

УДК.681.3

О.Дудін

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ЗОНИ ЗАВАНТАЖЕННЯ СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

У статті розглянуто модель завантаження скребкового транспортера для переміщення легких сипких вантажів. Визначено особливості розрахунку завантажувальної зони транспортера методом повздожнього січення сипкого матеріалу. Приведено необхідні розрахункові схеми для визначення довжини завантажувальної зони з умови досягнення максимальної продуктивності. 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;

β_3 - кут напрямку руху скребків до горизонталі у зоні завантаження;

α_c - кут природного відкосу насипного вантажу;

T - крок між скребками;

$l_{1\max}$ - максимальна довжина поступового руху скребка у сипкому тілі;

$l_{23\max}$ - максимальна довжина криволінійної ділянки завантаження;

B - ширина жолобу;

λ - коефіцієнт заповнення та просипання.

Для визначення технічних характеристик роботи скребкового транспортера при переміщенні зерна та інших сипких матеріалів постає задача моделювання зони завантаження. Така модель в подальшому може бути використана для визначення силових параметрів, які у великій мірі визначають основні характеристики транспортера [1,2,3].

Подібні задачі вирішувались для шнекового-лопатевого агрегата [4], гравітаційно-роторних машин [5] та ряду інших машин зі скребковими та лопатевими робочими органами. В даних роботах за основу було взято припущення, що характеристики завантаження пропорційні до площі сипкого матеріалу, який заповнює зону завантаження [1]. Аналогічну модель завантаження можна побудувати для скребкового транспортера, де приймається, що матеріал є достатньо сипкий [3], а зона завантаження складається не тільки з криволінійної ділянки, а ще з прямолінійної зони, яка вводиться з метою зменшення динамічних навантажень на скребок (рис.1).

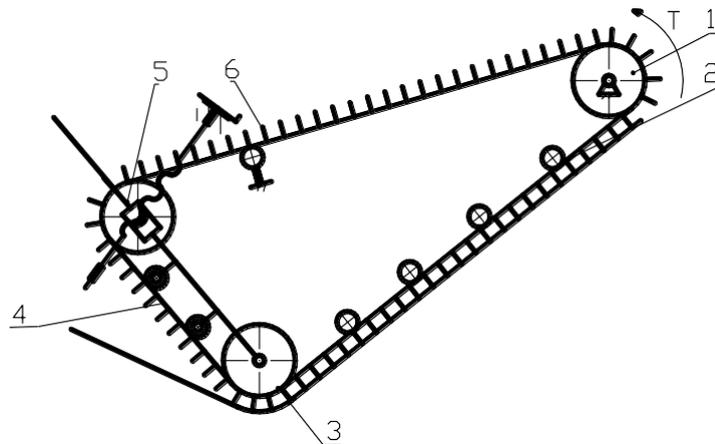


Рис.1. Схема скребкового транспортера з прямолінійною та криволінійною зоною завантаження: 1-привідна станція; 2 – транспортна ділянка; 3 – ведуча станція; 4 - завантажувальна вітка; 5 – натяжна станція; 6 – холоста ділянка

Метою даної роботи було створення моделі завантаження скребкового транспортера для визначення оптимального розміру даної зони та розробка відповідних алгоритмів і програм.

При побудові моделі були зроблені такі припущення: вантаж є абсолютно сипким тілом; величина об'єму вантажу, яка поступає у зону захоплення вантажу скребком, періодично повторюється з періодом початку роботи нового скребка у зоні завантаження; висота скребків є достатньою для захоплення вантажу і він не контактує з тяговим органом (стрічкою).

Розглянемо загальний випадок скребкового транспортера, зона завантаження якого складається з прямолінійної та криволінійної ділянки (рис.2).

Біжуча площа умовно нерухомого січення сипкого матеріалу, яку перетинає скребок у своєму русі на ділянці завантаження з поступальним рухом:

$$S_{\Pi} = \frac{1}{2} l^2 \operatorname{tg}(\beta - \alpha). \quad (1)$$

Кут природного нахилу розраховується наступним чином [3]:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \begin{cases} f, \text{ якщо } f_{1\text{теор}} = \frac{f}{1+2f^2} \geq f_1; \\ \frac{f_1}{|1+2f^2-2\sqrt{(1+f^2)(f^2-f_1^2)}|}, \text{ якщо } f_{1\text{теор}} = \frac{f}{1+2f^2} < f_1, \end{cases} \quad (2)$$

де f - коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого тіла, $f = 0.466$ для пшениці [3];

$f_{1\text{теор}}$ - теоретичне мінімальне значення коефіцієнта тертя сипкого тіла до поверхні, при якому кут природного відкосу підраховується за першим рівнянням системи (2), $f_{1\text{теор}} = 0,241$ для пшениці;

f_1 - табличне значення коефіцієнта тертя сипкого тіла до поверхні, $f_1 = 0,414$ для пшениці та сталі [3].

Звідси, для пшениці з (2) $\operatorname{tg} \alpha_c = 0.430$, тобто $\alpha_c = 23.268^0$ для пшениці.

Визначаємо площі перетину сипкого тіла на криволінійній ділянці від точки переходу поступового руху до обертового та до точки максимального занурення скребка у вантаж при завантаженні (сектор завантаження з $\angle(\beta_3 - \alpha_c)$).

Запишемо залежності для визначення площ згідно з рис.2:

$$\begin{aligned} S_{OKN} &= \frac{1}{2} (R - h_{\max})^2 \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c - \frac{l_2}{R}); & S_{ONN'} &= \frac{1}{2} (R - h_{\max})^2 \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c); \\ S_{OKN'} &= S_{ONN'} - S_{OKN} = \frac{1}{2} (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c) - \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c - \frac{l_2}{R})), \end{aligned} \quad (3)$$

де S_{OKN} , $S_{ONN'}$, $S_{OKN'}$ - відповідні площі трикутників ΔOKN , $\Delta ONN'$, $\Delta OKN'$;

R - радіус дуги, по якій рухається край скребка;

h_{\max} - максимальна глибина занурення скребка у сипкий вантаж, $h_{\max} = NO'$;

l_2 - біжуча довжина дуги на ділянці сектора з дугою CO' .

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

$$S_{l_2} = \frac{l_2 R - (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c) - \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c - \frac{l_2}{R}))}{2}. \quad (4)$$

Визначимо площу в сипкому тілі, яка описується скребком на криволінійній ділянці OO' (рис.2, де α - кут сегменту AA' , $\alpha = 2\arccos(1 - \frac{h_{\max}}{R})$):

$$S_{l_3} = S_{OO'K'} - S_{ONM} = \frac{l_3 R}{2} - \frac{(R - h_{\max})^2}{2} \operatorname{tg}(\frac{l_3}{R}), \quad (5)$$

де $S_{OO'K'}$ - площа сектора $OO'K'$;

$S_{A'O'N}$ - площа сегмента $A'O'N$;

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

Тоді з (4), (5) загальна біжуча площа на криволінійній ділянці буде:

$$S_{l_{23}} = \frac{l_{23} R - (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg}\{\beta_3 - \alpha_c\} - \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c - \frac{l_{23}}{R}))}{2}, \quad (6)$$

де l_{23} - довжина шляху на криволінійній ділянці.

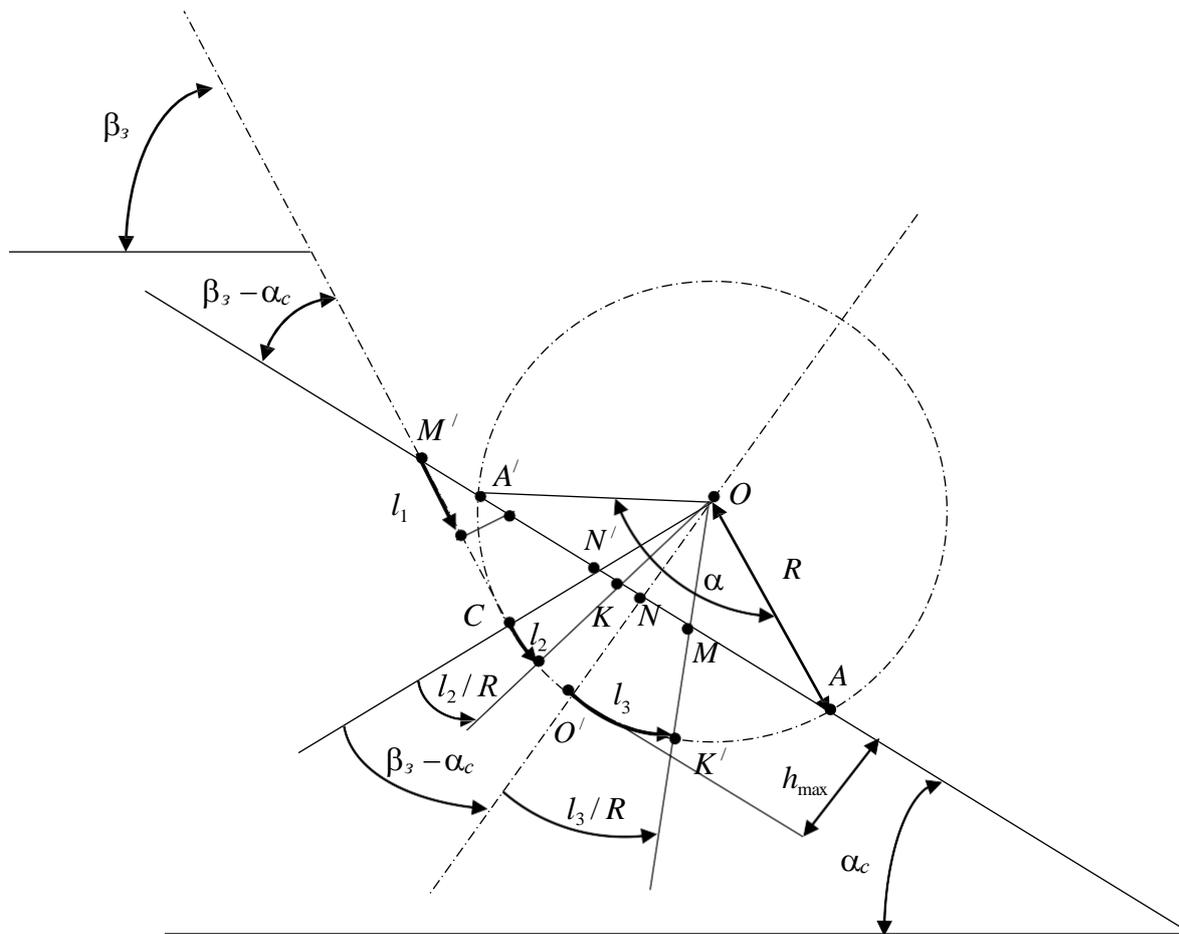


Рис.2. Схема завантаження транспортера при поступовому та обертовому русі скребка

з (4), (5) загальна біжуча площа на криволінійній ділянці буде:

$$S_{l_{23}} = \frac{l_{23} R - (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg} \{\beta_3 - \alpha_c\} - \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_c - \frac{l_{23}}{R}))}{2}, \quad (6)$$

де l_{23} - довжина шляху на криволінійній ділянці.

Біжуче загальне значення площі, яку проходить скребок за шлях l від точки M' на різних ділянках зони завантаження буде:

$$S\{l\} = \begin{cases} l^2 \operatorname{tg} \delta, & \text{якщо } (l > l_{1\max}) \wedge (\beta_3 - \alpha_c \neq 0); \\ Th_{\max}, & \text{якщо } (l_{1\max} > l \geq 0) \wedge (\beta_3 - \alpha_c = 0); \\ \frac{1}{2} l_{1\max}^2 \operatorname{tg} \delta + \\ + \frac{(l - l_{1\max}) R - (R - h_{\max})^2 (\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg}(\delta - \frac{l - l_{1\max}}{R}))}{2}, & \\ \text{якщо } l_{23\max} + l_{1\max} > l \geq l_{1\max}; \end{cases} \quad (7)$$

де l - довжина зони завантаження за траєкторією зовнішньої кромки скребка;

δ - розрахунковий кут захоплення вантажу на ділянці із зростаючою подачею,

$$\delta = \begin{cases} \beta_3 - \alpha_c, \text{ якщо } (\beta_3 - \alpha_c) < \frac{\alpha}{2}; \\ \frac{\alpha}{2}, \text{ якщо } (\beta_3 - \alpha_c) \geq \frac{\alpha}{2}. \end{cases}$$

Треба зазначити, що максимальна довжина поступового руху скребка в залежності від вантажу та напрямку руху скребків:

$$l_{\max} = \begin{cases} 0, \text{ якщо } ((\beta_3 - \alpha_c) = \frac{\pi}{2}) \vee ((\beta_3 - \alpha_c) \geq \frac{\alpha}{2}); \\ +\infty, \text{ якщо } (\beta_3 - \alpha_c) \neq 0; \\ \frac{h_{\max} - R(1 - \cos[\beta_3 - \alpha_c])}{\sin(\beta_3 - \alpha_c)}, \text{ якщо } ((\beta_3 - \alpha_c) \neq \frac{\pi}{2}) \wedge ((\beta_3 - \alpha_c) < \frac{\alpha}{2}). \end{cases} \quad (8)$$

Аналогічно, для криволінійної ділянки її максимальна довжина:

$$l_{23\max} = \begin{cases} \alpha R, \text{ якщо } (\beta_3 - \alpha_c) > \frac{\alpha}{2}; \\ (\beta_3 - \alpha_c + \frac{\alpha}{2})R, \text{ якщо } (\beta_3 - \alpha_c) \leq \frac{\alpha}{2}. \end{cases} \quad (9)$$

Продуктивність завантаження транспортера:

$$Q_3 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = B \frac{S_T}{l_t} v \lambda, \quad (10)$$

де Q_3 - продуктивність завантаження транспортера;

ΔV - об'єм, який був захоплений скребками;

Δt - час, за який був захоплений об'єм ΔV ;

l_t - довжина тягового органу, яка необхідна для заповнення проміжку між скребками;

S_T - площа, яку проходять скребки в сипкому тілі за довжину l_t .

Коефіцієнт заповнення та просипання в загальному випадку залежить від швидкості руху транспортуючого органу. Оскільки теоретично таку залежність в межах даного дослідження оцінити важко, то її доцільно подати у вигляді регресійної залежності, яку можна отримати за експериментальними даними:

$$\lambda \{v\} = A_1 + B_1 v + C_1 v^2, \quad (11)$$

де A_1, B_1, C_1 - постійні коефіцієнти змінного коефіцієнта заповнення та просипання, що визначається за даними експериментального дослідження.

Знайдемо екстремум функції (10):

$$\frac{\partial Q}{\partial l_t} = v B \lambda \frac{\partial (S/l_t)}{\partial l_t} = \frac{Bv}{l_t^2} \left[\frac{\partial S}{\partial l_t} l_t - S \right] = \frac{Bv}{l_t^2} \left[\frac{\partial (S_{11} + S_{123})}{\partial l_t} l_t - (S_{11} + S_{123}) \right]. \quad (12)$$

Розглянемо випадок коли прямолінійна ділянка відсутня і завантаження проходить тільки на криволінійній ділянці, тобто $(\beta_3 - \alpha_c) = \frac{\alpha}{2}$.

Треба зазначити, що $l_{23} = \frac{l_t}{R - h_c} R$, де h_c - висота скребка.

Тоді похідна по довжині буде:

$$\frac{\partial S_{l_{23}}}{\partial l_t} = -\left(\frac{1}{2} \frac{R^2}{R-h_c} - \frac{1}{R-h_c} \left((R-h_{\max}) / \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c}\right) \right)^2 \right). \quad (13)$$

Звідси рівняння (12) приймає вигляд:

$$\begin{aligned} & \frac{l}{2} \left(\frac{R^2}{R-h_c} - \frac{1}{R-h_c} \left((R-h_{\max}) / \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c}\right) \right)^2 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{l R^2}{R-h_c} - (R-h_{\max})^2 \right) * \\ & * \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c} \right) \right) = 0. \end{aligned}$$

Після спрощень отримуємо умову для визначення оптимального значення l_t ,

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c} \right) = \frac{l_t}{R-h_c} \left(1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c} \right) \right). \quad (14)$$

Рівняння (15) розв'язується чисельними методами для знаходження значення l_t , яке визначає оптимальний крок між скребками, що максимізує розхід вантажу.

Тепер розглянемо випадок, коли присутні при завантаженні прямолінійна та криволінійна ділянки.

Похідна площі завантаження по довжині:

$$\frac{\partial [S_{l_{1\max}} + S_{l_{23}}]}{\partial l_t} = \frac{\partial S_{l_{23}}}{\partial l_t} = \frac{1}{2} \left(\frac{R^2}{R-h_c} - \frac{1}{R-h_c} \left(\frac{R-h_{\max}}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{l_t}{R-h_c}\right)} \right)^2 \right), \quad (15)$$

де $S_{l_{1\max}}$ - максимальне значення площі на прямолінійній ділянці,
 $S_{l_{1\max}} = \frac{1}{2} l_{1\max}^2 \operatorname{tg} \{ \beta_3 - \alpha_c \}$.

Звідси, рівняння (12) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} & \frac{l}{2} \left(\frac{R^2}{R-h_c} - \frac{1}{R-h_c} \left((R-h_{\max}) / \cos\left(\delta - \frac{l-l_{1\max}}{R-h_c}\right) \right)^2 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{(l-l_{1\max}) R^2}{R-h_c} - (R-h_{\max})^2 \right) * \\ & * \left(\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \left(\delta - \frac{l-l_{1\max}}{R-h_c} \right) \right) - \frac{1}{2} l_{1\max}^2 \operatorname{tg} \delta = 0. \end{aligned}$$

Тобто:

$$\frac{l}{h_c - R} \left(\frac{R-h_{\max}}{\cos\left(\delta - \frac{l-l_{1\max}}{R-h_c}\right)} \right)^2 + \frac{l_{1\max}}{R-h_c} + (R-h_{\max})^2 \left(\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \left(\delta - \frac{l-l_{1\max}}{R-h_c} \right) \right) - l_{1\max}^2 \operatorname{tg} \delta = 0. \quad (16)$$

Рівняння (17) розв'язуємо чисельним методом для знаходження значення l_t .

За допомогою ППП Mathcad були побудовані графічні залежності зміни кроку завантаження та відносної продуктивності від довжини зони завантаження транспортера.

При цьому приймали: $\alpha_c = 23.268^0$; $\beta_3 = 60^0$; $R=100$; $h_{\max} = 30$; $h_c = 40$; $l_{1\max} = 16.961$.

Якщо прийняти, що $v\lambda = 1$, то графіки площ (рис. 2, 3) будуть чисельно відповідати обсягу вантажу, що переміщується одним скребком, та продуктивності завантаження на ділянці з довжиною тягового органу l_t на одиницю ширини жолобу.

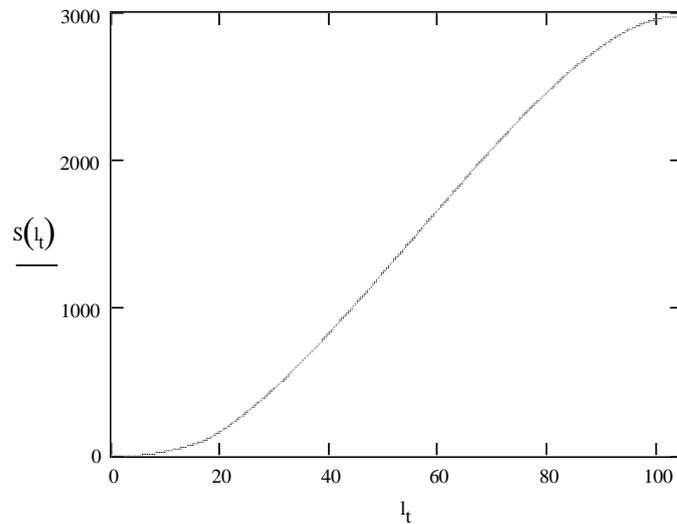


Рис.3. Значення площі, яку проходить скребок у сипкому матеріалі, в залежності від довжини проходження тягового органу l_t .

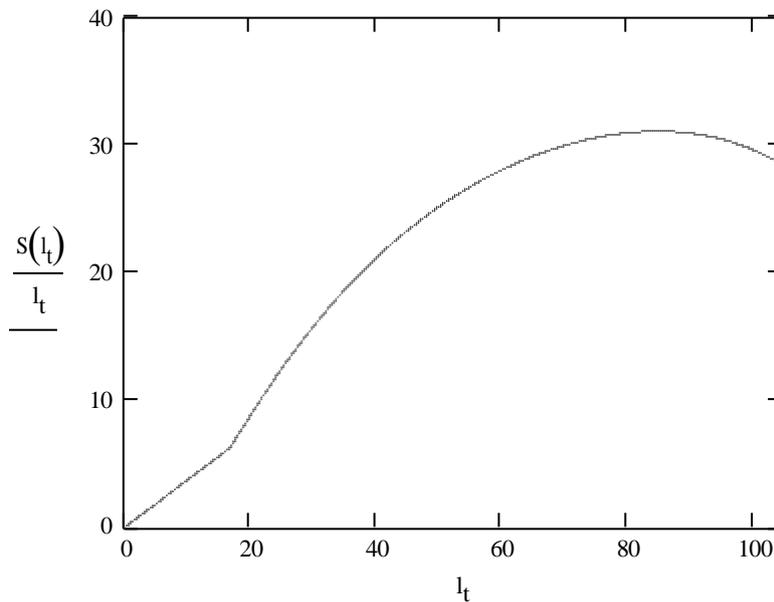


Рис.4. Визначення точки найбільшої середньої продуктивності.

Висновки

Наведені результати дозволяють зробити аналіз про заповнення сипкого вантажу між скребками в залежності від довжини проходження тягового органу та визначити крок між скребками (крок скребоків), що забезпечує найбільшу середню продуктивність, яка закладається на етапі розробки конструкцій для даних машин. Для вибору оптимальної зони завантаження, відповідно, кроку транспортера розроблені прикладні програми, які написані в середовищі ППП “MATHCAD” та рекомендується для практичного використання при проектуванні скребоквих транспортерів.

This article describes the model of loading of the scraper transporter for migration of easy loose weights. The features of account of the load zone of the transporter by the method of longitudinal section of the loose material are defined. The necessary calculated schemes for definition of length of the load zone from the condition of reaching of the maximal efficiency are reduced. 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. Спиваковский А.О. и Дьяков В.К. Транспортирующие машины. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1968.-504 с.
2. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.:Машиностроение,1987.-432 с.
3. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1964.-252с.
4. Пилипець М.І., Гурик О.Я. Дослідження процесу транспортування і змішування сипких матеріалів шнеково-лопатеvim агрегатом. // Збірник наукових праць національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - К.: НАУ, 2000, Т.IX.- С.206.
5. Оришака О.В., Гончаров В.В.,Кравцова Г.В., Артюхов А.М.. Аналіз руху сипкого матеріалу в роторі постачального пристрою гравітаційно-роторного типу при підвищених подачах. // Збірник наукових праць національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - К.: НАУ, 2000, Т.IX.- С.100.

Одержано 30.08.2003 р.