

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ПОДРІБНЮВАЧА

**В. М. БАРАНОВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор

**Ю. В. ГРИЦАЙ**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

E-mail: baranovskyvm@ukr.net; yurahrytsay@yahoo.com.ua

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.03.018>

***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 шнека, який встановлено в кожусі. На спіральних витках шнека закріплено Г-подібні ножі-подрібнювачі. За результатами проведених експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, яке описує характер зміни продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів залежно від частоти обертання шнека та діаметра шнека. На основі аналізу побудованої поверхні відгуку та її двомірного перерізу встановлено, що основний масив апроксимованих значень продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів знаходиться у діапазоні від 0,8 до 2,3 кг/с. Результати досліджень є подальшим кроком з розробки методології обґрунтування параметрів і режимів роботи робочих органів шнекових механізмів.*

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

**Актуальність.** Розробка високоефективних технологічних процесів одночасного подрібнення та переміщення коренеплодів вимагає інтегрованого наукового підходу до рішення технічної задачі підвищення технологічних показників роботи та розширення технологічних можливостей шнекових транспортерів-подрібнювачів у технологічних лініях переробки

продукції агропромислового комплексу, у тому числі і під час приготування соковитих кормів [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

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

роботи шнекових транспортерів-подрібнювачів.

Підвищення продуктивності шнекових механізмів і технологічних ліній будь-яких виробничих переробних комплексів загалом, у тому числі машин для переробки аграрної продукції, є важливим кроком у плані подальшого розвитку агропромислового сектору України [3, с. 105-107; 4, с. 165, 168-169].

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

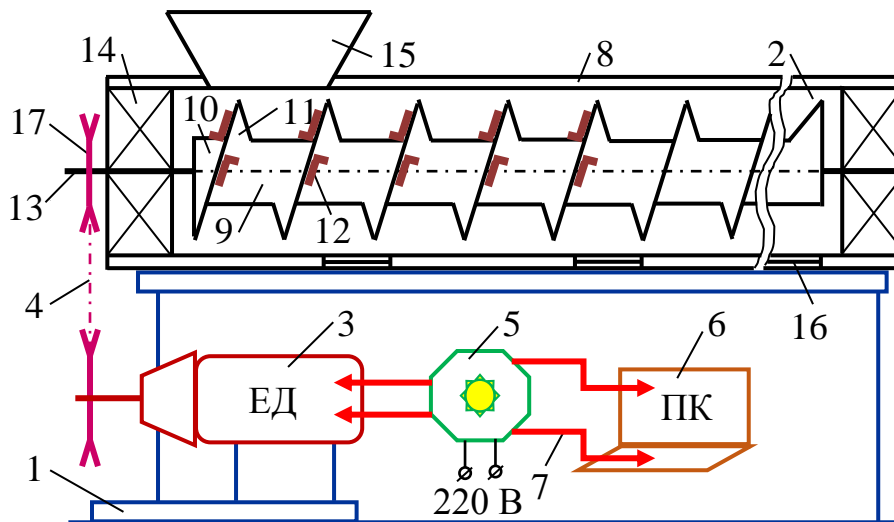
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питома вага шнекових транспортерів у вантажно-розвантажувальних операціях аграрних підприємств становить від 40 до 50 % [5, с. 59]. При цьому шнекові транспортери виконують різнопланові технологічні завдання: змішування, дроблення, дозування продуктів під 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 проведення експериментальних досліджень продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача було використано лабораторну установку, рис. 1.



**Рис. 1.** 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

Порядок роботи експериментальної лабораторної установки шнекового транспортера-подрібнювача такий.

Коренеплоди вручну навантажують у бункер 15 (рис. 3.2) до його заповнення. Приводять у рух вал електродвигуна 3 (рис. 3.2, рис. 3.3) кнопкою пуску керуючого пристрою 5 Altivar 71. Обертання вала електродвигуна за допомогою клинопасової передачі 4 передається валу 13 шнека 9, який приводить в обертальний рух барабан 10. Коренеплоди через завантажувальну горловину бункера внаслідок вільного падіння переміщуються в простір між спіральними витками 11 шнека. Г-подібні ножі-подрібнювачі

12, які встановлено на барабані шнека, за рахунок свого обертання подрібнюють коренеплоди методом пошарового різання, а спіральні витки одночасно з подрібненням переміщують подрібнені частини коренеплодів вздовж осі обертання шнека до вивантажувального шибера 16.

Принципова електрична схема керування макетним зразком лабораторної установки шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів наведена на рис. 2, а загальний вигляд керуючого пристрою Altivar 71 та комутаційного з'єднання з персональним комп'ютером – на рис. 3.

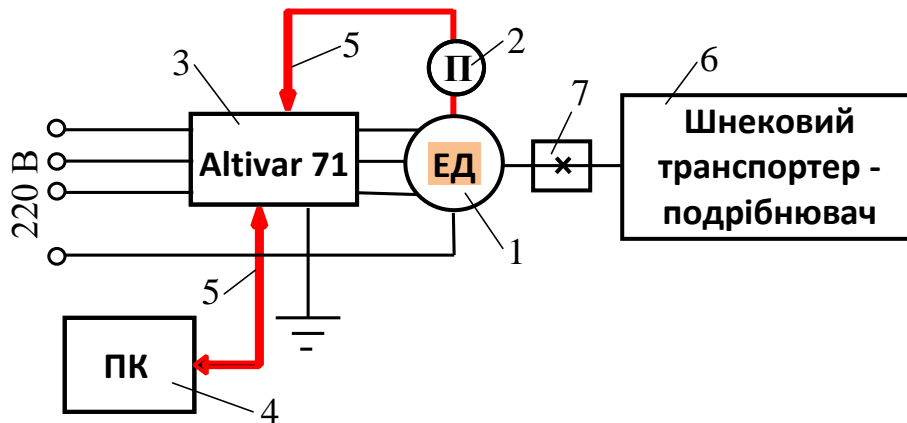


Рис. 2. Схема керування лабораторною установкою

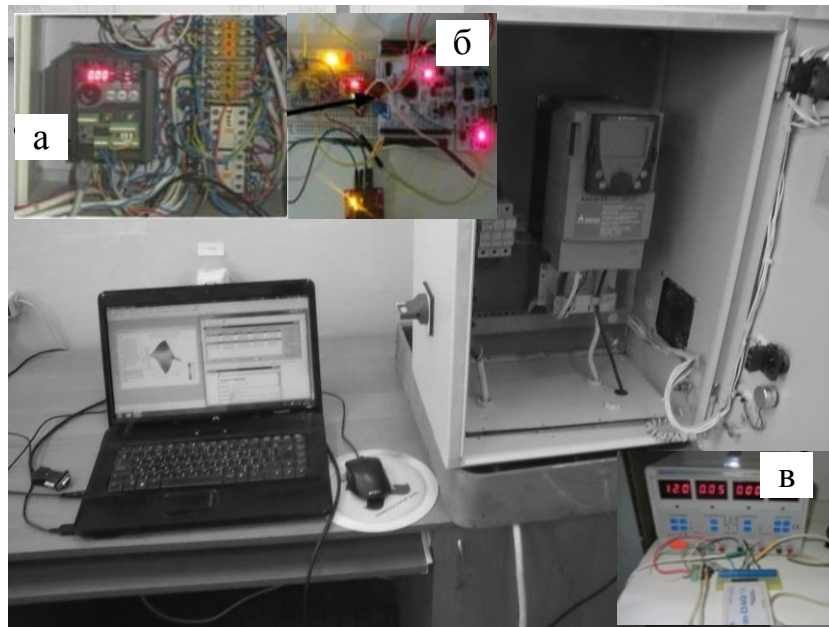


Рис. 3. Загальний вигляд керуючого мультисистемного пристрою Altivar 71 та комутаційного з'єднання з персональним комп'ютером: а – частотний перетворювач; б – плата керування роботою пристрою; в – аналогово-цифровий перетворювач

Необхідну частоту обертання шнека  $n_{ш}$  під час реалізації експериментальних досліджень встановлювали за заданою частотою обертання  $n_p$  ротора електродвигуна та врахування передаточного відношення (0,5) клинопасової передачі. Частоту обертання  $n_p$

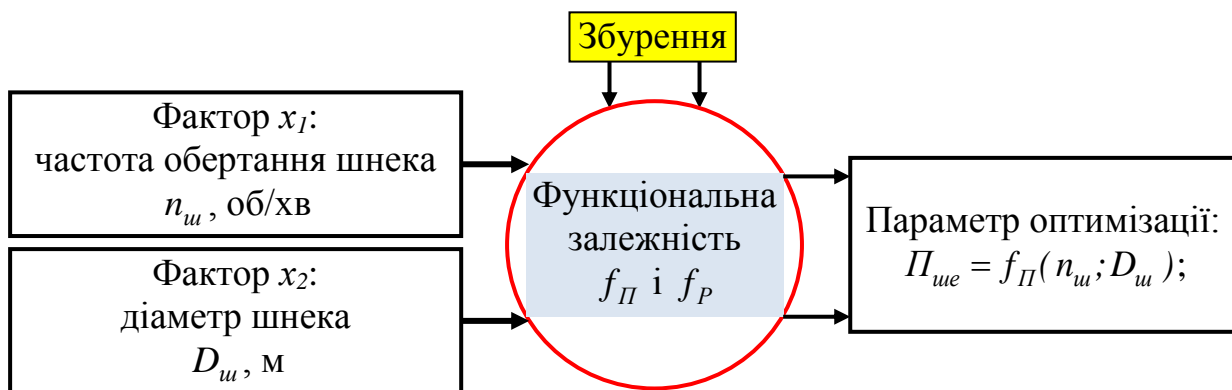
ротора електродвигуна задавали командою з панелі керування електродвигуном за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0 для керуючого мультисистемного пристрою Altivar 71. Технічні можливості мультисистемного пристрою Altivar 71 та програмного забезпечення

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

дозволяють плавно змінювати частоту обертання вала електродвигуна макетного зразка лабораторної установки в межах від 0 до 1300 об/хв.

При цьому числове значення частоти обертання вала електродвигуна (відносна похибка у межах  $\pm 1,5\%$ ) фіксували за допомогою датчика типу E40S6-10Z4-6L-5, який підключено одночасно до ротора електродвигуна 1 та мультисистемного пристрою 3 Altivar 71, рис. 2.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для проведення експериментальних досліджень з визначення продуктивності роботи  $P_{ше}$ , або для отримання емпіричного рівняння регресії, яке характеризує зміну  $P_{ше}$  технологічного процесу роботи шнекового транспортера-подрібнювача реалізували планований двофакторний експеримент типу ПФЕ  $3^2$ , схему моделі якого наведено на рис. 4.



**Рис. 4.** Схема моделі планованого трифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$

Незалежними змінними факторами планованого трифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  приймали: частоту обертання шнека  $n_{ш}$ , яку кодували індексом  $x_1$ , тобто  $n_{ш} \rightarrow x_1$ ; діаметр шнека  $D_{ш}$ , який кодували індексом  $x_2$ , тобто  $D_{ш} \rightarrow x_2$ .

Для дослідження продуктивності роботи  $P_{ше}$  технологічного процесу роботи

шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів було вибрано апроксимуючу математичну модель у вигляді функціональної залежності  $P_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$ , а результати кодування змінних вхідних факторів, верхній і нижній рівень варіювання кожного фактора та інтервал його варіювання під час наведено у табл. 1.

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

**1. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання**

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натуральні	Кодовані				
Частота обертання шнека $n_{ш}$ , об/хв	$n_{ш}$	$x_1$	2	100/-1	150/0	200/+1
Діаметр шнека $D_{ш}$ , м	$D_{ш}$	$x_2$	50	0,2/-1	0,25/0	0,3/+1

Визначені натуральні числові значення коефіцієнтів рівняння регресії, яке характеризує функціональну зміну продуктивності роботи  $\Pi_{ше}$  шнекового

транспортера-подрібнювача коренеплодів у вигляді функції  $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$  наведено у табл. 2.

**2. Натуральні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії зміни продуктивності роботи  $\Pi_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів**

Позначення	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії		
	$b_0$	$b_1$	$b_2$
$\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$	-1,26	0,01	5,33

Після оцінювання статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірки адекватності моделі, отримано рівняння регресії, яке характеризує функціональну зміну продуктивності роботи  $\Pi_{ше}$

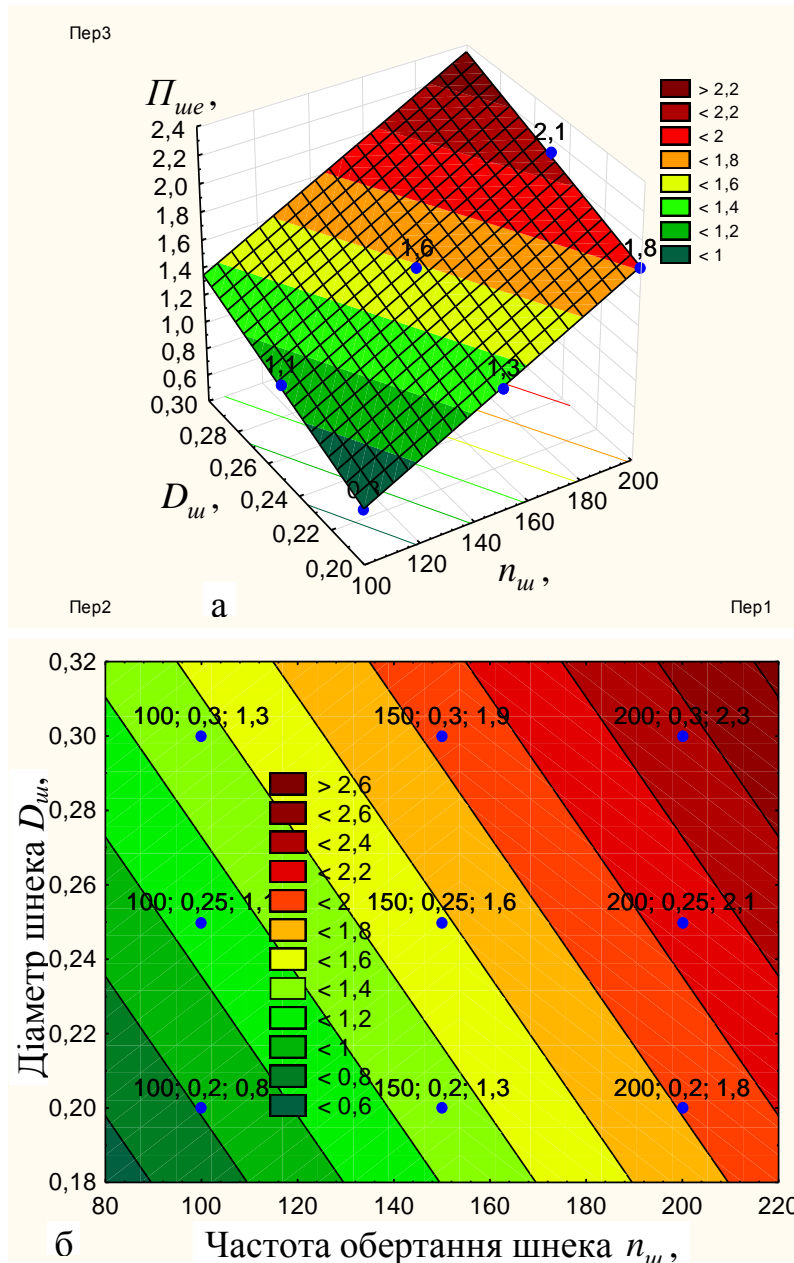
шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів у натуральних величинах

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

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

За рівнянням регресії (1) побудовано поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку, які характеризують функціональну зміну продуктивності роботи  $\Pi_{ше}$

шнекового транспортера-подрібнювача коренеплідів у вигляді функції  $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$ , рис. 5.



**Рис. 5. Поверхня відгуку (а) та її двомірний переріз зміни продуктивності роботи  $\Pi_{ше}$  як функція  $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$ .**

Рівняння регресії (1) характеризує функціональну зміну продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплідів у вигляді функції  $\Pi_{ше} = f_{\Pi}(n_{ш}; D_{ш})$ .

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

подрібнювача коренеплодів залежно від конструктивно-кінематичних параметрів шнека у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання шнека у діапазоні  $100 \leq n_{ш} \leq 200$  об/хв; діаметра шнека у діапазоні  $0,2 \leq D_{ш} \leq 0,3$  м за постійного кроку спірального витка шнека  $T = 0,15$  м.

У заданих межах варіювання змінними вхідними факторами, тобто частоти обертання шнека  $n_{ш}$  від 100 до 200 об/хв та діаметра шнека  $D_{ш}$

від 0,2 до 0,3 м, функціональна зміна продуктивності роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів, яку визначено експериментальним шляхом, знаходиться у діапазоні від 0,8 до 2,3 кг/с, рис. 5.

Ці значення продуктивності роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів також характерні функціональним залежностям  $P_{ше} = f_{П}(n_{ш})$ , які наведено рис. 6.

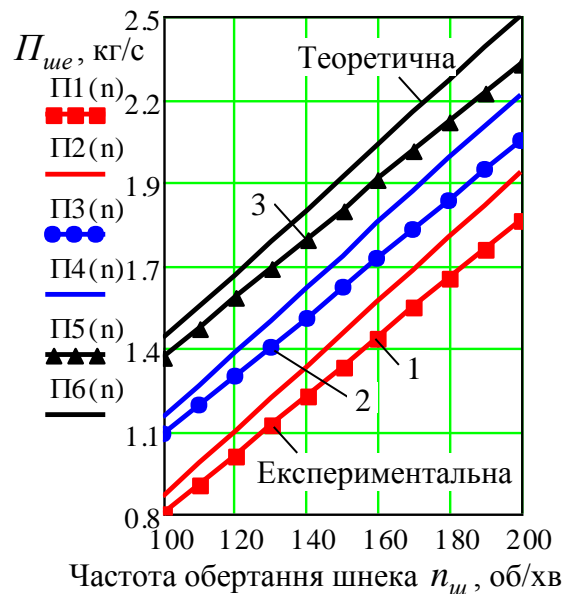


Рис. 6. Залежність зміни продуктивності роботи  $P_{ше}$  як функція  $P_{ше} = f_{П}(n_{ш})$ : 1, 2, 3 – відповідно,  $D_{ш} = 0,2; 0,25; 0,3$  м.

Функціональна зміна продуктивності роботи  $Q_{ке}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів залежно від зміни вхідних факторів має прямо пропорційний характер – зі збільшенням частоти обертання  $n_{ш}$  шнека та діаметра  $D_{ш}$  шнека

значення продуктивності роботи  $P_{ше}$  також зростає.

При цьому домінуючим фактором, який має значний функціональний вплив на приріст продуктивності роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів є частота

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

обертання  $n_{ш}$  шнека – за збільшення частоти обертання  $n_{ш}$  шнека від 100 до 200 об/хв продуктивність роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів збільшується в середньому на 0,7...0,9 кг/с, рис. 6.

Збільшення діаметра  $D_{ш}$  шнека в межах від 0,2 до 0,3 м призводить до незначного збільшення продуктивності роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів – у середньому на 0,3 кг/с, рис. 6.

Розбіжність експериментальних значень продуктивності роботи  $P_{ше}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів, які отримано згідно з рівнянням регресії (1) (графічні залежності П1(n), П3(n), П5(n)) та теоретичних значень продуктивності  $P_{ш}$  роботи (П1(n), П3(n), П5(n)) (рис. 4.13), які отримано на аналітичному рівні, знаходиться у межах 5...10 %.

#### Список використаних джерел

1. Рогатинський Р., Гевко І. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями. 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. Львів, 2013. 40 с.
3. Nevko R.B., Dzyura V.O.,

#### Висновки і перспективи.

Розроблена емпірична модель (1) описує взаємозалежність зміни продуктивності роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів від частоти обертання та діаметра шнека.

На основі проведеного аналізу теоретично-експериментальних досліджень можна стверджувати, що розроблена теоретична модель, що описує зміну продуктивності роботи  $P_{ш}$  шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів на аналітичному рівні залежно від параметрів шнека адекватна рівнянню регресії (1), яке описує  $P_{ше}$  на емпіричному рівні.

Розроблені аналітична та емпірична (1) моделі можуть бути використані для подальшої оптимізації параметрів і режимів роботи шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів загалом, а також комбінованих гвинтових механізмів.

Romanovsky R.M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. INMATEH. Agricultural engineering. 2014. Vol. 44. No.3. P. 103–110.

4. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 307 с.

5. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor.

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

INMATEH. Agricultural engineering. 2017. Vol. 51. No.1/2017. P. 59–68.

6. Белянчиков М.М., Смирнов А.І. Механізація тваринництва. К. Вища шк., 1980. 375 с.

7. Калетник Г.М., Кулик М.Ф., Петриченко В.Ф. та ін. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва. Вінниця: Енозіс, 2007. 584 с.

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

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

10. Pankiv V. Throughput capability of the combined screw chopper conveyor. Вісник ТНТУ. 2017. № 1 (85). С. 69–79.

11. Рогатинський Р., Гевко І., Рогатинська Л. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. 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. 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. P. 59–68.

## References

1. Rohatynskiy R., Hevko I. (2012). Model konstruiuvannya i vyboru hvyntovykh konveieriv z rozshyrenymy tekhnolohichnymy mozhlyvostyamy [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-tekhnolohichnykh 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-tekhnolohichni 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 A.I. (1980). Mekhanizatsiia tvarynnytstva [Mechanization of livestock]. K. : Vyshcha shk., 1980, 375.

7. Kaletnik H.M., Kulyk M.F., Petrychenko V.F., Khorishka V.D.

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

Osnovy perspektyvnykh tekhnolohii vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva [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 ahrarynoho 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.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КО РНЕПЛОДОВ

В. М. Барановский, 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 шнека, который установлен в кожухе. На спиральных витках шнека закреплены Г-подобные ножи-измельчители. За результатами проведенных экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, которое описывает характер изменения продуктивности работы шнекового транспортера-измельчителя корнеплодов в зависимости от частоты вращения шнека и диаметра шнека. На основании анализа построенной поверхности отклика и ее двумерного сечения установлено, что основной массив аппроксимированных значений продуктивности работы шнекового транспортера-измельчителя корнеплодов находится у диапазоне

Барановський В. М., Грицай Ю. В.

от 0,8 до 2,3 кг/с. Результаты исследований является дальнейшим шагом в разработке методики обоснования параметров шнековых механизмов.

**Ключевые слова:** рабочий орган, Г-подобный нож, спиральный виток, план-матрица, диаметр, частота вращения

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON PRODUCTIVITY OF AUGER ROOT CUTTER CONVEYOR

V. M. Baranovsky, Yu. V. Gritsai

**Abstract.** Screw conveyors are widely used in the agricultural sphere of production for moving, mixing, dosing products and the like. The improvement of existing designs of screw conveyors and the substantiation of their rational parameters and modes of operation allows us to expand the functionality 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 body was proposed. It is made in the form of a screw, which is installed in the casing. G-like knives-choppers are fixed on the spiral turns of the screw. According to the results of experimental studies, a regression equation was obtained, which describes the nature of changes in the productivity of the screw conveyor-shredder of root crops, depending on the frequency of rotation of the screw and the screw diameter. Based on the analysis of the constructed response surface and its two-dimensional cross-section, it was established that the main array of approximated values of the productivity of the screw conveyor-shredder of root crops is in the range from 0.8 to 2.3 kg / s. The research results are a further step in the development of methods for substantiating the parameters of screw mechanisms.

**Keywords:** working body, G-like knife, spiral coil, plan-matrix, diameter, rotation frequency