

УДК .621.867.133

**О.Дудін**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ЗОНИ ЗАВАНТАЖЕННЯ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**

*У статті розглянуто дослідну модель скребкового конвеєра для переміщення легких сипких вантажів. Приведено експериментальні дані визначення динамічних параметрів конвеєра при транспортуванні. Описано експериментальну схему для визначення довжини завантажувальної зони з умови досягнення максимальної продуктивності. Зроблено порівняння дослідних та теоретичних результатів. Дано практичні рекомендації щодо вибору конструктивних і технологічних параметрів транспортування вантажу в зоні завантаження.*

### **Умовні позначення**

- $l_1$  - довжина поступового руху скребка у сипкому тілі;
- $\beta_3$  - кут напрямку руху скребків до горизонталі у зоні завантаження;
- $\alpha_c$  - кут природного відкосу насипного вантажу;
- $T$  - крок між скребками;
- $l_2$  - біжуча довжина дуги на ділянці сектора від прямолінійної ділянки до точки максимальної глибини занурення у сипкий вантаж;
- $h_{\max}$  - максимальна глибина занурення у сипкий вантаж;
- $l_{1\max}$  - максимальна довжина поступового руху скребка у сипкому тілі;
- $l_{2\max}$  - максимальна довжина криволінійної ділянки завантаження;
- $B$  - ширина жолобу;
- $\lambda$  - коефіцієнт, що враховує просипання вантажу;

$v$  - швидкість руху тягового органу конвеєра;

$h_{жс}$  - робоча висота скребка;

$B_{жс}$  - робоча ширина жолоба;

$T$  - крок між скребками;

$R$  - радіус дуги, по якій рухається край скребка;

$S_{I1}$  - поздовжня біжуча площа умовно нерухомого січення сипкого матеріалу, яку перетинає скребок у своєму русі на ділянці завантаження з поступальним рухом;

$S_{I2}$  - поздовжня біжуча площа перетину сипкого тіла на криволінійній ділянці від точки переходу від поступового руху та до точки максимального занурення скребка;

$S_{I3}$  - поздовжня біжуча площа перетину сипкого тіла на криволінійній ділянці від точки максимального занурення скребка.

Визначення конструктивних параметрів та динамічних характеристик роботи скребкового конвеєра зернових комбайнів та інших сільськогосподарських машин при переміщенні сипких вантажів є однією із актуальних задач при проектуванні таких машин. В типових методиках розрахунку конвеєрів [1, 2] динамічні параметри транспортування визначаються за інтегральними параметрами процесу та характеристиками сипкого матеріалу, який транспортується. На основі даних робіт створена теоретична модель завантаження скребкового транспортера, де для зменшення ударних навантажень на робочий орган скребкового транспортера у зоні завантаження введена додатково прямолінійна ділянка [3]. Для виявлення розподілу тиску на скребок побудована імітаційна модель на основі реалізації контактної взаємодії твердих об'єктів та розв'язку відповідної контактної задачі Герца [4, 5]. Проте ряд параметрів моделі передбачає експериментальне підтвердження та відповідне уточнення щодо конкретних умов транспортування.

Метою даної роботи є встановлення дослідним шляхом вхідних параметрів моделі завантаження скребкового транспортера для визначення його продуктивності та оптимальної довжини зони завантаження, а також виявлення силових параметрів взаємодії частинок порції вантажу із скребком конвеєра, та перевірка адекватності теоретичних положень із результатами дослідів.

Об'єктом дослідження є модель скребкового транспортера, де для зменшення ударних завантажень на робочий орган скребкового транспортера у зоні завантаження введена додатково прямолінійна ділянка завантаження. Ця експериментальна установка (рис.1) складається із привідної станції 1, транспортної ділянки 2; веденої станції 3; завантажувальної вітки 4; натяжної станції 5; холостої ділянки 6.

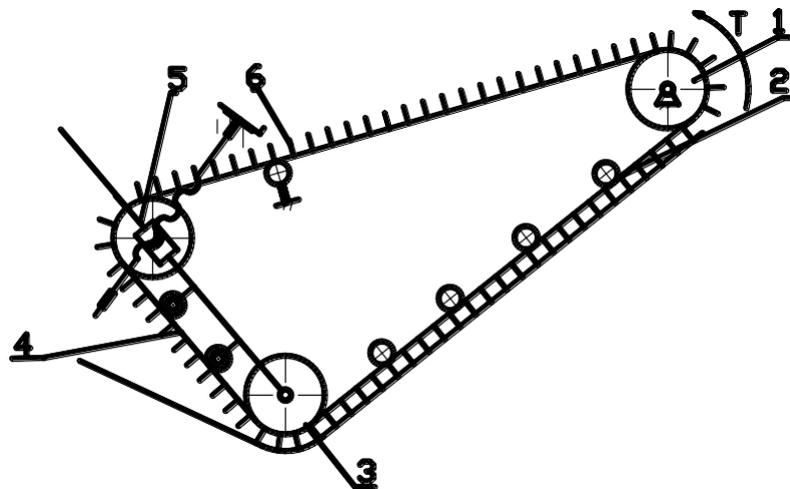


Рис. 1. Схема скребкового транспортера з прямолінійною та криволінійною зоною завантаження

Об'ємна продуктивність завантаження транспортера [3]:

$$Q_3 = B \frac{S}{T} v \lambda, \quad (1)$$

де  $T$  - довжина тягового органу, яка необхідна для заповнення проміжку між скребками;

$S$  - біжуче загальне значення площі, яку проходить скребок за шлях  $l$  від точки  $M'$  на різних ділянках зони завантаження.

Дана поздовжня площа дорівнює:

$$S = S_{l1} + S_{l2} + S_{l3}. \quad (2)$$

Поздовжня біжуча площа умовно нерухомого січення сипкого матеріалу, яку перетинає скребок у своєму русі (рис.2) на ділянці завантаження з поступальним рухом:

$$S_{l1} = \frac{1}{2} l^2 \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c). \quad (3)$$

Поздовжня біжуча площа перетину сипкого тіла на криволінійній ділянці від точки переходу від поступового руху (т.  $C$ ) та до точки максимального занурення скребка:

$$S_{l2} = \frac{l^2 R - (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg}(\frac{l_{2\max}}{R}) - \operatorname{tg}(\frac{l_{2\max} - l_2}{R}))}{2}. \quad (4)$$

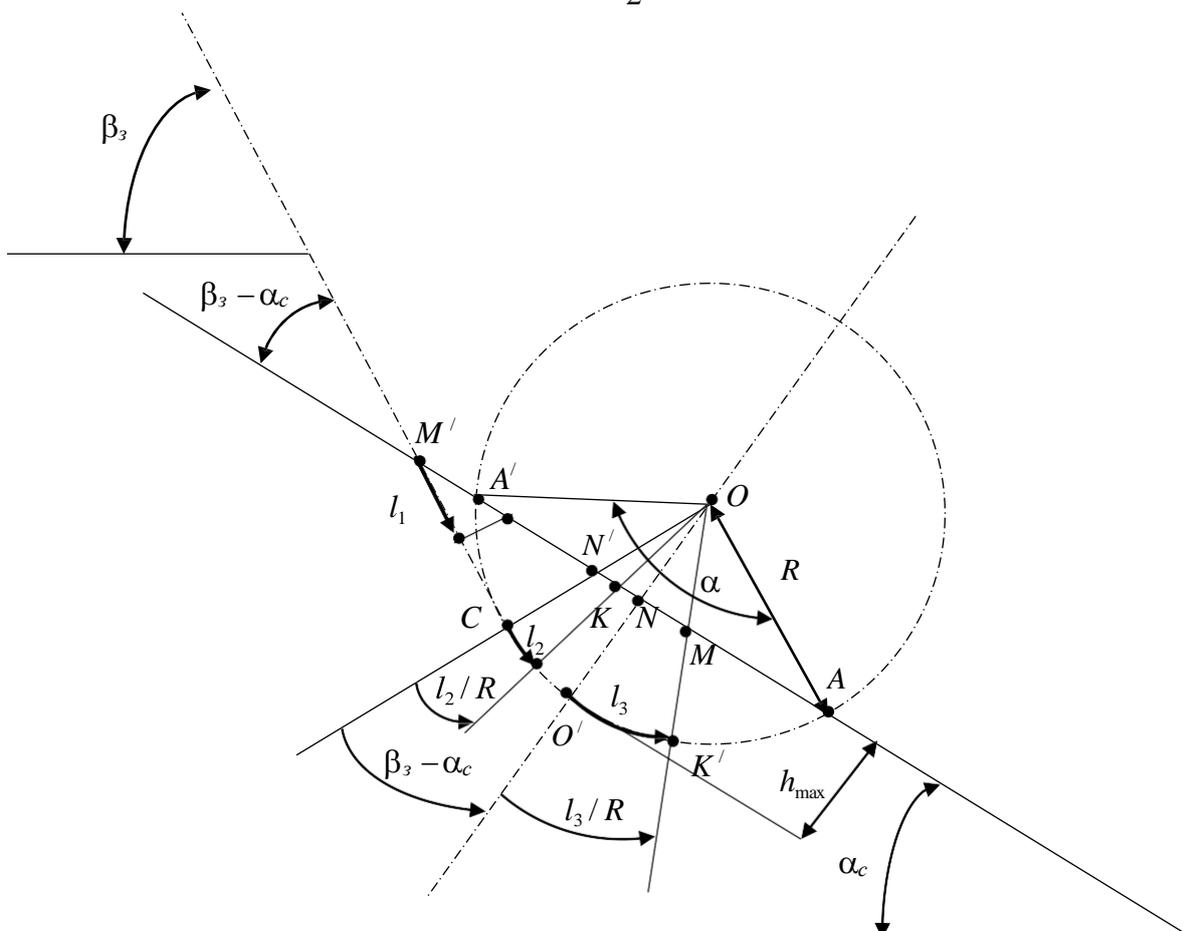


Рис.2. Схема завантаження транспортера при поступовому та обертовому русі скребка

Площа в сипкому тілі, яка описується скребком на криволінійній ділянці  $OO'$  (рис.2):

$$S_{\text{в}} = \frac{l_3 R}{2} - \frac{(R - h_{\text{max}})^2}{2} \operatorname{tg}\left(\frac{l_3}{R}\right), \quad (5)$$

де  $l_3$  - довжина шляху дуги від точки  $O'$  на ділянці  $O'A$ .

Величини  $l_1, l_2, l_3$  функціями кроку та визначаються із геометричних співвідношень, згідно рис 2 [3].

Відповідно усереднене погонне навантаження конвеєра, що характеризує ступінь заповнення між скребкового простору:

$$q = \gamma \frac{Q_3}{v\lambda} = B_{\text{жс}} \gamma dS = c \cdot dS, \quad (6)$$

де  $\gamma$  - насипна питома вага вантажу;

$dS = \frac{S}{T}$  - середнє значення поздовжньої площі сипкого матеріалу між скребками на

одиницю довжини тягового робочого органу;

$c$  - коефіцієнт пропорційності;  $c = B_{\text{жс}} \gamma$ .

Залежність погонного навантаження конвеєра від кроку між скребками за залежністю (6) та відповідні експериментальні значення наведені на рис.3. Із графіка видно, що така залежність набуває максимуму при відповідному значенні кроку, що визначається із умови  $dq/dT = 0$  числовими методами.

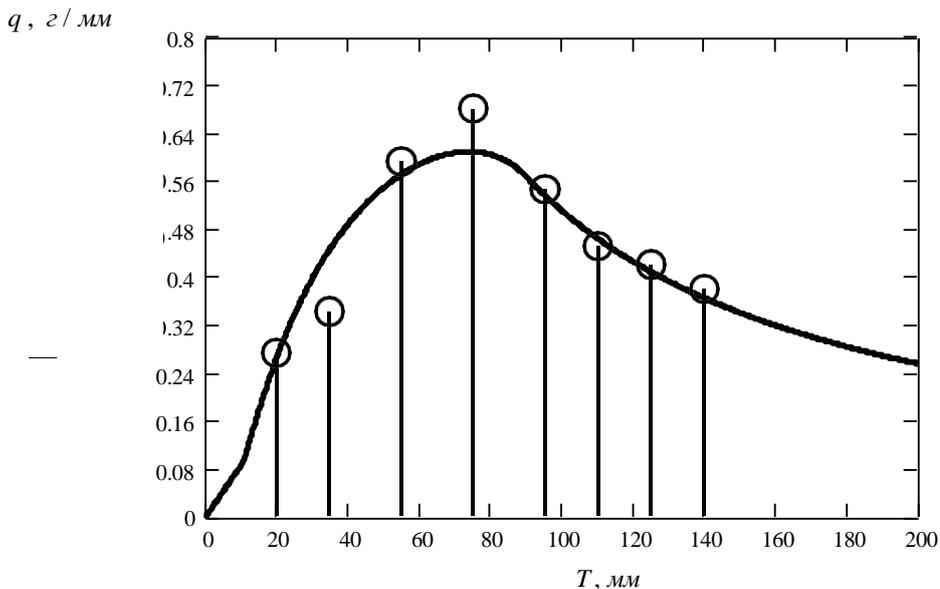


Рис. 3. Експериментальні та теоретичні значення визначення погонного навантаження від кроку між скребками при висоті скребка 37 мм та  $\beta_3 = 65^\circ$ ,  $c = 0.017 \text{ г/мм}^2$

Порівняння отриманих результатів теоретичної та експериментальної моделі проводилось за допомогою комп'ютерної програми на ППП Mathcad. Воно показує, що теоретична модель адекватно описує реальний процес (середнє квадратичне відхилення дослідних даних від експериментальних  $\sigma = 0.046 \frac{\text{г}}{\text{мм}}$ ), а тому розроблена модель

може бути використана для пошуку величини кроку, що максимізує величину погонного завантаження і відповідно пропускну здатність конвеєра.

Для проведення досліджень опису траєкторії руху зерен у потоці, а також визначення силових параметрів моделі скребкового конвеєра розроблена експе-

риментальна установка (рис.4). Вона складається з рами 1, на якій кріпиться прозорий жолоб 2. В жолобі 2 встановлений поршень 3, котрий взаємодіє з сипким середовищем 4. Поршень 3 з'єднаний з тяговим елементом 5, який, в свою чергу, кріпиться до ваги 6, положення якого відповідає розташуванню направляючого блоку 7.

Працює установка наступним чином. Вага 6 через тяговий елемент 5 приводить в рух поршень 3, який штовхає сипке середовище 4.

Під час транспортування вантажу на скребок діють миттєві значення динамічних сил зі сторони порції вантажу, середнє значення яких:

$$F_{skr} = \frac{\int_{t_0}^{t_1} F_{iskr} dt}{t_1 - t_0}, \quad (7)$$

де  $F_{iskr}$  - миттєве значення сили тиску, яка діє на скребок;

$t_1$  - кінцевий час дії теоретичної моделі;

$t_0$  - початковий час дії теоретичної моделі.

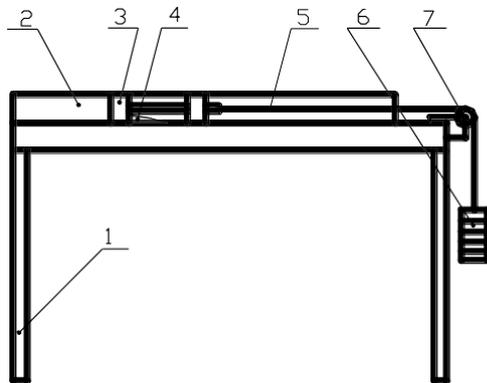


Рис. 4. Експериментальна установка імітації руху скребка в жолобі при завантаженні

Дана залежність використовується для побудови теоретичної моделі, яка ґрунтується на основі вирішення контактної задачі Герца. Для випадку транспортування вантажу як сукупності окремих частинок така задача розглядалась в [5]. На рис. 5 наведений вигляд пульсуючої зміни, миттєве значення сили тиску, яке діє на скребок  $F_{iskr}$ , за яким визначалась  $F_{skr}$ .

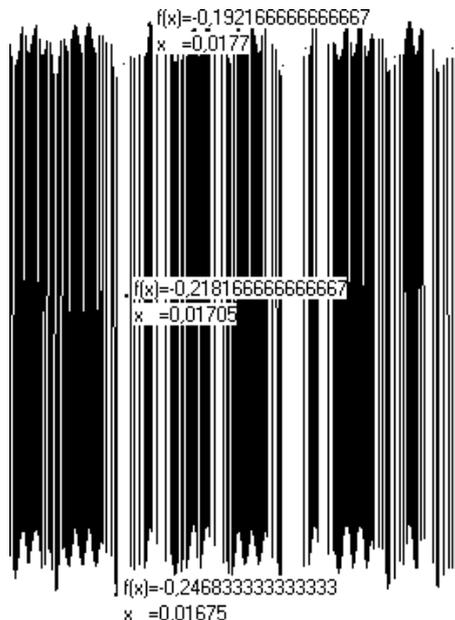


Рис. 5. Функція сили тиску на скребок:  
 $F_{iskr} = f(x)$  - сила тиску, яка діє на скребок;  
 $x$  - параметр часу

З іншого боку, при русі скребка по прямолінійній поверхні на нього прикладається зусилля [2]:

$$F_{skr} = (f + f_1)m_p g, \tag{8}$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя порції вантажу по дну поверхні жолобу;

$f_1$  - коефіцієнт тертя порції вантажу по боках жолоба;

$m_p$  - маса порції вантажу.

Маса порції вантажу:

$$m_p = TS\gamma, \tag{9}$$

де  $\gamma$  - об'ємна густина сипкого вантажу;

$S$  - поперечна площа сипкого матеріалу.

Поперечна площа:

$$S = B_{ж} * h_{ж} * \psi * C_2, \tag{10}$$

де  $\psi$  - коефіцієнт заповнення жолобу,  $\psi = 0.5 - 0.6$  [2];

$C_2$  - коефіцієнт, що враховує кут підйому вантажу.

Експериментальні дослідження для прямолінійної горизонтальної ділянки вказали на подібність результатів, які отримуються завдяки побудованій моделі на основі вирішення контактної задачі Герца та залежності (8) (табл. 1).

Таблиця 1

Навантаження на скребок експерименту та побудованих моделей

$N$	Вага порції вантажу $G, H$	$h_{ж}$ мм	$B_{ж}$ мм	$T$ мм	Коефіцієнт тертя гороху з жолобом $f$	Коефіцієнт внутрішнього тертя гороху, $f_{вн}$	$F_{skr}$ Н	Моделі Герца $F_{skr}, H$	Експерименту $F_{skr}, H$
1	0,315	16	75	75	0,35	0,472	0,121	0,119	0,117
2	0,566	29	75	75	0,35	0,472	0,218	0,218	0,199
3	0,064	3,5	75	75	0,35	0,472	0,024	0,022	0,021
4	0,868	29	75	115	0,35	0,472	0,334	0,321	0,311
5	0,24129	8	75	115	0,35	0,472	0,093	0,087	0,085
6	0,085	3,5	75	100	0,35	0,472	0,033	0,031	0,032

### Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що існує оптимальна довжина зони завантаження конвеєра, що забезпечує найбільшу середню продуктивність, яка залежить від кута нахилу прямолінійної ділянки завантаження. Так, для скребкового конвеєра при даному куті  $65^{\circ}$  крок між робочими органами рекомендується  $75$  мм (при транспортуванні гороху). Побудована теоретична модель для даного досліду, відносна похибка визначення продуктивності якої складає  $7\%$  у порівнянні з експериментальними даними. Перехід між теоретичними та дослідними даними здійснюється за допомогою додаткового коефіцієнта, який в даному випадку дорівнює  $0.017$ .

Встановлено, що побудована імітаційна модель контактної взаємодії для визначення динамічних характеристик процесу транспортування має середню відносну

похибку 4 %, середньоквадратичне відхилення  $8 \cdot 10^{-3} H$ , що є більш точнішим, ніж модель, яка рекомендована в [2] (середня відносна похибка 8 %, середньоквадратичне відхилення  $13 \cdot 10^{-3} H$ ).

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що розроблена теоретична модель завантаження конвеєра та визначення тиску на скребок на основі знаходження контактної взаємодії об'єктів при транспортуванні зернових матеріалів адекватна опису реальних процесів та може використовуватись при розробці моделей сільськогосподарських машин та комплексів.

Проведені дослідження дозволяють вибирати раціональні параметри скребкових конвеєрів, що в подальшому буде використано при розробці інженерної методики їх проектування.

*This article describes the experimental model of scraper transporter. The experimental datas of dynamic parameters of the pipeline are given. The scheme of definition of optimum length of the zone of loading is given. The analysis of experimental and theoretical results is made. The practical recommendations are given at the choice of constructive and technological parameters of transportation of the weight in the zone of loading.*

### **Література**

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. М.: Машиностроение, 1964. – 280 с.
2. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
3. Дудін О. Визначення оптимальної довжини зони завантаження скребкового транспортера // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Т.8, №4. – Тернопіль: ТДТУ – 2003. – С. 49-55.
4. Рогатинський Р.М. Моделювання процесів взаємодії шнекових робочих органів із коренебульбоплодами. Збірник наукових праць національного аграрного університету. Київ. 1997. Т.1.- С.62-66.
5. Пік А.І., Рогатинська О.Р., Дудін О.В. Динамічна модель взаємодії частинок сипкого вантажу між собою та з робочими поверхнями машин // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства "Механізація сільськогосподарського виробництва". – Вип.24. – Харків: ХДТУСГ – 2004. – С. 132-139.

*Одержано 08.07.2004 р.*