

DOI 10.26886/2414-634X.4(31)2019.2

UDC 631.361.8

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE COEFFICIENT OF CRUSHING OF
ROOT CROPS WITH A SCREW CONVEYOR-CRUSHER**

Baranovsky V., Doctor of Technical Science,

Grytsay Yu.,

Berezhenko B.

Ternopil Ivan Puluuj National Technical University, Ukraine, Ternopil

In the general structure of production of livestock products up to 50 ... 70% of all costs accounted for the share of preparation of varied juicy forages from root crops. Screw conveyors are widely used in the agrarian sector of production for moving, mixing, dosing products, etc. Improvement of existing structures of screw conveyors and justification of their rational parameters and operating modes are actual scientific tasks. The purpose of the study is to increase (expand) the functional capabilities of the technological operations of screw conveyors by developing a combination of working bodies that ensure the simultaneous shredding and movement of roots in the process of their preparation and processing on juicy feed. The main objectives of the research, which ensure the implementation of the stated goal, is to justify the parameters of the combined working body screw conveyor-shredder, which is used in the processing lines of roots.

Key words: working body, Г-shaped knife, spiral turn, plan matrix, diameter, rotational speed.

*доктор технічних наук Барановський В. М., Грицай Ю. В.,
Береженко Б. М. Експериментальні дослідження коефіцієнта
подрібнення коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем/
Тернопільський національний технічний університет імені Івана
Пулюя, Україна, Тернопіль*

У загальній структурі виробництва продукції тваринництва до 50...70 % всіх витрат припадає на дольову частку приготування різнопланових соковитих кормів з коренеплодів. 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 є актуальним науковим завданням. Метою дослідження є підвищення (розширення) функціональних можливостей технологічних операцій шнекових транспортерів шляхом розробки комбінованих робочих органів, які забезпечують одночасне подрібнення та переміщення коренеплодів у процесі їх підготовки та переробки на соковиті корми. Основними задачами дослідження, які забезпечують реалізацію сформульованої мети, є обґрунтування параметрів комбінованого робочого органу шнекового транспортера-подрібнювача, який застосовується у технологічних лініях переробки коренеплодів.

Ключові слова: робочий орган, Г-подібний ніж, спіральний виток, план-матриця, діаметр, частота обертання.

Вступ. Розробка високоефективних технологічних процесів одночасного подрібнення та переміщення, як одиночних кускових, так і сипучих продуктів агарного виробництва вимагає інтегрованого наукового підходу до рішення технічної задачі підвищення технологічних показників роботи та розширення технологічних можливостей шнекових транспортерів-подрібнювачів [1, с. 6; 2, с. 104; 3, с. 199].

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 аграрної продукції, багато в чому залежить від пропускну здатності завантажувальних бункерів і безпосередньо шнекового транспортера, 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 та випускної горловини шнека [4, с. 108; 5, с. 123-128].

Питома вага шнекових транспортерів у вантажно-розвантажувальних операціях аграрних підприємств становить від 40 до 50 % [6, с. 62]. При цьому шнекові транспортери виконують різнопланові технологічні завдання: змішування, дроблення, дозування продуктів під час приготування та роздачі кормів; протруювання матеріалу; переміщення продуктів рослинництва та тваринництва тощо [7, с. 238; 8, с. 25; 9, с. 57].

На основі аналізу технологічних процесів функціонування шнекових транспортерів [10, с. 71; 11, с. 8; 12, с. 104-106] нами розроблено удосконалену конструкцію шнекового транспортера-подрібнювача з комбінованим робочим органом, рис. 1.

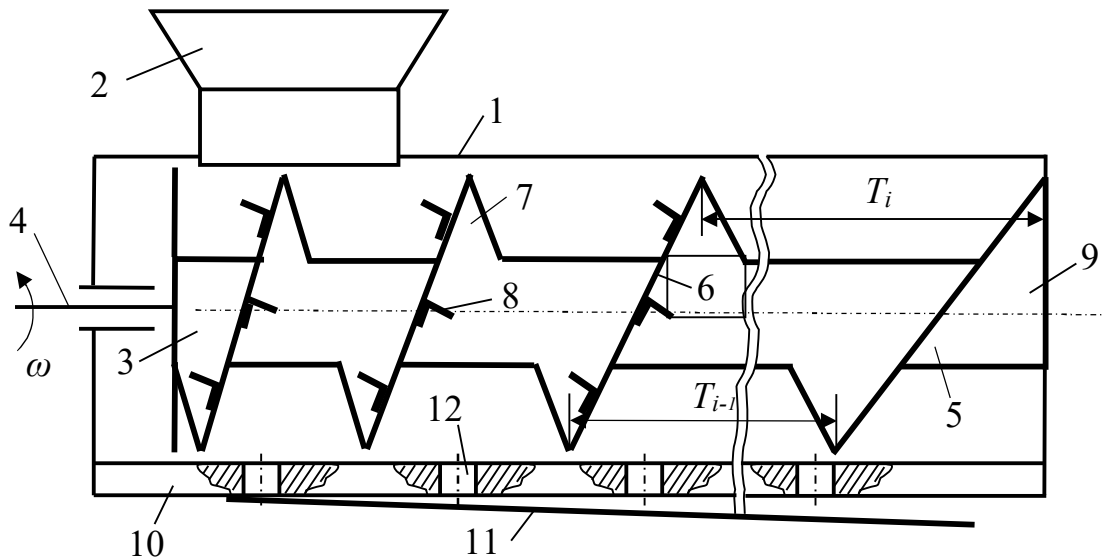


Рис.1. Конструктивно-компонувальна схема шнекового транспортера-подрібнювача з комбінованим робочим органом: 1 – кожух; 2 – бункер; 3 – шнек; 4 – приводний вал; 5 – барабан; 6 – гвинтова лінія; 7 – спіральний виток; 8 – Г-подібний ніж-подрібнювач; 9 – вивантажувальна частина; 10 – нижня частина; 11 – направляючий лоток; 12 – отвори

Шнековий транспортер-подрібнювач складається із кожуха 1, зверху якої закріплено завантажувальний бункер 2. У кожусі, який може розміщуватися під кутом до горизонту, встановлено шнек 3. Шнек 3 виконано у вигляді приводного вала 4 на якому змонтовано барабан 5. Приводний вал 4 обертається з кутовою швидкістю ω .

На барабані приводного вала по гвинтовій лінії 6 закріплено спіральні витки 7. На внутрішній і зовнішній стороні спіральних витків відносно напрямку переміщення коренеплодів радіально встановлено пластинчаті Г-подібні ножі-подрібнювачі 8. Гвинтова лінія виконана зі змінним кроком, при цьому крок T спіральних витків збільшується з постійним кутом підйому гвинтової лінії в сторону вивантажувальної частини 9 напрямної труби.

Знизу під нижньою частиною 10 напрямної труби під певним кутом

до горизонту встановлено направляючий лоток 11, який охоплює нижню частину кожуха. Нижня частина кожуха, яка співвісна з направляючим лотком, має наскрізні отвори 12, які виконано вздовж і впоперек нижньої частини кожуха.

Шнековий транспортер-подрібнювач працює наступним чином.

Коренеплоди подаються у завантажувальний бункер 1, які в подальшому переміщуються в кожух 2 до шнека 3, або до Г-подібних ножів-подрібнювачів 8. Під час обертання приводного вала 4 та, відповідно, барабана 5 і Г-подібних ножів-подрібнювачів відбувається подрібнення коренеплодів та одночасне переміщення подрібнених частинок спіральними витками 7 в сторону вивантажувальної частини 8 кожуха.

Одночасно з подрібненням і переміщенням частинок коренеплодів відбувається значне виділення та накопичення соковитої рідини, яка утворюється під час подрібнення продуктів переробки. При цьому накопичена соковита рідина через наскрізні отвори 12 витікає на направляючий лоток 11, а далі – за призначенням.

Формулювання мети статті та задач. Метою дослідження є підвищення (розширення) технологічних можливостей шнекових транспортерів шляхом розробки комбінованих робочих органів, які забезпечують одночасне подрібнення та переміщення коренеплодів у процесі їх підготовки та переробки на соковиті корми. Основними задачами досліджень, які забезпечують реалізацію сформульованої мети, є обґрунтування параметрів комбінованого робочого органу шнекового транспортера-подрібнювача за умови зменшення енерговитрат процесу роботи технічних засобів, які застосовуються у технологічних лініях переробки коренеплодів.

Реалізація такого технічного рішення в умовах виробництва забезпечить ефективне поєднання суміжних функціональних операцій,

як подрібнення, так і одночасне транспортування коренеплодів одним удосконаленим комбінованим робочим органом шнекового транспортера, який змонтовано в технологічній лінії, призначеної для їх переробки та значно зменшить загальну енергомісткість процесу порівняно з існуючою технологією за рахунок усунення додаткового (проміжного) операційно-технологічного засобу (коренерізки), як окремого технічного елемента, що має свою певну матеріаломісткість і певні енергозатрати для незалежного приводу робочих органів.

Викладення основного матеріалу статті. Метою експериментального дослідження коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів було розроблення або встановлення емпіричної апроксимуючої моделі (рівняння регресії), яка характеризує закономірності зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів залежно від кількості z_n установлених Г-подібних ножів-подрібнювачів на одному витку, частоти обертання $n_{ш}$ шнека та робочої довжини шнека L_p , при цьому реалізували планований трифакторний експеримент типу ПФЕ 3³. Структурну схему моделі планованого трифакторного експерименту типу ПФЕ 3³ наведено на рис. 2, конструктивну схему лабораторної установки – на рис. 3, а загальний вигляд макетного зразка експериментальної установки шнекового транспортера-подрібнювача – на рис. 4.

Апроксимуючу функцію, яка описує характер зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем, визначену експериментальним шляхом, встановили у вигляді математичної моделі логарифмічної функції за найбільшим значенням коефіцієнта множинної детермінації $D_\mu = 0,965$

$$\mu_k = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3, \quad (1)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти значень x_i ; x_1, x_2, x_3 – кодовані

фактори.

Натуральні числові значення коефіцієнтів b_0, b_1, b_2, b_3 рівняння регресії, яке записано у вигляді функціональної залежності $\mu_k = f_\mu(z_n; n_{ш}; L_p)$ і $\lambda_k = f_\lambda(z_n; n_{ш}; L_p)$, наведено у табл.

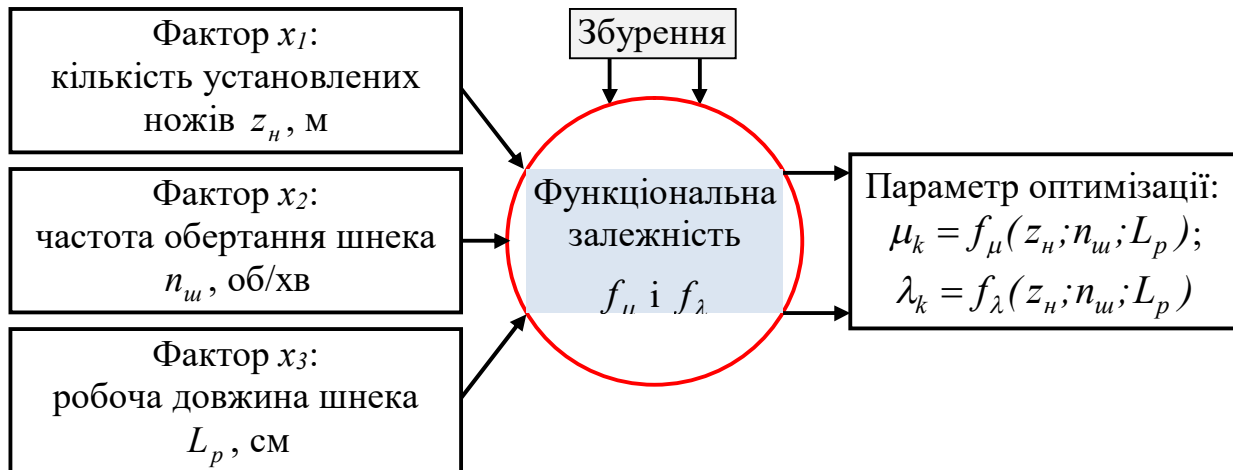


Рис 2. Схема моделі планованого трифакторного експерименту типу ПФЕ 3³

Таблиця

Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

	Значення коефіцієнтів			
	b_0	b_1	b_2	b_3
$\mu_k = f_\mu(z_n; n_{ш}; L_p)$	-19,02	12,07	2,59	13,21
$\lambda_k = f_\lambda(z_n; n_{ш}; L_p)$	-50,79	52,9	4,4	12,75

Статистичну значущість коефіцієнтів b_1, b_2, b_3 рівняння регресії (1) проводили за t -критерієм Ст'юдента. При цьому було встановлено, що всі розрахункові значення коефіцієнтів b_1, b_2, b_3 рівняння регресії, які визначено згідно з стандартною методикою, є значущими.

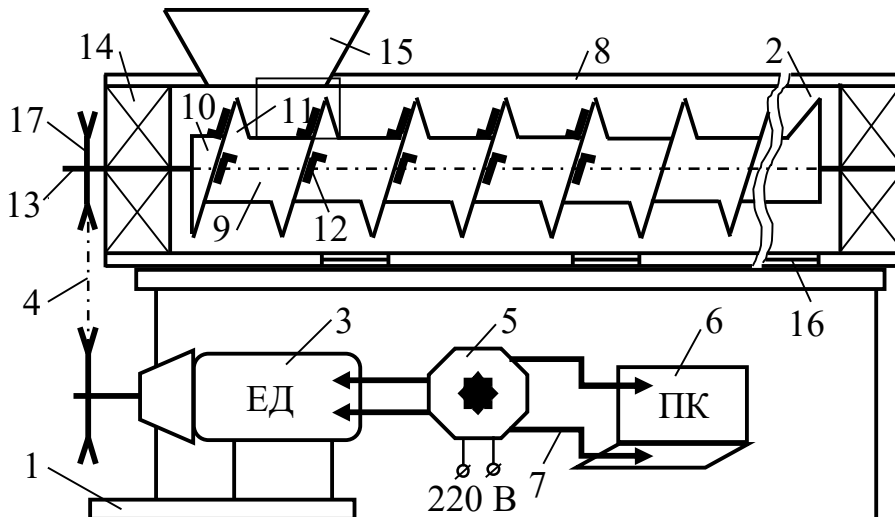


Рис 3. Конструктивна схема лабораторної установки: 1 – основна рама; 2 – шнековий транспортер-подрібнювач; 3 – електродвигун; 4 – клинопасова передача; 5 – пристрій Altivar 71; 6 – персональний комп'ютер; 7 – комутаційне з'єднання; 8 – кожух; 9 – шнек; 10 – барабан; 11 – спіральний виток; 12 – Г-подібний ніж-подрібнювач; 13 – вал; 14 – корпус з підшипником; 15 – бункер; 16 – шибер 17 – шків

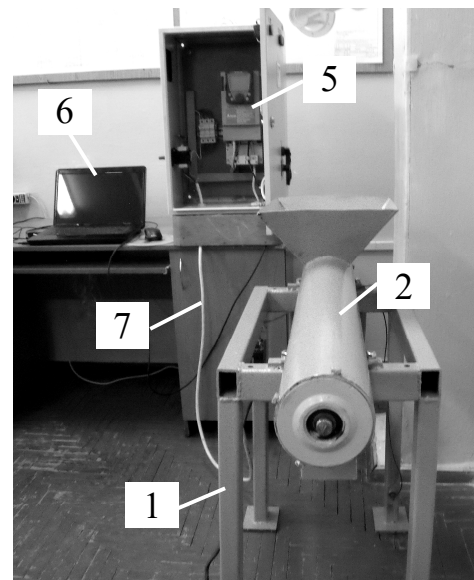
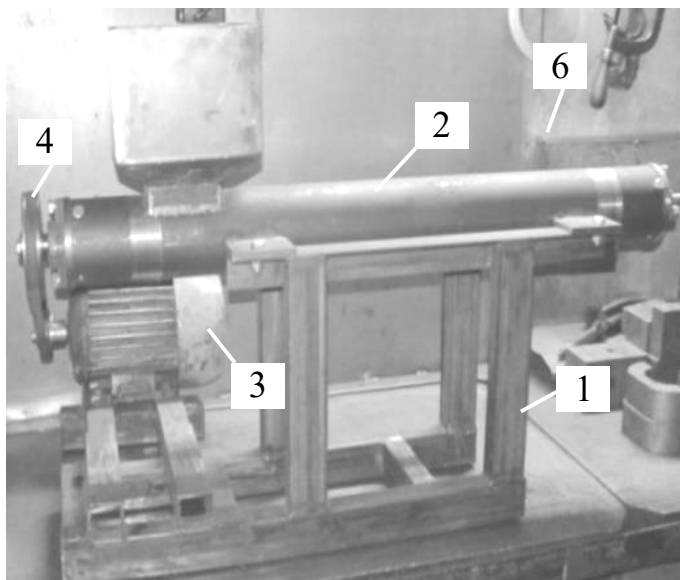


Рис. 4. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – основна рама; 2 – шнековий транспортер-подрібнювач; 3 – електродвигун; 4 – клинопасова передача; 5 – керуючий пристрій Altivar 71; 6 – персональний комп'ютер; 7 – комутаційне з'єднання

Перевірку адекватності емпіричної моделі, тобто відповідності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин, які визначено за рівнянням регресії та відповідних значень реального експериментального масиву даних, проводили за F -критерієм Фішера, табличне значення якого визначали за умови $F_T(0,05; f_{ag}; f_u)$.

За результатами проведеного ПФЕ 3³ було одержано кінцевий вигляд рівняння регресії зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем залежно від кількості z_n установлених Γ -подібних ножів-подрібнювачів, частоти обертання $n_{ш}$ шнека та робочої довжини шнека L_p у натуральних величинах як функція $\mu_k = f_\mu(z_n; n_{ш}; L_p)$

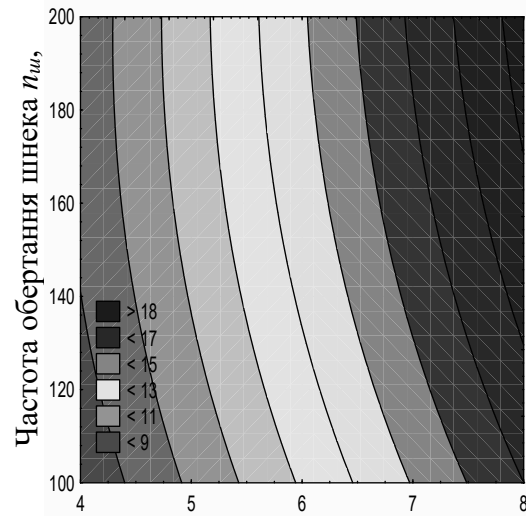
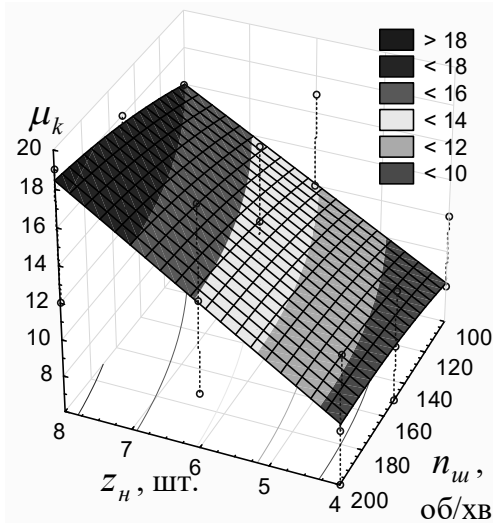
$$\mu_k = -19,02 + 12,07 \ln(z_n) + 2,59 \ln(n_{ш}) + 13,21 \ln(L_p); \quad (2)$$

Аналіз побудованих поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів коефіцієнта μ_k як функція $\mu_k = f_\mu(z_n; n_{ш})$, рис. 5а, $\mu_k = f_\mu(z_n; L_p)$, рис. 5б, $\mu_k = f_\mu(n_{ш}; L_p)$, рис. 6 показує, що основний масив апроксимованих значень коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів знаходиться у числових межах від відношення 1:6 до відношення 1:24.

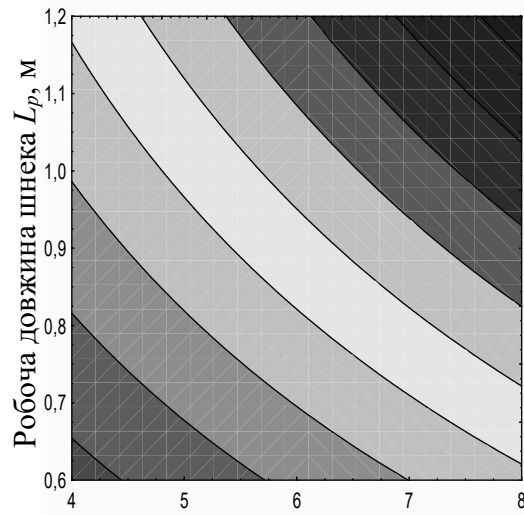
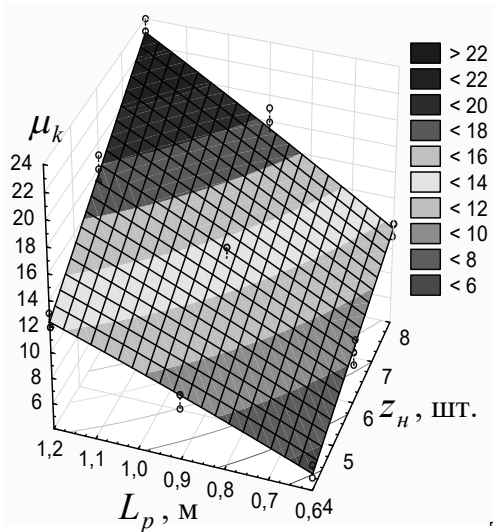
При цьому коефіцієнт подрібнення μ_k коренеплодів, який записано у вигляді відношення, наприклад, $\mu_k = 1:24$ характеризує безпосередньо кількісний показник подрібнення одиниці коренеплоду або на яку числову кількість подрібнено один коренеплід, тобто він поділений на 24 частини.

Характер впливу факторів на функціональну зміну коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів залежно від дії кожного окремого фактора відбувається по-різному. За збільшення кількості z_n установлених Γ -подібних ножів-подрібнювачів на одному витку та

робочої довжини шнека L_p коефіцієнт подрібнення μ_k коренеплодів зростає, при цьому приріст коефіцієнта μ_k подрібнення коренеплодів у межах зміни фактора z_n за збільшення робочої довжини L_p шнека від 0,6 до 0,9 м та від 0,9 до 1,2 м є постійним і дорівнює відношенню 1:4. При цьому: за значення робочої довжини шнека $L_p = 0,6$ м значення коефіцієнта μ_k у межах зміни фактора z_n від 4 до 8 шт. зростає від відношення 1:6 до відношення 1:12; за значення робочої довжини шнека $L_p = 0,9$ м значення коефіцієнта μ_k у межах зміни фактора z_n зростає від відношення 1:9 до відношення 1:18; за значення робочої довжини шнека $L_p = 1,2$ м значення коефіцієнта μ_k у межах зміни фактора z_n зростає від відношення 1:18 до відношення 1:24.



а Кількість ножів-подрібнювачів z_n , шт.



б Кількість ножів-подрібнювачів z_n , шт.

Рис. 5. Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку

функціональної залежності зміни коефіцієнта подрібнення μ_k

коренеплодів як функція: а – $\mu_k = f_\mu(z_n; n_{sh})$; б – $\mu_k = f_\mu(z_n; L_p)$

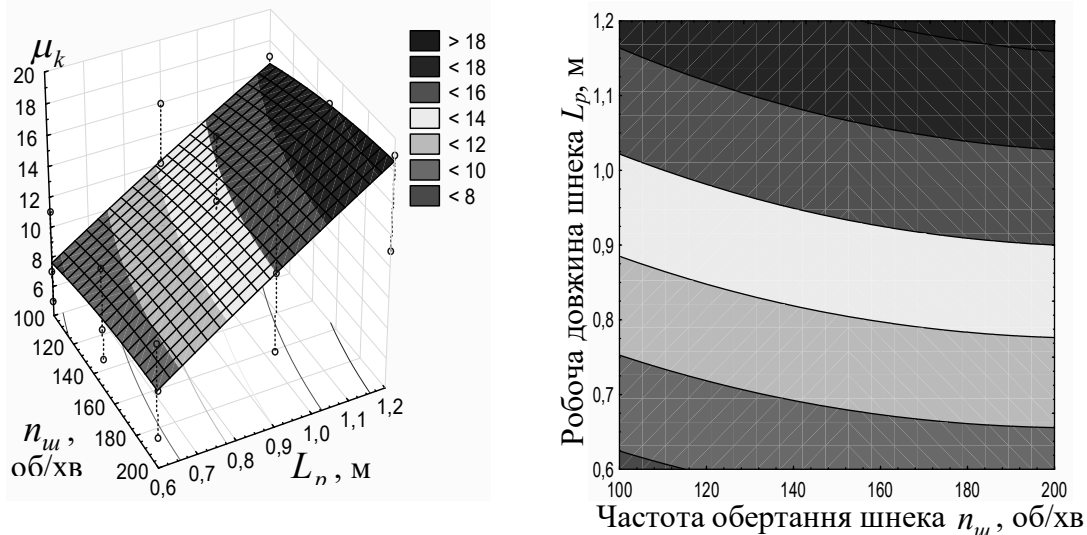


Рис. 6. Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку

функціональної залежності зміни коефіцієнта подрібнення μ_k

коренеплодів як функція $\mu_k = f_\mu(n_u; L_p)$

Справедливість наведеної констатації також характерна графічним побудовам, які наведено на рис. 7. При цьому за збільшення кількості z_n установлених Г-подібних ножів-подрібнювачів на одному витку від 4 до 8 шт. і робочої довжини шнека L_p від 0,6 до 1,2 м кількість подрібнених частин коренеплодів шнековим транспортером-подрібнювачем відносно кількості завантажених коренеплодів у бункер зростає приблизно в 4 рази, рис. 7.



Рис. 7. Залежність зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів

як функція $\mu_k = f_\mu(L_p)$: а, б, в – відповідно, при $z_n = 4; 6; 8$ шт.; 1, 2,

3 – відповідно, $n_u = 100, 150$ і 200 об/хв

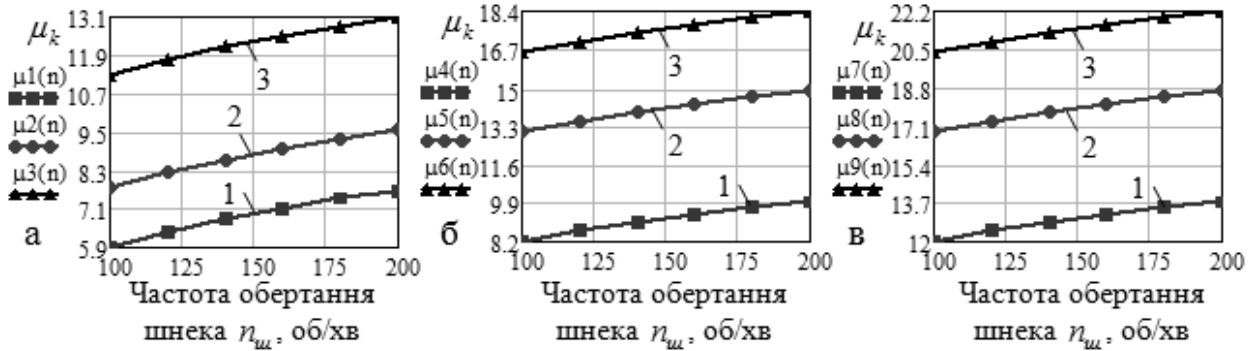


Рис. 8. Залежність зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів як функція $\mu_k = f_\mu(n_u)$: а, б, в – відповідно, при $L_p = 0,6; 0,9; 1,2$ м; 1, 2, 3 – відповідно, $z_n = 4, 6$ і 8 шт.



Рис. 9. Діаграма зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів: а, б, в – $z_n = 4, 6, 8$ шт.

Зміна частоти обертання шнека n_u має несуттєвий вплив на значення коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів. За збільшення частоти обертання шнека n_u у межах від 100 до 200 об/хв коефіцієнт подрібнення μ_k коренеплодів зростає у незначних межах – у середньому в 1,2 рази, рис. 7 та рис. 8.

На основі аналізу графічних побудов діаграми зміни коефіцієнта подрібнення μ_k коренеплодів шнековим транспортером-

подрібнювачем (рис. 9) можна констатувати, що зміна частоти обертання шнека $n_{ш}$ у межах від 100 до 200 об/хв практично не впливає на зміну коефіцієнта μ_k за постійної робочої довжини шнека L_p та однакової кількості z_n установлених Г-подібних ножів-подрібнювачів на одному спіральному витку шнека.

Висновки. Встановлено, що за зміни частоти обертання шнека $n_{ш}$ у межах від 100 до 200 об/хв та кількості z_n установлених Г-подібних ножів-подрібнювачів на одному спіральному витку шнека $z_n = 4, 6, 8$ шт., коефіцієнт подрібнення μ_k коренеплодів дорівнює співвідношенню:

- за робочої довжини шнека $L_p = 0,6$ м, відповідно, $\mu_k = 1:6, 1:9, 1:12$;
- за робочої довжини шнека $L_p = 0,9$ м, відповідно, $\mu_k = 1:9, 1:12, 1:18$;
- за робочої довжини шнека $L_p = 1,2$ м, відповідно, $\mu_k = 1:12, 1:18, 1:24$.

Така закономірність характерна тим, що за більшої частоти обертання шнека $n_{ш}$, наприклад, $n_{ш} = 150$ об/хв зменшується час проходження коренеплодів робочої довжини шнека порівняно з часом проходження коренеплодів тієї ж робочої довжини шнека за частоти обертання, наприклад, $n_{ш} = 100$ об/хв за рахунок різних швидкостей осьового переміщення коренеплодів. Але при цьому, за неоднаковий час проходження коренеплодів робочої довжини шнека, спіральні витки (Г-подібні ножі-подрібнювачі) за рахунок різних частот обертання шнека виконують однакову кількість обертів або випадків подрібнення коренеплодів. Тому за таких умов коефіцієнт подрібнення μ_k коренеплодів є практично однаковим.

Література:

1. Гевко Ів. Б. (2003). *Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.05.02 / Ів. Б. Гевко. Львів, 40.*
2. Nevko 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.*
3. Рогатинський Р., Гевко І. (2012). *Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями. Вісник ТНТУ, 3 (67), 197–210.*
4. Nevko 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.*
5. Гевко І. Б. (2017). *Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 307.*
6. 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.*
7. Гевко І. Рогатинський Р., Дячун А. (2012). *Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження, 16, 237–246.*
8. Теслюк В. В., Барановський В. М., Теслюк В. В. (2016). *Концептуальні основи біотехнології виробництва мікобіопрепаратів із плодових тіл грибів. Науковий вісник НУБіПУ. Серія «Техніка та енергетика АПК», 241, 26–31.*
9. Nevko R. B., Klendiy O. M. (2014). *The investigation of the process of a screw conveyor 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. Рогатинський Р. М. (1997). *Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : 05.05.05, 05.05. 11. Київ, 52.*

12. Рогатинський Р. М. (1997). *Моделювання процесів взаємодії шнекових робочих органів із коренебульбоплодами. Науковий вісник Національного аграрного університету, 1, 103–108.*

References:

1. Ghevko Iv. B. (2003). *Naukovo-prykladni osnovy stvorennja ghvyntovykh transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv : avtoreferat dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.05.02 / Iv. B. Ghevko. Ljviv, 40.*

2. 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.*

3. Roghatyns'kyj R., Ghevko I. (2012). *Modelj konstruivannja i vyboru ghvyntovykh konvejeriv z rozshyrenymy tekhnologichnymy mozhlyvostjamy. Visnyk TNTU, 3 (67), 197–210.*
4. 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.*

5. Ghevko I. B. (2017). *Ghvyntovi transportno-tekhnologichni mekhanizmy: rozrakhunok i konstruivannja. Ternopilj : TDTU imeni Ivana Puljuja, 307.*

6. 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.*

7. Ghevko I. Roghatyns'kyj R., Djachun A. (2012). *Syntezy zmishuvachiv z ghvyntovymy robochymy orghanamy. Visnyk Ljvivs'kogo nacional'nogho aghrarnogho universytetu: aghroinzhenerni doslidzhennja, 16, 237–246.*

8. *Tesljuk V. V., Baranovs'kyj V. M., Tesljuk V. V. (2016). Konceptualjni osnovy biotekhnologhiji vyrobnyctva mikrobiopreparativ iz plodovykh til ghrybiv. Naukovyj visnyk NUBiPU. Serija «Tekhnika ta energhetyka APK», 241, 26–31.*
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. Visny`k TNTU, 1 (85), 69–79.*
11. *Roghatyns'kyj R. M. (1997). Mekhaniko-tekhnologhichni osnovy vzajemodiji shnekovykh robochykh orghaniv iz syrovynuju sil's'koghospodars'kogho vyrobnyctva : avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja dokt. tekhn. nauk : 05.05.05, 05.05. 11. Kyjiv, 52.*
12. *Roghatyns'kyj R. M. (1997). Modeljuvannja procesiv vzajemodiji shnekovykh robochykh orghaniv iz korenebul'joplodamy. Naukovyj visnyk Nacional'nogho aghrarnogho universytetu, 1, 103–108.*