

Грицай Ю. В.

УДК 631.361.8

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ БУНКЕРА ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ПОДРІБНЮВАЧА

Ю. В. ГРИЦАЙ, аспірант

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**E-mail: yurahrytsay@yahoo.com.ua*

**Анотація.** Шнекові транспортери широко застосовуються в аграрній сфері виробництва для переміщення, змішування, дозування продуктів тощо. Удосконалення існуючих конструкцій шнекових транспортерів і обґрунтування їх раціональних параметрів і режимів роботи дозволяє розширити функціональні можливості технологічних операцій і підвищити продуктивність роботи механізмів загалом. На основі аналізу існуючих гвинтових механізмів запропоновано шнековий транспортер-подрібнювач коренеплодів з комбінованим робочим органом. Він виконаний у вигляді шнекового конвеєра, який встановлено в напрямній трубі, яка має

завантажувальний бункер. На внутрішній стороні витків шнека закріплено ножі-подрібнювачі. Наведено результати аналітичних досліджень технологічного процесу переміщення коренеплодів в об'ємному просторі бункера. Розроблено математичну модель функціонального процесу роботи бункера залежно від вхідних і вихідних потоків коренеплодів. Результати досліджень є подальшим кроком з розробки методики обґрунтування параметрів шнекових механізмів.

**Ключові слова:** коренеплоди, завантажувальна горловина, запас коренеплодів, вивантажувальна горловина, споживання запасу, маса коренеплодів.

**Актуальність.** Розробка високоефективних технологічних процесів одночасного подрібнення та переміщення, як одиночних кускових, так і сипучих продуктів аграрного виробництва вимагає інтегрованого наукового підходу до рішення технічної задачі підвищення технологічних показників роботи та розширення технологічних можливостей шнекових транспортерів-подрібнювачів [1, с. 199-201; 2, с. 6-7].

Поставлені завдання вирішуються на основі розробки методології та методики обґрунтування технологічного процесу та розрахунку технологічних показників і конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи шнекових транспортерів.

Підвищення продуктивності шнекових механізмів і технологічних ліній будь-яких виробничих переробних комплексів загалом, у тому числі машин для переробки

Грицай Ю. В.

аграрної продукції, багато в чому залежить від пропускної здатності завантажувальних бункерів, які функціонують не тільки, як робочі органи для переміщення продукту, але й ті, які застосовуються у вигляді дозуючих пристроїв. При цьому вони комплектуються системами автоматизованого управління та диференційованого регулювання секундної подачі продуктів переробки у досить широкому діапазоні та їх рівномірного розподілу по площі випускного отвору бункера [3, с. 105-107; 4, с. 165, 168-169].

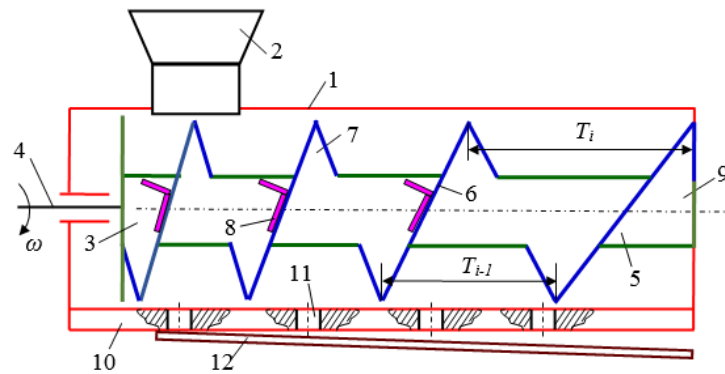
Тому дослідження технологічних процесів функціонування бункерів і обґрунтування їх раціональних параметрів є важливим науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питома вага шнекових транспортерів у вантажно-розвантажувальних операціях аграрних підприємств становить від 40 до 50 % [5, с. 59]. При цьому шнекові транспортери виконують різнопланові технологічні завдання: змішування, дроблення, дозування продуктів під час приготування та роздачі кормів; протруювання посівного матеріалу; переміщення продуктів рослинництва та тваринництва тощо [6, с. 35-38; 7, с. 121, 233-235; 8, с. 238].

На основі аналізу технологічних процесів функціонування шнекових транспортерів [9, с. 58; 10, с. 71; 11, с. 124; 12, с. 60] було встановлено, що питання одночасного подрібнення та переміщення коренеплодів гвинтовими механізмами в наукових працях розкрито в недостатньому обсязі. При цьому існують значні технологічні спроможності та наукові передумови для розробки шнекових транспортерів з комбінованим робочим органом, які можуть забезпечувати ефективне виконання суміжних функціональних операцій одночасного подрібнення та переміщення продуктів.

**Мета дослідження** – розширення технологічних можливостей шнекових транспортерів за рахунок одночасного подрібнення та переміщення коренеплодів шляхом розробки та обґрунтування параметрів робочих органів шнекового транспортера-подрібнювача.

**Матеріали і методи дослідження.** Для реалізації запропонованого удосконаленого технологічного процесу одночасного подрібнення та переміщення коренеплодів нами розроблено конструктивну схему шнекового транспортера-подрібнювача, рис. 1.



**Рис. 1. Конструктивна схема шнекового транспортера-подрібнювача:**  
**1 – пряма труба; 2 – бункер; 3 – шнековий конвеєр; 4 – приводний вал;**  
**5 – барабан; 6 – гвинтова лінія; 7 – спіральний виток; 8 – ніж-подрібнювач;**  
**9 – вивантажувальна частина; 10 – нижня частина; 11 – направляючий лоток; 12 – отвори**

Коренеплоди подаються в завантажувальний бункер 1, які в подальшому переміщуються в напрямну трубу 2 до шнекового конвеєра 3, або до пластинчатих ножів-подрібнювачів 8. Під час обертання приводного вала 4 та, відповідно, барабана 5 і пластинчатих ножів-подрібнювачів відбувається подрібнення коренеплодів та одночасне переміщення подрібнених частинок спіральними витками 7 в сторону вивантажувальної частини 8 прямої труби.

Наявність отворів 12 дозволяє переміщувати накопичену соковиту рідину за межі внутрішнього простору прямої труби, що значно знижує енергозатрати процесу транспортування подрібненого матеріалу шнековим транспортером.

У загальному випадку ефективність роботи будь-якого бункера залежить від узгодження його форми (конічна, пірамідальна,

циліндрична, комбінована), способу руху (гідравлічним, нормальним, змішаним) завантажених в нього продуктів, розмірно-масових параметрів і фізико-механічних властивостей продуктів з загальною конструкцією шнекового механізму або установки, а також від виробничої необхідності [13, с. 63-65].

Спосіб руху тіла в завантажувальному бункері залежить від фізико-механічних властивостей продукту, фрикційних властивостей стінок основної завантажувальної частини (горловини) та випускного отвору (горловини) днища бункера, а також від їх конструктивно-геометричної форми та параметрів.

На витратні характеристики бункерів переважаючий вплив має геометрична форма випускного отвору (вихідної горловини) днища та його розмірні параметри. Найчастіше нижня частина виробничих бункерів сипких матеріалів виконується в

Грицай Ю. В.

формі усічених конуса, піраміди, об'ємної трапеції. Це обумовлено тим, що в таких формах нижньої частини бункера забезпечується рівномірний розподілений вихід частинок тіла продукту по площі перетину випускного отвору бункера. Такий рух продукту знижує пульсуючий характер їх переміщення, який обумовлений наявністю динамічного звідного утворення в бункері дискретних частинок продукту [14].

Крім того, нижня частина таких бункерів повинна відповідати умовам гідравлічного закінчення сипучого тіла, тобто, умов, при яких наведений кут зовнішнього тертя сипучого тіла  $\varphi_m$  повинен бути менше кута нахилу стінки днища бункера  $\alpha_z$  до горизонтальної площині.

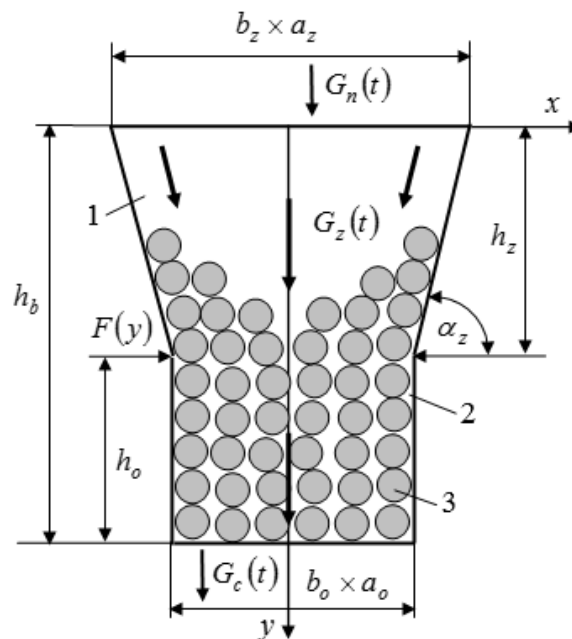
Дотримання зазначених вимог до конструкції бункера не означає, що такий бункер є бункером з раціональною пропускною здатністю. Для цього необхідно ще одна умова – умова раціональної форми, яка утворює нижню випускную горловину бункера.

Щілинні бункери знайшли широке застосування в машинах аграрного виробництва. Проте аналітичні питання з визначення форми поздовжнього перетину бункера, яка забезпечує необхідну пропускную здатність коренеплодів вирішені не в достатньому обсязі, а необхідність такого рішення

обумовлена відмінними від сипучого матеріалу характеристиками коренеплодів і дискретними процесами їх рівномірного виходу потоків з них.

При цьому, необхідність раціонального керування такими потоками, які мають доволі значні випадкові відхилення від середньої величини потоку коренеплодів, є досить актуальною задачею.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Для розробки математичної моделі функціонування завантажувального бункера 3 (рис. 2) шнекового транспортера-подрібнювача формалізуємо об'єкт дослідження наступним чином: основна (верхня) частина бункера, або завантажувальна горловина 1 (рис. 2) має форму усіченої прямокутної піраміди, висоту якої позначимо через  $h_z$ , при цьому верхня основа якої має розмірні параметри  $b_z \times a_z$ , а нижня основа –  $b_o \times a_o$ ; нижня частина, або вихідна горловина 2 має форму прямокутного паралелепіпеда, висоту якого позначимо через  $h_o$ ; коренеплоди під час переміщення в просторі бункера переважно займають положення, яке близьке до горизонтального – поздовжня вісь тіла коренеплоду паралельна, або близька до горизонту.



**Рис. 2. Схема до розрахунку параметрів завантажувального бункера:**

**1 – завантажувальна горловина; 2 – вихідна горловина; 3 – коренеплоди**

Позначимо кількість надходження коренеплодів у завантажувальну горловину та споживання із запасу, а сам запас бункера в відносному часі  $t$  через  $G_n(t)$ , кількість коренеплодів, які накопичено в бункері в проміжній стадії виробничого циклу, або запас коренеплодів – через  $G_z(t)$ , а кількість коренеплодів, які виходять з вихідної горловини, або споживання із запасу – через  $G_c(t)$ .

При цьому запас коренеплодів  $G_z(t)$  і утримуюча здатність цього запасу характеризують накопичення матеріалу під час виконання операції

$$\frac{dG_z(t)}{dt} = \sum G_z = G_n(t) - G_c(t) = \Delta G_z(t), \quad (1)$$

де  $\Delta G_z(t)$  – залишковий запас коренеплодів у проміжній стадії

кількість надходження коренеплодів у завантажувальну горловину та споживання із запасу, а сам запас бункера в відносному часі  $t$  через  $G_n(t)$ , кількість коренеплодів, які накопичено в бункері в проміжній стадії виробничого циклу, або запас коренеплодів – через  $G_z(t)$ , а кількість коренеплодів, які виходять з вихідної горловини, або споживання із запасу – через  $G_c(t)$ .

Тоді зростання запасу коренеплодів буде забезпечуватися за умови  $G_n(t) > G_c(t)$ , а зменшення запасу за умови  $G_n(t) < G_c(t)$ .

У цьому контексті, рівняння яке характеризує результуючий масовий розхід зміни запасу матеріалу матиме вигляд:

виробничого циклу.

Для подальшого аналізу

Грицай Ю. В.

виразимо існуючі уявні технологічні потоки через реальний продукт, або відповідний кількісний масовий потік коренеплодів, при цьому:

$$G_n(t) = K_{1G_n}(t)m_{k1} + K_{2G_n}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_n}(t)m_{ki} = \sum_{i=1}^n [K_{1G_n}(t)m_{k1} + K_{2G_n}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_n}(t)m_{ki}]; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

де  $K_{1G_n}, K_{2G_n}, \dots, K_{iG_n}$  – відповідно, кількість коренеплодів 1-ї, 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної масової фракції, які надходять в завантажувальну горловину бункера, шт;  $m_{k1}, m_{k2}, \dots, m_{ki}$  – відповідно, маса коренеплоду 1-ї, 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної фракції, які

$$G_z(t) = K_{1G_z}(t)m_{k1} + K_{2G_z}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_z}(t)m_{ki} = \sum_{i=1}^n [K_{1G_z}(t)m_{k1} + K_{2G_z}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_z}(t)m_{ki}]; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

де  $K_{1G_z}, K_{2G_z}, \dots, K_{iG_z}$  – відповідно, кількість коренеплодів 1-ї, 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної масової фракції, які накопичено в бункері, шт.;

$$G_c(t) = K_{1G_c}(t)m_{k1} + K_{2G_c}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_c}(t)m_{ki} = \sum_{i=1}^n [K_{1G_c}(t)m_{k1} + K_{2G_c}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_c}(t)m_{ki}]; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

де  $K_{1G_c}, K_{2G_c}, \dots, K_{iG_c}$  – відповідно, кількість коренеплодів 1-ї, 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної масової фракції, які виходять з вихідної горловини

$G_n(t)$ , які надходять в завантажувальну горловину бункера в відносному часі  $t$  буде становити:

надходять в завантажувальну горловину бункера, кг;

$G_z(t)$  в відносному часі  $t$  буде становити:

$G_c(t)$  в відносному часі  $t$  буде становити:

бункера, шт.

Підставивши значення (2)-(4) в рівняння (1), отримаємо:

Грицай Ю. В.

$$\begin{aligned} & \frac{d \sum_{i=1}^n [K_{1G_z}(t)m_{k1} + K_{2G_z}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_z}(t)m_{ki}]}{dt} = \\ & = \frac{d \sum_{i=1}^n [K_{1G_n}(t)m_{k1} + K_{2G_n}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_n}(t)m_{ki}]}{dt} - \quad ; i = 1, 2, \dots, n, \quad (5) \\ & - \frac{d \sum_{i=1}^n [K_{1G_n}(t)m_{k1} + K_{2G_n}(t)m_{k2} + \dots + K_{iG_n}(t)m_{ki}]}{dt} = \Delta G_z(t) \end{aligned}$$

або

$$\frac{d \sum_{i=1}^n \left[ \begin{aligned} & [K_{1G_z}(t) - K_{1G_n}(t) + K_{1G_n}(t)]m_{k1} + [K_{2G_z}(t) - K_{2G_n}(t) + K_{2G_n}(t)]m_{k2} + \dots + \\ & + [K_{iG_z}(t) - K_{iG_n}(t) + K_{iG_n}(t)]m_{ki} \end{aligned} \right]}{dt} = \Delta G_z(t). \quad (6)$$

Якщо форму коренеплодів коренеплодів, тоді можна записати, прийняти конічною, яка відповідає що формі більшості крупних

$$m_{k1} = V_{k1} \gamma_k = \frac{\pi D_{k1}^2 L_{k1} \gamma_k}{12} = \frac{\pi D_{k1}^3 \gamma_k}{24 t g(0,5 \alpha_{k1})}, \quad (7)$$

де  $V_{k1}$  – об'єм коренеплодів 1-ї фракції, м;  $\alpha_{k1}$  – кут конуса росту розмірної масової фракції, м<sup>3</sup>;  $\gamma_k$  – коренеплодів 1-ї розмірної масової фракції, град.

Відповідно, маса коренеплодів 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної фракції дорівнює:

$$m_{k2} = \frac{\pi D_{k2}^3 \gamma_k}{24 t g(0,5 \alpha_{k2})}; \quad m_{ki} = \frac{\pi D_{ki}^3 \gamma_k}{24 t g(0,5 \alpha_{ki})}, \quad (8)$$

де  $D_{k2}, \dots, D_{ki}$  – діаметр розмірної масової фракції, град.

Тоді згідно з (7), (8) залежність (6) приймає вигляд

коренеплодів 2-ї, ...,  $i$ -ї розмірної масової фракції, м;  $\alpha_{ki}$  – кут конуса росту коренеплодів 2-ї, ...,  $i$ -ї

Грицай Ю. В.

$$d \sum_{i=1}^n \frac{\pi \gamma_k}{24} \left\{ \begin{aligned} & \left[ K_{1G_z}(t) - K_{1G_n}(t) + K_{1G_n}(t) \right] \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \\ & + \left[ K_{2G_z}(t) - K_{2G_n}(t) + K_{2G_n}(t) \right] \frac{\pi D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \dots + \\ & + \left[ K_{iG_z}(t) - K_{iG_n}(t) + K_{iG_n}(t) \right] \frac{D_{ki}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{ki})} + \end{aligned} \right\} = \Delta G_z(t) dt. \quad (9)$$

Розмірно-масовий фракційний сорту та виду коренеплодів – цукрові, склад коренеплодів, як правило, кормові коренеплоди, коренеплоди поділяється на три основні групи: цикорію. дрібні коренеплоди; середні коренеплоди. Тоді залежність (9) набуде вигляду: коренеплоди; крупні коренеплоди. кінцевого вигляду: При цьому їх діаметр залежить від

$$d \sum_{i=1}^3 \frac{\pi \gamma_k}{24} \left\{ \begin{aligned} & \left[ K_{1G_z}(t) - K_{1G_n}(t) + K_{1G_n}(t) \right] \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \\ & + \left[ K_{2G_z}(t) - K_{2G_n}(t) + K_{2G_n}(t) \right] \frac{\pi D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \\ & + \left[ K_{3G_z}(t) - K_{3G_n}(t) + K_{3G_n}(t) \right] \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} + \end{aligned} \right\} = \Delta G_z(t) dt. \quad (10)$$

Залежність між текучим запасом матеріалу отримаємо згідно з  $\Delta G_z(t)$  (залишковим запасом рівнянням (1) шляхом його коренеплодів у проміжній стадії інтегрування. При цьому виробничого циклу) та результуючим масовим розходом зміни запасу

$$G_z(t) = \int [G_n(t) - G_c(t)] dt = \int \Delta G_z dt. \quad (11)$$

Із врахуванням (2)-(4) вигляду: інтегральний вираз (11) набуде

$$\begin{aligned} \int \Delta G_z dt &= \int \left[ \sum_{i=1}^3 [K_{1G_n}(t)m_{k1} + K_{2G_n}(t)m_{k2} + K_{3G_n}(t)m_{k3}] - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^n [K_{1G_c}(t)m_{k1} + K_{2G_c}(t)m_{k2} + K_{3G_c}(t)m_{k3}] \right] dt = \\ &= \int \left[ \sum_{i=1}^3 \{ [K_{1G_n}(t) - K_{1G_c}(t)]m_{k1} + [K_{2G_n}(t) - K_{2G_c}(t)]m_{k2} + [K_{3G_n} - K_{3G_c}(t)]m_{k3} \} \right] dt \end{aligned} \quad (12)$$

Підставивши з (7), (8) значення відповідно, 1-ї, 2-ї та 3-ї розмірної маси коренеплоду  $m_{k1}, m_{k2}, m_{k3}$ , фракції, які надходять в



Грицай Ю. В.

завантажувальну горловину бункера в інтегральний вираз (12), отримаємо:

$$\int \Delta G_z dt = \int \left[ \sum_{k=1}^3 \frac{\pi \gamma_k}{24} \left\{ \left[ K_{1G_n}(t) - K_{1G_c}(t) \right] \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \left[ K_{2G_n}(t) - K_{2G_c}(t) \right] \frac{D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k2})} + \left[ K_{3G_n}(t) - K_{3G_c}(t) \right] \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} \right\} \right] dt. \quad (13)$$

Отримана залежність (13) є математичною моделлю, яку записано в загальному інтегральному вигляді та яка характеризує процес функціонування завантажувального бункера шнекового транспортера-подрібнювача в відносному часі  $t$ , або зміну між текучим залишковим запасом коренеплодів і результуючим масовим розходом зміни запасу матеріалу залежно від кількісного розмірно-масового фракційного складу коренеплодів.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Розроблена

аналітична детермінована модель описує взаємозалежність зміни вхідних і вихідних потоків коренеплодів, які переміщуються в завантажувальній і вихідній горловині бункера шнекового транспортера-подрібнювача.

Подальший розв'язок інтегрального виразу та його аналіз можуть бути використані для обґрунтування технологічного процесу роботи шнекового транспортера-подрібнювача загалом, а також параметрів і режимів роботи гвинтових транспортних механізмів.

### Список використаних джерел

1. 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.
2. Гевко Ів.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Ів.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с.
3. Nevko R.V. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation [text] / R.V. Nevko, V.O. Dzyura, R.M. Romanovsky

// INMATEN. 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. Pankiv V.R. Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor [text] / V.R. Pankiv, O.A. Tokarchuk // INMATEN. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 51. – No.1/2017. – P. 59–68.

6. Белянчиков М.М. Механізація тваринництва [текст] / М.М. Белянчиков, А.І. Смирнов. – К. : Вища шк., 1980. – 375 с.

Грицай Ю. В.

7. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва [текст] / [Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик, В.Ф. Петриченко та ін.] ; під ред. Г.М. Калетніка, М.Ф. Кулика. В.Ф. Петриченка, В.Д. Хорішка. – Вінниця : Енозіс, 2007. – 584 с.

8. Гевко І. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами [текст] / І. Гевко, Р. Рогатинський, А. Дячун // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – 2012. – № 16. – С. 237–246.

9. Hevko R.B. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation [text] / R.B. Hevko, O.M. Klendiy // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 42. – No.1. – P. 55–60.

10. Pankiv Vitalii. Throughput capability of the combined screw chopper conveyor [text] / Vitalii Pankiv // Вісник ТНТУ. – 2017. – № 1 (85). – С. 69–79.

11. Рогатинський Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем [текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 1 (69). – С. 123–230.

12. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor [text] / V.R. Pankiv, O.A. Tokarchuk // INMATEH–Agricultural engineering. National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry. Inma Bucharest. – 2017. – Vol. 51. – No. 1/2017. – Pg. 59–68.

13. Гячев П.В. Основы теории бункеров [текст]. – Новосибирск: Изд-

во Новосибирского университета, 1992. – 309 с.

14. Скудина А.А. О щелевом бункере максимального расхода зернового материала [текст] / А.А. Скудина, В.А. Богомягких : [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – Т. 7. – № 5. URL : <http://naukovedenie.ru>

### References

1. Rohatynskiy R., Hevko I. (2012). Model konstruiuvannya i vyboru hvyntovykh konveieriv z rozshyrenymy tekhnologichnymy mozhlyvostiamy [Model of design and selection of screw conveyors with advanced technological capabilities]. Visnyk TNTU, 3 (67), 197–210.

2. Hevko Iv.B. (2013). Naukovo-prykladni osnovy stvorennia hvyntovykh transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv [Scientific and Applied Fundamentals for the Creation of Screw Transport and Technological Mechanisms]: avtoreferat dys....dokt. tekhn. nauk: 05.05.11. Lviv, 40.

3. Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. (2014). Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. INMATEH. Agricultural engineering, 44, 3, 103–110.

4. Hevko I. B. (2008). Hvyntovi transportno-tekhnologichni mekhanizmy: rozrakhunok i konstruiuvannya [Screw transport and technological mechanisms: calculation and construction]. Ternopil : TDTU imeni Ivana Puliuia, 307.

5. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. (2017). Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. INMATEH. Agricultural engineering, 51, 1/2017, 59–68.

6. Belianchykov M.M., Smyrnov

Грицай Ю. В.

A.I. (1980). Mekhanizatsiia tvarynnystv [Mechanization of livestock]. K. : Vyshcha shk., 1980, 375.

7. Kaletnik H.M., Kulyk M.F., Petrychenko V.F., Khorishka V.D. Osnovy perspektyvnykh tekhnolohii vyrobnytstva produktsii tvarynnystv [Basis of advanced technologies of livestock production] ; pid red. H.M. Kaletnika, M.F. Kulyka. V.F. Petrychenka. Vinnytsia : Enozis, 2007, 584.

8. Hevko I., Liubachivskiy R., Diachun A. (2012). Syntez zmishuvachiv z hvyntovymy robochymy orhanamy [Synthesis of faucets with screw working organs]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenerni doslidzhennia, 16, 237–246.

9. Hevko R.B., Klendiy O.M. (2014). The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation. INMATEH. Agricultural engineering, 42, 1, 55–60.

10. Pankiv Vitalii (2017). Throughput capability of the combined screw chopper conveyor. Вісник ТНТУ, 1 (85), 69–79.

11. Rohatynskiy R., Hevko I., Rohatynska L. (2013). Optymizatsiia parametriv hvyntovykh transportno-tekhnolohichnykh system [Optimization of the parameters of screw transport and technological systems]. Visnyk TNTU, 1 (69), 123–230.

12. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. (2017) Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. INMATEH–Agricultural engineering. National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry, Inma Bucharest, 2017, 51, 1/2017, 59–68.

13. Hiachev P.V. (1992). Osnovy teoryi bunkerov [Bases of the theory of bunkers]. Novosybyrsk: Yzd-vo Novosybyrskoho unyversyteta, 1992, 309.

14. Skudyna A.A., Bohomiahkykh V.A. O shchelevom bunkere maksymalnoho raskhoda zernovoho materyala [About the slotted hopper for maximum consumption of grain material] : [Elektronnyi resurs]. Ynternet-zhurnal «NAUKOVEDENYE», 2015, 7, 5. URL : <http://naukovedenie.ru>

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БУНКЕРА ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ДРОБИТЕЛЯ Ю. В. Грицай

*Аннотация.* Шнековые транспортеры широко применяются в аграрной сфере производства для перемещения, смешивания, дозирования продуктов и тому подобное. Совершенствование существующих конструкций шнековых транспортеров и обоснование их рациональных

*параметров и режимов работы позволяет расширить функциональные возможности технологических операций и повысить производительность работы механизмов в целом. На основе анализа существующих винтовых механизмов предложено шнековый транспортер-измельчитель корнеплодов с комбинированным рабочим органом. Он выполнен в виде шнекового конвейера, установленного в направляющей трубе, которая*

Грицай Ю. В.

имеет загрузочный бункер. На внутренней стороне витков шнека закреплены ножи-измельчители. Приведены результаты аналитических исследований процесса перемещения корнеплодов в объемном пространстве бункера. Разработана математическая модель функционального процесса работы бункера в зависимости от входных и выходных потоков корнеплодов. Результаты исследований является дальнейшим шагом в разработке методики обоснования параметров шнековых механизмов.

**Ключевые слова:** корнеплоды, загрузочная горловина, высокая корнеплодов, выгрузочным горловина, потребление запаса, масса корнеплодов

## MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONING OF THE SCREW TRANSPORTER-CRUSHER

Yu. V. Gritsai

**Abstract.** Screw conveyors are widely used in the agrarian sphere of production for moving, mixing, dosing products and the like. Improvement of existing screw conveyor designs and justification of their rational parameters and operating modes allows to expand the functional capabilities of technological operations and increase the productivity of mechanisms in general. Based on the analysis of existing screw mechanisms, a screw conveyor-chopper of root crops with a combined working organ was proposed. It is made in the form of a screw conveyor, installed in a guide pipe, which has a feed hopper. On the inner side of the screw auger knives are fixed.

*Results of analytical researches of technological process of moving of root crops in volume space of the bunker are resulted. A mathematical model of the functional process of the bunker operation is developed depending on the input and output streams of root crops. The results of the research are a further step in developing a methodology for justifying the parameters of the screw mechanisms.*

**Keywords:** root crops, feeding throat, high root crops, unloading throat, consumption of stock, weight of root crops