

УДК 631.331.85

М.І. Пилипець, В.Р. Паньків**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
КОМБІНОВАНОГО ГВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА**

Удосконалення існуючих конструкцій гвинтових транспортних механізмів і обґрунтування їх раціональних параметрів і режимів роботи дозволяє істотно підвищити продуктивність роботи та надійність виконання технологічних операцій. При цьому шнекові конвеєри за ознакою своїх конструктивних особливостей можуть одночасно виконувати декілька суміжних функцій і операцій – змішування продуктів, подрібнення або дроблення матеріалів, дозування тощо. Послідовне виконання однієї або декількох технологічних операцій, поряд з транспортуванням матеріалів, яке притаманне комбінованим гвинтовим транспортерам, є їх визначальною ознакою. В статті наведено основні положення методології та методики проведення експериментальних досліджень макетного зразка комбінованого гвинтового транспортера. Реалізацію експериментальних досліджень з визначення продуктивності роботи та затрат споживчої потужності технологічного процесу одночасного транспортування та подрібнення коренеплодів шнековим конвеєром проводили на основі математичного планування факторних експериментів. При цьому застосовували стандартні та розроблені часткові методики.

Ключові слова: шнековий конвеєр, планований експеримент, вхідні фактори, параметр оптимізації, продуктивність, затрати потужності.

М.И. Пилипець, В.Р. Паньків**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОМБИНИРОВАННОГО ВИНТОВОГО ТРАНСПОРТЕРА**

Совершенствование существующих конструкций винтовых транспортных механизмов и обоснование их рациональных параметров и режимов работы позволяет существенно повысить производительность работы и надежность выполнения технологических операций. При этом шнековые конвейеры по признаку своих конструктивных особенностей могут одновременно выполнять несколько смежных функций и операций - смешивание продуктов, измельчения или дробления материалов, дозирование и тому подобное. Сочетание выполнения одной или нескольких технологических операций, наряду с транспортировкой материалов, которое присуще комбинированным винтовым транспортерам, является их определяющим признаком. В статье приведены основные положения методологии и методики проведения экспериментальных исследований макетного образца комбинированного винтового транспортера. Реализацию экспериментальных исследований по определению производительности работы и затрат потребляемой мощности технологического процесса одновременной транспортировки и измельчения корнеплодов шнековым конвейером проводили на основе математического планирования факторных экспериментов. При этом применяли стандартные и разработанные частичные методики.

Ключевые слова: шнековый конвейер, планируемый эксперимент, входные факторы, параметр оптимизации, производительность, затраты мощности.

M. Pilipets, V. Pankiv**METHODOLOGY FOR CONDUCTING EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF
COMBINED SCREW TRANSPORTER**

Improvement of existing structures of screw transport mechanisms and justification of their rational parameters and operating modes allows to significantly increase the productivity and reliability of the performance of technological operations. At the same time screw conveyors on the basis of their design features can simultaneously perform several related functions and operations - mixing products, grinding or crushing materials, dosing and the like. The combination of the performance of one or several technological operations, along with the transportation of materials, which is inherent in combined screw conveyors, is their defining feature. The article contains the main provisions of the methodology and methodology for carrying out experimental studies of the prototype of a combined screw conveyor. Realization of experimental studies to determine the productivity of work and the costs of consumed power of the technological process of simultaneous transportation and grinding of root crops by a screw conveyor were carried out on the basis of mathematical planning of factor experiments. Standard and developed partial methods were used.

Key words: screw conveyor, planned experiment, input factors, optimization parameter, productivity, power costs.

Постановка проблеми. Гвинтові транспортери, у якості транспортних механізмів застосовують в аграрній сфері виробництва, переробній та харчовій галузях промисловості, специфіка яких обумовлена наявністю широкої гами технологічних процесів збирання та переробки продукції рослинництва. Розробка високоефективних технологічних процесів транспортування, як одиночних кускових, так і сипучих матеріалів вимагає інтегрованого наукового підходу до вирішення задач подальшого удосконалення гвинтових механізмів транспортних систем машин з метою підвищення їх показників роботи [1]. Поставлені завдання вирішуються на основі подальшого удосконалення методології та методики оптимізації

технологічних показників процесу транспортування матеріалів і конструктивно-кінематичних параметрів та режимів роботи транспортних систем.

У загальному аспекті об'єктом дослідження макетного зразка комбінованого гвинтового транспортера (комбінованого ГТ) є технологічний процес одночасного переміщення та подрібнення матеріалу транспортування, або коренеплодів. При цьому складовими компонентами технологічного процесу одночасного переміщення та подрібнення коренеплодів є дослідження зміни технологічних параметрів, або зміни продуктивності роботи та споживчих затрат енергії залежно від конструктивно-технологічних параметрів структурних елементів комбінованого ГТ, або основного робочого органу – шнекового конвеєра. Предметом досліджень є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів комбінованого ГТ, які забезпечують виконання технологічного процесу одночасного переміщення та подрібнення коренеплодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз сучасного стану функціонування гвинтових транспортних механізмів [2-8] показав, що існують значні передумови для проведення подальших наукових робіт, які спрямовані на розробку, дослідження та впровадження в виробництво енергозберігаючих, високотехнологічних комбінованих ГТ, які забезпечують ефективне виконання суміжних функціональних операцій, як транспортування, так і одночасного подрібнення сировини з продуктів сільськогосподарського виробництва в процесі її переробки.

Відсутність узагальнених емпіричних моделей процесу функціонування робочих елементів шнекового конвеєра, який одночасно виконує дві операції транспортування та подрібнення коренеплодів і комбінованого ГТ загалом зумовило проведення даних досліджень.

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

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

На основі проведеного аналізу технологічних процесів роботи транспортних систем було встановлено головні основоположні процеси, які повинна відображати емпірична модель: взаємодію окремих конструктивних елементів у транспортній системі; сутність характеру технологічного процесу одночасного подрібнення та транспортування коренеплодів.

Все це дозволить на науковому рівні розробити методики і методології обґрунтування, розрахунку та оптимізації параметрів і режимів роботи транспортних систем і навести раціональні рекомендації застосування транспортних механізмів.

Викладення основного матеріалу. В загальному контексті методика експериментальних досліджень комбінованого ГТ базувалися на основі загальних положень планування, проведення, обробки експериментального масиву та аналізу одержаних результатів планованих факторних експериментів із використанням прикладних програм для комп'ютера.

При проведенні експериментальних досліджень побудовану структурну модель макетного зразка комбінованого ГТ (рис. 1) подано у вигляді багатовимірної складної динамічної системи «вхід-вихід», або кібернетичного поняття “чорного ящика” [9].

Вхідними величинами, або змінними вхідними факторами багатовимірної складної динамічної системи (структурної моделі макетного зразка комбінованого ГТ) є технологічні параметри функціонального процесу транспортування матеріалу та конструктивно-кінематичні параметри основного робочого органу, тобто шнекового конвеєра. Вихідними величинами, або параметрами оптимізації є основні технологічні показники процесу, який моделюється.

Для експериментального дослідження продуктивності роботи $Q_{ek}^{(\alpha_{iv})}$ (кг/с) та питомих затрат споживчої потужності P_{ek} (Вт) комбінованого ГТ було використано розроблений макетний зразок лабораторної установки, рис. 2.

Лабораторна установка складається з рами 1 (рис. 2) на якій змонтовано комбінований ГТ 2 і електродвигун 3. Вона також має клинопасову передачу 4, керуючий мультисистемний пристрій 5 ALTIVAR 71, комп'ютер 6, комунікаційне з'єднання 7 пристрою з електродвигуном і комп'ютером.

Комбінований ГТ являє собою горизонтальну направляючу трубу 8 (рис. 2) в середині якої змонтовано шнековий конвеєр 9, який виконано у вигляді барабана 10 на якому по гвинтовій лінії встановлено спіральні витки 11. Між спіральними витками також по гвинтовій лінії закріплено ножі-подрібнювачі 12.

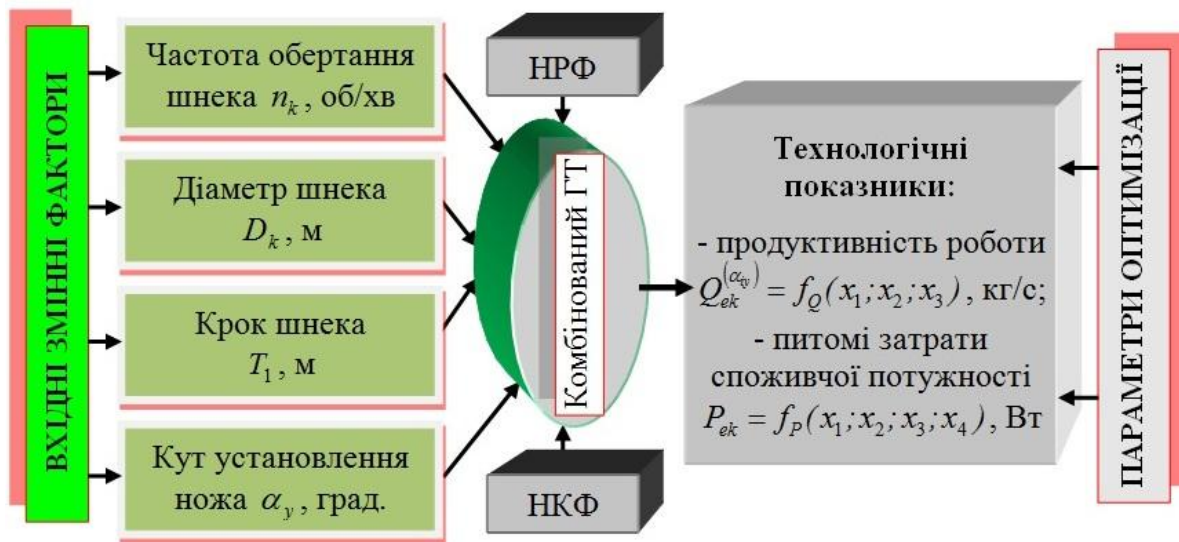


Рис. 1. Структурна модель проведення досліджень комбінованого ГТ

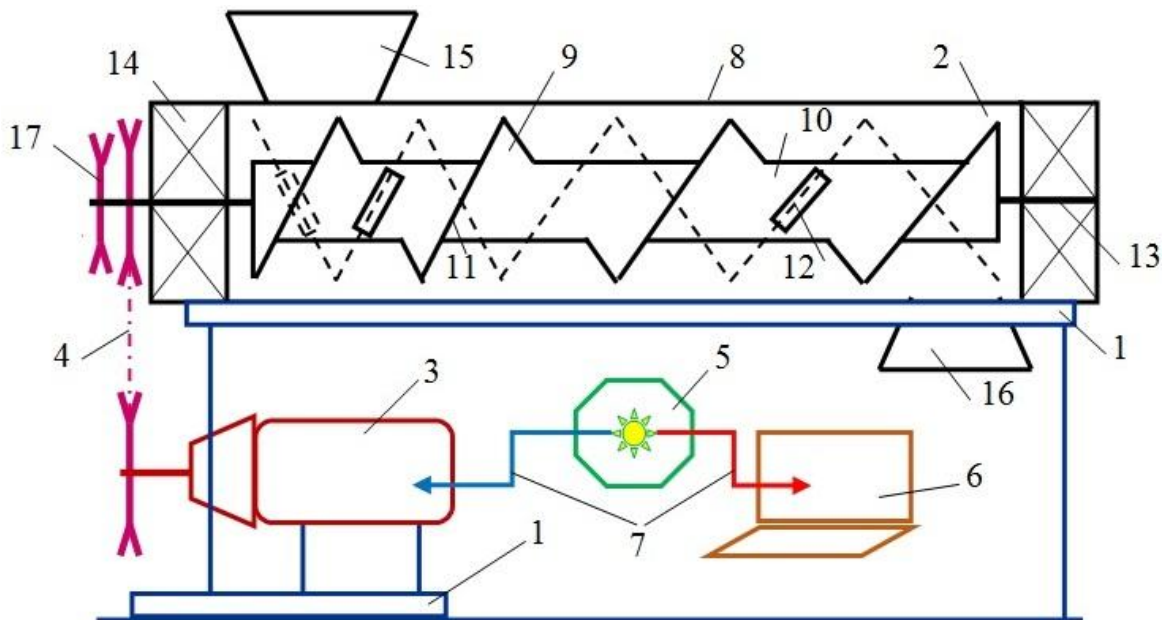


Рис. 2. Конструктивна схема лабораторної установки: 1 – рама; 2 – комбінований ГТ; 3 – електродвигун; 4 – клинопасова передача; 5 – керуючий пристрій Altivar 71; 6 – комп'ютер; 7 – комутаційне з'єднання; 8 – направляюча труба; 9 – шнековий конвеєр; 10 – барабан; 11 – спіральний виток; 12 – ніж; 13 – вал; 14 – підшипникова опора; 15, 16 – завантажувальна та вивантажувальна горловина; 17 – шків

В торцях барабана шнекового конвеєра закріплено вали 13, на які посаджено підшипникові опори 14, які встановлено в торцях направляючої горизонтальної труби. Направляюча горизонтальна труба має завантажувальну 15 та вивантажувальну 16 горловини. З боку завантажувальної горловини на вал посаджено шків 17. Привод робочих органів комбінованого ГТ відбувається шляхом передачі крутного моменту від електродвигуна макетного зразка лабораторної установки до шнекового конвеєра за рахунок клинопасової передачі. Ножі-подрібнювачі встановлено на барабані шнекового конвеєра з можливістю регулювання кута установки відносно горизонтальної осьової лінії шнекового конвеєра.

Лабораторна установка працює наступним чином.

Кнопкою пускової установки приводять в рух вал електродвигуна 3 (рис. 2), обертання якого за допомогою клинопасової передачі 4 передається валу 13, який приводить в обертальний

рух барабан 8 шнекового конвеєра 9. Коренеплоди через завантажувальну горловину 15 подаються до шнекового конвеєра, де ножі 12, які встановлено на барабані, за рахунок свого обертання подрібнюють коренеплоди методом їх різання, а спіральні витки 11 одночасно з подрібненням коренеплодів ножами транспортують подрібнені коренеплоди вздовж осі обертання барабана 8 до вивантажувальної горловини 16.

Для плавного керування частоти обертання вала електродвигуна і відповідно шнекового конвеєра комбінованого ГТ 6 та проведення експериментальних досліджень використовувалось стандартне ліцензоване програмне забезпечення Power Suite V2.3.0, яке призначене для регулювання керуючого мультисистемного пристрою 3 Altivar 71 (рис. 2) та узгодження його мультисистемних багатоканальних перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску системи Altistart 48, сервоприводів Lexium і інтелектуальних пускачів, а також для зчитування даних з керуючого мультисистемного пристрою 3 та їх виведення на монітор комп'ютера 4 у вигляді числових значень або їх графічного відтворення.

Алгоритм проведення експериментальних досліджень комбінованого ГТ формалізованого у вигляді структурної моделі (рис. 1) передбачає визначення функціональних закономірностей впливу окремих вхідних факторів і їх взаємодію на вихідну величину, або параметр оптимізації.

Для отримання емпіричного рівняння регресії, яке характеризує зміну продуктивності роботи Q_{ke} макетного зразка лабораторної установки комбінованого ГТ залежно від параметрів шнекового конвеєра, реалізували планований трифакторний експеримент типу ПФЕ 3³, при цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнекового конвеєра n_k , яку кодували індексом x_1 , тобто $n_k \rightarrow x_1$; діаметр шнекового конвеєра D_k , який кодували індексом x_2 , тобто $D_k \rightarrow x_2$; крок першого витка шнекового T_1 , який кодували індексом x_3 , тобто $T_1 \rightarrow x_3$. Таким чином для дослідження продуктивності роботи Q_{ke} комбінованого ГТ було вибрано апроксимуючу математичну модель у вигляді функціональної залежності $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_2; x_3)$.

Для отримання емпіричного рівняння регресії, яке характеризує питомі затрати споживчої потужності P_{ke} макетного зразка лабораторної установки комбінованого ГТ залежно від параметрів шнекового конвеєра, реалізували планований чотирифакторний експеримент типу ПФЕ 3⁴, при цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнекового конвеєра n_k , яку кодували індексом x_1 , тобто $n_k \rightarrow x_1$; діаметр шнекового конвеєра D_k , який кодували індексом x_2 , тобто $D_k \rightarrow x_2$; крок першого витка шнекового T_1 , який кодували індексом x_3 , тобто $T_1 \rightarrow x_3$; кут установлення ножа α_y , який кодували індексом x_4 , тобто $\alpha_y \rightarrow x_4$; Таким чином для дослідження питомих затрат споживчої потужності P_{ke} комбінованого ГТ було вибрано апроксимуючу математичну модель у вигляді функціональної залежності $P_{ek} = f_P(x_1; x_2; x_3; x_4)$.

Порядок побудови та реалізації експериментальних досліджень з визначення продуктивності роботи Q_{ke} та питомих затрат потужності P_{ke} комбінованого ГТ, або функціональної залежності, відповідно, $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_2; x_3)$ і $P_{ek} = f_P(x_1; x_2; x_3; x_4)$ був наступним: кодування змінних вхідних факторів, або $n_k \rightarrow x_1$, $D_k \rightarrow x_2$, $T_1 \rightarrow x_3$, $\alpha_y \rightarrow x_4$; розробка таблиці вхідних факторів, визначення верхнього і нижнього рівня варіювання кожного фактора та інтервалу його варіювання; визначення загального числа експериментів однієї повноти; складання план-матриці порядку проведення експериментів; проведення рандомізації план-матриці; реалізацію експериментів згідно з рандомізованою план-матрицею; обробку експериментального масиву даних з метою одержання емпіричного рівняння регресії з визначенням виду функціональної залежності та її коефіцієнтів; перевірку відтворюваності одержаних експериментальних даних; оцінку значущості коефіцієнтів регресії; перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу; проведення графо-аналітичного аналізу результатів експериментальних досліджень і висновків.

При складанні план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього (+1), нижнього (-1) та нульового (0) рівнів варіювання факторами, [8], тобто трифакторний і

чотирифакторний експерименти провели на трьох рівнях варіювання входними факторами, або реалізували планований експеримент типу ПФЕ 3^3 і ПФЕ 4^3 .

Результати кодування змінних входних факторів, верхній і нижній рівень варіювання кожного фактора та інтервал його варіювання під час проведення експериментальних досліджень макетного зразка комбінованого ГТ наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтервал варіювання	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Кодовані				
Частота обертання шнекового конвеєра n_k , об/хв	X_1	x_1	100	100/-1	200/0	300/+1
Діаметр шнекового конвеєра D_k , м	X_2	x_2	0,04	0,12/-1	0,16/0	0,2/+1
Крок шнекового конвеєра T_1 , м	X_3	x_3	0,03	0,05/-1	0,08/0	0,11/+1
Кут установлення ножа α_y , град.	X_4	x_4	5	25/-1	30/0	35/+1

Після кодування змінних входних факторів, тобто $n_k \rightarrow x_1$, $D_k \rightarrow x_2$, $T_1 \rightarrow x_3$, $\alpha_y \rightarrow x_4$ склали план-матрицю порядку проведення планового трифакторного та чотирифакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 і ПФЕ 4^3 та проводили їх рандомізацію методом випадкового балансу шляхом застосування таблиці випадкових чисел [10].

Грубе регулювання частоти обертання вала шнекового конвеєра n_k комбінованого ГТ проводили шляхом перестановки шківів 17 відповідного діаметра (рис. 2) клинопасової передачі 4, а необхідну частоту обертання шнекового конвеєра n_k під час проведення експериментів встановлювали за допомогою команди з панелі керування електродвигуном керуючого мультисистемного пристрою Altivar 71.

Продуктивність роботи Q_{ke} комбінованого ГТ визначали за формулою

$$Q_{ke} = M_k / t_e, \quad (1)$$

де M_k – маса вивантаженого матеріалу (подрібнених коренеплодів) з вивантажувальної горловини лабораторної установки, кг.

t_o – час проведення одного експерименту, с.

Час проведення кожного експерименту приймали постійним і рівним $t_e = const = 10$ с. Масу M_k вивантаженого матеріалу (подрібнених коренеплодів) з вивантажувальної горловини лабораторної установки зваженого з точністю $\pm 0,1$ кг.

Питомі затрати потужності P_{ke} комбінованого ГТ визначали за формулою

$$P_{ke} = N_{ke} / Q_{ke} L_k, \quad (1)$$

де $N_{ke} = M_{ke} n_k / 9750$ – потужність на приводі шнекового конвеєра, кВт;

n_k – частота обертання шнекового конвеєра, об/хв.

L_k – довжина робочої частини шнекового конвеєра, м.

Отримані експериментальні значення продуктивності роботи Q_{ke} та питомих затрат потужності P_{ke} комбінованого ГТ, або функціональної залежності $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_2; x_3)$ і $P_{ek} = f_P(x_1; x_2; x_3; x_4)$ для граничних значень відповідних точок композиційного плану трифакторного та чотирифакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 і ПФЕ 4^3 заносили у відповідні графі рандомізованої план-матриці експериментів.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки для отримання емпіричної математичної моделі $Q_{ke} = f_Q(x_1; x_2; x_3)$ і $P_{ek} = f_P(x_1; x_2; x_3; x_4)$ з використанням методик кореляційного і регресійного аналізу, які характеризують вплив факторів і їх взаємодію на зміну продуктивності роботи Q_{ke} та питомих затрат потужності P_{ke} комбінованого ГТ.

Висновки. Основою проведення експериментальних досліджень технологічних показників роботи комбінованого ГТ (продуктивності роботи та питомих затрат потужності) є математичне планування та реалізації планованих багатофакторних експериментів шляхом розробки та побудови структурної моделі об'єкта дослідження. Планування та проведення, обробка та аналіз отриманих результатів досліджень виконано на основі загальновідомих і розроблених часткових методик.

Список використаних джерел:

1. Гевко Ів.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Ів.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с.
2. Nevko R.V. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation / R.V. Nevko, V.O. Dzyura, R.M. Romanovsky // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 44. – No.3. – P. 103–110.
3. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І. Б. Гевко. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 307 с.
4. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 197–210.
5. Nevko R.V. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation / R.V. Nevko, O.M. Klendiy // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 42. – No.1. – P. 55–60.
6. Рогатинський Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем / Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 1 (69). – С. 123–230.
7. Вайсон А.А. Подъёмно-транспортные машины / А.А. Вайсон. – М.: Машиностроение, 1975. – 431 с.
8. Гевко І. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами / І. Гевко, Р. Любачівський, А. Дячун // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – 2012. – № 16. – С. 237–246.
9. Крутов В.И. Основы научных исследований / В.И. Крутов, В.В. Попов ; под ред. В.И. Крутова. – М. : Высшая школа, 1989. – 363 с.
10. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М. : Мир, 1972. – 374 с.

Рецензенти:

Барановський Віктор Миколайович, доктор технічних наук, професор, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Голуб Генадій Анатолійович, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Стаття надійшла до редакції 02.11.2017