

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

ГРИЦАЙ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.867.42

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО
ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Барановський Віктор Миколайович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
професор кафедри технології і обладнання зварювального виробництва.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Братішко В'ячеслав В'ячеславович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
доцент кафедри механізації тваринництва;

кандидат технічних наук, доцент
Герасимчук Галина Андріївна,
Луцький Національний технічний університет,
доцент кафедри прикладної механіки.

Захист відбудеться “13” березня 2020 року о “10” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 79.

З дисертаційною роботою можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий “ 12 ” лютого 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

М. Я. Сташків

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У загальній структурі виробництва продукції тваринництва до 50...70 % всіх витрат припадає на дольову частку приготування різнопланових соковитих кормів із коренеплодів.

Ці витрати істотно зменшуються, якщо виробництво кормів проводити не на спеціалізованих заводах, а безпосередньо у господарстві, поєднуючи при цьому декілька операцій приготування кормів у одну суміжну операцію, наприклад, операції подрібнення та переміщення подрібнених частин коренеплодів шнековими механізмами. Цим досягається мінімізація енергетичних витрат процесу переробки коренеплодів.

Удосконалення існуючих конструкцій шнекових конвеєрів дозволяє розширити функціональні можливості гвинтових механізмів, що призводить до зниження енергетичних затрат під час приготування соковитих кормів. Одним із резервів підвищення технологічної ефективності функціонування шнекових транспортерів є удосконалення процесу переробки коренеплодів шляхом розроблення комбінованих шнекових робочих органів, які забезпечать одночасне подрібнення та переміщення подрібнених коренеплодів одним шнеком.

У зв'язку з цим, розроблення удосконалених конструкцій комбінованих шнекових робочих органів, які виконують одночасне подрібнення та переміщення коренеплодів, і дослідження впливу їх параметрів для підвищення показників технологічної ефективності шнекових механізмів є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розроблення конструктивної схеми нового шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів і обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів його робочих органів проведено відповідно до державної наукової тематики НДР ТНТУ ім. Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (номер державної реєстрації 0117U003998). Робота є складовою частиною вирішення науково-технічної задачі з розробки й впровадження технічних засобів для переробки коренеплодів відповідно до цільової комплексної державної науково-технічної програми наукових робіт та науково-технічних (експериментальних) розробок молодих вчених, затвердженої згідно з Програмою діяльності КМУ «Україна-2020» МОН України у 2015 р.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення технологічної ефективності подрібнення коренеплодів шляхом удосконалення та обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- на основі аналізу технологічних процесів подрібнення та переміщення коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача;

- розробити теоретичні залежності, які описують та характеризують функціональну залежність процесу переміщення коренеплодів у бункері до шнека та їх взаємодію з спіральними витками шнека;

- визначити ступінь подрібнення коренеплодів ножами-подрібнювачами на основі дослідження коефіцієнта подрібнення коренеплодів і розробити залежність

для визначення продуктивності роботи комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача;

- провести експериментальні дослідження показників якості подрібнення коренеплодів, продуктивності та питомих затрат споживчої потужності залежно від основних параметрів шнекового транспортера-подрібнювача;

- визначити економічну ефективність застосування комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес роботи та робочі органи комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

Предмет дослідження. Конструктивно-кінематичні параметри робочих органів і їх вплив на технологічні показники роботи комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводили на основі механіко-математичного моделювання технологічного процесу подрібнення та переміщення коренеплодів робочими органами комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача з використанням основних положень теоретичної механіки, вищої математики та теорії машин і механізмів.

Експериментальні дослідження макетного зразка комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів проводили в лабораторних умовах шляхом реалізації основних положень методики проведення планованих факторних експериментів. Теоретичні розрахунки та статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням прикладних програм для комп'ютера.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано новий технологічний процес одночасного подрібнення та переміщення коренеплодів і основні конструктивно-кінематичні параметри комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

На цій підставі:

- *вперше розроблено:* математичну модель, яка описує функціональну залежність зміни між поточним залишковим запасом коренеплодів і результуючими масовими витратами запасу матеріалу із бункера залежно від кількісного фракційного складу коренеплодів за умови нормального руху коренеплодів; рівняння для визначення теоретичного значення зміни коефіцієнта подрібнення коренеплодів залежно від основних параметрів шнека; емпіричні залежності, які характеризують коефіцієнт подрібнення та коефіцієнт однорідності подрібнення частин коренеплодів залежно від частоти обертання та робочої довжини шнека і кількості ножів-подрібнювачів;

- *уточнено:* математичну залежність для визначення продуктивності комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача на основі узгодження пропускної здатності шнека та витратою запасу матеріалу із бункера; емпіричну залежність для визначення продуктивності та питомих затрат споживчої потужності на основі врахування конструктивних особливостей шнека.

Практична значимість отриманих результатів. Запропоновано удосконалену конструкцію комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів і експериментально обґрунтовано основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів.

Запропоновано рекомендації виробництву для вибору раціональних параметрів робочих органів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів. Результати порівняльних досліджень удосконаленого та базового шнекового транспортера-подрібнювача підтвердили технологічну ефективність його застосування у виробничих умовах. Конструктивна новизна технічного рішення захищена 1 патентом України на корисну модель.

Результати досліджень впроваджено в компанії ПАП «Агропродсервіс» (Тернопільська обл., с. Настасів) в технологічній лінії для приготування кормів і використовуються у навчальному процесі кафедри теоретичної механіки та сільськогосподарських машин ТНТУ ім. Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Організація і технологія механізованих робіт».

Особистий внесок здобувача. Основні положення наукових досліджень виконано здобувачем самостійно, постановку завдань, аналіз і трактування отриманих результатів проведено спільно з науковим керівником.

Результати роботи викладено одноосібно автором у 8 друкованих працях [1-3, 8-12]. У публікаціях, що виконані у співавторстві, дисертантом виконано: [4, 5, 7] – розроблено методику проведення та наведено результати експериментальних досліджень, відповідно, продуктивності шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів, коефіцієнта однорідності подрібнення коренеплодів і коефіцієнта подрібнення коренеплодів; [6] – проведено аналіз функціонування гвинтових механізмів, запропоновано удосконалену схему шнекового транспортера-подрібнювача, розроблено аналітичну модель функціонування завантажувального бункера, методику проведення експериментальних досліджень і рівняння регресії коефіцієнта подрібнення коренеплодів; [13] – розроблено диференціальне рівняння поштучної витрати запасу матеріалу із бункера та залежність максимального масового секундного надходження коренеплодів до шнека; [14] – запропоновано схему конструктивного розміщення ножів-подрібнювачів на витках шнека.

Апробація роботи. Основні положення та висновки дисертаційної роботи доповідалися й отримали позитивну оцінку на: VI, VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2017, 2018); Міжн. наук.-практ. конф. «Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення», (м. Бережани, ВП НУБіП України «БАТІ», 2018); Міжн наук.-техн. конф. до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018); Міжн. наук.-практ. конф. «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя» (м. Київ, НУБіП України, 2018); VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) (м. Київ, НУБіП України, 2019); на розширеному науковому семінарі № 7 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2019 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 14 наукових працях, із них – 1 монографія; 4 статті у фахових виданнях

України, 2 статті в закордонному рецензованому виданні, 1 патент України на корисну модель, 6 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 186 найменувань і 17 додатків. Основні результати роботи викладено на 137 сторінках, де міститься 59 рисунків і 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз стану та результатів дослідження шнекових транспортерів» наведено аналіз існуючих технологічних процесів, конструкцій робочих органів, класифікацію, результати теоретично-експериментальних досліджень шнекових транспортерів та обґрунтовано вибір робочого органу для проведення дослідження.

Вагомий здобуток у теорію розвитку концепції розробки принципів і методів застосування шнекових транспортерів у секторі аграрного виробництва було внесено вченими Адамчуком В.В., Барановським В.М., Братішко В.В., Гевком Р.Б., Василенком П.М., Герасимчук Г.А., Куктою Г.М., Ловеїкіним В.С., Пилипцем М.І., Погорілим Л.В., Ревенком І.І., Рогатинським Р.М., Ромасевичем Ю.О., Тимошенком С.П., Хайлісом Г.А., Янчиним С.К. та іншими науковцями.

У працях наведено основні засади і принципи функціонування, розрахунку, проектування та застосування шнекових транспортерів для підготовки, внесення, переробки сільськогосподарських матеріалів у різних галузях аграрного сектору.

Аналіз відомих результатів наукових досліджень показав, що в них не на достатньому рівні розглядається питання реалізації технологічного процесу, який би забезпечував одночасне подрібнення та переміщення коренеплодів одним гвинтовим транспортним механізмом під час приготування соковитих кормів на основі переробки коренеплодів.

На основі аналізу існуючої схеми основних операцій переробки коренеплодів на соковиті корми (рис. 1) нами було висунуто гіпотезу про можливість поєднання двох суміжних операцій, які виконуються окремими засобами (подрібнення коренеплодів коренерізкою та транспортування коренеплодів транспортером) в одну суміжну операцію «подрібнення + транспортування», яка реалізується одним технічним засобом – шнековим транспортером-подрібнювачем коренеплодів.

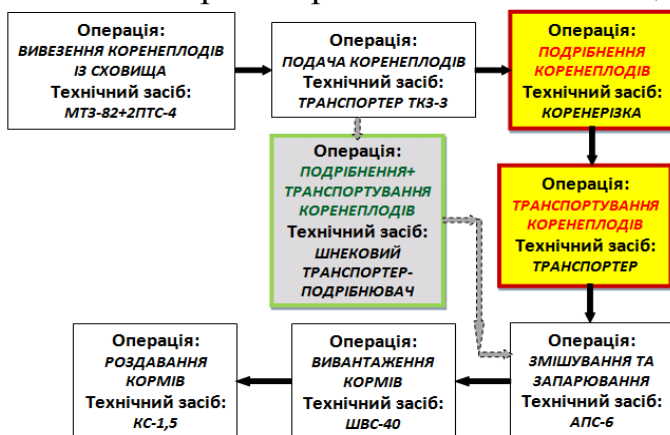


Рис. 1. Узагальнена структурна схема основних операцій переробки коренеплодів на корм

транспортером-подрібнювачем коренеплодів.

Для виконання процесу одночасного подрібнення та переміщення подрібнених коренеплодів і підвищення технологічної ефективності шнекових механізмів, розроблено схему шнекового транспортера-подрібнювача, рис. 2.

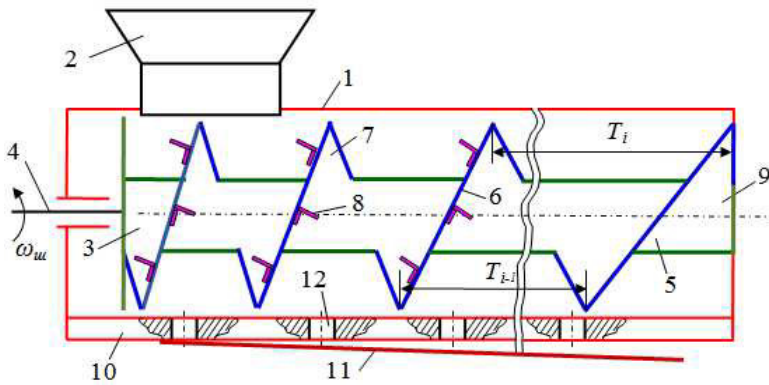


Рис. 2. Конструктивно-компонувальна схема шнекового транспортера-подрібнювача

Шнековий транспортер-подрібнювач складається із кожуха 1 та бункера 2. У кожусі встановлено шнек 3, виконаний у вигляді приводного вала 4 на якому змонтовано барабан 5. На барабані по гвинтовій лінії 6 закріплено спіральні витки 7. На внутрішній і зовнішній стороні витків радіально встановлено пластинчаті Г-подібні ножі-подрібнювачі 8. Крок T_i спіральних

витків збільшується з постійним кутом підйому гвинтової лінії в сторону вивантажувальної частини 9 кожуха.

Коренеплоди з бункера надходять до шнека, який одночасно з переміщенням коренеплодів подрібнює їх шляхом різання Г-подібними ножами-подрібнювачами. При цьому відбувається виділення та накопичення соковитої рідини, яка через наскрізні отвори 12 витікає на направляючий лоток 11, який встановлено під нижньою частиною 10 кожуха.

Розташування Г-подібних ножів на витках шнека дозволяє розширити функціональні можливості та підвищити ефективність роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів.

У другому розділі «Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи шнекового транспортера-подрібнювача» наведено аналіз функціонування шнекового транспортера-подрібнювача на основі розробки математичних моделей і залежностей, які описують характер переміщення коренеплодів у бункері до шнека, процес контактної взаємодії коренеплоду з торцем витка шнека, ступінь подрібнення коренеплодів Г-подібними ножами та продуктивності шнека.

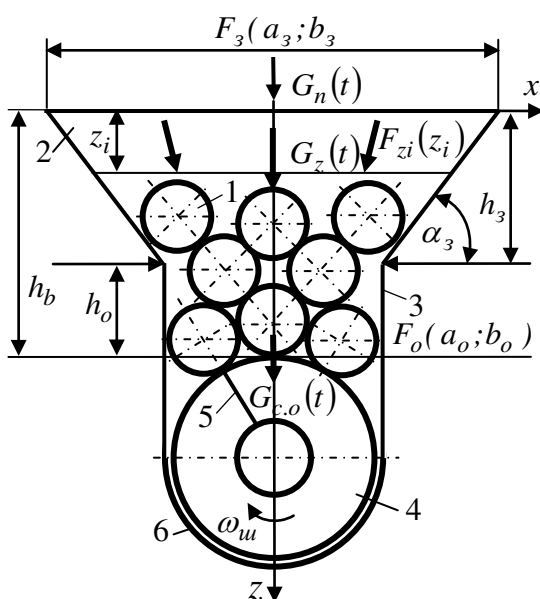


Рис. 3. Схема функціонування бункера: 1 – коренеплоди; 2, 3 – завантажувальна та вихідна горловина; 4 – шнек; 5 – виток; 6 – кожух

проміжній стадії виробничого циклу.

Для розробки математичної моделі, яка описує процес функціонування бункера (рис. 3) позначимо кількість коренеплодів, які надходять в основну частину (завантажувальну горловину) бункера в відносному часі t через $G_n(t)$, які накопичено в бункері в проміжній стадії виробничого циклу, або запас коренеплодів – через $G_z(t)$, які виходять з вихідної горловини, або споживання із запасу – через $G_{c.o}(t)$.

Тоді зростання запасу коренеплодів буде забезпечуватися за умови $G_n(t) > G_{c.o}(t)$, а зменшення запасу за умови $G_n(t) < G_{c.o}(t)$.

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

$$\frac{dG_z(t)}{dt} = \sum G_z = G_n(t) - G_{c.o}(t) = \Delta G_z(t), \quad (1)$$

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

Виразивши існуючі технологічні потоки $G_n(t)$, $G_z(t)$ і $G_{c.o}(t)$ через відповідний кількісний масовий потік коренеплодів конічної форми та прийнявши три групи розмірно-масового фракційного складу коренеплодів залежність (1) набуде вигляду:

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

де γ_k – питома маса коренеплодів, кг/м³; D_{k1} , D_{k2} , D_{k3} ; α_{k1} , α_{k2} , α_{k3} – відповідно, діаметр і кут конуса росту коренеплодів 1-ї, 2-ї, 3-ї розмірної масової фракції, м; K_{1G_c} , K_{2G_c} , K_{3G_c} – відповідно, кількість коренеплодів 1-ї, 2-ї, 3-ї розмірної масової фракції, які виходять з вихідної горловини бункера, шт.

Залежність між поточним запасом $\Delta G_z(t)$ (залишковим запасом коренеплодів у проміжній стадії процесу) та результуючою масовою витратою запасу коренеплодів із бункера отримано з рівняння (1) шляхом його інтегрування:

$$G_z(t) = \int [G_n(t) - G_{c.o}(t)] dt = \int \Delta G_z dt; \quad (3)$$

$$\int \Delta G_z dt = \int \left\{ \sum_{i=1}^3 \frac{\pi \gamma_k}{24} \left[K_{1G_n}(t) - K_{1G_c}(t) \right] \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + \left[K_{2G_n}(t) - K_{2G_c}(t) \right] \frac{D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k2})} + \left[K_{3G_n}(t) - K_{3G_c}(t) \right] \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} \right\} dt. \quad (4)$$

Отримана залежність (4) є математичною моделлю, яка характеризує процес функціонування бункера шнекового транспортера-подрібнювача, або характер зміни між текучим залишковим запасом коренеплодів і результуючим масовим розходом зміни запасу матеріалу в бункері залежно від кількісного розмірно-масового фракційного складу коренеплодів і умови нормального руху коренеплодів у просторі бункера.

Прийнявши умову, що швидкість витікання коренеплодів, або поштучна швидкість споживання коренеплодів $\mathcal{G}_{c.z_i}$ (шт. м/с) із запасу бункера в будь-якому його поперечному перерізі за нормального руху коренеплодів у завантажувальній горловині підкоряється закону сухого тертя (закону Кулона), отримано відношення між поточним залишковим поштучним (кількісним) запасом коренеплодів і прискоренням поштучного споживання коренеплодів із запасу (диференціальне рівняння поштучного споживання коренеплодів у відносному часі t) за умови, що поперечний переріз $F_{zi}(x_{zi}; y_{zi}) = F_{zi}(a_{zi}; b_{zi})$

$$\int \frac{\left\{ \frac{\pi}{24} \sum_{i=1}^3 \left[K_{1G_c} \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + K_{2G_c} \frac{D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k2})} + K_{3G_c} \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} \right] \right\}}{F_{zi}(a_{zi}; b_{zi}) t} dt = \int \left(\begin{aligned} & g F_{zi}(a_{zi}; b_{zi}) + \frac{\frac{dF_{zi}(a_{zi}; b_{zi})}{dt}}{[F_{zi}(a_{zi}; b_{zi})]^2} \times \\ & \times \left\{ \frac{\pi}{24 t^2} \sum_{i=1}^3 \left[K_{1G_c} \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + K_{2G_c} \frac{D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k2})} + K_{3G_c} \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} \right] \right\}^2 \end{aligned} \right) dt. \quad (5)$$

Якщо в формулі (5) спрямувати час $t \rightarrow \infty$ та прийняти, що вираз

$$d \left\{ \frac{\pi}{24t} \sum_{i=1}^3 \left[K_{1G_c} \frac{D_{k1}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k1})} + K_{2G_c} \frac{D_{k2}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k2})} + K_{3G_c} \frac{D_{k3}^3}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{k3})} \right] \right\} / dt = 0, \text{ а отриману залежність помножити}$$

на γ_k , тоді отримаємо граничне максимальне масове споживання коренеплодів із запасу бункера за час $t=1$ с, або необхідне граничне максимальне масове секундне надходження коренеплодів $G_{c.z,max}$ (кг/с) до вихідної горловини бункера $G_{c.z,max}$ (кг/с) та шнека $G_{c.o,max}$ (кг/с), або максимально можливе споживання коренеплодів із запасу за умови, що поперечний переріз $F_{zi}(x_{zi}; y_{zi}) = F_{zi}(a_{zi}; b_{zi}) = F_o(a_o; b_o)$ є миттєвим вихідним отвором горловини бункера:

$$G_{c.z,max} \leq \gamma_k a_{zi} b_{zi} k_3 \left(\sqrt{-\frac{g a_{zi} b_{zi}}{F'_{zi}(a_{zi}; b_{zi})}} \right); G_{c.o,max} \leq \gamma_k F_o(a_o; b_o) k_3 \sqrt{-\frac{g F_o(a_o; b_o)}{F'_o(a_o; b_o)}} = \gamma_k a_o b_o k_3 \sqrt{-\frac{g a_o b_o}{F'_o(a_o; b_o)}}, \quad (6)$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення бункера; g – прискорення вільного падіння, м/с²; a_o, b_o – половина ширини та довжина отвору вихідної горловини бункера, м.

Знайшовши найменший мінімум функції другого рівняння (6), яку прийнято у вигляді $u = (G_{c.o})^2 = \varphi(z)$ в інтервалі $0 < z \leq h_b$, шляхом прирівнювання її похідної до нуля $u' = (G'_{c.o})^2 = \varphi'(z) = 0$, отримано диференціальне рівняння поверхні бункера $F_{z,u}(a_{z,u}; b_{z,u}) F''_{z,u}(a_{z,u}; b_{z,u}) = 3[F'_{z,u}(a_{z,u}; b_{z,u})]^2$, після інтегрування якого за початкових умов $F_{z,u}(0) = F_u(a_u; b_u)$, $F'_{z,u}(0) = F'_u(a_u; b_u)$, отримаємо залежність максимальних витрат коренеплодів із запасу або максимальне споживання коренеплодів із запасу за умови, що $F_u(a_u; b_u) = F_o(a_o; b_o)_o$

$$G_{c.o,max} = \gamma_k F_o(a_o; b_o) k_3 \left(\sqrt{-\frac{g F_o(a_o; b_o)}{F'_o(a_o; b_o)}} \right); F_o(a_o; b_o) = \frac{\gamma_k F_o(a_o; b_o) k_3}{\sqrt{b_o - \frac{2g[F_o(a_o; b_o)]^2 x_o}{G^2_{c.o,max}}}}. \quad (7)$$

Тоді максимальне секундне надходження коренеплодів з вихідної горловини бункера до шнека з урахуванням коефіцієнта заповнення бункера k_3 , або максимальне споживання коренеплодів $G_{c.o,max}$ із запасу визначається за формулою за умови, що $x_o = 0,5a_o$, а $x'_o = 0,5(a_o)' = (0,5h_3 \operatorname{ctg} \alpha_3)' = -0,5tg \alpha_3$:

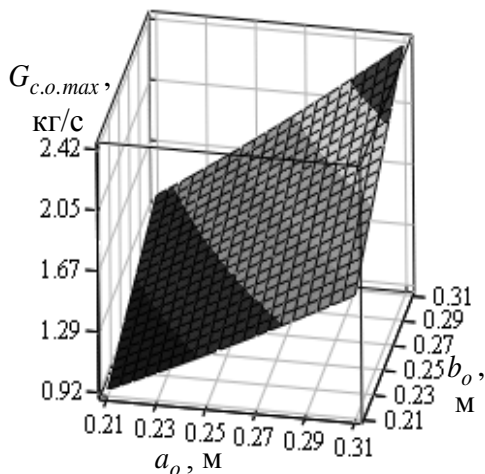


Рис. 4. Залежність зміни $G_{c.o,max} = f(a_o; b_o)$

$$G_{c.o,max} = 2\gamma_k b_o x_o k_3 \left(\sqrt{-\frac{g x_o}{x'_o}} \right); G_{c.o,max} = \gamma_k b_o a_o k_3 \left(\sqrt{\frac{g a_o}{\operatorname{tg} \alpha_3}} \right). \quad (8)$$

Максимальне секундне надходження коренеплодів через вихідну горловину бункера до шнека, або максимальне споживання коренеплодів $G_{c.o,max}$ із запасу знаходиться від 0,9 до 2,4 кг/с, рис. 4.

На початковій стадії завантаження бункера коренеплодами 1 (рис. 5) та переміщення одиночного коренеплоду до витка 2 шнека 3 відбувається контактна ударна взаємодія коренеплоду з торцевою поверхнею витка шнека, після чого коренеплід відбивається від поверхні витка та рухається вгору, що порушує прийнятий нормальний закон руху коренеплодів у бункері.

При цьому сумарна сила тиску $\sum P_k$ коренеплоду на виток шнека повинна

бути більшою, або рівною силі контакту F_k , яка виникає в процесі контактної ударної взаємодії коренеплоду з торцем витка, тобто, $\sum P_k \geq F_k$ (Н). При цьому швидкість після контактної взаємодії змінюється тільки у коренеплоду, а векторна міра кількості руху коренеплоду \vec{S}_k (кг·м/с), або імпульс сили контакту $F_k t_k$ при співударі коренеплоду з витком шнека визначається:

$$S_k = m_k \vartheta_{kp} - m_k \vartheta_{kh} = \int_0^{t_k} F_k dt_k = m_k \Delta \vartheta_k; \quad \sum P_k \leq m_k \frac{d(\Delta \vartheta_k)}{dt_k} \leq F_k, \quad (9)$$

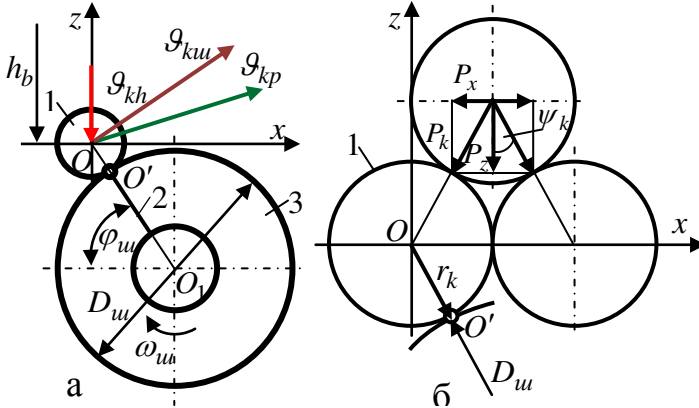


Рис. 5. Схема: а – контактної взаємодії коренеплоду з витком шнека; б – розміщення коренеплодів у бункері; 1 – коренеплід; 2 – виток; 3 – шнек

де m_k – маса коренеплоду, кг; ϑ_{kp} , $\vartheta_{kh} = \sqrt{2gh_b}$, $\Delta \vartheta_k$ – відповідно, швидкість коренеплоду після удару, до удару та результуюча швидкість співудару коренеплоду з витком шнека, м/с; t_k – час контакту, с.

На основі теореми Лагранжа-Дирихле про мінімум потенційної енергії і припущення, що коренеплоди 1 розташовуються в горловині бункера так, що їх можна розділити на ряди та після визначення реакції у точці контакту головок $R_{1k} = m_{1k} g l_{1k} / L_{1k}$ (Н) і

хвостових частин $R_{2k} = m_{2k} g (1 - l_{2k} / L_{2k}) R_{2k}$ (Н) коренеплодів і розкладання сумарної сили тиску P_k на вертикальну та горизонтальну складову, отримано:

$$\left. \begin{aligned} P_{zk} &= \frac{R_{1k} + R_{2k}}{2 \cos \psi_k} \cos \psi_k = \frac{\pi \gamma_k g}{48} \left(\frac{D_{1k}^3 l_{1k}}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{1k}) L_{1k}} + \frac{D_{2k}^3 (L_{2k} - l_{2k})}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{2k}) L_{2k}} \right); \\ P_{xk} &= \frac{R_{1k} + R_{2k}}{2 \cos \psi_k} \sin \psi_k = \frac{\pi \gamma_k g}{48} \operatorname{tg} \psi_k \left(\frac{D_{1k}^3 l_{1k}}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{1k}) L_{1k}} + \frac{D_{2k}^3 (L_{2k} - l_{2k})}{\operatorname{tg}(0,5\alpha_{2k}) L_{2k}} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

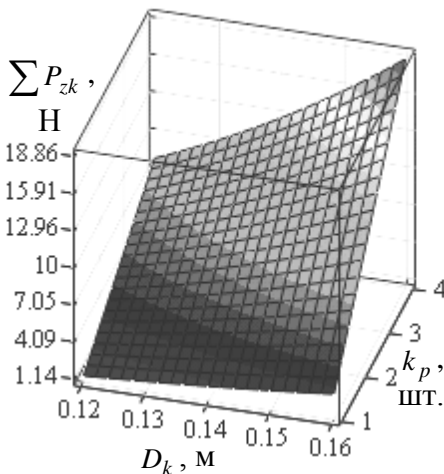


Рис. 6. Залежність зміни $\sum P_{zk} = f(D_k; k_{kp})$

де m_{1k} , m_{2k} ; l_{1k} , l_{2k} ; L_{1k} , L_{2k} – маса, відстань від головки до центра мас і довжина 1-го та 2-го коренеплоду, м; ψ_k – кут між лінією, яка з'єднує центри коренеплодів і вертикаллю, град.

Після відповідних припущень та умови, що боковий тиск $(R_{1k} + R_{2k}) / 2 \cos \psi_k$ коренеплодів передається тільки у вертикальній площині, отримано залежність для визначення $\sum P_{zk}$ (Н) для кількості рядів k_{pk} коренеплодів:

$$\sum P_{zk} = \frac{\pi \gamma_k g D_k^3}{48 \operatorname{tg}(0,5\alpha_k)} \left(k_{pk} - \frac{l_k}{L_k} \right). \quad (11)$$

Встановлено, що вертикальна сила $\sum P_{zk}$ тиску коренеплоду на виток шнека змінюється від 1,2 Н до 18,9 Н (рис. 6.) залежно від зміни діаметра D_k та кількості рядів k_{pk} коренеплодів, які завантажено в бункер.

Записавши у (11), що $D_k k_{pk} = h_b$ та згідно з (9) записано умову, яка не уможливилює відбивання коренеплоду від торця шнека та рівняння для визначення мінімального значення висоти $h_{b.min}$ бункера:

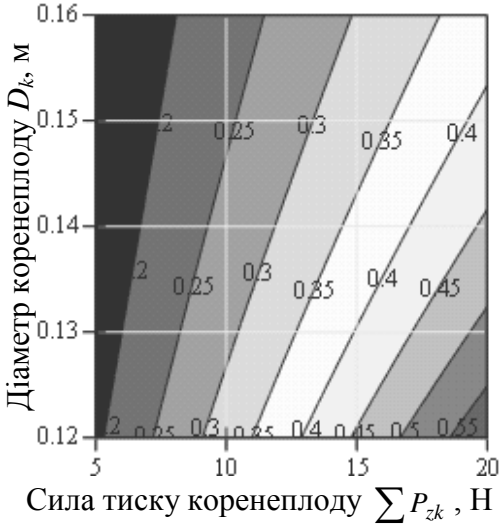


Рис. 7. Залежність зміни

$$h_{b.min} = f(D_k; \sum P_{zk})$$

$$\Delta\theta_k = (0,5D_u(d\varphi_{uu}/dt_k)\cos\varphi_{uu} - \sqrt{2gh_b})\cos\varphi_{uu} - \sqrt{2gh_b}; \quad (14)$$

$$h_{b.min} \leq D_k \left(\frac{(D_u(d\varphi_{uu}/dt_k)\cos^2\varphi_{uu} - \sqrt{2gD_k k_{pk}})(2\cos\varphi_{uu} + 1)}{gt_k} + \frac{l_k}{L_k} \right), \quad (15)$$

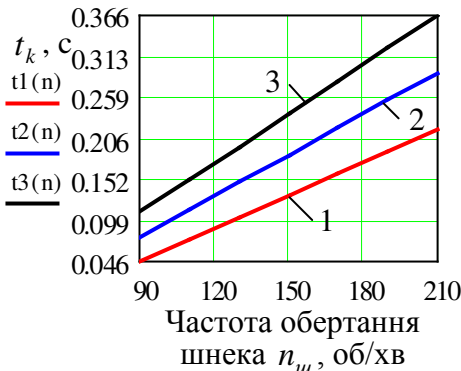


Рис. 8. Залежність зміни

$$t_k = f_t(n_k): 1, 2, 3 - D_u = 0,2; 0,25; 0,3 \text{ м}$$

$D_u = 0,25 \text{ м}$ – від 0,09 с до 0,29 с; за діаметра шнека $D_u = 0,3 \text{ м}$ – від 0,12 с до 0,37 с.

Згідно з умовою $S_{zP_k} \geq S_{zF_k}$ та (9)-(16), отримано:

$$\frac{\pi\gamma_k g D_k^3 t_k}{48tg(0,5\alpha_k)} \left(k_{pk} - \frac{l_k}{L_k} \right) \geq \frac{\pi D_k^3 \gamma_k}{48tg(0,5\alpha_k)} \left(D_u \frac{\pi n_u}{30} \cos^2 \varphi_{uu} - \sqrt{2gD_k k_{pk}} \right) (2\cos\varphi_{uu} + 1), \quad (17)$$

де права частина (17) дорівнює імпульсу S_{zP_k} , а ліва частина – імпульсу S_{zF_k} , кг м/с.

Шляхом порівняння значень графічних побудов імпульсів S_{zP_k} і S_{zF_k} (рис. 9) встановлено, що для середнього діаметра $D_k = 0,15 \text{ м}$ і кількості рядів $k_{pk} = 2-4$ коренеплодів висота бункера h_b повинна бути не менше 0,3...0,6 м за частоти обертання шнека $n_u \leq 90 \dots 190 \text{ об/хв}$ і діаметра шнека $D_u = 0,2 \dots 0,3 \text{ м}$.

$$\frac{\pi\gamma_k g D_k^2}{48tg(0,5\alpha_k)} \left(h_b - \frac{D_k l_k}{L_k} \right) \leq \frac{\pi D_k^3 \gamma_k}{24tg(0,5\alpha_k)} \frac{d(\Delta\theta_k)}{dt_k}; \quad (12)$$

$$h_{b.min} = \frac{\sum P_{zk} 48tg(0,5\alpha_k)}{\pi\gamma_k g D_k^2} + \frac{D_k l_k}{L_k}; h_{b.min} \leq D_k \left(\frac{2}{g} \frac{d(\Delta\theta_k)}{dt_k} + \frac{l_k}{L_k} \right). \quad (13)$$

На основі аналізу рис. 7 встановлено, що мінімальна висота бункера $h_{b.min}$ шнекового транспортера-подрібнювача повинна знаходитися у діапазоні від 0,15 до 0,6 м залежно від зміни діаметра коренеплодів у межах $0,12 \text{ м} \leq D_k \leq 0,16 \text{ м}$ і сумарної вертикальної сили тиску у межах $5 \text{ Н} \leq \sum P_{zk} \leq 20 \text{ Н}$.

Визначивши значення проєкцій складових швидкостей (9) на вісь Oz (рис. 5а), отримано:

де ω_{uu} , D_{uu} – кутова швидкість (рад/с) і діаметр (м) шнека; φ_{uu} – кут повороту витка шнека, рад.

Із (15) визначено час контакту t_k коренеплоду з торцем витка шнека:

$$t_k \leq \frac{D_k L_k (D_{uu} \pi n_u \cos^2 \varphi_{uu} - 30\sqrt{2gD_k k_{pk}})(2\cos\varphi_{uu} + 1)}{30g(h_{b.min} L_k - D_k l_k)}. \quad (16)$$

Встановлено (рис. 8), що за зміни частоти обертання шнека n_k від 90 об/хв до 210 об/хв, час контактної взаємодії коренеплоду з торцем витка шнека знаходиться у діапазоні: за діаметра шнека $D_u = 0,2 \text{ м}$ – від 0,05 с до 0,21 с; за діаметра шнека

Теоретичне значення коефіцієнта подрібнення μ_k одного коренеплоду визначено як співвідношення числа «одиниця» до ступеня подрібнення

коренеплодів, яке позначено як Φ_k

$$\mu_k = 1 \div \Phi_k = 1 \div \frac{K_3}{K_n}, \quad (18)$$

де K_3 , K_n – кількість завантажених у бункер і кількість подрібнених частин коренеплодів, шт.

Після визначення

отримано теоретичне значення коефіцієнта подрібнення μ_k :

$$\mu_k = 1 \div \frac{2L_p z_n z_c}{D_{uu} k_g t g \beta_{\Delta T}}, \quad (19)$$

де L_p – робоча довжина шнека, м; z_n , $z_c = L_p / T_i$ – кількість ножів, які встановлено на одному витку та кількість витків шнека, шт.; $\beta_{\Delta T}$ – кут підйому гвинтової лінії останнього витка шнека, град.

Встановлено, що: ступінь подрібнення одного коренеплоду Φ_k змінюється у діапазоні від 4 до 24 частин залежно від зміни робочої довжини шнека у межах $0,6 \text{ м} \leq L_p \leq 1,2 \text{ м}$, кількості ножів від 4 до 8 шт. і діаметра шнека у межах $0,2 \text{ м} \leq D_{uu} \leq 0,3 \text{ м}$; коефіцієнт

подрібнення коренеплодів μ_k дорівнює співвідношенню від $\mu_k = 1 \div 4$ до $\mu_k = 1 \div 24$.

Продуктивність Π_{uu} шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів регламентується продуктивністю роботи шнека, при цьому згідно з (8), отримано:

$$\Pi_{uu} \geq \pi^2 D_{uu}^3 \gamma_k (1 - k_n) k_v t g \beta_{\Delta T} \frac{n_{uu}}{240} \geq \gamma_k b_0 a_o k_3 \sqrt{\frac{g a_o}{t g \alpha_3}}, \quad (20)$$

де k_n – конструктивний геометричний коефіцієнт.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 11) встановлено, що продуктивність Π_{uu} шнекового транспортера-подрібнювача змінюється від 0,3 кг/с до 2,5 кг/с.

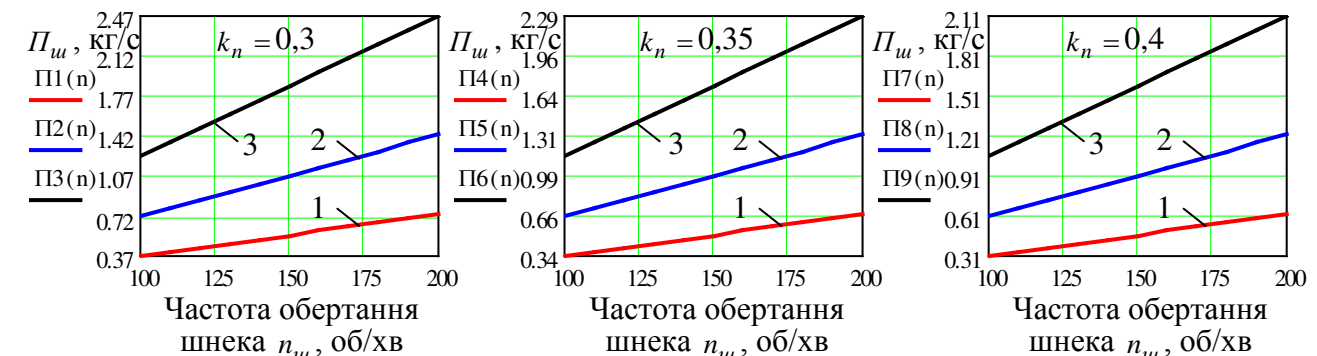


Рис. 11. Залежність зміни $\Pi_{uu} = f_{\Pi}(n_{uu})$: 1, 2, 3 – $D_{uu} = 0,2; 0,25 \text{ м}; 0,3 \text{ м}$

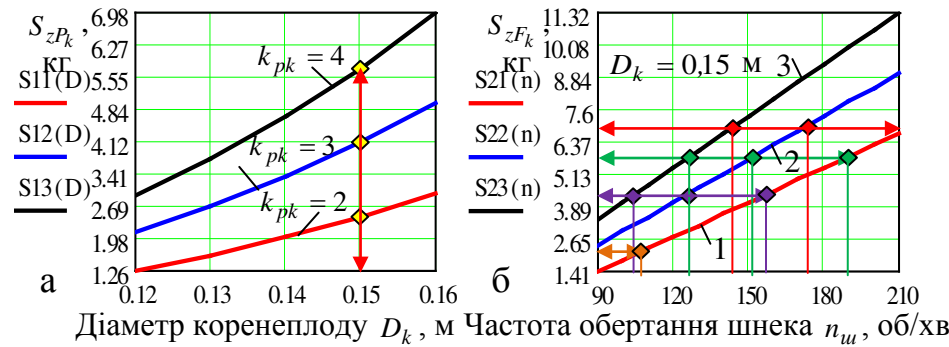


Рис. 9. Залежність зміни: а – $S_{zP_k} = f_S(D_k)$;

б – $S_{zF_k} = f_S(n_{uu})$, 1, 2, 3 – відповідно, $D_{uu} = 0,2; 0,25; 0,3$ м

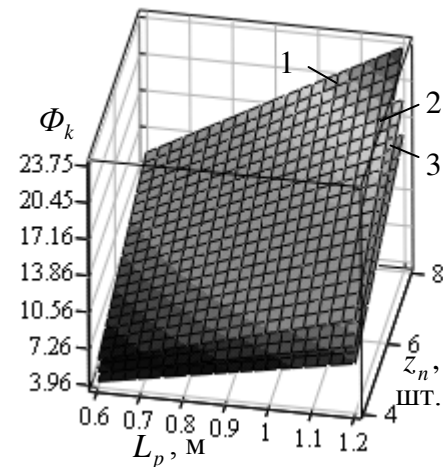


Рис. 11. Залежність зміни

$\Phi_k = f_{\Phi}(L_p; z_n)$: 1, 2, 3 –

$D_{uu} = 0,2; 0,25; 0,3$ м

У межах зміни частоти обертання шнека у діапазоні $100 \text{ об/хв} \leq n_{ш} \leq 200 \text{ об/хв}$ значення приросту $P_{ш}$ становить: для діаметра шнека $D_{ш} = 0,2 \text{ м} - 0,3 \text{ кг/с}$; для $D_{ш} = 0,25 \text{ м} - 0,7 \text{ кг/с}$; для $D_{ш} = 0,3 \text{ м} - 1,2 \text{ кг/с}$. Значний приріст продуктивності $P_{ш}$ роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів відбувається також за значення діаметра шнека $D_{ш}$ більшого за $0,25 \text{ м}$.

У третьому розділі «Програма та методика проведення експериментальних досліджень шнекового транспортера-подрібнювача» наведено програму експериментальних досліджень, опис лабораторної установки та розроблені часткові методики проведення, оброблення та аналізу результатів експериментів.

Методика експериментальних досліджень базувалися на основі відомих і розроблених положень планування, проведення та обробки експериментального масиву даних планованих факторних експериментів із використанням прикладних програм MathCad 15 і Statistica 10 для персонального комп'ютера.

Лабораторна установка складається з основної рами 1 (рис. 12), на якій встановлено шнековий транспортер-подрібнювач 2. Привод робочих органів шнекового транспортера-подрібнювача здійснюється електродвигуном 3 завдяки клинопасовій передачі 4. Вона також має керуючий мультисистемний пристрій 5 Altivar 71, персональний комп'ютер 6, комунікаційне з'єднання 7 пристрою 5 з електродвигуном 3 і комп'ютером 6.

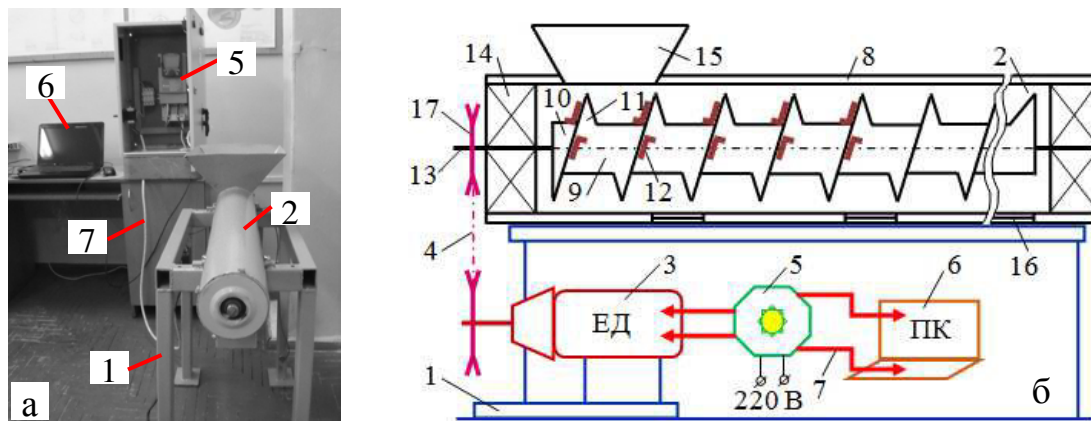


Рис. 12. Загальний вигляд (а) і конструктивна схема (б) експериментальної установки

Будова та принцип роботи макетного зразка шнекового транспортера-подрібнювача аналогічна будові та технологічному процесу роботи ідентичного пристрою рис. 2. Відмінність конструкції лабораторної установки шнекового транспортера-подрібнювача 2 від конструкції пристрою (рис. 2) була такою: відсутність направляючого лотка 11 (рис. 2); замість отворів 12 (рис. 2) було встановлено відсувні вивантажувальні шибери 16 (рис. 12б); крок шнека – $0,15 \text{ м}$.

Коренеплоди навантажують у бункер 15 (рис. 12б) до його заповнення. Кнопкою пуску керуючого пристрою 5 Altivar 71 запускають вал електродвигуна 3, обертання якого за допомогою клинопасової передачі 4 приводить в рух барабан 10 шнека 9. Коренеплоди через завантажувальну горловину бункера 15 внаслідок вільного падіння переміщуються в простір між спіральними витками 11 шнека. Г-подібні ножі-подрібнювачі 12, які встановлено на барабані шнека, за рахунок обертання подрібнюють коренеплоди методом пошарового різання, а спіральні витки одночасно з подрібненням переміщують подрібнені частини коренеплодів вздовж осі обертання шнека до вивантажувального шибера 16.

Електрична схема керування макетним зразком лабораторної установки шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів 2 (рис. 12б), який за допомогою клинопасової передачі 4 з'єднано з електродвигуном 3 складалася з передавача E40S6-10Z4-6L-5 частоти обертання вала електродвигуна, керуючого мультисистемного пристрою 5 Altivar 71, персонального комп'ютера 6, які під'єднано до мережі змінної напруги 220 В та з'єднано між собою за допомогою засобів комунікації 7.

Підключення пристрою Altivar 71 до комп'ютера здійснюється за допомогою кабелю зв'язку VW3-A8106, з'єднувальних роз'ємних портів на лицевій панелі пристрою та комп'ютера.

Для проведення експериментальних досліджень функціональної зміни коефіцієнтів подрібнення μ_k та однорідності розміру подрібнених частин λ_k коренеплодів залежно від кількості z_n установлених ножів-подрібнювачів на одному витку, частоти обертання $n_{ш}$ шнека та робочої довжини шнека L_p та функціональної зміни продуктивності $\Pi_{ше}$ і питомих затрат споживчої потужності $P_{ше}$ процесу роботи шнекового транспортера-подрібнювача залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$, діаметр шнека $D_{ш}$ та кількості ножів z_n реалізували планований дво- та трифакторний експерименти типу ПФЕ 3^2 і ПФЕ 3^3 .

Рівні варіювання факторами були такими: кількість установлених ножів 4 шт. $\leq z_n \leq 8$ шт.; частота обертання шнека $100 \text{ об/хв} \leq n_{ш} \leq 200 \text{ об/хв}$; робоча довжина шнека $0,6 \text{ м} \leq L_p \leq 1,2 \text{ м}$; діаметр шнека $0,2 \text{ м} \leq D_{ш} \leq 0,3 \text{ м}$.

Коефіцієнт подрібнення μ_k (ступінь подрібнення Φ_k) визначали за формулою (19), а коефіцієнт однорідності розміру подрібнених частин λ_k коренеплодів, продуктивність $\Pi_{ше}$ та питомі затрати споживчої потужності $P_{ше}$ процесу роботи шнекового транспортера-подрібнювача визначали за формулою:

$$\lambda_k = (K_\delta / K_n) \cdot 100\%; \quad \Pi_{ше} = M_k / t_e; \quad P_{ше} = K_z \cdot N_{не} / 100 \Pi_{ше} L_p, \quad (21)$$

де K_δ – превалююча кількість подрібнених частин коренеплодів усередненого розміру, шт.; M_k – маса вивантажених подрібнених частин коренеплодів через вивантажувальний шибер, кг; $t_e = \text{const} = 5 \text{ с}$ – час проведення експерименту; K_z – коефіцієнт використання номінальної потужності електродвигуна під час проведення експерименту; $N_{не}$ – номінальна потужність електродвигуна макетного зразка лабораторної установки, кВт.

Отримані експериментальні значення Φ_k , λ_k , $\Pi_{ше}$ та $P_{ше}$, або функції $\Phi_k = f_\mu(x_1; x_2; x_3)$, $\lambda_k = f_\lambda(x_1; x_2; x_3)$, $\Pi_{ше} = f_\Pi(x_2; x_4)$ та $P_{ше} = f_P(x_1; x_2; x_4)$ для граничних значень відповідних точок композиційного плану дво- та трифакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 і ПФЕ 3^3 заносили у відповідні графі рандомізованої план-матриці.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками статистичної обробки для отримання емпіричної моделі у натуральних факторах як функції $\mu_k = f_\mu(z_n; n_{ш}; L_p)$, $\lambda_k = f_\lambda(z_n; n_{ш}; L_p)$, $\Pi_{ше} = f_\Pi(n_{ш}; D_k)$ та $P_{ше} = f_P(z_n; n_{ш}; D_k)$ з використанням методик кореляційного і регресійного аналізу, які характеризують вплив факторів і їх взаємодію на зміну технологічних показників Φ_k , λ_k , $\Pi_{ше}$ та $P_{ше}$.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів» наведено результати лабораторних досліджень шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів згідно з прийнятою програмою.

За результатами проведених експериментів і після перевірки адекватності вибраної моделі за F -критерієм Фішера за умови $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$ та оцінки



Рис. 13. Загальний вигляд установки в роботі

значущості коефіцієнтів за критерієм Стюдента, отримано рівняння регресії зміни ступеня подрібнення Φ_k та коефіцієнта однорідності λ_k розміру подрібнених частин коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем (рис. 13) як функція $\Phi_k = f_\Phi(z_n; n_{ш}; L_p)$ і $\lambda_k = f_\lambda(z_n; n_{ш}; L_p)$ у загальному випадку та конкретизовані рівняння регресії $\Phi_k^{(i)} = f_\Phi(z_n; n_{ш}; L_p)$ і $\lambda_k^{(i)} = f_\lambda(z_n; n_{ш}; L_p)$ для значень робочої довжини шнека $L_p = 0,6; 0,9$ і $1,2$ м:

$$\Phi_k = -19,02 + 12,07 \ln(z_n) + 2,59 \ln(n_{ш}) + 13,21 \ln(L_p); \quad (22)$$

$$\lambda_k = -50,79 + 52,9 \ln(z_n) + 4,4 \ln(n_{ш}) + 12,75 \ln(L_p). \quad (23)$$

На основі аналізу графічних побудов (рис. 14) констатовано, що основний масив апроксимованих значень ступеня подрібнення Φ_k коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем знаходиться у числових межах від 6 до 24 частин, а зміна частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 100 до 200 об/хв практично не впливає на зміну Φ_k за постійної робочої довжини шнека L_p та однакової кількості z_n установлених ножів-подрібнювачів на одному витку шнека, при цьому встановлено, що за зміни кількості установлених ножів-подрібнювачів z_n на одному витку шнека $z_n = 4, 6, 8$ шт., коефіцієнт μ_k дорівнює за робочої довжини шнека $L_p = 0,6; 0,9$ і $1,2$ м, відповідно, $\mu_k = 1 \div 6, 1 \div 9, 1 \div 12$; $\mu_k = 1 \div 9, 1 \div 12, 1 \div 18$; $\mu_k = 1 \div 12, 1 \div 18, 1 \div 24$, а коефіцієнт однорідності λ_k розміру подрібнених частин коренеплодів знаходиться у межах від 36% до 85%.

Домінуючими факторами, які суттєво впливають на зміну коефіцієнта однорідності λ_k розміру подрібнених частин коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем є кількість z_n установлених ножів-подрібнювачів на одному витку шнека та робоча довжина шнека L_p . При цьому за зміни z_n від 4 шт. до 8 шт. (рис. 15) коефіцієнт λ_k зростає приблизно в 2 рази: за робочої довжини шнека $L_p = 0,6; 0,9$ і $1,2$ м, відповідно, від 36% до 76%; від 41% до 81%; від 45% до 85%.

Частота обертання шнека $n_{ш}$ має несуттєвий вплив на функціональну зміну коефіцієнта однорідності λ_k розміру подрібнених частин коренеплодів – у межах зміни $100 \text{ об/хв} \leq n_{ш} \leq 200 \text{ об/хв}$ коефіцієнт однорідності λ_k розміру подрібнених частин коренеплодів збільшується у середньому на 2,5...3,0%.

Функцію графічної апроксимації експериментальних значень, яка характеризує та функціонально описує зміну продуктивності $\Pi_{ше}$ шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів, знаходили у вигляді математичної моделі лінійної функції:



Рис. 14. Діаграма зміни ступеня подрібнення Φ_k коренеплодів: а, б, в – $z_n = 4, 6, 8$ шт.

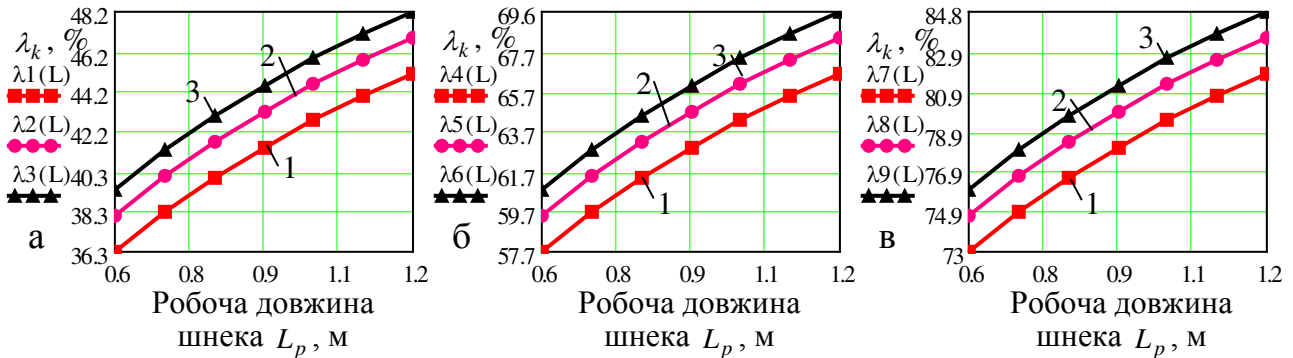


Рис. 15. Залежність зміни $\lambda_k = f_\lambda(L_p)$: а, б, в – при $z_n = 4; 6; 8$ шт.; 1, 2, 3 – відповідно, $n_u = 100, 150$ і 200 об/хв

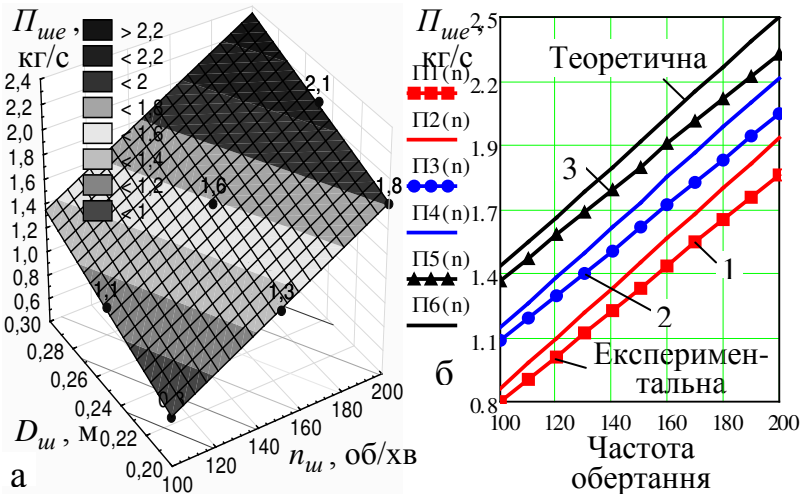


Рис. 16. Поверхня відгуку (а) $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_u; D_{ш})$ та залежність $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_u)$: 1, 2, 3 – $D_{ш} = 0,2; 0,25; 0,3$ м (рис. 16б). Збільшення діаметра $D_{ш}$ шнека в межах від 0,2 м до 0,3 м призводить до незначного збільшення $\Pi_{ше}$ – у середньому на 0,3 кг/с.

$$\Pi_{ше} = -1,26 + 0,01n_u + 5,33D_{ш} \cdot (26)$$

Функціональна зміна продуктивності $\Pi_{ше}$ шнекового транспортера-подрібнювача знаходиться у діапазоні від 0,8 кг/с до 2,3 кг/с, (рис. 16).

Домінуючим фактором, який має значний вплив на приріст продуктивності $\Pi_{ше}$ є частота обертання n_u шнека – за збільшення n_u від 100 об/хв до 200 об/хв $\Pi_{ше}$ збільшується в середньому на 0,7...0,9 кг/с,

Розбіжність експериментальних значень продуктивності $\Pi_{ше}$ шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів, які отримано згідно з (26) та теоретичних значень Π_u , (20), становить 10...15 %.

Отримано рівняння регресії функціональної зміни питомих затрат споживчої потужності $P_{ше}$ шнекового транспортера-подрібнювача:

$$P_{ше} = 0,014 + 2,31/n_u + 0,005/D_{ш} - 0,087/z_n \cdot (27)$$

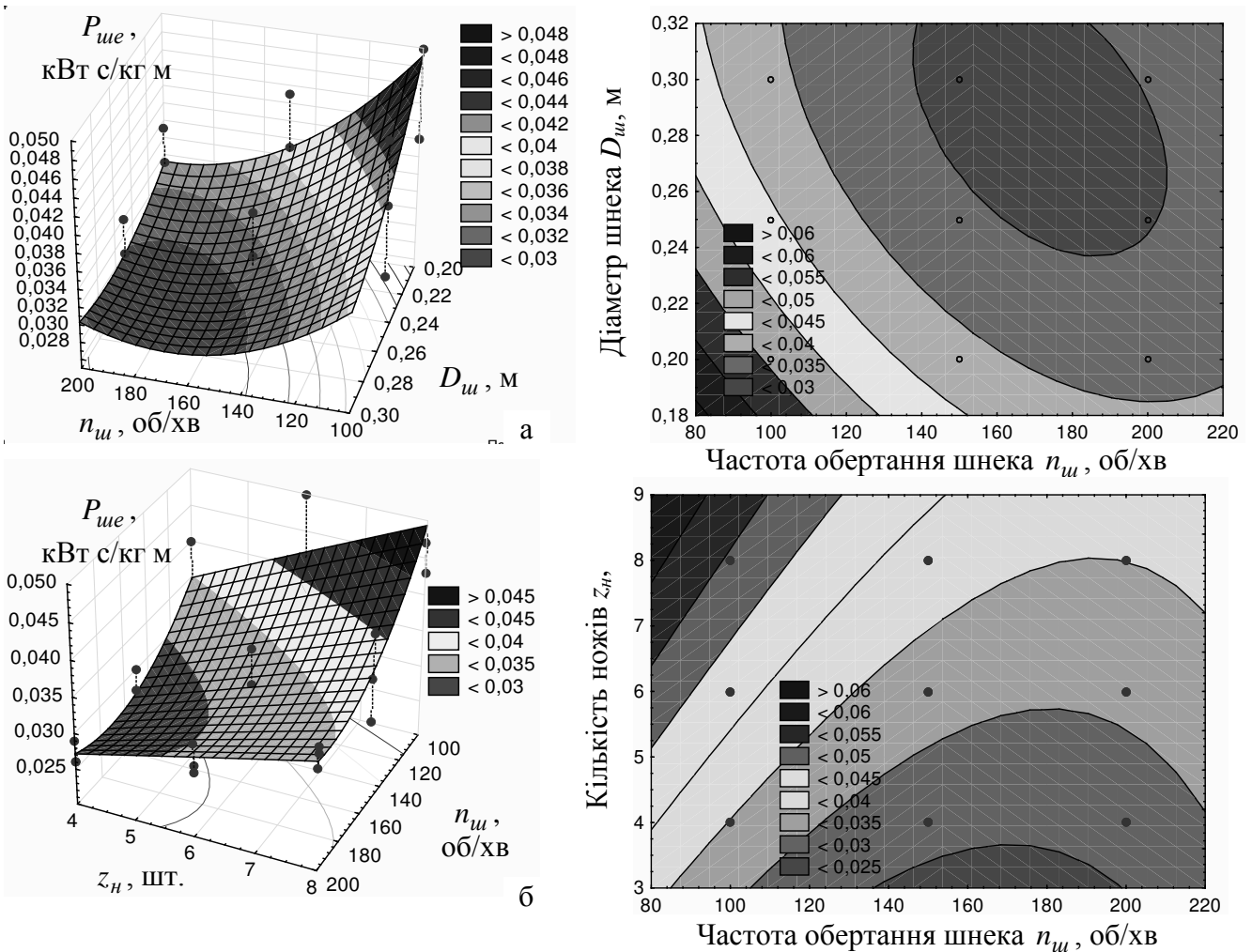


Рис. 17. Поверхня відгуку та двовірний переріз поверхні відгуку затрат споживчої потужності $P_{ше}$ як функція: а – $P_{ше} = f_p(n_{ш}; D_{ш})$; б – $P_{ше} = f_p(n_{ш}; z_n)$

На основі аналізу двовірного перерізу поверхні відгуку (рис. 17), яку побудовано згідно з рівнянням регресії (27) встановлено, що найменші значення питомих затрат споживчої потужності $P_{ше} = 0,025 \dots 0,03$ (кВт с/кг м) отримано за частоти обертання шнека $130 \leq n_{ш} \leq 200$ об/хв, діаметра шнека $0,23 \text{ м} \leq D_{ш} \leq 0,3 \text{ м}$, кількості ножів-подрібнювачів $4 \text{ шт.} \leq z_n \leq 5 \text{ шт.}$

За результатами проведеного аналізу питомих затрат споживчої потужності $P_{ше}$ макетного зразка шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів можна констатувати, що раціональне функціонування шнекового транспортера-подрібнювача у аспекті забезпечення мінімальних питомих затрат споживчої потужності $P_{ше} \rightarrow \min$ досягається за таких усереднених параметрів шнека: частота обертання шнека $n_{ш} = 160$ об/хв; діаметр шнека $D_{ш} = 0,25$ м; крок шнека $T = 0,15$ м; кількість установлених ножів-подрібнювачів на одному витку шнека $z_n = 5$ шт.

У п'ятому розділі «Економічна ефективність застосування шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів» наведено перспективні напрямки вдосконалення шнекового транспортера-подрібнювача, рекомендовані параметри для виробництва та визначено економічну ефективність його застосування.

Розрахунок економічної ефективності шнекового транспортера-подрібнювача підтверджують доцільність його практичного використання, а річний економічний ефект від зменшення затрат енергії становить 122090,7 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нову наукову задачу підвищення технологічної ефективності подрібнення коренеплодів шляхом удосконалення та обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

1. Максимальне секундне надходження коренеплодів через вихідну горловину бункера до шнека, або максимальне споживання коренеплодів із запасу за умови раціонального функціонування процесу одночасного подрібнення та переміщення подрібнених коренеплодів шнеком знаходиться у діапазоні від 0,9 кг/с до 2,4 кг/с.

2. Вертикальна сила тиску та імпульс вертикальної сили тиску коренеплоду на торець витка шнека змінюються, відповідно, в інтервалі від 1,2 Н до 18,9 Н та 0,4 кг м/с до 7 кг м/с залежно від зміни діаметра та часу контакту коренеплоду, відповідно, від 0,12 м до 0,16 м та від 0,05 с до 0,37 с. Імпульс сили контакту коренеплоду з торцем витка шнека знаходиться у діапазоні від 1,4 кг м/с до 11,3 кг м/с залежно від зміни діаметра та частоти обертання шнека, відповідно, від 0,2 м до 0,3 м та від 90 об/хв до 210 об/хв.

3. Мінімальна висота бункера становить від 0,15 м до 0,6 м залежно від зміни діаметра коренеплодів у межах від 0,12 м до 0,16 м і сумарної вертикальної сили тиску від 5 Н до 20 Н. За середнього діаметра коренеплодів рівного 0,15 м висота бункера повинна становити не менше 0,3...0,6 м за частоти обертання та діаметра шнека не більших за, відповідно, 90...190 об/хв і 0,2...0,3 м.

4. Ступінь подрібнення одного коренеплоду змінюється у діапазоні від 4 до 24 частин залежно від зміни робочої довжини шнека від 0,6 м до 1,2 м, кількості ножів від 4 шт. до 8 шт. і діаметра шнека від 0,2 м до 0,3 м. При цьому, коефіцієнт подрібнення коренеплодів дорівнює співвідношенню від $1 \div 4$ до $1 \div 24$.

5. Середнє значення продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача знаходиться у діапазоні від 0,5 кг/с до 2,5 кг/с. У межах зміни частоти обертання шнека від 100 до 200 об/хв та діаметра шнека від 0,2 м до 0,3 м значення приросту продуктивності становить від 0,3 кг/с до 0,8 кг/с, а розбіжність експериментальних і теоретичних значень продуктивності знаходиться у діапазоні від 10 % до 15 %.

6. Основний масив апроксимованих значень коефіцієнта подрібнення коренеплодів знаходиться у співвідношення від $1 \div 6$ до $1 \div 24$. За збільшення кількості установлених Г-подібних ножів-подрібнювачів на одному витку від 4 до 8 шт. і робочої довжини шнека від 0,6 м до 1,2 м кількість подрібнених частин коренеплодів зростає приблизно в 4 рази. За збільшення частоти обертання шнека від 100 об/хв до 200 об/хв коефіцієнт подрібнення коренеплодів зростає у незначних межах – у середньому в 1,2 рази.

7. Коефіцієнт однорідності розміру подрібнення частин коренеплодів знаходиться у межах від 36 % до 85 % за зміни кількості ножів від 4 шт. до 8 шт., частоти обертання шнека від 100 об/хв до 200 об/хв, робочої довжини шнека від 0,6 м до 1,2 м. При цьому, за зміни кількості ножів він зростає у середньому в 2 рази, а за зміни частоти обертання шнека – у середньому на 2,5...3,0 %.

8. Встановлено, що найменші значення питомих затрат споживчої потужності 0,025...0,03 кВт с/кг, отримано за таких усереднених параметрів шнека: частоти обертання шнека 160 об/хв; діаметра шнека 0,25 м; кількості установлених ножів-подрібнювачів 5 шт.

9. За результатами теоретично-експериментальних досліджень встановлено основні раціональні параметри шнекового транспортера-подрібнювача: висота бункера – 0,6 м; діаметр шнека – 0,25 м; крок витка – 0,15 м; частота обертання шнека – 160 об/хв; кількість установлених ножів – 5 шт.

Річний економічний ефект, який досягнуто за рахунок підвищення технологічних можливостей шнекового транспортера-подрібнювача становить 122090,7 грн. Результати досліджень упроваджено в компанії ПАП «Агропродсервіс» у технологічній лінії для приготування кормів і застосовуються у навчальному процесі кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин ТНТУ ім. І. Пулюя під час вивчення дисципліни «Організація і технологія механізованих робіт».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. **Grytsay Yu.** Analysis of technological processes and structural features of screw conveyors. Scientific journal innovative solutions in modern science. Dubai. 2018. № 2 (21). P. 17 – 32.

2. **Грицай Ю. В.** Математична модель функціонування бункера шнекового транспортера-подрібнювача. Наукові доповіді НУБіП України. Техніка і енергетика АПК : електрон. науковий фаховий журнал. 2018. № 2 (72) (2018). URI: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10653> (дата звернення: 2018-06-21).

3. **Грицай Ю. В.** Математична модель процесу переміщення подрібнених коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем. Вісник ЛНАУ «Агроінженерні дослідження». 2018. № 22. С. 68 – 77.

4. Барановський В. М., **Грицай Ю. В.** Експериментальні дослідження шнекового транспортера-подрібнювача. Наукові доповіді НУБіП України. Техніка і енергетика АПК : електрон. науковий фаховий журнал. 2019. № 3 (79) (2019). URI: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/12969> (дата звернення: 2019-06-27).

5. Baranovsky Viktor, **Grytsay Yury**, Marinenko Sergey. Experimental studies of the homogeneity coefficient of crushed particles of root crops. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2019. № 2 (94). С. 80 – 89.

6. Виговський А. Ю., Барановський В. М., Паньків В. Р., **Грицай Ю. В.** Обґрунтування параметрів шнекових транспортерів-подрібнювачів коренеплодів : монографія. К.: Аграр Медіа Груп, 2019. 300 с.

7. Baranovsky V., **Grytsay Yu.**, Berezhenko V. Experimental studies of the coefficient of crushing of root crops with a screw conveyor-crusher. Scientific journal. Inovative solutions in modern science. Dubai. № 4 (31). 2019. P. 20 – 36. URI: <https://naukajournal.org/index.php/ISMSD/issue/view/142>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

8. **Грицай Ю. В.** Комбінований шнековий транспортер-подрібнювач коренеплодів. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 16-17 лист. 2017 р. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Т. 1. С. 193 – 194.

9. **Грицай Ю. В.** Критерії моделі подрібнення коренеплодів робочими органами шнекового транспортера-подрібнювача. Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення : тези доп. Міжн. наук.-практ. конф., 19-20 квіт. 2018 р., м. Бережани. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. С. 292 – 294.

10. **Грицай Ю. В.** Визначення сили тиску коренеплодів в бункері шнекового транспортера-подрібнювача. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : тези доп. Міжн наук.-техн. конф. до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті) 22-24 трав. 2018 р. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. С. 92 – 93.

11. **Грицай Ю. В.** Визначення сили тиску коренеплодів у бункері шнекового транспортера-подрібнювача. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: тези доп. Міжн. наук.-практ. конф. 23-25 трав. 2018 р. Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2018. Т. 5. С. 160 – 161.

12. **Грицай Ю. В.** Математична модель функціонування завантажувального бункера транспортера-подрібнювача. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 28-29 лист. 2018 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. Т. 1. С. 71 – 72.

13. Барановський В. М., **Грицай Ю. В.** Теоретичний аналіз процесу функціонування завантажувального бункера : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., члена-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лют. 2019 р. К.: Вид. центр НУБіП України, 2019. С. 121 – 123.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

14. **Грицай Ю. В.**, Попович П. В, Барановський В. М, Паньків В. Р. Комбінований шнековий-транспортер подрібнювач. МПК В65G33/16, В65G33/24 : пат. на корисну модель 125415 Україна. № u201711835 ; заявл. 04.12.2017 ; опубл. 10.05.2018. Бюл. № 9/2018. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Грицай Ю.В. Обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя», Тернопіль, 2020.

У дисертації на підставі сукупності узагальнених наукових результатів вирішено нове актуальне завдання розширення функціональних можливостей шнекових транспортерів і підвищення технологічної ефективності одночасного подрібнення та переміщення подрібнених частин коренеплодів шляхом розроблення та обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача.

Шнековий транспортер-подрібнювач складається із кожуха, зверху якого закріплено бункер. У кожусі встановлено шнек, який виконано у вигляді приводного вала на якому змонтовано барабан. На барабані приводного вала по гвинтовій лінії закріплено спіральні витки. На внутрішній і зовнішній стороні спіральних витків відносно напрямку переміщення коренеплодів радіально встановлено пластинчаті Г-подібні ножі-подрібнювачі.

Розширення функціональних можливостей комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача досягнуто за рахунок одночасного поєднання двох роздільних операцій подрібнення та переміщення подрібнених частин коренеплодів шнеком в одну суміжну операцію.

На основі проведеного комплексу теоретично-експериментальних досліджень обґрунтовано удосконалений технологічний процес одночасного транспортування та подрібнення коренеплодів і основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача: висота бункера – 0,6 м; діаметр шнека – 0,25 м; частота обертання шнека – 160 об/хв; крок витка – 0,15 м; кількість установлених ножів – 5 шт.

Результати досліджень впроваджено в компанії ПАП «Агропродсервіс» Тернопільської обл. в технологічній лінії для приготування соковитих кормів.

Ключові слова: бункер, ніж-подрібнювач, коренеплоди, подача коренеплодів, коефіцієнт подрібнення, коефіцієнт однорідності подрібнення, продуктивність, діаметр, частота обертання, затрати потужності.

АННОТАЦИЯ

Грицай Ю.В. Обоснование параметров комбинированного шнекового транспортера-измельчителя. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2020.

В диссертации на основании совокупности обобщенных научных результатов решена новая актуальная задача расширения функциональных возможностей шнековых транспортеров и повышения технологической эффективности одновременного измельчения и перемещения измельченных частиц корнеплодов путем разработки и обоснования параметров комбинированного шнекового транспортера-измельчителя.

Шнековий транспортер-измельчитель состоит из кожуха, сверху которого закреплен бункер. В кожухе установлен шнек, выполненный в виде приводного вала на котором смонтировано барабан. На барабане приводного вала по винтовой линии закреплено спиральные витки. На внутренней и внешней стороне спиральных витков относительно направления перемещения корнеплодов радиально установлены пластинчатые Г-образные ножи-измельчители.

Расширение функциональных возможностей комбинированного шнекового транспортера-измельчителя достигнуто за счет одновременного сочетания двух отдельных операций измельчения и перемещения измельченных частей корнеплодов шнеком в одну смежную операцию.

На основе проведенного комплекса теоретико-экспериментальных исследований обоснованно усовершенствованный технологический процесс одновременной транспортировки и измельчения корнеплодов и основные конструктивно-кинематические параметры комбинированного шнекового транспортера-измельчителя: высота бункера – 0,6 м; диаметр шнека – 0,25 м; частота вращения шнека – 160 об/мин; шаг витка – 0,15 м; количество установленных ножей – 5 шт.

Результаты исследований внедрены в компании ПАП «Агропродсервис» в технологической линии для приготовления кормов.

Ключевые слова: бункер, нож-измельчитель, корнеплоды, подача корнеплодов, коэффициент измельчения, коэффициент однородности измельчения, производительность, диаметр, частота вращения, затраты мощности.

ANNOTATION

Gritsay Yu.V. Substantiation of the combined auger conveyor shredder parameters of root crops. – Manuscript.

The thesis is submitted for scientific Degree of Candidate of Science in specialty 05.05.11 – Machines and Means of Agricultural Production Mechanization. – Ternopil Ivan Puluy National Technical University, Ternopil, 2020.

The scientific problem of increasing auger mechanisms functionality by the development and justification of the parameters of a root crops screw conveyor-shredder was solved in thesis.

The shredder conveyor shredder consists of a casing with a hopper attached on top. The auger is installed in the housing, which can be placed at an angle to the horizon. The auger is made in the form of a drive shaft where the drum is mounted on. Spiral turns are fixed to the drive shaft drum along a helical line. Plate G-shaped knives are radially mounted on the tuner and after sides of the spiral turns relatively to the direction of roots movement.

Expand of combined auger conveyor-shredder functionality was achieved by simultaneous combination of two separate operations: shredding and moving the shredded parts of the root auger into one adjacent operation.

According to the results of theoretical and experimental studies, the basic rational parameters of the auger conveyor-shredder are established: the hopper height is 0,6 m; screw diameter – 0,25 m; screw speed – 160 rpm; pitch turn – 0,15 m; number of knives installed – 5 pcs.

The annual economic effect achieved by increasing the technological capabilities of the auger conveyor-shredder is UAH 122090,7.

Constructive novelty of the technical solution is protected by 1 patent for Ukraine utility model.

Researches' results are implemented at the PAP Agroprodservice company in the technological line of feed preparation.

Keywords: bunker, knife-shredder, root crops, root feed, grinding ratio, grinding uniformity ratio, productivity, diameter, rotation speed, power consumption.

Підписано до друку 04.02.2020 р. Формат 60×90, 1/16
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman.
Умовно-друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим.
Замовлення № 04022020

Друк ФОП Паляниця В.А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б.Хмельницького, 9а, оф.38.
тел. (0352) 528-777