

УДК 621.825

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ КОНВЕЄРА

Р.С. ГРУДОВИЙ, к.т.н. E-mail: roma-grudovij@yandex.ua – Житомирський національний агроекологічний університет;

С.М. ГЕРУК, к.т.н. E-mail: sgerukzt@mail.ru – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

РЕЗЮМЕ

Мета. Експериментальне дослідження залежності витрат потужності на приводі гвинтового конвеєра з рівновеликим кроком витків у напрямку руху вантажу при транспортуванні пшениці та ячменю.

Методи. Теоретичною і методологічною основою даного дослідження є аналіз та систематизація отриманих у попередні роки результатів експериментальних досліджень з використанням дедуктивного методу, вивчення науково-технічної інформації, фундаментальних засад теоретичної механіки, інформатики, морфологічного аналізу, інженерної творчості, синтезу і вибору раціональних технічних рішень. Встановлення залежностей витрат потужності на приводі конвеєра, апробація розроблених алгоритмів, методик проводилась методом комп'ютерного моделювання та лабораторно-виробничих випробувань. Статистичне оброблення експериментальних даних проводилось математико-статистичними методами та з використанням прикладних програм для ПЕОМ.

Результати. Приведені результати експериментальних досліджень залежності витрат потужності на приводі при дослідженні процесу транспортування пшениці та ячменю гвинтовим конвеєром з рівновеликим кроком витків у напрямку руху вантажу. Вхідними змінними факторами прийнято приріст кроку шнека на одному витку ΔT ($\Delta T_1=3$, $\Delta T_2=5$, $\Delta T_3=7$ мм.), кут нахилу конвеєра γ ($15\dots30\dots45^\circ$), та частота обертання

шнека n ($100\dots250\dots400$ об/хв). Зовнішній діаметр шнека дорівнює 150 мм, довжина робочої частини шнека 1,5 м. Виведені рівняння регресії, які відображають функціональну залежність витрат потужності на приводі конвеєра від вищеприведених змінних параметрів у кодових і натуральних величинах. Представлені поверхні відгуків та двомірні перерізи поверхонь відгуків залежностей витрат потужності на приводі конвеєра для вищеприведених транспортних матеріалів.

Висновки. Встановлено, що основним фактором, який впливає на збільшення витрат потужності на приводі конвеєра є частота обертання і в меншій мірі кут нахилу та приріст кроку шнека та комбінації цих факторів. Із збільшенням частоти обертання шнека та кута нахилу гвинтового конвеєра величина потужності на приводі зростає, причому найбільша потужність 0,63 кВт досягається під час транспортування пшениці. Збільшення величини приросту кроку шнека від 0,003 м до 0,007 м призводить до зменшення потужності на приводі від 7 до 12%. При цьому збільшення кута нахилу конвеєра від 15 до 45 град. надає приріст потужності від 20 до 35%. Тому збільшення величини приросту кроку шнека є доцільним способом збереження енерговитрат.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, потужність, привод, експериментальні дослідження, крок гвинта, частота обертання, кут нахилу.

UDC 621.825

INVERTIGATION OF POWER ENERGETIC CONVEYOR

R.S. HRUDOVYY, Ph.D. E-mail: roma-grudovij@yandex.ua – Zhytomyr National Agroecological University;

S.M. HERUK, Ph.D. E-mail: sgerukzt@mail.ru – National scientific center «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»

SUMMARY

Purpose. Experimental study of costs depending on drive capacity when transporting wheat and barley screw conveyor with equally large step turns in the direction of load.

Methods. The theoretical and methodological basis of this study is to analyze and systematize received in previous years, the results of experimental research that was conducted using the deductive method, based on the study of scientific and technical

information, the basic concepts of theoretical mechanics, computer science, morphological analysis, engineering creativity, synthesis and rational choice technical solutions. Setting dependencies spending power on the drive, testing the developed algorithms, methods performed by computer simulations and laboratory and production testing. Statistical treatment of experimental data conducted mathematical and statistical methods using applications for PC.

Results. The results of experimental studies depending on the drive capacity costs in the study of the process of transporting wheat and barley screw conveyor with equally large step turns in the direction of the load. Input variables taken a step increase screw on one development ΔT ($= 3 \Delta T_1, \Delta T_2 = 5, \Delta T_3 = 7$ mm.), The angle of the conveyor γ (15... 30... 45°), and screw rotation speed n (100... 250... 400 rev / min). The outer diameter of the screw is 150 mm, the length of the working part of the screw 1.5m. The derived regression equations that reflect the functional dependence of the cost of power on the drive belt from the above-quoted variables in the code and the actual

size. Presented surface and two-dimensional cross-sections of guest reviews surfaces dependencies spending power to the drive belt for abovementioned transport materials.

Conclusions. Established that the main factor influencing the increase in the cost of power to the drive belt orbiting a lesser degree angle and increase step auger and a combination of these factors. With increasing rotational speed and angle of inclination of the screw conveyor screw size increases power to the drive, with the largest capacity of 0.63 kW is achieved when transporting wheat. Increase value growth step screw from 0,003m to 0,007m leads to a reduction in drive power from 7 to 12%. The increase in the angle of inclination of the conveyor 15 to 45 degrees. provides capacity expansion from 20 to 35%. Therefore, increasing the value increment step screw appropriate way of saving energy.

Key words: a screw conveyor, the power actuator, experimental research screw pitch, rotational speed, angle of inclination.

УДК 621.825

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ КОНВЕЙЕРА

Р.С. ГРУДОВИЙ, к.т.н. E-mail: roma-grudovij@yandex.ua – Житомирский национальный агроэкологический университет;

С.М. ГЕРУК, к.т.н. E-mail: sgerukzt@mail.ru. – Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

РЕЗЮМЕ

Цель. Экспериментальное исследование зависимости затрат мощности на приводе винтового конвейера с постепенно возрастающим шагом витков в направлении движения груза при транспортировке пшеницы и ячменя.

Методы. Теоретической и методологической основой данного исследования является анализ и систематизация полученных в предыдущие годы результатов экспериментальных исследований с использованием дедуктивного метода, изучение научно-технической информации, фундаментальных основ теоретической механики, информатики, морфологического анализа, инженерного творчества, синтеза и выбора рациональных технических решений. Установление зависимостей затрат мощности на приводе конвейера, апробация разработанных алгоритмов, методик проводилась методом компьютерного моделирования и лабораторно-производственных испытаний. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась математико-статистическими методами и с использованием прикладных программ для ЭВМ.

Результаты. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости затрат мощности на приводе винтового конвейера с постепенно возрастающим шагом витков в направлении движения груза при транспортировке пшеницы и ячменя. Входными переменными факторами принято прирост шага шнека на одном витке ΔT ($\Delta T_1 = 3, \Delta T_2 = 5, \Delta T_3 = 7$ мм.), Угол наклона конвейера γ (15...30...45°), и частота вращения шнека n (100...250...400 об/мин). Внешний диаметр шнека равен 150 мм, длина рабочей части шнека 1,5 м. Выведенные уравнения регрессии, отражающие функциональную зависимость затрат мощности на приводе конвейера от вышеприведенных переменных параметров в кодовых и натуральных величинах. Представленные поверхности отзвывов и двухмерные сечения поверхностей отзвывов зависимости затрат мощности на приводе конвейера для вышеприведенных транспортных материалов.

Выводы. Установлено, что основным фактором, влияющим на увеличение расходов мощности на приводе конвейера частота вращения, в меньшей степени угол наклона и прирост шага

шнека и комбинации этих факторов. С увеличением частоты вращения шнека и угла наклона винтового конвейера величина мощности на приводе растет, причем наибольшая мощность 0,63 кВт достигается при транспортировке пшеницы. Увеличение величины прироста шага шнека от 0,003 м до 0,007 м приводит к уменьшению мощности на приводе от 7 до 12%. При этом увели-

чение угла наклона конвейера от 15 до 45 град. предоставляет прирост мощности от 20 до 35%. Поэтому увеличение величины прироста шага шнека является целесообразным способом сохранения энергозатрат.

Ключевые слова: винтовой конвейер, мощность, привод, экспериментальные исследования, шаг винта, частота вращения, угол наклона.

ПРОБЛЕМА

В даний час питання по зменшенню енергоємності технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві актуальне і проблемне та вирішується не тільки в Україні, а і в усьому світі. Стрімке зростання цін на енергоносії та нафтопродукти змушує сільськогосподарських виробників якісно відноситись до питання правильного комплектування технологічних ліній, переобладнання машин, удосконалення вузлів, агрегатів і їх робочих органів, для зменшення затрат на виробництво сільськогосподарської продукції. Одним із способів вирішення даного питання є удосконалення конструкції робочих органів шнекових транспортерів. Оскільки основними робочими й завантажувально-розвантажувальними органами багатьох сільськогосподарських машин для вирощування, збирання та переробки зернової продукції є гвинтові робочі органи.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені проектуванню гвинтових конвеєрів, сучасні вимоги сільськогосподарського виробництва висувають завдання щодо модернізації існуючих конструкцій та створення принципово нових з проведенням відповідних теоретичних та експериментальних досліджень. Серед зазначених проблем важливе місце посідає дослідження залежності витрат потужності на приводі гвинтового конвеєра з рівновеликим кроком витків у напрямку руху вантажу при транспортуванні пшениці та ячменю. Дане питання потребує глибокого аналізу та розроблення науково обґрунтованих теоретичних та експериментальних напрацювань з подальшим впровадженням у виробництво.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням дослідження продуктивності, матеріаломісткості, залежності витрат потуж-

ності на приводі гвинтових конвеєрів присвячені наукові праці В.В. Адамчука, А.П. Александрова, А.І. Бойка, П.М. Василенка, Б.М. Гевка, Р.Б. Гевка, Х. Германа, Р.М. Рогатинського та інших[2-5,11-16]. У практиці для зменшення витрат потужності на приводі гвинтових конвеєрів було розроблено ряд оригінальних конструкцій робочих органів шнеків. Проте цілий ряд питань, які пов'язані з особливостями визначення витрат потужності на приводі і її залежність від параметрів і факторів нових конструкцій гвинтових транспортно-технологічних систем, в склад яких входять робочі органи із рівновеликим кроком витків у напрямку руху вантажу потребують подальшого вирішення.

Мета роботи. Експериментальне дослідження залежності витрат потужності на приводі гвинтового конвеєра з рівновеликим кроком витків в напрямку руху вантажу при транспортуванні пшениці та ячменю.

Результати дослідження. Експериментальні дослідження проводились для підтвердження теоретичних передумов та обґрунтування конструктивно-технологічних рішень. Основною метою досліджень було визначення оптимальних конструкційних і технологічних параметрів гвинтових конвеєрів та режимів робочого процесу. За результатами експериментів проводилась перевірка основних теоретичних положень.

Програма експериментальних досліджень передбачала наступні етапи:

- проведення лабораторних досліджень для визначення залежностей потужності на приводі гвинтового конвеєра від зміни трьох основних факторів: від приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу конвеєра γ та частоти обертання шнека n ;

- статистичне оброблення результатів експериментів з метою визначення рівнянь регресії та емпіричних залежностей, що адекватно описують досліджувані процеси;

Продуктивність гвинтових конвеєрів визначалась безпосереднім зважуванням вантажу, переміщеного за одиницю часу. Потужність конвеєра оцінювалась за витратами електроенергії спеціальними пристроями, опис яких приведено в [7,10].

Для оцінки відповідності процесів транспортування шнековими механізмами та взаємодії матеріалу із робочими органами належну роль відведено візуальним спостереженням, для чого використовувались прозорі вмонтовані вікна[7,10].

Для визначення впливу конструкційних і кінематичних параметрів (незалежних факторів x_i) гвинтового конвеєра на його споживну потужність під час транспортування пшениці та ячменю (параметр оптимізації N) проведено повнофакторний експеримент, тобто визначення величини потужності на приводі від зміни трьох основних факторів: від приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу конвеєра γ та частоти обертання шнека n , тобто $N=f(\Delta T, \gamma, n)$.

Оброблення отриманих експериментальних даних проведено з використанням загальновідомих методик регресійного аналізу [1,9]. Для отримання регресійних моделей параметрів оптимізації, вибирали відповідний план повнофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у наступній послідовності.

Оскільки, змінні незалежні фактори неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих. Зв'язок між кодованими X_i та натуральними X_i змінними факторами встановлювали за залежністю [1]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (1)$$

де X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Експеримент проводили на трьох рівнях варіювання факторів. Нульовий рівень, або

середнє значення кожного вхідного фактора, визначали за формулою [1]:

$$X_0 = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}, \quad (2)$$

де X_0 – числове значення нульового рівня вхідного фактора;

X_{\max} – числове значення верхнього рівня вхідного фактора;

X_{\min} – числове значення нижнього рівня вхідного фактора.

Інтервали варіювання факторами [1]:

$$\Delta X_i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}. \quad (3)$$

Вводили умовні позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторів, відповідно +1, -1, 0 для побудови план-матриці планування експериментів [9].

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Побудову даної таблиці проведено наступним чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ 3³ прийнято:

- приріст кроку шнека на одному витку ΔT , який кодували індексом x_1 ;
- кут нахилу конвеєра γ , який кодували індексом x_2 ;
- частота обертання шнека n , яку кодували індексом x_3 .

Зовнішній діаметр шнека дорівнює 150 мм, довжина робочої частини шнека 1,5 м, початковий крок витка шнека T_0 відповідає коефіцієнту кроку $k_{T1}=0,8$ і дорівнює 120 мм. Досліджувані прирости кроку витків шнека вибирали із умови, яка полягала в тому, що коефіцієнт кроку k_{T2} максимального кроку шнека T_{\max} не повинен перевищувати 1,25. Тому вибрано наступні параметри: 1) $\Delta T_1=3$ мм, $T_{\max}=150$ мм, $k_{T2}=1,0$; кількість витків – 11; 2) $\Delta T_2=5$ мм, $T_{\max}=167$ мм, $k_{T2}=1,115$; кількість витків – 10,5; 3) $\Delta T_3=7$ мм, $T_{\max}=182$ мм, $k_{T2}=1,21$; кількість витків – 10.

Частоту обертання шнека n вибирали із умови забезпечення достатньої продуктивності та зменшення травмування зерна.

Таблиця 1. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Table 1. Results of encoding factors and their levels of variation

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Приріст кроку шнека на одному витку	ΔT , м.	x_1	0,002	0,007(+1)	0,005(0)	0,003(-1)
Кут нахилу конвеєра	γ , град.	x_2	15	45(+1)	30(0)	15(-1)
Частота обертання шнека	n , об/хв	x_3	150	400(+1)	250(0)	100(-1)

Після кодування вхідних факторів склали план-матрицю повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 для загальної кількості дослідів $N_1 = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання, k – кількість вхідних факторів у експерименті.

З метою достовірної оцінки експериментальних даних, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, викладеною у [1], при цьому досліди проводили у трикратній повторності.

Функцію відгуку (параметр оптимізації) приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратичного полінома, який описує реальний експериментальний процес:

$$\eta = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3)$$

де η – експериментальне значення потужності на приводі кВт; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – коефіцієнти регресії відповідних значень вхідних факторів;

x_i ; x_1, x_2, x_3 – вхідні кодовані фактори.

Коефіцієнти апроксимуючого полінома, представленого у вигляді повного квадратичного рівняння, за умови ортогональності та симетрії, визначали за відповідними загальними формулами [9]:

- вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактора:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N_1}; \quad (4)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N_1}, \quad (5)$$

де x_{iu} – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану експерименту;

\bar{y}_u – середній результат u -го дослідів;

u – порядковий номер дослідів;

i – номер фактора;

j, k – номер фактора, відмінного від i -го;

N_1 – кількість проведених експериментів.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії b_i проводили за t -критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [7]:

- визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану ПФЕ:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (6)$$

де n – кількість паралельних дослідів (повторюваностей одного експерименту); $j = 1, 2, \dots, n$;

- визначали дисперсію відтворення дослідів:

$$S_y^2 = \frac{1}{N_1} \sum_{u=1}^{N_1} S_u^2, \quad (7)$$

- визначали похибку відтворення:

$$S_y = \sqrt{S_y^2}, \quad (8)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів b_i рівняння регресії:

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{N_1 n}}, \quad (9)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності f та рівня значимості α [9].

Ступінь відповідності дорівнює:

$$f = (n - 1)N_1. \quad (10)$$

Якщо умова значимості (9) не виконується, то такий коефіцієнт b_i рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член x_i рівняння регресії виключали.

Перевірку адекватності математичної моделі експериментальним даним, тобто відповідність математичної моделі реальному процесу, здійснювали за F -критерієм Фішера наступним чином [9]:

- визначали дисперсію адекватності:

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N_1 - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (11)$$

де $N_1 - g'$ – число степеней вільності дисперсії адекватності;

g' – число значимих коефіцієнтів у рівнянні регресії;

\bar{y}_u – середнє значення відгуку в u -му досліді;

\tilde{y}_u – значення відгуку в u -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії;

- визначали розрахунковий критерій відповідності Фішера F_p :

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (12)$$

де S_y^2 – дисперсія відтворення дослідів;

- визначали табличне значення критерію Фішера F_T за заданим рівнем значимості α і двома степенями відповідності [7]: $f_{ag} = N_1 - g$ та

$$f_y = N_1(n - 1).$$

Умову адекватності вибраної математичної моделі перевіряли згідно нерівності:

$$F_p < F_T. \quad (13)$$

Отримане значення F_p порівнювали з табличним F_T . Якщо умова $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$ виконувалась, тобто розрахункове значення F_p -критерію Фішера менше табличного F_T при 5% – му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності $f_{ag} = N_1 - g$ та числі степені вільності дисперсії відтвореності $f_y = N_1(n - 1)$, то рівняння регресії ПФЕ адекватне експериментальним даним.

На основі методики проведення досліджень з використанням повнофакторного експерименту проведено ряд експериментальних досліджень, в яких визначали залежність потужності на приводі нахиленого гвинтового конвеєра від приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу конвеєра γ та частоти обертання шнека n під час транспортування пшениці та ячменю.

Визначено невідомі коефіцієнти регресії квадратичного полінома за формулами 4 і 5, отримані значення коефіцієнтів регресії зведено у табл. 2.

Загальний вигляд рівняння регресії потужності на приводі гвинтового конвеєра залежно від зміни приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу конвеєра γ та частоти обертання шнека n , тобто

$N_{(x_1, x_2, x_3)} = f(\Delta T, \gamma, n)$ за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодованих величинах дорівнює:

- для транспортування пшениці[7]:

$$N_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,017 - 0,013x_1 + 0,062x_2 + 0,241x_3 - 0,0028x_1x_2 - \quad (14)$$

$$-0,014x_1x_3 + 0,048x_2x_3 + 0,0026x_1^2 - 0,0063x_2^2 + 0,116x_3^2,$$

- для транспортування ячменю[7]:

$$N_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,153 - 0,012x_1 + 0,056x_2 + 0,217x_3 + 0,0024x_1x_2 - \quad (15)$$

$$-0,013x_1x_3 + 0,043x_2x_3 + 0,0024x_1^2 - 0,0057x_2^2 + 0,104x_3^2,$$

де x_1 – кодоване значення приросту кроку шнека на одному витку;

x_2 – кодоване значення кута нахилу конвеєра;

x_3 – кодоване значення частоти обертання шнека.

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

Table 2. Values of the coefficients of regression equations

Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}
пшениця	0,17	-0,013	0,062	0,241	0,0028
ячмінь	0,153	-0,012	0,056	0,217	0,0024
Коефіцієнт	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
пшениця	-0,014	0,048	0,0026	-0,0063	0,116
ячмінь	-0,013	0,043	0,0024	-0,0057	0,104

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірку адекватності (відповідності) отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівнянь регресії (4.7-4.8) реальному експериментальному процесу проводили згідно методики [9].

У натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (14-15) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді[7]:

- для транспортування пшениці

$$N_{(\Delta T, \gamma, n)} = 7,787 \cdot 10^{-2} + 1,317\Delta T + 9,65 \cdot 10^{-4} \gamma - 1,378 \cdot 10^{-3} n - 9,167 \cdot 10^{-2} \Delta T \gamma - \quad (16)$$

$$-4,667 \cdot 10^{-2} \Delta T n + 2,134 \cdot 10^{-5} \gamma n + 660\Delta T^2 - 2,844 \cdot 10^{-5} \gamma^2 + 5,156 \cdot 10^{-6} n^2,$$

- для транспортування ячменю[7]:

$$N_{(\Delta T, \gamma, n)} = 6,706 \cdot 10^{-2} + 1,363\Delta T + 8,889 \cdot 10^{-4} \gamma - 1,221 \cdot 10^{-3} n - 8,267 \cdot 10^{-2} \Delta T \gamma - \quad (17)$$

$$-4,333 \cdot 10^{-2} \Delta T n + 1,911 \cdot 10^{-5} \gamma n + 595\Delta T^2 - 2,533 \cdot 10^{-5} \gamma^2 + 4,62 \cdot 10^{-6} n^2.$$

Отримані рівняння регресії (14-15) та регресійні залежності (16-17) можуть бути використані для визначення потужності N на приводі гвинтових конвеєрів залежно від приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу транспортера γ та частоти обертання шнека n при транспортуванні пшениці і ячменю у таких межах зміни вхідних факторів:

$$0,003 \leq \Delta T \leq 0,007 \text{ (м); } 15 \leq \gamma \leq 45 \text{ (град);}$$

$$100 \leq n \leq 400 \text{ (об/хв).}$$

Для визначення впливу основних конструктивних параметрів конвеєрів на потужність приводу, тобто встановлення залежності потужності приводу від приросту кроку шнека на одному витку, кута нахилу конвеєра та частоти обертання шнека при транспортуванні пшениці, ячменю використовували програмне забезпечення

Statistica-6.0 для ПК, за допомогою якого побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів потужності N як функцію від двох змінних факторів $x_{i(1,2)}$ за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора $x_{i(3)} = const$. Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основним фактором, який впливає на збільшення потужності є фактор $x_3(n)$ і в меншій мірі фактори $x_2(\gamma)$, та $x_1(\Delta T)$ та комбінації цих факторів.

Графічні значення результатів залежності потужності на приводі, одержаної з використанням Mathcad 2000 Professional, наведено на рис. 1–6. [7]:

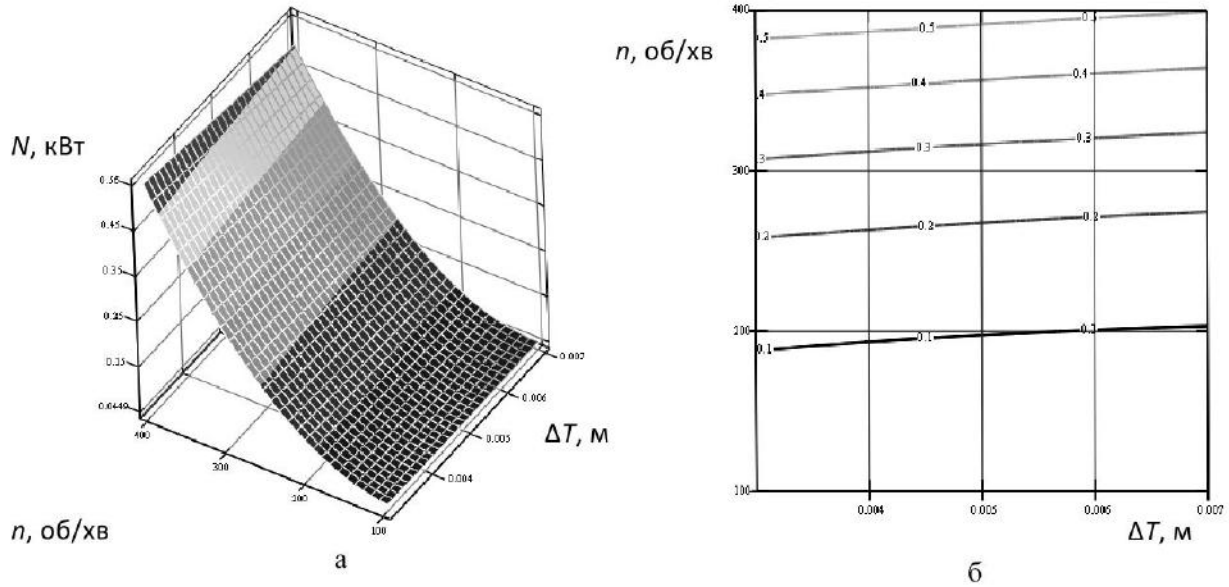


Рис. 1. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(\Delta T, n)}$ під час транспортування пшениці від приросту кроку шнека на одному витку та частоти обертання шнека ($\gamma=30$ град)

Fig. 1. Review and surface(a) and dimensional response surface section (b) dependence of power on the drive belt when transporting wheat gains one step screw development and rotational speed screw ($\gamma = 30$ hrad)

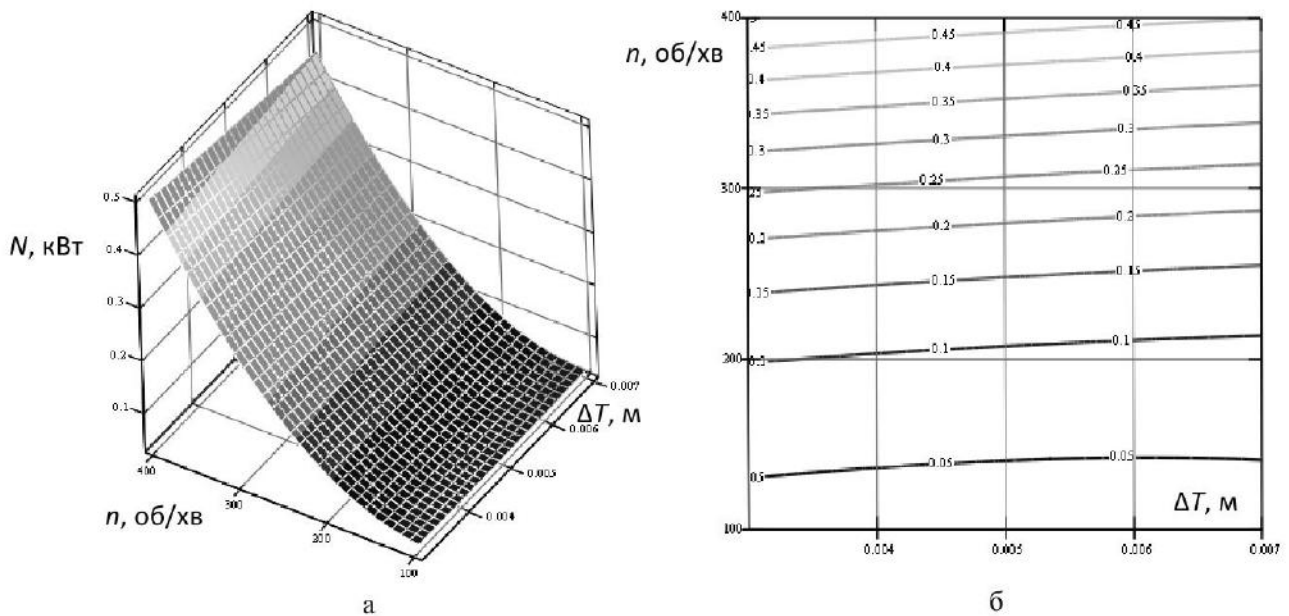


Рис. 2. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(\Delta T, n)}$ під час транспортування ячменю від приросту кроку шнека на одному витку та частоти обертання шнека ($\gamma=30$ град)

Fig. 2. Review and surface(a) and dimensional response surface section (b) dependence of power on the drive belt during transport of barley growth step screw on one development and frequency of rotation of the screw ($\gamma = 30$ hrad)

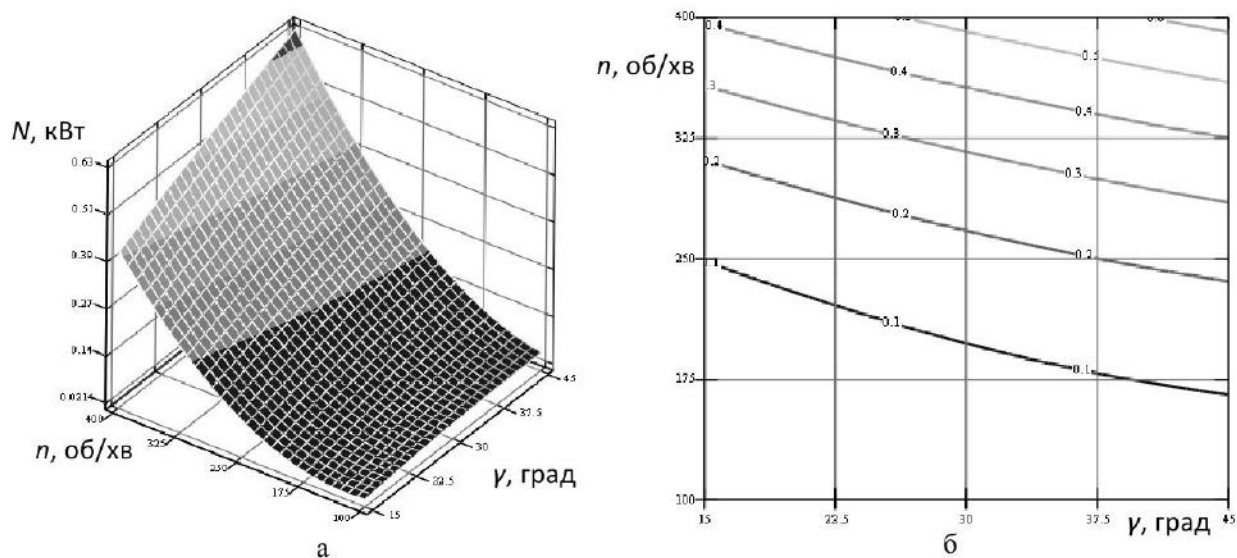


Рис. 3. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(n,\gamma)}$ під час транспортування пшениці від частоти обертання шнека та кута нахилу конвеєра ($\Delta T=0,005\text{м}$)

Fig. 3. The surface response (a) and dimensional response surface section (b) depending on the drive capacity of the conveyor during transportation of wheat on the speed and angle of inclination of the screw conveyor ($\Delta T = 0,005\text{m}$).

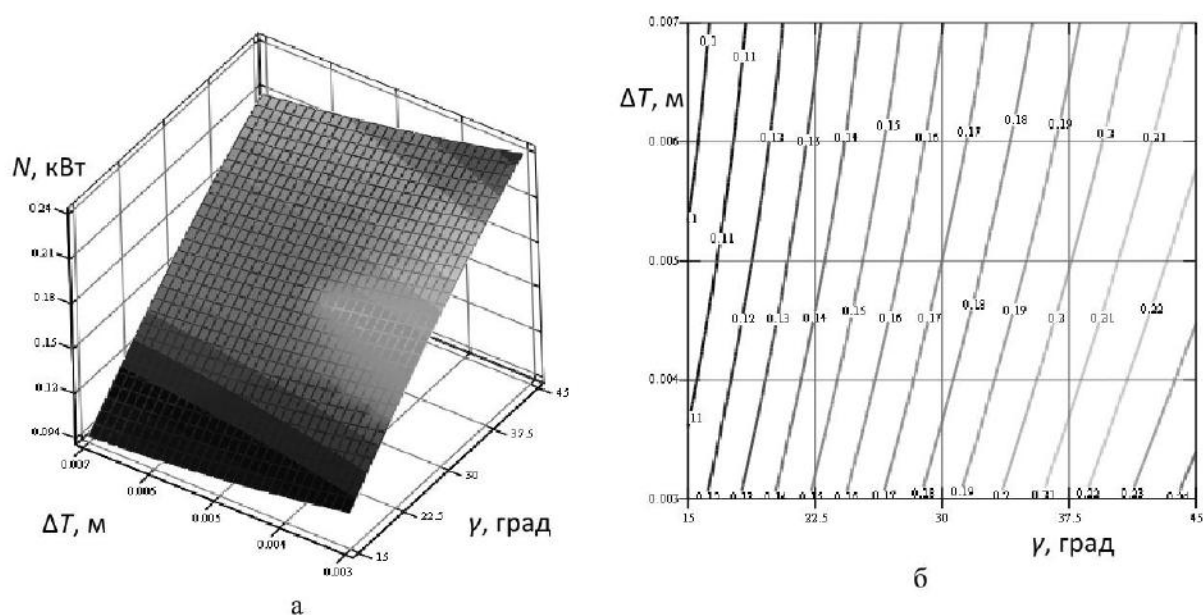


Рис. 4. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(\Delta T,\gamma)}$ під час транспортування пшениці від приросту кроку шнека на одному витку та кута нахилу конвеєра ($n=250\text{ об/хв}$)

Fig. 4. The surface response (a) and dimensional response surface section (b) depending on the drive capacity of the conveyor during transport wheat gains one step screw development and the angle of inclination of the conveyor ($n=250\text{ ob/min}$)

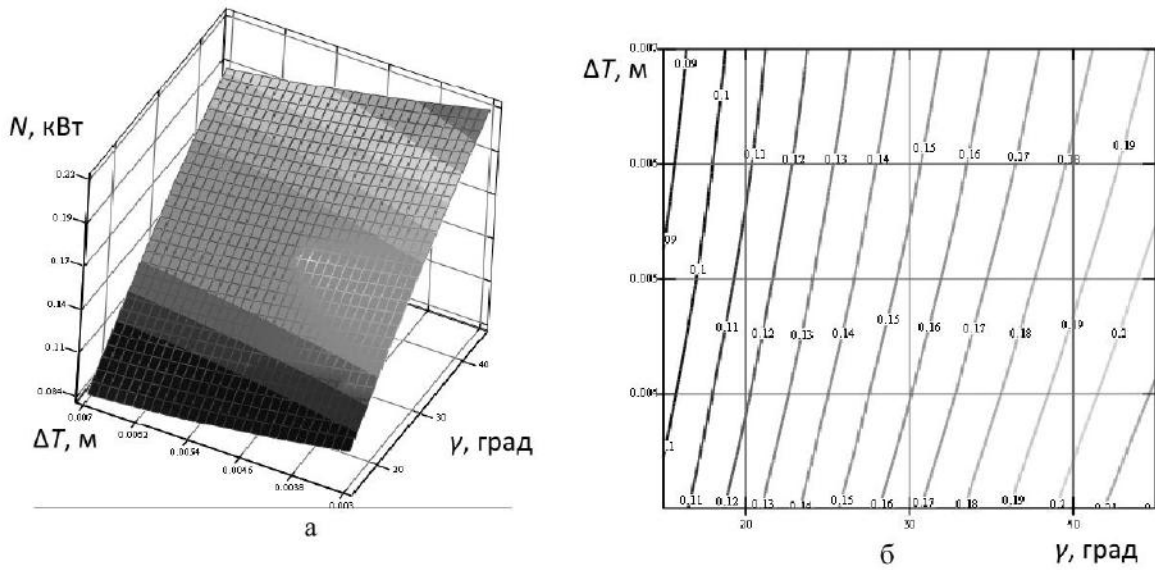


Рис. 5. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(\Delta T, \gamma)}$ під час транспортування ячменю від приросту кроку шнека на одному витку та кута нахилу конвеєра ($n = 250$ об/хв)

Fig. 5. The surface response (a) and dimensional response surface section (b) depending on the drive capacity of the conveyor during transport of barley growth step screw on one development and the angle of inclination of the conveyor ($n = 250$ ob/min)

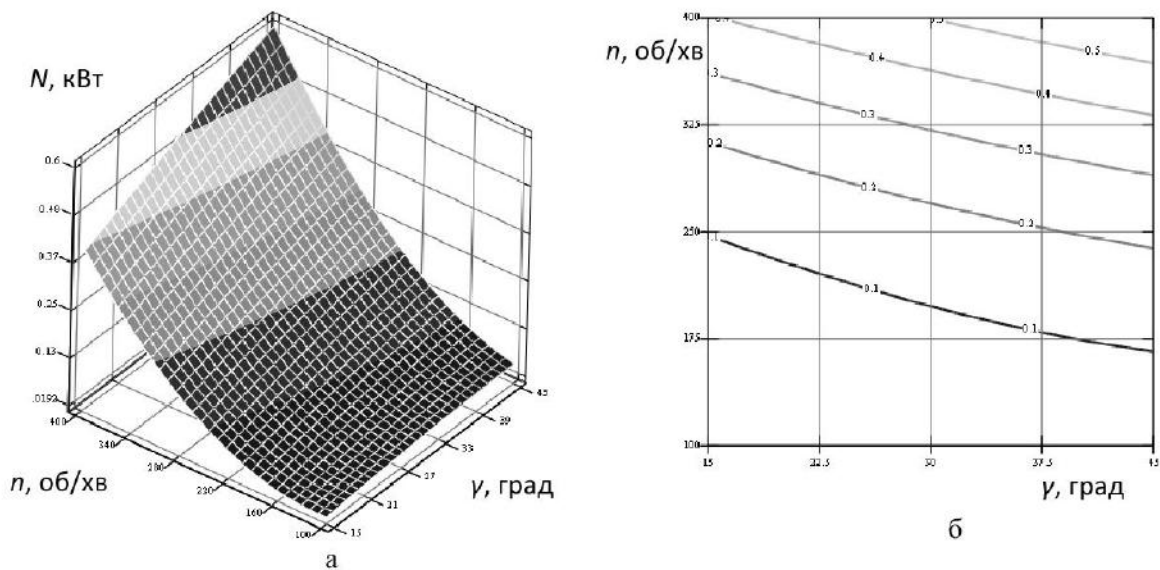


Рис. 6. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності потужності на приводі конвеєра $N_{(n, \gamma)}$ під час транспортування ячменю від частоти обертання шнека та кута нахилу конвеєра ($\Delta T = 0,005$ м)

Fig. 6. The surface response (a) and dimensional response surface section (b) depending on the drive capacity of the conveyor during transport of barley on the speed and angle of inclination of the screw conveyor ($\Delta T = 0,005$ м)

З рисунків 1 – 6 видно, що із збільшенням частоти обертання шнека та кута нахилу гвинтового конвеєра величина потужності на приводі зростає, причому найбільша потужність 0,63 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність під час транспортування ячменю досягала величини 0,6 кВт, а мінімальне значення дорівнювало 0,05 кВт. Збільшення величини приросту кроку шнека від 0,003 м до 0,007 м призводить до зменшення потужності на приводі від 7 до 12%. При цьому збільшення кута нахилу конвеєра від 15 до 45 град. надає приросту потужності від 20 до 35%.

ВИСНОВКИ

1. Представлено результати експериментальних досліджень потужності на приводі нахиленого гвинтового конвеєра від величини приросту кроку шнека на одному витку ΔT , кута нахилу конвеєра γ та частоти обертання шнека n під час транспортування пшениці та ячменю у таких межах зміни вхідних факторів: $0,003 \leq \Delta T \leq 0,007$ (м); $15 \leq \gamma \leq 45$ (град); $100 \leq n \leq 400$ (об/хв).

2. Статистично оброблено результати експериментальних досліджень та виведено рівняння регресії, що адекватно описують досліджувані процеси для визначення потужності на приводі гвинтового конвеєра.

3. Максимальна потужність на приводі гвинтового конвеєра складає 0,66 кВт. Під час транспортування ячменю аналогічні показники – 0,6 кВт.

4. Збільшення величини приросту кроку шнека від 0,003 м до 0,007 м призводить до зменшення потужності на приводі від 7 до 12%. При цьому збільшення кута нахилу конвеєра від 15 до 45 град. надає приросту потужності від 20 до 35%.

5. Тому збільшення величини приросту кроку шнека є доцільним способом збереження енерговитрат на привод гвинтового конвеєра.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 215 с.

2. Бойко А. І. Аналіз конструкцій гвинтових транспортерів та живильників зерноочисних машин / А. І. Бойко, В. Л. Куликівський // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 93, Т. 1. – С. 199-205.

3. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львів: Вища школа, 1989. – 176 с.

4. Гевко Б. М. Оптимизация конструктивных параметров шнековых конвейеров / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский // Изв. вузов машиностроения. – 1987. – № 5. – С. 109-114.

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

6. ГОСТ 2705-73. Шнеки для сельскохозяйственных машин. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 16 с.

7. Грудовий Р. С. Обґрунтування конструкцій і параметрів робочих органів шнекових транспортерів зерна: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Грудовий Роман Сергійович. – Вінниця, 2013. – 180 с.

8. ДСТУ 2672-94. Конвеєри гвинтові. Загальні технічні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1994. – 10 с.

9. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія та практикум з програмним забезпеченням: навчальний посібник / В. В. Душинський. – К.: НТУУ «КПІ», 1998. – 408 с.

10. Дячун А.Є. Стендове оснащення для дослідження силових параметрів гвинтових механізмів сільськогосподарських машин / А. Є. Дячун, Р. С. Грудовий // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2012. – № 3(67). – С. 249–255.

11. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К., 1997. – 502 с.

12. Дячун А.Є. Стендове оснащення для дослідження силових параметрів гвинтових механізмів сільськогосподарських машин / А. Є. Дячун, Р. С. Грудовий // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2012. – № 3(67). – С. 249–255.

13. Ловейкін В. С. Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця: ВДАУ, 2005. – Вип. 23. – С. 181-195.

14. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка. К., 2004. – № 2. – С. 8-15.

15. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К., 1997. – 502 с.

16. Рогатинська О. Р. Обґрунтування параметрів навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / Рогатинська Олена Романівна. – Тернопіль, 2006. – 167 с.

REFERENCE

1. Adler Iu. P. Planirovanye eksperymenta pry royske optymalnykh resheniy / Iu. P. Adler, E. V. Markova, Iu. V. Hranovskiy. – M.: Nauka, 1971. – 215 s.

2. Boiko A. I. Analiz konstruktсии hvyn-tovykh transporteriv ta zhyvlynykiv zernoochysnykh mashyn / A. I. Boiko, V. L. Kulykivskiy // Visnyk Kharkivskoho nats. tekhn. un-tu silskoho gospodarstva im. P. Vasylenka. – Kharkiv, 2011. – Vyp. 93, T. 1. – S. 199-205.

3. Hevko B. M. Vyntovye podaiushchye mekhanizmy sel'skokhoziaistvennykh mashyn / B. M. Hevko, P. M. Rohatynskiy. – Lviv: Vyshcha shkola, 1989. – 176 s.

4. Hevko B. M. Optymizatsiya konstruktivnykh parametrov shnekovykh konveierov / B. M. Hevko, P. M. Rohatynskiy // Yzv. vuzov mashynostroeniya. 1987. № 5. S. 109-114.

5. Hevko I. B. Hvyntovi transportno-tekh-nolohichni mekhanizmy: rozrakhunok i konstruiuvannia / I. B. Hevko. – Ternopil: TDTU imeni Ivana Puliuia, 2008. – 307 s.

6. HOST 2705-73. Shneky dlia sel'sko-khoziaistvennykh mashyn. M.: Yzdatelstvo standartov, 1973. – 16 s.

7. Hrudovyi R. S. Obgruntuvannia konstrukt-sii i parametrov robochykh orhaniv shnekovykh transporteriv zerna: dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.05.11 / Hrudovyi Roman Serhiiovich. – Vinnytsia, 2013. – 180 s.

8. DSTU 2672-94. Konveiry hvyntovi. Zahalni tekhnichni vymohy. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – 10 s.9. Dushynskiy V. V. Osnovy naukovykh doslidzhen. Teoriia ta praktykum z prohramnym zabezpechenniam: navchalnyi posibnyk / V. V. Dushynskiy. K.: NTUU «KPI», 1998. – 408 s.

10. Diachun A.Ie. Stendove osnashchennia dlia doslidzhennia sylovykh parametrov hvyn-tovykh mekhanizmiv silskohospodarskykh mashyn / A. Ie. Diachun, R. S. Hrudovyi // Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Ternopil, 2012. – № 3(67). – S. 249–255.

11. Rohatynskiy R. M. Mekhaniko-tekh-nolohichni osnovy vzaiemodii shnekovykh robochykh orhaniv z syrovynoiu silskohospodarskoho vyrobnytstva: dys. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.20.01, 05.05.05 / Rohatynskiy Roman Mykhailovich. – K., 1997. – 502 s.

12. Dyachun A.Ye. Stendove osnashchennya dlya doslidzhennya sylovykh parametrov hvyn-tovykh mekhanizmiv silskohospodarskykh mashyn / A. Ye. Dyachun, R. S. Hrudovyy // Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Ternopil, 2012. – № 3(67). – S. 249–255.

13. Loveykin V. S. Vybir ratsionalnykh parametrov ta rezhymiv roboty vertykalnykh hvyn-tovykh konveyeriv / V. S. Loveykin, O. R. Rohatynska // Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnogo aharnoho universytetu. Vinnytsya: VDAU, 2005. – Vyp. 23. S. 181-195.

14. Loveykin V. S. Optymizatsiya rezhymiv roboty hvyn-tovykh konveyeriv / V. S. Loveykin, O. R. Rohatynska // Pidyomno-transportna tekhnika. K., 2004. № 2. S. 8-15.

15. 16. Rohatynskyy R. M. Mekhaniko-tekh-nolohichni osnovy vzayemodiyi shnekovykh robochykh orhaniv z syrovynoyu silskohospodars'koho vyrobnytstva: dys. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.20.01, 05.05.05 / Rohatynskyy Roman Mykhaylovych. – K., 1997. – 502 s.

16. Rohatynska O. R. Obgruntuvannya parametrov navantazhennya i konstrukt-siy hvyn-tovykh konveyeriv: dys. kand. tekhn. nauk: 05.05.05 / Rohatynska Olena Romanivna. Ternopil, 2006. 167 s.