

УДК 621.82

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗУСИЛЛЯ НАТЯГУ ТРОСА ПІДНІМАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ ЛЕБІДОК

Гевко Б.М. д.т.н., Клендій В.М. к.т.н., Мельничук С.Л., Пиндус Т.Б.  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

*Встановлено залежності швидкості руху канатного механізму від маси вантажу, кута нахилу траси транспортування і довжини проходження вантажу. Складено таблиці повно факторного експерименту ПФЕЗ<sup>3</sup> і побудовані поверхні відгуків залежності швидкості переміщення вантажу від маси та довжини ходу і двохмоторний перед для різних значень кута нахилу траси в межах  $2,6 < \alpha < 3,8$ . приведені раціональні параметри канатного механізму переміщення вантажів і гвинтових опор.*

**Постановка проблеми.** Піднімально-транспортні машини і механізми є основою механізації та автоматизації виробництва. Від правильного вибору і розрахунку механізмів машин залежить їх експлуатаційна надійність і довговічність. Робота більшості транспортуючих пристроїв зазвичай супроводжується певними динамічними навантаженнями, які частково спричиняються неточністю монтажу ланок кінематичного ланцюга певного механізму. В практиці транспортування вантажів за допомогою піднімально-транспортних лебідок часто спостерігаються випадки його пуску в завантаженому стані, після попередньої зупинки. Крім цього, зовнішні навантаження на робочі елементи піднімально-транспортної лебідки носять не постійний характер, що призводить до зростання динамічних навантажень на елементи конвеєра, які можуть привести до виходу з ладу конструктивних частин конвеєра..

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Теоретичні основи та методи визначення конструктивних, кінематичних, динамічних, технологічних, функціональних, експлуатаційних та інших параметрів і характеристик гвинтових елементів присвячені роботи багатьох вчених: Зенкова Р. Л. [2] Гевка Б.М., Рогатинського Р.М. [4]. Вивченню динаміки вантажопідіймальних канатів присвячені роботи багатьох вчених: Г.Н.Савіна, О.А.Горошко, Ф.В.Флоринського, Іванченко Ф.К. [1] та багато інших. В цих роботах автори обґрунтовують запаси міцності канатів в залежності від режиму роботи, а в області динаміки тягових і вантажопідіймальних канатів підвісних установок відомі роботи Мартинціва М.П. [3], Ляшука О.Л., Колесника О.А. [7]. Оскільки при використанні подібного обладнання, наприклад лебідок, підйомників, виникає необхідність надання їм постійного базування при значних

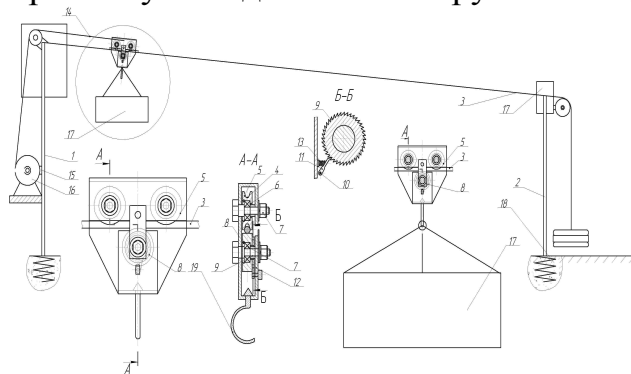
навантаженнях, то потрібно під час проектування проводити відповідні експериментальні дослідження.

**Метою роботи** є розроблення спеціального стендового оснащення й проведення досліджень піднімально-транспортних лебідок як багатоланкової механічної моделі.

**Реалізація роботи.** Для підтвердження теоретичного дослідження параметрів і режимів роботи гвинтових піднімально-транспортних лебідок необхідно обґрунтувати конструктивні і силові технологічні параметри які дозволять забезпечити підвищення навантажувальної здатності та розширять їх технологічні можливості при використанні в народному господарстві.

На основі цього було спроектовано канатний механізм переміщення вантажів (рис.1.) який виконано у вигляді двох опор – передньої 1 і задньої 2, які з'єднані між собою на певній висоті канатом 3. Перша із них має більшу висоту, а друга меншу. З лівого кінця на тросі жорстко встановлено транспортний пристрій 4 П-подібної форми для зменшення коливань при русі, і який виконано у вигляді двох опорних роликів 5, які по зовнішньому діаметрі мають півкруглі канавки 6, які знизу є у взаємодії з канатом 3 з можливістю осевого переміщення і які встановлені вертикально. Внутрішніми отворами опорні ролики 5 є у взаємодії з циліндричними пальцями 7 з можливістю кругового повертання через підшипник кочення.

Третій нижній ролик 8 встановлено під канатом зоні між верхніми опорними роликами 5, а до правої площини цього ролика жорстко закріплено храпове колесо 9, яке є у взаємодії зі стопорною собачкою 10, яка жорстко встановлена на осі 11, а та в свою чергу жорстко закріплена по середині правої нижньої стійки 12 П – подібної форми з можливістю коливного руху і жорстко притиснута за допомогою пружини 13 до храпового колеса 9.



а)



б)

Рисунок 1 - Конструктивна схема а) та експериментальна установка механізму переміщення вантажів

Крім цього механізм оснащений обмежувачем швидкості переміщення вантажів 13, який виконано у вигляді троса 14, який є у взаємодії з намотувальним барабаном 15, який жорстко закріплений на шпінделі асинхронного електродвигуна 16 регулювання швидкості руху канату 3 з

вантажом 13, режиму гальмування при переміщенні вантажу на певну довжину і до храпового колеса 9 і стопорної собачки 10. Причому двигун 16 жорстко закріплений до передньої опори 1.

Для керування роботою механізму служить пульт управління 17. Одним кінцем канат 3 жорстко закріплений до фундаменту 18 відомим способом, а другий кінець до опори 1 верхнього кінця.

Робота механізму здійснюється наступним чином. Вантаж 13, який необхідно перемістити навшують на гак 18 транспортного механізму 4 з обмежувачем його переміщення і здійснюють його переміщення під власною вагою з пульта управління 17 згідно відповідної програми. І коли вантаж доходить до низу його знімають і транспортний пристрій 4 за допомогою намотувального барабана 15 повертають назад за допомогою електроприводу 16, а в разі потреби його гальмують з використанням храпового механізму.

Проведено дослідження з використанням повнофакторного експерименту ряд експериментальних досліджень, в яких визначали залежність швидкості руху механізму переміщення вантажів від маси вантажу, довжини проходження механізму, кута нахилу лінії канатної дороги та час проходження механізму.

Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалось для подальшого статистичного оброблення результатів експерименту двох етапах.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто швидкість проходження механізму  $V = f(m, L, \alpha)$ , визначеного експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома [5, 6]:

$$V, P = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (1)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;  $x_1, x_2, x_3$  - відповідні кодовані фактори.

Для побудови вибраної математичної моделі з всього напрацьованого експериментального масиву даних складено таблиці результатів повного факторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  (першого етапу). Побудову даних таблиць проведено наступним чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ  $3^3$  прийнято:

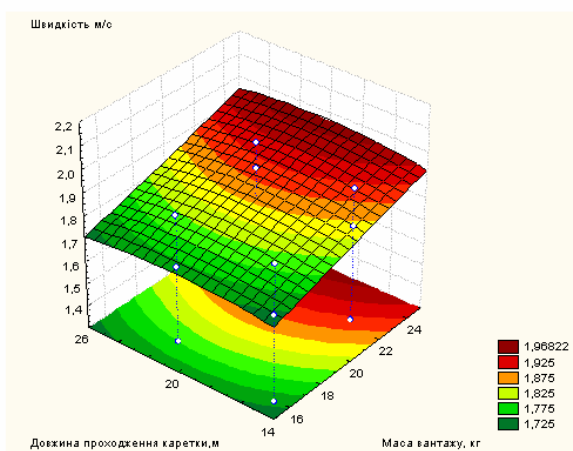
- маса вантажу  $m$ , який кодували індексом  $x_1$ ;
- довжини проходження механізму  $L$ , яку кодували індексом  $x_2$ ;
- кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , яку кодували індексом  $x_3$ .

Характеристику факторів та значення їх рівнів наведено у табл. 1.

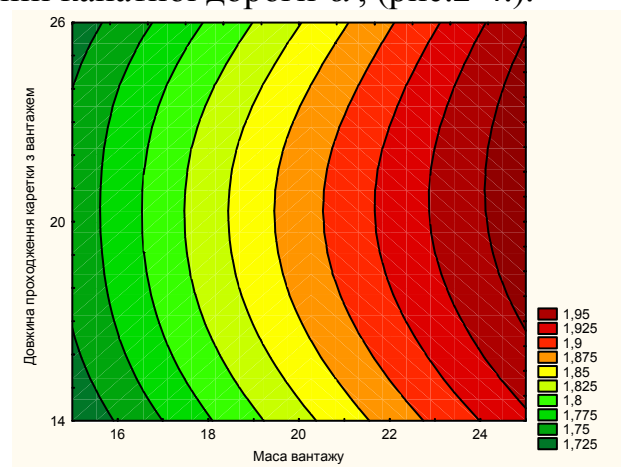
Таблиця 1. Характеристика факторів та значення їх рівнів

Кодоване позначення фактора	Найменування фактора	Значення рівнів фактора
$x_1$	маса вантажу $m$ , кг	15-20-25
$x_2$	довжини проходження механізму $L$ , м	14-20-26
$x_3$	кута нахилу лінії канатної дороги $\alpha$ , град	2,6-3,2-3,8

На основі проведених досліджень можна побудувати графічні залежності  $V = f(m, L, \alpha)$  які дають визначити основні параметри механізму для переміщення вантажів змінними факторами маса вантажу  $m$ , довжини проходження механізму  $L$ , кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , (рис.2-4.).

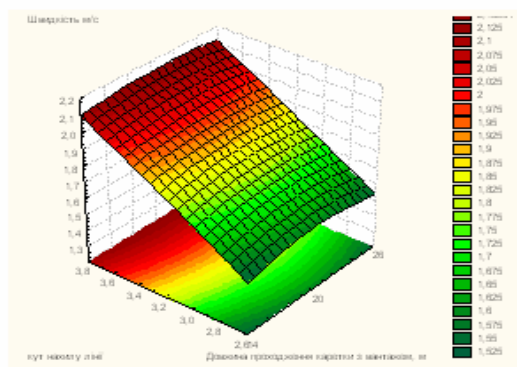


а)

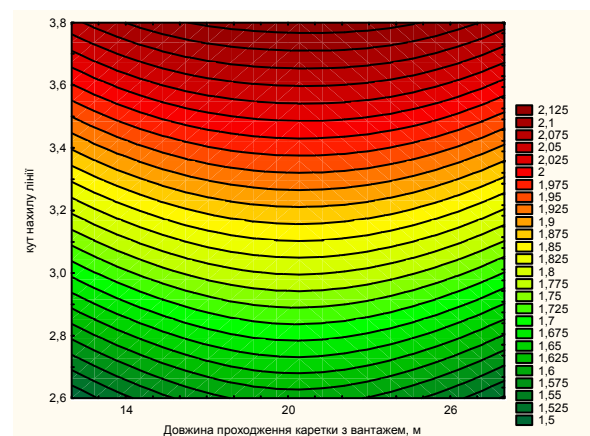


б)

Рисунок 2 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності швидкості механізму переміщення вантажу  $V_{(m,L)}$  від маси вантажу  $m$  та довжини проходження механізму  $L$  при куті нахилу лінії канатної дороги  $\alpha = 2.6$  ,град

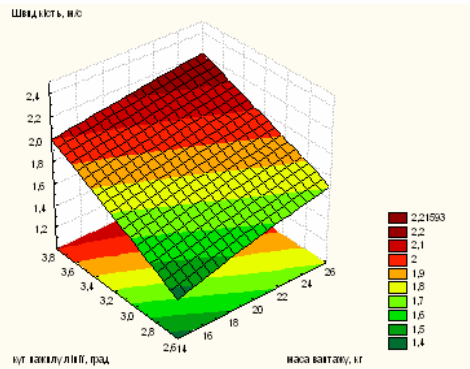


а)

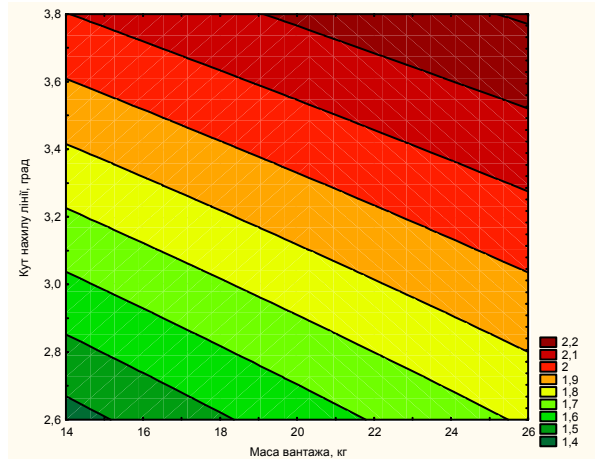


б)

Рисунок 3 - Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності швидкості механізму переміщення вантажу  $V_{(L,\alpha)}$  від довжини проходження механізму  $L$  та кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , град при маси вантажу  $m = 20$ кг



а)



б)

Рисунок 4 - Поверхня відгуку а) та двовірний переріз поверхні відгуку б) залежності швидкості механізму переміщення вантажу  $V_{(m,\alpha)}$  від маси вантажу  $m$  та кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , град при довжині проходження механізму  $L = 20\text{ м}$

З рис. 2-4 видно, що швидкість механізму переміщення вантажу залежить від маси вантажу  $m$ , кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , град та довжини проходження механізму  $L$ . Отже, при збільшенні кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$  і маси вантажу  $m$  швидкість механізму переміщення вантажу зростає і досягає 2,2 м/с. Із аналізу графічних залежностей встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення  $V$ , є величина  $\alpha$ , а найменш впливовим є  $L$ . Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів:  $15 < m < 25$  (кг);  $14 < L < 26$  (м);  $2,6^0 < \alpha < 3,8^0$ .

Також проведено лабораторні дослідження які складається з двох окремих повно факторних експериментів: в першій серії дослідів визначали залежність сили натягу канату від зовнішнього діаметра шнека гвинтової опори  $D$ , глибини загвинчування опори в ґрунт  $h$  і абсолютна вологість ґрунту  $W$   $P_1 = f(D, h, W)$  і друга серія дослідів – залежність зусилля натягу каната від довжини полицки  $H$  гвинтової спіралі, кроку  $T$  спіралі і ширини спіралі  $B$  гвинтової опори  $P_2 = f(H, T, B)$ .

Для побудову даних таблиць проведено наступним чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ  $3^3$  прийнято:

- діаметра стержня гвинтової опори  $D$ , який кодували індексом  $x_1$ ;
- глибина загвинчування опори в ґрунт  $h$ , яку кодували індексом  $x_2$ ;
- абсолютна вологість ґрунту  $W$ , яку кодували індексом  $x_3$ .

Характеристику факторів та значення їх рівнів наведено у табл. 2.

Кодоване позначення фактора	Найменування фактора	Значення рівнів фактора
$x_1$	діаметр стержня гвинтової опори $D$ , мм	80-100-120
$x_2$	глибина загвинчування опори в ґрунт $h$ , мм	400-600-800
$x_3$	абсолютна вологість ґрунту $W$ , %	15-30-45

Загальний вигляд рівняння регресії зусилля натягу троса залежно від зміни діаметр стержня гвинтової опори, глибина загвинчування гвинтової опори в ґрунт та ширина спіралі гвинтової опори, тобто  $P_{(x_1, x_2, x_3)} = f(D, h, W)$  за результатами проведених ПФЕ 3<sup>3</sup> у кодovаних величинах дорівнюють:

У натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (2-4) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

- для опор, загвинчених у дерн:

$$P_{(D, h, W)}^{Дер} = 296,05 - 21,83D - 0,28h - 39,85W + 1,41DW + 0,223Dh + 0,025hW + 0,17D^2 + 1,3W^2 ; \quad (2)$$

- для опор, загвинчених у чорнозем:

$$P_{(D, h, W)}^{Чор} = 266,18 - 20,53D + 0,18h - 31,89W + 1,14DW + 0,18Dh + 0,019hW + 0,18D^2 + 1,04W^2 ; \quad (3)$$

- для опор, загвинчених у піщаний ґрунт:

$$P_{(D, h, W)}^{Піщ} = 2895 + 21,175D - 0,97h - 55,395W + 0,81DW + 0,129Dh + 0,014hW - 0,5D^2 + 0,0011h^2 + 2,044W^2 \quad (4)$$

Отримані рівняння регресії (2-4) можуть бути використані для визначення зусилля натягу троса  $P$  залежно від діаметра стержня гвинтової опори, глибина загвинчування гвинтової опори в ґрунт та абсолютна вологість ґрунту у таких межах зміни вхідних факторів:  $80 \leq D \leq 120$  (мм);  $400 \leq h \leq 800$  (мм);  $15 \leq W \leq 45$  (%).

На рис. 5-7 зображено графічні залежності зусилля натягу троса залежно від зміни діаметр стержня гвинтової опори, глибина загвинчування гвинтової опори в ґрунт та ширина спіралі гвинтової опори, загвинченої в чорнозем.

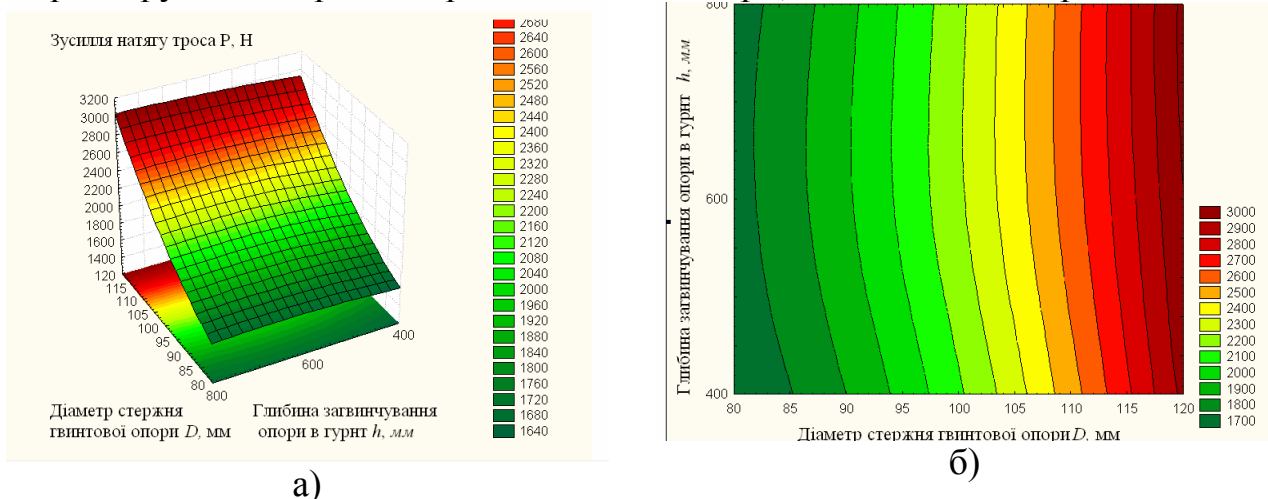
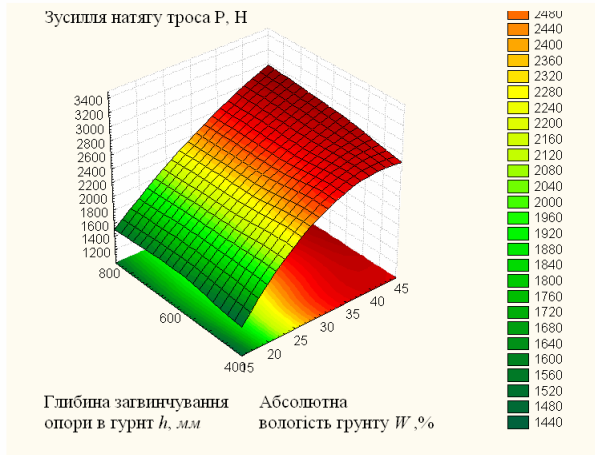
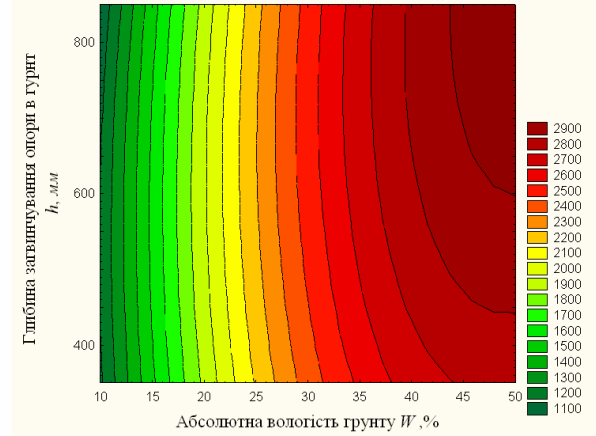


Рис.5. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили натягу троса  $P_{(D, h)}^{Чор}$  для опори, загвинченої в чорнозем від діаметра стержня і глибини загвинчування при абсолютній вологості ґрунту  $W=30\%$

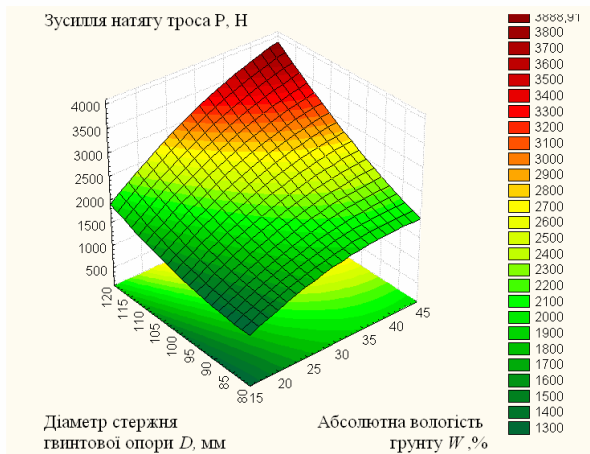


а)

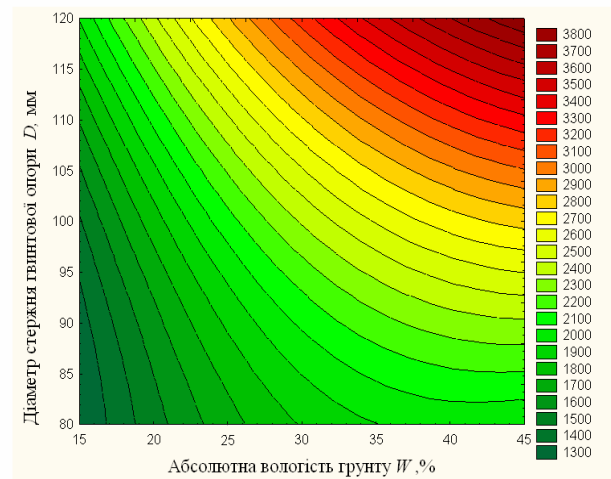


б)

Рис.6. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили натягу троса  $P_{(D,h)}^{тор}$  для опори, загвинченої в чорнозем від глибини загвинчування та абсолютній вологості ґрунту при діаметрі стержня  $D=100$  мм



а)



б)

Рис.7. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили натягу троса  $P_{(D,h)}^{тор}$  для опори, загвинченої в чорнозем від діаметрі стержня та абсолютній вологості ґрунту при глибини загвинчування  $h=600$  мм

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення зусилля натягу троса є: фактори  $x_1, x_2, (D, h)$ , в меншій мірі - фактор  $x_3 (W)$  та комбінації усіх факторів. В загальному для збільшення навантажувальної здатності гвинтових опор піднімально-транспортних лебідок необхідно збільшувати діаметр стержня гвинтової опори, глибину загвинчування гвинтової опори в ґрунт при даних реологічних властивостях.

## Висновок

1. Приведені раціональні конструкторсько-технологічні показники канатного механізму переміщення вантажів та гвинтових опор піднімально-транспортних лебідок для покращення роботи конструкції. Встановлено регресійні залежності, які дозволяють (залежно від вибраного варіанта) визначити швидкість переміщення вантажів та загвинчування гвинтових опор.

2. Встановлено, що швидкість механізму переміщення вантажу залежить від маси вантажу  $m$ , кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$ , град та довжини проходження механізму  $L$ . Отже, при збільшенні кута нахилу лінії канатної дороги  $\alpha$  і маси вантажу  $m$  швидкість механізму переміщення вантажу зростає і досягає 2,2 м/с. Із аналізу графічних залежностей встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення  $V$ , є величина  $\alpha$ , а найменш впливовим є  $L$ . Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів:  $15 < m < 25$  (кг);  $14 < L < 26$  (м);  $2,6^{\circ} < \alpha < 3,8^{\circ}$ .

3. Для загвинчування гвинтових опор в цілому і доцільно застосовувати наступні параметрами: діаметр стержня гвинтової опори  $80 \leq D \leq 120$  (мм); глибина загвинчування опори в ґрунт  $400 \leq h \leq 800$  (мм) та абсолютна вологість ґрунту  $15 \leq W \leq 45$  (%).

## Література

1. Иванченко Ф.К. Піднімально-транспортні машини. [Текст] / Ф.К. Иванченко– К.: Вища школа, 1993. – 414с.
2. Зенков Р. Л. Машини непрерывного транспорта : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности Подъемно-транспортные машины и оборудование / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов // – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
3. Мартинців М.П. Динаміка та надійність підвісних канатних систем Підвищення надійності канатних лісо транспортних систем. [Текст] / М.П. Мартинців, Б.В. Сологуб, М.В. Матвійшин. – Львів: Вид-но НУ «Львівська політехніка», 2011. –188с.
4. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановський // М.: Наука, - 215с.
6. Душинський В.В. Основи наукових досліджень. / В.В. Душинський // К.:Вища школа, 2002. – 386 с.
7. Ляшук О.Л. Теоретичне обґрунтування сили натягу канату лебідкою [Текст] / О.Л. Ляшук, О.А. Колесник// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка: зб. наук. праць. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 59, Т2 – С.119 – 124.



**Аннотация****Результаты экспериментальных исследований усилия натяжения троса подъемно-транспортных лебедок**

Гевко Б.М. д.т.н., Клендий В.М. к.т.н., Мельничук С.Л., Пындус Т.Б.

*Установлены зависимости скорости движения канатного механизма от массы груза, угла наклона трассы транспортировки и длины прохождения груза. Составлены таблицы полно факторного эксперимента ПФЕЗЗ и построены поверхности отzyвов зависимости скорости перемещения груза от массы и длины хода и двухмоторный перед для различных значений угла наклона трассы в пределах  $2,6 < \alpha < 3,8$ . приведены рациональные параметры канатного механизма перемещения грузов и винтовых опор.*

**Abstract****Results of experimental studies rope pulling force lifting-transporting barrels**

B. Hevko, V. Klendiy, S. Melnychuk, T. Pyndus

*The dependences of the speed of the rope mechanism of the weight of the cargo transportation route slope angle and length of the passage of cargo. A table full factorial experiment PFEZ3 reviews and constructed surface velocity depending on load weight and length of move before and dvohmotornyy for different values of the angle of inclination route within  $2,6 < \alpha < 3,8$ . given rational parameters rope-moving mechanism and screw supports.*