

УДК 621.86

Б. Гевко, доктор техн. наук; А. Мельничук; І. Шуст

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ШИРОКО- УНІВЕРСАЛЬНИМ ШНЕКОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ

***Резюме.** Наведено конструкцію широкоуніверсального шнекового транспортера з різними технологічними можливостями. Встановлено, що важливою умовою при виборі конвеєрів для універсальних перевантажувальних комплексів є визначення області їх використання, зокрема щодо транспортування певного діапазону сипких вантажів. Оскільки мінімальна межа енергоємності гвинтових конвеєрів визначається коефіцієнтом тертя вантажу до поверхні спіралі, то визначальною умовою при проектуванні конвеєра є його спроможність транспортувати вантаж з несприятливими властивостями. При цьому розглянуто найнесприятливіше, з точки зору енергетичних затрат вертикальне розміщення гвинтового конвеєра. Виведено аналітичні залежності для визначення силових, конструктивних і кінематичних параметрів. Отримані співвідношення дозволяють з високою точністю обчислити оптимальні конструктивні й технологічні параметри гвинтових конвеєрів (ГК), при яких забезпечується потрібна якість суміші при високій ефективності процесу транспортування.*

***Ключові слова:** технологічний процес транспортування, гвинтові конвеєри, сипкий матеріал.*

B. Gevko, M. Melnychuk, I. Shust

TRANSPORTATION RESEARCH PROCESS BULK MATERIAL WIDELY UNIVERSAL SCREW CONVEYOR

***Summary.** Screw transporter has been developed, which consists of the vertical tube-column, to which the horizontal loading branch is fixed rigidly in the upper part being able to revolve, and in the bottom part – the unloading branch is fixed. Loading and unloading branches are similar in design and are separate units with the separate electric drives located horizontally.*

Screw shafts are fixed rigidly to the ends of the electric drives shafts and inserted into the tubes. The other ends of the shaft are inserted into the tube ends piers. The second end of the tube of loading and unloading branches is limited by the stopper, with the help of which they are fastened to the tube-stoppers of the upper and bottom branches, which in their turn are fixed to the electric drives stoppers by the second end. Tube-stoppers of the upper and bottom branches can revolve.

In the upper part of the tube-stopper of the unloading branch a cylinder hole is made to supply the bulk-cargo from the top downwards.

Besides, the loading and unloading branches are equipped with the stopper mechanisms, one of which is located in the upper part of the tube on the loading branch, and in the bottom, in the lower part of the unloading branch. Stopper mechanisms are made as step-by-step cylinder rollers, which are fixed rigidly to the stoppers and stopping bushes welded to the tube-column.

Stopper mechanisms are fixed rigidly to the tie links, which are mounted through the bushes by the stoppers to the vertical tube-base, which is fixed to the frame. The supply of the bulk-cargo from the heap is performed by the left end of the loading branch. The unloading of the bulk-cargo in the unloading branch 3 is performed by the screw 6 through the exit into the tank.

The upper loading branch is mounted on the tube-column, the angle of its inclination to the horizon being adjusted by the known-design mechanism. The bottom branch is mounted at the inclination angle to the horizon. Besides, the screws of both branches are rigidly fixed to the shafts with uniformly increased steps along the length of the upper branch towards the supply of the bulk-cargo in the place of the tube-column hole, and the bottom branch towards the exit of the bulk-cargo from the transporter.

***Key words:** workflow transportation, screw conveyors, bulk material.*

Вступ. Для технологічних операцій переміщення сипкого вантажу велике розповсюдження набули гвинтові конвеєри, які характеризуються простотою конструкції та, відповідно, високою надійністю, простотою в користуванні й легкістю адаптування при використанні в автоматизованих системах, екологічністю використання внаслідок їх герметичності [1-4]. Для універсальних розвантажувально-завантажувальних комплексів, які призначені для транспортування вантажу, як по горизонтальних, похилих, так і вертикальних трасах використовують швидкохідні гвинтові конвеєри. Існуючі методи їх розрахунку ґрунтуються на ряді теоретичних та експериментальних досліджень [1-4], а також аналізі статистичних даних за результатами їх експлуатації [1-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження технологічного процесу транспортування сипких матеріалів різних механізмів машин присвячені праці Григор'єва А.М. [2], Гевка Б.М., Рогатинського Р.М. [4, 9], Ловейкіна В.С. [7], Баришева А.І., Бадишевського В.А. [6], Гевка І.Б. [10] та інших. Однак, враховуючи різноманітність технологічних процесів і конструктивного виконання ГТТМ, питання потребує подальших досліджень і уточнень різних параметрів теоретичного й практичного значення.

Мета роботи. Дослідити технологічний процес транспортування сипких матеріалів гвинтовим широкоуніверсальним конвеєром з виведенням аналітичних залежностей.

Реалізація роботи. Шнековий транспортер (рис. 1) складається з вертикальної труби-колони 1, до якої жорстко, з можливістю кругового обертання, закріплено у верхній частині горизонтальну завантажувальну вітку 2, а знизу – горизонтальну розвантажувальну – вітку 3. Завантажувальні й розвантажувальні вітки є ідентичними в конструктивному виконанні у вигляді самостійних вузлів з індивідуальними електроприводами 4 з горизонтальним їх розміщенням.

До кінців валів електроприводів 4 жорстко закріплені вали 5 зі шнеками 6, які встановлені в труби 7. Другими кінцями вали 5 вставлені в опори торців труб, які закінчуються фланцями 8, за допомогою яких вони кріпляться до труб-фланців 9 верхньої та нижньої гілок, які, в свою чергу, другим кінцем кріпляться до фланців 10 електродвигунів 4. Труби-фланці 9 верхньої і нижньої віток мають можливість кругового провертання.

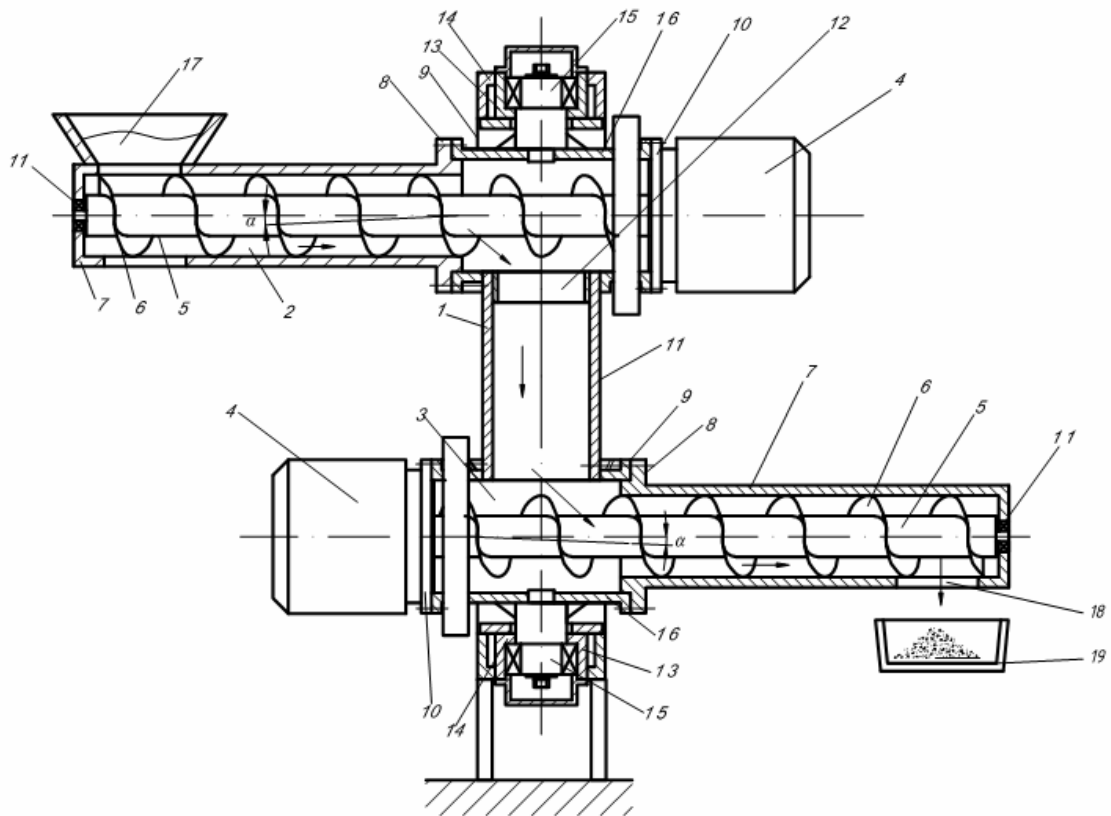


Рисунок 1. Шнековий транспортер

Figure 1. Screw conveyor

У верхній частині фланця труби розвантажувальної вітки 3 виконано циліндричний отвір 12 для подачі сипких матеріалів зверху вниз. Другими кінцями вала 5 у трубах 2 і 3 жорстко встановлені в підшипниках 11 з можливістю кругового повертання.

Крім цього, завантажувальна 2 і розвантажувальна 3 вітки обладнані механізмами стопоріння 13, один з яких розміщений зверху труби на завантажувальній вітці 2, а нижній – знизу розвантажувальної вітки 3. Механізми стопорення 13 виконані у вигляді ступінчастих циліндричних валиків 15, які жорстко кріпляться до фланців 16 і до стопорних втулок 14, що приварені до труби-колони 1. Механізми стопорення жорстко кріпляться до поперечних тяг, які через втулки кріпляться за допомогою фланців до вертикальної труби – основи, яка жорстко кріпиться до каркасу (на кресленні не показано). Забір сипкого матеріалу здійснюється лівим кінцем завантажувальної вітки 2 через завантажувальне вікно. Вивантаження сипкого матеріалу в розвантажувальній вітці 3 здійснюється шнеком 6 через вихід 18 в ємність 19.

Способів подачі матеріалів у завантажувальну вітку може бути декілька, вони відомі. На кресленні представлено один з них. Крім цього, в разі потреби завантажувальна 2 і розвантажувальна 3 вітки можуть бути встановлені під кутом до горизонту, що створює кращі умови для транспортування сипкого матеріалу (на кресленні не показано).

При цьому верхня завантажувальна вітка 2 встановлена на трубі колони 1 з можливістю регулювання кута її нахилу до горизонту механізмом відомої конструкції.

Нижня вітка встановлена під кутом нахилу до горизонту. Крім цього, шнеки обох віток жорстко прикріплені до валів з рівномірно збільшеними кроками по довжині – верхньої вітки в бік подачі сипкого матеріалу в зону отвору труби колони, а нижньої вітки – в бік виходу сипкого матеріалу з транспортера.

Робота механізму здійснюється наступним чином. Сипкий матеріал через завантажувальне вікно у трубі 7 завантажувальної вітки 2 надходить у внутрішній простір труби і на шнек 6, як показано стрілками, й транспортується в напрямку труби-колони 1, де через вікно 12 попадає в розвантажувальну вітку 3 і через отвір 18 надходить у ємність 19. За допомогою фланців труб 16 відомої конструкції можна повернути завантажувальну 2 і розвантажувальну 3 вітки на необхідний кут транспортування матеріалу та зафіксувати вітки в певному положенні механізму стопорювання 13.

Важливою умовою при виборі конвеєрів для універсальних перевантажувальних комплексів є встановлення області їх використання, зокрема щодо транспортування певного діапазону сипких вантажів. Оскільки, згідно з [7, 10], мінімальна межа енергоємності гвинтових конвеєрів визначається коефіцієнтом тертя вантажу до поверхні спіралі, то визначальною умовою при проектуванні конвеєра є його спроможність транспортувати вантаж з несприятливими властивостями. При цьому будемо розглядати найнесприятливіше, з точки зору енергетичних затрат, вертикальне розміщення гвинтового конвеєра.

Потужність транспортування вантажу гвинтовими конвеєрами згідно з [1-3] визначають за залежністю

$$N = \rho_n g Q (W_L L + H), \quad (1)$$

для вертикальних шнеків $N = \rho_n g Q W_H$, де ρ_n – об’ємна маса (насіпна густина) вантажу в потоці; g – прискорення земного тяжіння; Q – об’ємна продуктивність конвеєра; W_L та W_H – коефіцієнт опору переміщенню вантажу; L та H – відповідно довжина транспортування та висота підйому вантажу, для вертикальних ГК $L = H$. Наведена енергоємність w , що визначає енергетичні затрати для переміщення одиниці маси вантажу на одиницю довжини, відповідно для вертикального гвинтового конвеєра буде

$$w = N / (Q \cdot L) = \rho_n g W_H. \quad (2)$$

За основні конструктивні й технологічні параметри гвинтових конвеєрів приймемо такі, як і у відомих оптимізаційних моделях: $x_1 = D$ – зовнішній діаметр кожуха; $x_2 = \omega$ – кутова швидкість обертання гвинтової спіралі $x_3 = \operatorname{tg} \alpha = T / (\pi D)$ – тангенс кута підйому витка, що визначається кроком гвинтової спіралі T ; $x_4 = k_d = d / D$ – коефіцієнт, що оцінюється відношенням внутрішнього d і зовнішнього D діаметрів гвинтової спіралі; $x_5 = H$ – товщина гвинтової спіралі. Крім цього, введемо параметр, що визначає характеристики режиму гвинтового транспортування $x_6 = \mu_1 = \operatorname{tg} \varphi_1$ – розрахункове значення коефіцієнта тертя вантажу до поверхні спіралі.

За заданою продуктивністю визначають кутову швидкість

$$\omega = \left[\frac{\pi \varphi_n g^3 \operatorname{tg} \alpha \cdot P_k^3 (1 - k_d^2) (1 - S_{c_{II}})}{Q (1 + C_\beta)} \right]^{1/5} = \sqrt[5]{\frac{\varphi_n g^3 (1 - k_d^2)}{\mu_1^3 Q}} K_\omega(\mu_1), \quad (3)$$

де $K_\omega(\mu_1)$ – вираз, що залежить тільки від μ_1 й отримується спрощенням попереднього з врахуванням значень P_k , $S_{c_{II}}$ та C_β .

Визначають зовнішній діаметр спіралі

$$D = \sqrt{2P_k g / \omega^2} = \frac{g^{1/5} Q^{1/10} K_D(\mu_1)}{\mu_2^{1/5} \varphi_n^{1/10} (1 - k_d^2)^{1/10}}. \quad (4)$$

Крок спіралі визначається за залежністю $T = k_t D$.

Внутрішній діаметр спіралі (діаметр вала) відповідно

$$d = k_d D = D \sqrt{\pi^2 + 1 - \phi_{\text{дон}}^2} / \pi \phi_{\text{дон}} \quad (5)$$

Товщина спіралі із умови [7]

$$H = \delta(D - d) / 2. \quad (6)$$

Осьова швидкість транспортування вантажу згідно з [7, 9] визначається за залежністю

$$v_{II} = \frac{T\omega}{2\pi} \cdot \frac{1 - Sc_{II}}{1 + C_{\beta}} \quad (7)$$

Для довгих гвинтових конвеєрів їх вали несуть значні крутні навантаження, а тому отримані значення d перевіряють на відповідність обмеженню.

При його порушенні внутрішній діаметр визначають за наближеною залежністю

$$d = \sqrt{\frac{2k_M M_{xp}}{\pi S_d [\tau_{xp}]}}. \quad (8)$$

У подальшому уточнюють зовнішній діаметр спіралі

$$D_i = \sqrt[3]{d^2 D_{i-1} + \frac{8Q}{k_t \varphi_n \omega_{i-1}}}, \quad (9)$$

де значення D_{i-1} та ω_{i-1} беруть із попередніх розрахунків.

При значному розходженні значень D_{i-1} та D_i уточнюють коефіцієнт $k_d = d / D$ та розрахункове значення кутової швидкості ω згідно з залежністю (3).

Для горизонтальних та низько-нахилених швидкохідних гвинтових конвеєрів не існує критичної кутової швидкості, тому параметр $Sc = 0$, а раціональний кут підйому гвинтової спіралі залежності від коефіцієнта тертя визначається графічно, наприклад згідно з [10].

У випадку завантажувально-розвантажувальної транспортної гвинтової системи, яка має два гвинтових конвеєри – забірний і вивантажувальний, умова її нормальної роботи полягає в забезпеченні продуктивності вивантажувального конвеєра Q_2 більшої ніж забірною Q_1 за всяких умов, тобто

$$Q_{2\min} \geq \lambda Q_{1\max}, \quad (10)$$

де λ – коефіцієнт запасу $\lambda = 1,2 - 1,3$ залежно від умов роботи;

$Q_{1\max}$ – досягається при горизонтальному розміщенні забірною конвеєра, а $Q_{2\min}$ – при вертикальному вивантажувальному.

Умова (10) в першому наближенні буде

$$\frac{\varphi_{n2} D_2^3 \omega_2 \operatorname{tg} \alpha_2 (1 - Sc_{II2})}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg}(\alpha_2 + \varphi_2)} \geq \frac{\lambda \varphi_{n1} D_1^3 \omega_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi_1)}. \quad (11)$$

Отримані співвідношення дозволяють з високою точністю обчислити оптимальні конструктивні й технологічні параметри гвинтових конвеєрів (ГК), при

яких забезпечується потрібна якість суміші при високій ефективності процесу транспортування.

Висновки. Розроблена конструкція широко універсального гвинтового конвеєра з розширеними технологічними можливостями і мінімальними енерговитратами. Приведені аналітичні залежності для визначення силових, конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів.

Conclusions. The design is widely universal screw conveyor with advanced technological capabilities and minimal power consumption. Analytical dependences are given the power to determine, design, kinematics and technological parameters.

Список використаної літератури

1. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины [Текст] / М.П. Александров – М.: Машиностроение, 1974. – 503 с.
2. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры [Текст] / А.М. Григорьев – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Конвейеры: справочник [Текст] / Р.А. Волков, А.Н. Гнутов, В.К. Дьячков и др.; под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, 1984. – 367 с.
4. Гевко, Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинский. – Львов: Выща школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 176 с.
5. ГОСТ Конвейеры винтовые для кормов. Основные параметры: ГОСТ 23976 – 80. – М.: Изд-во стандартов 1980, 19 с.
6. ГОСТ Шнеки для сельскохозяйственных машин: ГОСТ 2705 – 73. – М.: Изд-во стандартов 1973, 16 с.
7. Ловейкін, В.С., Рогатинська О.Р. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів [Текст] / В.С. Ловейкін, О.Р. Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка. – 2004. – № 2, – С. 8 – 15.
8. Барышев, А.И. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия [Текст] / А.И. Барышев, В.А. Будашевский и др. Донецк: изд. Морд-Преса, 2005. – 696 с.
9. Рогатинський, Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. докт. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 [Текст] / Рогатинський Роман Михайлович. – К. 1997. – 502 с.
10. Рогатинський, Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.С. Дячун – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.

Отримано 02.07.2015