$; для гірчиці: $A_2 = 25,59$; $A_3 = -68,45$; $A_4 = -6276$. При цьому похибка не перевищує 12,5%.

Результати експериментальних досліджень процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром, який оснащений забірним пристроєм наведено на рис.15.

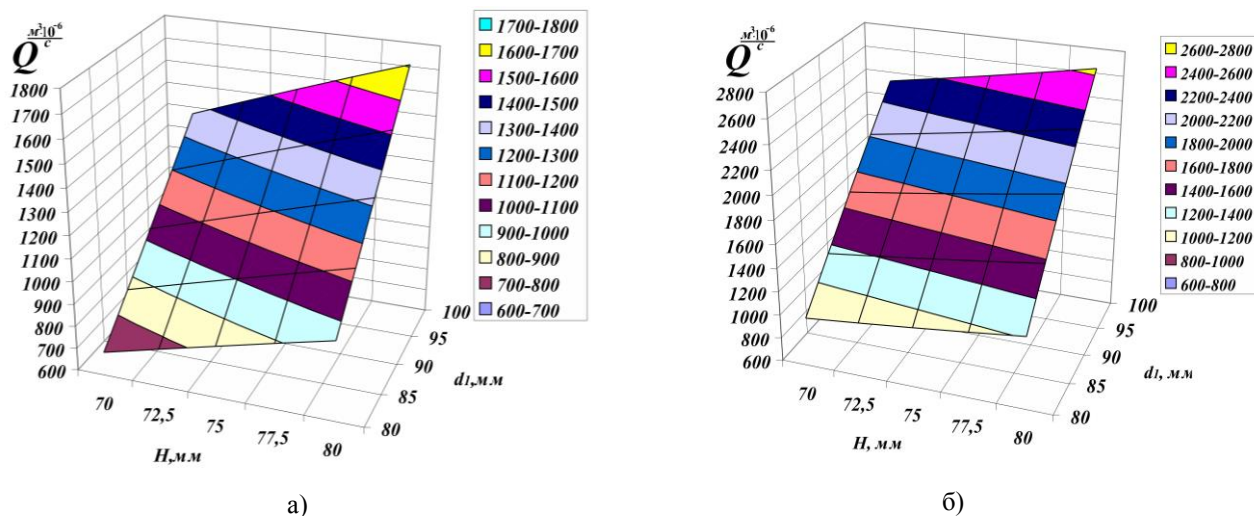


Рис. 14. Поверхні відгуку залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H (а – матеріал пісок, б – матеріал гірчиця)

Експериментально встановлено, що продуктивність гвинтового конвеєра досягає максимального значення, яке дорівнює витраті просипання через гвинтові канали додаткового елемента забірної пристрою, і надалі практично залишається

$Q, \text{ л/с}$

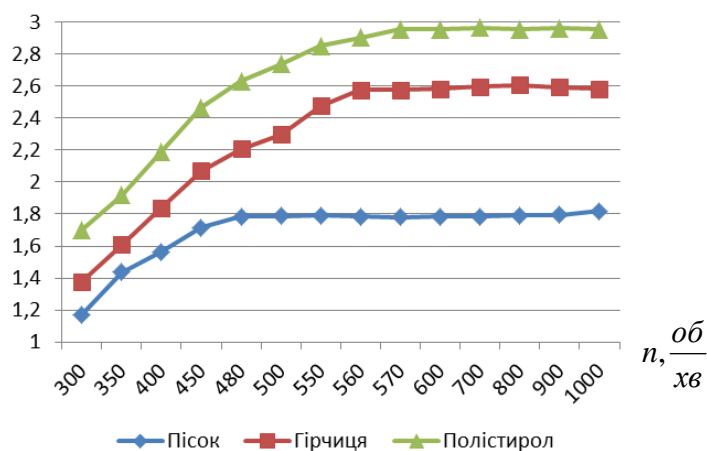


Рис. 15. Залежність продуктивності вертикального гвинтового конвеєра від частоти обертання гвинта

що на (48...56)% більше, в порівнянні з гравітаційним завантаженням.

незмінною, при зростанні кутової швидкості основного гвинта.

В табл. 2, наведені значення частоти обертання основного і додаткового гвинтів, які забезпечують необхідну продуктивність конвеєра, при заданих його геометричних параметрах для транспортування різних матеріалів. Встановлено, що коефіцієнт продуктивності гвинтового конвеєра, який оснащений забірним пристроєм, знаходиться в межах 0,38...0,54,

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень

Матеріал	Частота обертання додаткового гвинта, об/хв	Частота обертання основного гвинта, об/хв	Продуктивність, л/с	Коефіцієнт продуктивності
Пісок	880	480	1,8	0,38
Гірчиця	775	560	2,6	0,47
Полістирол	743	570	2,9	0,54

У п'ятому розділі розглянуто основні напрямки зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами. За результатами досліджень запропоновано нові конструктивні схеми забірних пристроїв швидкохідних гвинтових конвеєрів, на які отримано патенти на корисні моделі.

Наведено також методику інженерного розрахунку забірної пристрою вертикального гвинтового конвеєра. Для визначення раціональних параметрів забірної пристрою гвинтового конвеєра (зовнішнього D_1 та внутрішнього d_1 діаметрів, а також довжини L гвинтового каналу), що мінімізують енергоємність процесу завантаження розглянуто задачу нелінійного програмування. За цільову функцію приймаємо кутову швидкість додаткового гвинта ω_0 , яка залежить від початкової швидкості V_0 , що визначається з рівняння (15). Функціями обмежень є продуктивність гвинтового конвеєра Q , яка дорівнює витраті просипання сипкого матеріалу через гвинтові канали, в основі визначення якої є рівняння регресії (17) та мінімальні і максимальні значення параметрів b та h .

У результаті розв'язку цієї задачі рекомендовано раціональні значення параметрів забірної пристрою гвинтового конвеєра для різних матеріалів табл. 3.

Раціональні параметри забірною пристрою гвинтового конвеєра

Матеріал	Продуктивність Q , л/с	Зовнішній діаметр D_1 , мм	Внутрішній діаметр d_1 , мм	Кутова швидкість додаткового гвинта ω , рад/с
Пісок	2	200	160	29,3
Гірчиця	3	200	140	33,9
Полістирол	4	200	130	32,8

Результати досліджень впроваджено на підприємстві «ТОВ ПІІ Ізотерм – С» Рівненської області. Розроблені експериментальні установки передано для використання в навчальному процесі на кафедрі будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

Економічний ефект від впровадження забірною пристрою вертикального гвинтового конвеєра продуктивністю 5 м³/год, при висоті транспортування 5 м становить 4520 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове теоретичне вирішення наукової задачі, яка полягає у підвищенні продуктивності швидкохідних вертикальних гвинтових конвеєрів за рахунок зменшення відцентрових сил інерції, які діють на частинки сипкого матеріалу в бункері і перешкоджають їх стабільному рухові у міжвитковий простір, що призводить до зменшення коефіцієнта заповнення гвинтового конвеєра.

2. Встановлено, що необхідною умовою для забезпечення раціонального значення коефіцієнта заповнення $\varphi_3 = 0,6 \dots 0,8$ вертикального швидкохідного гвинтового конвеєра є створення надлишкового тиску в забірній частині в межах 1,8...4,2 кПа при кутовій швидкості гвинта 70...90 рад/с.

3. Встановлено, що наявність кожуха гвинтового конвеєра в бункері з сипким матеріалом суттєво впливає на величину осьового, а отже, і радіального тиску матеріалу, від якого залежить ефективність роботи конвеєра. При висоті засипки $u = (2 \dots 3)D$ значення тиску практично не залежить від висоти засипки, але його максимальне значення суттєво зменшується при збільшенні діаметру кожуха. Так, наприклад, при відношенні діаметра кожуха до діаметра циліндричного бункера $d/D = 0,4$ тиск зменшується в 1,6 раз, в порівнянні з тиском в аналогічному бункері без конвеєра.

4. На основі математичної моделі руху частинки матеріалу по нерухомій гвинтовій поверхні додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра встановлено вплив його параметрів на витрату сипкого матеріалу, який рухається в гвинтовому каналі цього елемента. Розміщення гвинтової лопаті під кутом 75° до осі гвинта зменшує величину роботи, яка затрачується на переміщення частинки сипкого матеріалу по цій лопаті на 14...19 % в порівнянні з лопаттю, яка розміщена перпендикулярно до осі гвинта, а нанесення на стінки гвинтового каналу антифрикційного покриття (тефлонової стрічки) для зниження коефіцієнту тертя,

дозволяє зменшити розміри додаткового елемента забірною пристрою та кутову швидкість додаткового гвинта з 96 до 54 рад/с.

5. На основі проведеного багатофакторного експерименту отримано регресивну залежність з визначенням впливу висоти і довжини патрубку бункера на витрату сипкого матеріалу, яка дозволяє визначити раціональні параметри додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра. Так, для гвинтового конвеєра, продуктивність якого становить 4 л/с зовнішній діаметр забірною пристрою дорівнює 200 мм, а внутрішній 130 мм.

6. Встановлено, що запропонована конструкція гвинтового конвеєра дозволяє збільшити коефіцієнт продуктивності до величини 0,38...0,54, що дозволить зменшити розміри конвеєра, а отже, його металомісткість. Так маса одного погонного метра вертикального гвинтового конвеєра продуктивністю 5 м³/год зменшується з 25,45 до 14,28 кг.

7. Економічний ефект від впровадження одного вертикального швидкохідного гвинтового конвеєра продуктивністю 5 м³/год при висоті транспортування 5 м, оснащеного запропонованим забірною пристроєм, який отриманий за рахунок зменшення матеріалоємності становить 4520 грн.

Результати досліджень впроваджено на «ТОВ ПІІ Ізотерм – С» в Рівненській області.

Розроблені експериментальні установки передано для використання в навчальному процесі на кафедрі будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Серілко Д. Л. До питання вибору забірних пристроїв гвинтових конвеєрів / Д. Л. Серілко, Л. С. Серілко, О. В. Хижняков // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2007. - Вип. 2(38), Ч. 2. – С. 300-305. *(Автором запропонована класифікація забірних пристроїв гвинтових конвеєрів)*

2. Серілко Д. Л. Вплив конструктивно-технологічних параметрів забірних пристроїв гвинтових конвеєрів на процес транспортування сипких матеріалів / Д. Л. Серілко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - Рівне : НУВГП, 2007. - Вип. 4(40), Ч. 3. – С. 31-36.

3. Серілко Д. Л. Методика визначення коефіцієнта тертя сипкого вантажу по поверхнях гвинтового конвеєра / Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. Р. Рогатинська // Матеріали ХХ наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені І. Пулюя, 14-15 травня 2008 р. : тези допов. – Тернопіль, 2008. – С. 130. *(Автором запропонована методика проведення експериментальних досліджень по визначенню коефіцієнта тертя сипкого матеріалу)*

4. Серілко Д. Л. Аналіз конструкцій гвинтових конвеєрів та перспективи їх розвитку // Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.–техн. конф.

Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 13-14 травня 2009 р. : тези допов. – Тернопіль, 2009. – С. 68. *(Автором запропоновані напрямки вдосконалення конструкцій гвинтового конвеєра)*

5. Серілко Д. Л. Реологічні властивості сипких матеріалів / Д. Л. Серілко, Л. С. Серілко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - Рівне : НУВГП, 2009. - Вип. 4(48). – С. 150-156. *(Автором запропонована класифікація моделей руху сипких матеріалів)*

6. Серілко Д. Л. Моделювання процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко, Р. М. Рогатинський // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. - Т. 15, № 3. - С. 36-41. *(Автором запропонована розрахункова схема руху сипкого матеріалу в забірному пристрої гвинтового конвеєра)*

7. Серілко Д. Л. Завантаження сипких матеріалів забірними пристроями вертикальних гвинтових конвеєрів / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 19-21 травня 2010 р. : тези допов. – Тернопіль, 2010. – С. 217-218. *(Автором запропонована схема завантаження гвинтового конвеєра)*

8. Серілко Д. Л. Визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. – Т. 15, № 4. – С. 97-102.

9. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів забірного пристрою гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко, Л. Р. Рогатинська // Матеріали 10-го Міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. : тези допов. – Львів, 2011. – С. 212-214. *(Автором запропонована методика розрахунку параметрів забірного пристрою гвинтового конвеєра)*

10. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів забірного пристрою гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Машинознавство. – Львів, 2011. – № 5-6. – С. 52-55.

11. Серілко Д. Л. Дослідження руху сипкого середовища в забірній частині вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харків, 2012. - Вип. 57. – С. 304-307.

12. Серілко Д. Л. Проектування бункерів гвинтових конвеєрів / Р. М. Рогатинський, Т. М. Пелешок, Д. Л. Серілко // Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали наук.-техн. конф. молодих студентів та учених Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 19-20 грудня 2012 р. : тези допов. – Тернопіль, 2012. – С. 217-218. *(Автором запропонована методика визначення тиску сипкого матеріалу в бункері гвинтового конвеєра)*

13. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів живильників горизонтальних гвинтових конвеєрів / Д. Л. Серілко, Л. Р. Рогатинська, Л. С. Серілко // Матеріали XVIII Наук. конф. Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 29-30 жовтня 2014 р. : тези допов. – Тернопіль, 2014. – С. 48-49.

14. Серілко Д. Л. До питання визначення тиску в забірній частині вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Матеріали III міжнар. конф. молодих учених та студентів Тернопільського національного технічного

університету ім. І. Пулюя, 19-20 листопада 2014 р. : тези допов. –Тернопіль, 2014. – С. 56-57.

15. Serilko D. L. Modelling of the vertical screw conveyer loading / O. L. Lyashuk, O. R. Rogatynska, D. L. Serilko // INMATEH. Agricultural Engineering. – Bucharest, 2015. – vol. 45, no 1. – P. 87-94. *(Автором запропонована методика визначення швидкостей частинок сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра. Входить в наукометричну базу Scopus)*

16. Пат. 7934 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Л. Ф. Кожушко, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. - № 20041210452 ; заявл. 20.12.04 ; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7. *(Частка авторів однакова)*

17. Пат. 29678 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u200709893 ; заявл. 03.09.07 ; опубл. 25.01.08, Бюл. № 2. *(Частка авторів однакова)*

18. Пат. 39080 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков; заявники і патентовласники Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков. – № u200806597 ; заявл. 15.05.08 ; опубл. 10.02.09, Бюл.№ 3. *(Частка авторів однакова)*

19. Пат. 49764 Україна, МПК В 65 G 33/00. Забірний пристрій гвинтового конвеєра / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u200718814 ; заявл. 19.11.09 ; опубл. 10.05.10, Бюл. № 9. *(Частка авторів однакова)*

20. Пат. 69213 Україна, МПК В 65 G 33/14. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201111229 ; заявл. 21.09.11 ; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8. *(Частка авторів однакова)*

21. Пат. 97258 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201408721 ; заявл. 01.08.14 ; опубл. 10.03.2015, Бюл.№ 5. *(Частка авторів однакова)*

22. Пат. 98955 Україна, МПК В 65 G 33/08. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Л. Р. Рогатинська, Д. Л. Серілко, О. В. Макаруч; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. –№ u201408721 ; заявл. 11.12.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл.№ 9. *(Частка авторів однакова)*

АНОТАЦІЯ

Серілко Д.Л. Обґрунтування конструкцій і параметрів забірних пристроїв вертикальних гвинтових конвеєрів. – 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, 2015.

Дослідження присвячено підвищенню продуктивності та зниженню енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами шляхом розробки конструкцій та обґрунтуванням параметрів забірних пристроїв цих транспортуючих засобів.

Розроблено модель руху сипкого середовища в забірній частині гвинтового конвеєра, виявлено залежність коефіцієнта транспортування від тиску в забірній частині та параметрів шнека.

Визначено вплив кожуха гвинтового конвеєра на величину осевого та радіального тиску сипкого матеріалу в бункері.

Проведено експериментальні дослідження процесу транспортування сипкого матеріалу швидкохідним вертикальним гвинтовим конвеєром, який оснащений забірним пристроєм, і які підтвердили працездатність запропонованої конструкції.

Розроблено інженеру методику розрахунку запропонованого забірною пристроєм гвинтового конвеєра. За результатами наукових досліджень розроблені нові конструкції гвинтових конвеєрів, на які отримано сім деклараційних патентів на корисні моделі.

Ключові слова: вертикальний гвинтовий конвеєр, забірний пристрій, сипкий матеріал, бункер, гвинтова лопать.

АННОТАЦИЯ

Серілко Д.Л. Обоснование конструкций и параметров заборных устройств вертикальных винтовых конвейеров. – 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, 2015.

Диссертационная работа посвящена повышению производительности быстроходных винтовых конвейеров за счет уменьшения центробежных сил инерции, действующих на частицы сыпучей среды в заборной части шнекового транспортера.

Выполнен анализ способов загрузки шнековых транспортеров, на основании чего обоснована конструктивная схема заборного устройства винтового конвейера, которая обеспечивает необходимый коэффициент заполнения при любых значениях частоты вращения винта.

Получены аналитические зависимости осевого и радиального давления сыпучей среды, которая находится в бункере цилиндрической или конической формы, с расположенным в нем винтовым конвейером.

Показано что наличие кожуха винтового конвейера в бункере, в котором находится сыпучая среда, существенно влияет на величину осевого, а значит и радиального давления.

Разработана математическая модель, которая описывает процесс движения сыпучего материала в заборной части винтового конвейера, получены аналитические зависимости коэффициента транспортирования от радиального давления сыпучей среды в бункере и параметров транспортера.

Спроектирован и изготовлен вертикальный винтовой конвейер, оснащенный специальным заборным устройством.

Разработана методика инженерного расчёта основных параметров заборного устройства вертикального винтового конвейера.

В результате проведенного синтеза разработано 7 оригинальных конструктивных решений винтовых конвейеров оснащённых заборными устройствами, на которые полученные патенты Украины на полезные модели.

Для обеспечения необходимого коэффициента заполнения вертикального винтового конвейера предложена новая конструкция заборного устройства. При проведении теоретических исследований была установлена взаимосвязь между конструктивными параметрами основного и дополнительного винтов, а также их угловыми скоростями.

Ключевые слова: вертикальный винтовой конвейер, заборное устройство, сыпучая среда, коэффициент заполнения, винтовая лопасть.

ANNOTATION

D. Serilko. The argumentation of constructions and parameters of vertical screw conveyors intake devices. – The manuscript.

Ph.D. Thesis in Engineering Science. Qualification 05.05.05 - handling machinery. – Ternopil Ivan Puliuj National Technical University, Ternopil, 2015.

The research is on efficiency improving and power-consuming reduction of the process of bulk materials transportation by screw conveyors on the basis of construction engineering and parameters' argumentation of the intake devices of these vehicles.

The model of flowing medium motion in the lead-in of the screw conveyor is set, the correlation of the coefficient of transportation between pressure in the lead-in and screw parameters is discovered.

The influence of screw conveyor case on the axial and radial pressure rate of bulk material in a bin is determined.

The experimental investigations of the process of bulk material transportation by the high-speed vertical screw conveyor, fitted with intake device are carried out. They confirmed the efficiency of the suggested model.

The engineering practice of the suggested intake device of the screw conveyor is developed. New screw conveyors' constructions are worked out due to the scientific researches, they got seven declaration utility patents.

Key words: vertical screw conveyor, intake device, bulk material, bin, screw blade.