

УДК 631.331.85

**В.Р. Паньків, асп.**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*E-mail: Vitaliipankiv25@gmail.com*

## Теоретична модель функціонування гвинтового транспортера

Розробка високоефективних технологічних процесів транспортування, як одиночних кускових, так і сипучих матеріалів вимагає інтегрованого наукового підходу до вирішення задач подальшого удосконалення гвинтових механізмів транспортних систем машин з метою підвищення їх показників роботи. Поставлені завдання вирішуються на основі подальшого удосконалення методології та методики оптимізації технологічних показників процесу транспортування матеріалів і конструктивно-кінематичних параметрів та режимів роботи транспортних систем. Теоретичні дослідження технологічного процесу переміщення дискретних одиничних матеріалів проведено шляхом моделювання процесу їх транспортування по робочих органах гвинтового транспортера з використанням рівнянь матеріального балансу та поняття «вхід-вихід» складної матеріальної динамічної системи. З умови забезпечення технологічності функціонування системи розроблено математичні моделі, які характеризують процес інтенсифікації роботи гвинтових транспортних механізмів.  
**транспортна система, сукупний бункер, сукупний канал, вхідний потік, вихідний потік, шнековий конвеєр, дискретний потік, дискретна одиниця матеріалу**

**В.Р. Паньків, асп.**

*Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина*

## Теоретическая модель функционирования винтового транспортера

Разработка высокоэффективных технологических процессов транспортирования, как одиночных кусковых, так и сыпучих материалов предполагает интегрированный научный подход до решения задач последующего усовершенствования винтовых механизмов транспортных систем машин с целью повышения их показателей работы. Поставленные задачи решаются на основании последующего усовершенствования методологии и методики оптимизации технологических показателей процесса транспортирования материалов и конструктивно-кинематических параметров и режимов работы транспортных систем. Теоретические исследования технологического процесса перемещения дискретных единичных материалов проведено путем моделирования процесса их транспортировки по рабочим органам винтового транспортера с использованием уравнений материального баланса и понятия «вход-выход» сложной материальной динамической системы. С условия обеспечения технологичности функционирования системы разработано математические модели, которые характеризуют процесс интенсификации работы винтовых транспортных механизмов.

**транспортная система, совокупный бункер, совокупный канал, входной поток, выходной поток, шнековый конвейер, дискретный поток, дискретная единица материала**

**Постановка проблеми.** Гвинтові транспортери у якості транспортних механізмів застосовують в аграрній сфері виробництва, переробній та харчовій галузях промисловості, специфіка яких обумовлена наявністю широкої гами технологічних процесів збирання та переробки продукції рослинництва. Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових транспортних механізмів і обґрунтування їх раціональних параметрів і режимів роботи дозволяє істотно підвищити продуктивність роботи та надійність виконання технологічних операцій.

© В.Р. Паньків, 2017

При цьому шнекові конвеєри за ознакою своїх конструктивних особливостей можуть одночасно виконувати декілька суміжних функцій і операцій – змішування продуктів, подрібнення або дроблення матеріалів, дозування тощо [1, 2].

Посіднання виконання однієї або декількох технологічних операцій, поряд з транспортуванням матеріалів, яке притаманне комбінованим гвинтовим транспортерам, є їх визначальною ознакою.

Тому розробка удосконалених конструкцій комбінованих гвинтових транспортерів, які забезпечують одночасне подрібнення та транспортування матеріалів і обґрунтування раціональних параметрів робочих органів транспортних механізмів, є важливим науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Призначення та сутність будь-якої моделі полягає в тому, що вона повинна адекватно описувати і характеризувати основні властивості об'єкта наукового дослідження. Крім того, вона повинна бути більш зручною з точки зору проведення досліджень, ніж реальний існуючий об'єкт і відображати його суттєві (істотні) та несуттєві властивості, які залежать від поставлених мети та задач дослідження.

В цьому аспекті теоретична модель транспортної системи повинна більшою мірою адекватно описувати закономірності, принципи та в меншій – форму їх реалізації в конкретному робочому випадку.

Проведений аналіз сучасного стану функціонування гвинтових транспортних механізмів [3-7] показав, що існують значні передумови для проведення подальших наукових робіт, які спрямовані на розробку, дослідження та впровадження в виробництво енергозберігаючих, високотехнологічних комбінованих гвинтових транспортерів, які забезпечують ефективне виконання суміжних функціональних операцій, як транспортування, так і одночасного подрібнення сировини з продуктів сільськогосподарського виробництва в процесі її переробки.

Відсутність узагальнених моделей процесу функціонування робочих елементів транспортних систем і машини загалом зумовило проведення даних досліджень.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є удосконалення методології та методів оптимізації параметрів і режимів роботи транспортних систем машин.

На основі проведеного аналізу технологічних процесів роботи транспортних систем було встановлено головні основоположні процеси, які повинна відображати теоретична модель: за наявності взаємодію підсистем або систем загалом; взаємодію окремих конструктивних елементів у транспортній системі; сутність характеру технологічного процесу пропускання та перетворення транспортних потоків; завдання та сутність керування (регулювання, управління і т.п.) транспортними потоками в підсистемах і транспортних системах загалом.

Все це дозволить на науковому рівні розробити методики і методології обґрунтування, розрахунку та оптимізації параметрів і режимів роботи транспортних систем, зробити обґрунтовані висновки та за результатами проведеного ефективного моделювання навести раціональні рекомендації застосування транспортних механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** У нашому випадку, зважаючи на конструктивні особливості комбінованого гвинтового транспортера або транспортної системи (рисунок), за базові елементи теоретичної моделі обрано складові структурні елементи «пропускний канал» і «завантажувальний бункер», при цьому в даному аспекті ці структурні елементи в загальному контексті є досить абстрактними.

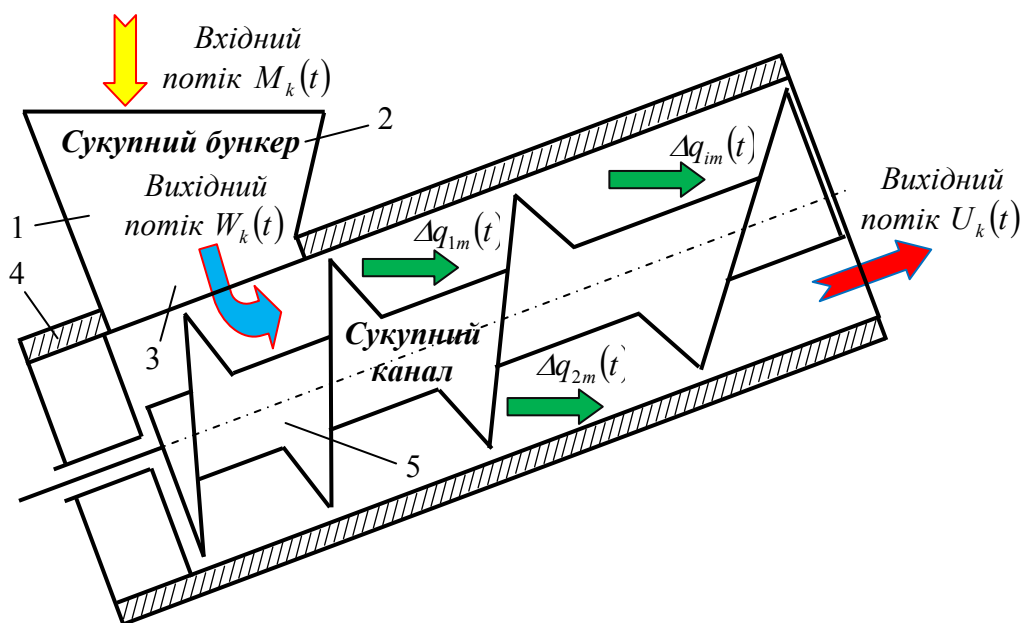
«Пропускний канал» це узагальнений пристрій, призначений для пропуску об'ємних, масових, поштучних тощо одиниць матеріалу (в подальшому – дискретні одиниці матеріалу) транспортного потоку, «завантажувальний бункер» – узагальнений

пристрій, що має властивість накопичувати дискретні одиниці матеріалу транспортного потоку та трансформувати його властивості.

У теоретичній моделі вся система являє собою сукупний канал і бункер (рис. 1). У цьому контексті комбінований гвинтовий транспортер, як окрема транспортна система, виконує подвійну функцію – функцію каналу для пропуску транспортних потоків і функцію накопичувального бункера, в якому формуються, підсилюються та поглинаються відповідні процеси, або відповідні збурення процесів, тобто взаємодія цих структурних елементів характеризує та регламентує технологічні процеси в транспортних системах.

Для розробки ідеальної математичної моделі транспортної системи (комбінованого гвинтового транспортера) необхідно прийняти і записати вихідні поняття та початкові умови, тобто за мірою можливості формалізувати (прийняти певні припущення та спрощення процесу роботи) об'єкт дослідження, при цьому транспортним потоком приймаємо сукупність дискретних одиниць матеріалу, який переміщується по системі – сукупному завантажувальному бункеру та каналу:

- завантажувальним бункером (сукупним бункером) є конструктивний елемент транспортної системи, що описується та характеризується наступними технологічними параметрами: вхідний потік дискретних одиниць матеріалу в вхідну горловину сукупного бункера, позначимо через  $M_k(t)$ ; вихідний потік дискретних одиниць матеріалу через вихідну горловину сукупного бункера, позначимо через  $W_k(t)$ ; поточну ємність завантажувального бункера або технологічний стан завантажувального бункера, позначимо  $M_o(t)$ ; граничну або стаціонарну ємність (місткість) завантажувального бункера, позначимо через  $Q_o$ ;



1 – завантажувальний бункер; 2, 3 – вхідна та вихідна горловина; 4 – кожух; 5 – шнековий конвеєр

Рисунок 1 – Структурна модель транспортної системи

- сукупний канал це структурний елемент транспортної системи з наступними параметрами: вхідний потік дискретних одиниць матеріалу в сукупний канал (в шнековий конвеєр гвинтового транспортера), позначимо через  $W_k(t)$ , що адекватно

вихідному потоку дискретних одиниць матеріалу через вихідну горловину завантажувального бункера; вихідний потік дискретних одиниць матеріалу із сукупного каналу, позначимо через  $U_k(t)$ ; час переміщення дискретних одиниць матеріалу в сукупному каналі, позначимо через  $\tau_k(t)$ ;

- пропускну здатність транспортної системи позначимо через  $Q_m = const$ ; величину приросту пропускної здатності транспортної системи за рахунок збільшення кроку наступного витка шнекового конвеєра позначимо, відповідно, через  $\Delta q_{1k}(t)$ ,  $\Delta q_{2k}(t), \dots, \Delta q_{ik}(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ; вхідний  $W_k(t)$  і вихідний  $U_k(t)$  потоки не перевищують пропускної здатності каналу, яку позначимо через  $Q_k$ , є непостійними та змінюються в часі; вихідний потік каналу  $U_k(t)$  дорівнює вхідному потоку  $W_k(t)$  за умови деякої різниці за час переміщення дискретної одиниці матеріалу; час переміщення дискретних одиниць матеріалу  $\tau_k(t)$  на відміну від пропускної здатності каналу є непостійною величиною, тобто  $\tau_k(t) \neq const$ .

Із погляду системного підходу до аналізу технологічних об'єктів запропоновано, що аналітичний опис складних транспортних систем і робочих органів, які транспортують вхідний потік технологічної маси, необхідно моделювати на основі рівнянь матеріального балансу і поняття "вхід-вихід" системи [8].

Для аналізу технологічного процесу транспортування дискретних одиниць матеріалу комбінованим гвинтовим транспортером розглянемо його конструктивно-функціональну схему, яку наведено на рисунку.

У цьому аспекті функціонування (функціональний опис) технологічного процесу транспортування дискретних одиниць матеріалу комбінованим гвинтовим транспортером можна представити у вигляді переміщення суцільного дискретного потоку по його робочих конструктивних елементах або органах.

На основі прийнятих припущень та згідно з рисунком можна записати характерні для кожного конструктивного елемента транспортної системи наступні аналітичні співвідношення:

- для сукупного бункера за всіх значень часу  $t$  дотримуються такі умови:

$$M_o(t) \leq Q_o; M_o(t + \Delta t) = M_o(t) + M_k(t) - W_k(t) \leq Q_o; \quad (1)$$

- для сукупного каналу:

$$W_k(t) \leq Q_m \leq Q_k; U_k(t) \leq Q_m \leq Q_k; U_k(t) = W_k[t - \tau_k(t)] \leq Q_m \leq Q_k; \quad (2)$$

$$W_k(t + \Delta t) \leq U_k(t) \leq W_k(t) + \Delta q_{1m}[\tau_{1k}(t)] + q_{2m}[\tau_{2k}(t)] + \dots + q_{im}[\tau_{ik}(t)] \leq U_k(t), \quad (3)$$

або

$$W_k(t + \Delta t) \leq U_k(t) \leq W_k(t) + \sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)] \leq U_k(t), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

де  $\Delta t = 1$  – одиничний час проходження дискретної одиниці матеріалу.

Тоді згідно (1)-(4) можна записати

$$M_o(t + 1) \leq W_k(t + 1) \leq U_k(t) \leq W_k(t) + \sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)] \leq U_k(t) \leq Q_o \leq Q_m \leq Q_k \leq U_k(t), \quad (5)$$

при цьому

$$M_o(t+1) = M_o(t) + M_k(t) - W_k(t) \leq W_k(t) + \sum_{i=1}^n q_{im} [\tau_{ik}(t)] \leq U_k(t) \leq Q_o \leq Q_m \leq Q_k \leq U_k(t). \quad (6)$$

Через наявні мінливості часу переміщення дискретних одиниць матеріалу в сукупному каналі, або часу ходу дискретних одиниць матеріалу при проходженні через канал, стабільність дискретного потоку матеріалу значно знижується. При цьому дискретний потік одиниць матеріалу стає більш дезорганізованим, непостійним і змінним в деякому часі.

У цьому контексті для ефективного транспортування потоку (пропуску потоку без порушення технологічного процесу переміщення дискретних одиниць матеріалу, або стабілізації руху потоку) потрібно забезпечити резерв пропускної здатності  $Q_k$ , тобто

$$\tilde{q}_k = U_{k.c} (1 + \Psi_k) \leq Q_k, \text{ або } U_{k.c} (1 + \Psi_k) \leq Q_m \leq Q_k, \quad (7)$$

де  $\tilde{q}_k$  – аналітично-розрахунковий вихідний потік дискретних одиниць матеріалу;

$\Psi_k$  – показник дезорганізації потоку дискретних одиниць матеріалу;

$U_{k.c}$  – середнє значення вихідного потоку  $U_k$  сукупного каналу.

Показник дезорганізації потоку  $\Psi_k$  можна розглядати в даному випадку як аналог коефіцієнта нерівномірності  $\mu_n$ , при цьому

$$\Psi_k(\Delta t) = \mu_n(\Delta t) = [W_k(t) \pm W_k(\Delta t)] / W_k(t), \quad (8)$$

де  $W_k(\Delta t)$  – значення дезорганізації потоку за одиничний час  $\Delta t$  проходження дискретної одиниці матеріалу.

Тоді, з врахуванням (7) маємо

$$\tilde{q}_k = U_{k.c} \left( 1 + \frac{W_k(t) \pm W_k(\Delta t)}{W_k(t)} \right) \leq Q_m \leq Q_k, \text{ або } U_{k.c} \left( 1 + \frac{W_k(t) \pm W_k(\Delta t)}{W_k(t)} \right) \leq Q_m \leq Q_k. \quad (9)$$

На виході з сукупного каналу дезорганізація потоку дискретних одиниць матеріалу зростає, а сукупний бункер, на відміну від каналу, здатний знижувати нерівномірність, тобто відновлювати організацію потоку, при цьому

$$\mu_n^{(U_k)}(\Delta t) = \mu_n^{(W_k)}(\Delta t) \pm \Delta \mu_n(\Delta t), \text{ або } \frac{U_k(t) \pm U_k(\Delta t)}{U_k(t)} = \frac{W_k(t) \pm W_k(\Delta t)}{W_k(t)} \pm \Delta \mu_n(\Delta t), \quad (10)$$

де вираз (+)  $\Delta \mu_n(\Delta t)$  характерний для сукупного каналу, а вираз (-)  $\Delta \mu_n(\Delta t)$  – для сукупного бункера.

На основі цього можна стверджувати, що вихідний потік  $U_k(t)$  з сукупного каналу є керованою величиною, якою можна керувати в процесі оптимізації технологічних параметрів роботи комбінованого гвинтового транспортера, при цьому значення величини дезорганізації потоку  $\Delta \mu_n(\Delta t)$  буде залежати від граничної або стаціонарної ємності (місткості) завантажувального бункера  $Q_o$  та коефіцієнта його

заповнювання матеріалом.

Для узгодження вхідного і вихідного потоку дискретних одиниць матеріалу сукупного бункера можна записати, що

$$\frac{M_k(t)}{1 + \mu_n^{(M_k)}} = \frac{W_k(t)}{1 + \mu_n^{(M_k)} - \Delta\mu(\Delta t)}; \quad (11)$$

$$\frac{M_k(t)}{1 + \frac{M_k(t) \pm M_k(\Delta t)}{M_k(t)}} = \frac{W_k(t)}{1 + \frac{M_k(t) \pm M_k(\Delta t)}{M_k(t)} - \Delta\mu(\Delta t)}. \quad (12)$$

Якщо припустити, що  $W_k(\Delta t) = \sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)]$ , тоді друге рівняння (10) можна записати у вигляді

$$U_k(\Delta t)/U_k(t) = \left( \sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)]/W_k(t) \right) + \Delta\mu_n(\Delta t). \quad (13)$$

При цьому можна констатувати, що чим більше нерівномірний вхідний потік та чим більше демпфіруюча здатність бункера, або величини дезорганізації потоку  $\Delta\mu_n(\Delta t)$ , тим більшою може бути різниця між пропускною здатністю сукупного бункера та сукупного каналу.

Підставивши значення вхідного потоку  $W_k(t)$  із (11) в рівняння (13), отримано залежність для визначення значення вихідного потоку  $U_k(t)$  сукупного каналу, при цьому

$$U_k(\Delta t)/U_k(t) = \left( \sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)] / \left( \frac{M_k(t)(1 + \mu_n^{(M_k)} - \Delta\mu(\Delta t))}{1 + \mu_n^{(M_k)}} \right) \right) + \Delta\mu_n(\Delta t); \quad (14)$$

$$U_k(t) = \frac{U_k(\Delta t) \left( \frac{M_k(t)(1 + \mu_n^{(M_k)} - \Delta\mu(\Delta t))}{1 + \mu_n^{(M_k)}} \right)}{\sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)] + \left( \frac{M_k(t)(1 + \mu_n^{(M_k)} - \Delta\mu(\Delta t))}{1 + \mu_n^{(M_k)}} \right) \Delta\mu_n(\Delta t)}, \quad (15)$$

або

$$U_k(t) = \frac{U_k(\Delta t)}{\frac{\sum_{i=1}^n q_{im}[\tau_{ik}(t)]}{\frac{M_k(t)(1 + \mu_n^{(M_k)} - \Delta\mu(\Delta t))}{1 + \mu_n^{(M_k)}} + \Delta\mu_n(\Delta t)}} \leq Q_m \leq Q_k. \quad (16)$$

Одержане рівняння (16) є детермінованою математичною моделлю, яка описує характер протікання технологічного процесу транспортування дискретних одиниць матеріалу робочими органами комбінованого гвинтового транспортера з умови раціонального забезпечення технологічності функціонування транспортної системи.

**Висновки.** На основі розгляду матеріального балансу вхідних і вихідних потоків дискретних одиниць матеріалу розроблено математичні моделі інтенсифікації процесу транспортування матеріалів у гвинтовому транспортері.

Отримані залежності, які змінні в часі, характеризують взаємозв'язок переміщення компонентів дискретних одиниць матеріалу по робочих поверхнях сукупного бункера та сукупного каналу гвинтового транспортера.

Спільний розв'язок моделей із застосуванням, наприклад, прямого та зворотного перетворення Лапласа дозволить оптимізувати конструктивно-кінематичні параметри та режими роботи робочих органів транспортно-технологічних систем і транспортних машини загалом.

## Список літератури

1. Дубровин, В. Идентификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины [Текст] / В. Дубровин, Г. Голуб, В. Теслюк, В. Барановский // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and argil-food industry machinery. – Lublin-Rzeszow, 2013. – Vol. 15. – № 3. – С. 243–255.
2. Гевко, Ів.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст]: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Ів.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с.
3. Невкоб R.B. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation [Text] / R.B. Nevko, V.O. Dzyura, R.M. Romanovsky // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 44. – No.3. – P. 103–110.
4. Гевко, І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання [Текст] / І. Б. Гевко. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 307 с.
5. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями [Текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 197–210.
6. Nevko, R.B. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation [Text] / R.B. Nevko, O.M. Klendiy // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 42. –No.1. – P. 55–60.
7. Рогатинський, Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем [Текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 1 (69). – С. 123–230.
8. Погорельый, Л. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз [Текст] / Л. В. Погорельый, М. В. Татьяна. – К. : Феникс, 2004. – 232 с.

### Vitaliy Pankiv, post-graduate

*Ternopil National Technical University named after Ivan Puluy, Ternopil, Ukraine*

### Theoretical model of screw conveyor functioning

Development of highly efficient technological processes of transportation, both as single lumpy and loose materials suppose an integrated scientific approach to solving the problems of the subsequent improvement of screw mechanisms of transport systems machines in order to increase their performance.

Operating objectives was resolved on the basis of the subsequent improvement of the methodology and methods of the technological indicators optimization of technological indicators of the process of material transportation and constructive-kinematic parameters and working modes of transport systems. Theoretical studies of the technological process of the movement of discrete single materials were carried out by modeling the process of their transportation along the working bodies of the screw conveyor using the equations of material balance and the concept of “input-output” of a complex material dynamic system. With the condition of ensuring the technological functionality of the system developed mathematical models that characterize the process of intensification of screw transport mechanisms.

A joint solution of the developed models will allow to optimize the constructive-kinematic parameters of the working bodies and operation modes of the screw transport mechanisms. The solution of mathematical models allows to optimize rational parameters and operating modes of screw conveyors.

**transport system, cumulative bin, cumulative channel, input stream, output stream, screw conveyor, discrete flow, discrete unit of material**