**ТРАНСПОРТНІ ТА ТРАНСПОРТНО - ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ**

УДК 621.8

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КРУТОПОХИЛЕНИХ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ
ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

*Любін Микола Володимирович к.т.н., доцент
Токарчук Олексій Анатолійович к.т.н., доцент
Яропуд Віталій Миколайович асистент
Вінницький національний аграрний університет*

*Lyubin M.
Tokarchuk O.
Yaropud V.*

Vinnitsa National Agrarian University

Анотація: в статті наведено огляд сучасної навісної шнекової продукції для швидкого розвантаження транспортних засобів. При проектуванні шнекової продукції необхідно враховувати особливості їх транспортних властивостей. Транспортування сипких вантажів крутонахиленим гвинтовим засобом залежить від частоти обертання і від заповнення вантажем кожуха транспортера. Наведені основні теоретичні залежності для визначення працездатності навісної шнекової продукції. Для визначення впливу основних технічних параметрів на продуктивність крутонахилених швидкохідних транспортерів були проведені дослідження.

Ключові слова: гвинтовий транспортер, зернова продукція, продуктивність, кутова швидкість, коефіцієнт тертя, кут нахилу.

Вступ

Крутонахилені гвинтові конвеєри для транспортування сипких сільськогосподарських вантажів за будовою та принципом роботи такі самі, як і гвинтові конвеєри для вертикального підйому. Вони застосовуються для механізації перевантажувальних робіт з сипкими вантажами і можуть бути стаціонарними, пересувними, а також навісними на транспортних засобах [1-3].

Продуктивність таких конвеєрів складає 60...200 т/год, максимальна продуктивність обладнання в західних країнах Європи досягає 350...400 т/год. Найбільша висота скидання зерна – 6,5 м.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багато західних країн випускають навісну шнекову продукцію для швидкого розвантаження транспортних засобів.

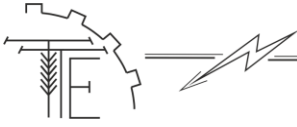
Фірма «Fliedt» (Німеччина) випускає тракторні причепи для перевезення та перевантаження зерна та мінеральних добрив, які обладнані змінним бортом із шнеком до тракторного причепа ASW «Gigant» шнек металевий діаметром 450 мм, продуктивність 350 т/год, висота перевантаження 4,5 м. Шнек складається та розкладається гідроприводом, приводиться в рух від ВВП трактора.

В асортименті причепів фірми «Pronag» (Польща) знаходяться пере завантажувачі, які використовують для транспортування зерна та кукурудзи від комбайнів до транспортних засобів з одночасним зважуванням. Дані засоби обладнуються навісними розкладними швидкохідними гвинтовими транспортерами (рис. 1, а). Продуктивність гвинтових транспортерів знаходиться в межах 200...400 т/год.

Завдяки швидкохідному розвантаженню такі перезавантажувачі можуть забезпечити економію до 30% часу роботи комбайна. Компанія «Pronag» випускає дві моделі перезавантажувачів – Т740 вантажопідйомністю 15,3 т і Т743 вантажопідйомністю 23 т (рис. 1, б).

Виробником на Україні подібної продукції є «Завод Кобзаренка». Зараз основним видом діяльності підприємства є випуск та продаж 15 видів тракторних причепів та широкого асортименту шнекової продукції перезавантажувальний бункер-накопичувач ПБН-20/1, ПБН-16/2, ПБН-30/2 (рис. 1, в). Крім того завод випускає шнекову продукцію: розкладний шнек РШ-200/4,2; гідравлічно-розкладний шнек ГРШ-300/4,2 (рис. 1, г); розкладний шнек РШ-250/4,5 до автомобілів КамАЗ та інші.

При проектуванні таких конвеєрів враховують особливості їх транспортних властивостей. На відміну від гвинтових конвеєрів з невеликим кутом нахилу можливість транспортування сипких вантажів крутонахиленим гвинтовим конвеєром залежить від частоти обертання і від заповнення



вантажом кожуха конвеєра [5, 7].



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Тракторні засоби обладнанні розвантажувальними швидкохідними транспортерами: а) тракторний причіп ASW «Gigant» фірми «Fliegt» (Німеччина); б) перезавантажувач T743 фірми «Pronar» (Польща); в) перезавантажувальний бункер-накопичувач ПБН-30/2, завод Кобзаренка (Україна); г) гідравлічно-розкладний шнек ГРШ-300/4,2 завод Кобзаренка (Україна)

Постановка завдання

З метою підвищення експлуатаційних та функціональних показників крутонахилених гвинтових транспортерів обґрунтувати раціональні технологічні та технічні параметри та підтвердити експериментальними дослідженнями.

Викладення основного матеріалу

Продуктивність теоретично в загальному вигляді можна записати:

$$\Pi_T = \rho \cdot A \cdot v_n, \quad (1)$$

де A – площа перетину потоку, m^2 ;

ρ – питома вага вантажу;

v_n – осьова швидкість матеріалу, m/s .

На процес транспортування шнеком впливають: частота обертання шнека; кут нахилу шнека, що враховується $K_\beta = 1,0 \dots 0,3$; спосіб завантаження та розвантаження враховуються коефіцієнтами $K_s = 1,0 \dots 0,5$, $K_p = 1,0 \dots 0,94$.

Дійсний об'єм матеріалу на довжині одного кроку:

$$V_d = A \cdot S = \psi \cdot V, \quad (2)$$

де A – площа перетину потоку, m^2 ;

S – крок гвинта; ψ

$\psi = 0,2 \dots 0,9$ – коефіцієнт заповнення;

V – об'єм жолоба на одному кроці.

$$V = 0,25 \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot S, \quad (3)$$

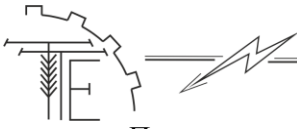
де D – діаметр шнека, m ;

d – діаметр вала, m .

Провівши відповідні підстановки та перетворення одержимо.

Швидкість переміщення при відомих геометричних та технічних параметрах гвинтового транспортера:

$$v_n = \frac{4\Pi}{\pi \cdot K_n \cdot K_s \cdot \psi \cdot \rho \cdot (D^2 - d^2)}, \quad (4)$$



де Π – продуктивність, т/с;
 ρ – об’ємна вага вантажу, т/м³.

При кутах нахилу конвеєра до горизонту (45°...70°) і частковому його заповненні, частинки сипкого вантажу при невеликій швидкості обертання гвинта створюють складний рух, відриваючись від кожуха і гвинтової поверхні і в напрямку транспортування не переміщуються.

При кутах нахилу $\beta > 40^\circ \dots 45^\circ$ застосовувати гвинтові конвеєри з невеликою швидкістю гвинта нерационально, оскільки при цьому помітно знижується продуктивність і витрачається потужність на перемішування і перемелювання вантажу.

Найменшу кутову швидкість гвинта ω , при якій можливе транспортування вантажу з яким завгодно коефіцієнтом заповнення кожуха, можна визначити за формулою [4]:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{-g \cos\left(\frac{\beta}{0,75} + \alpha + \rho_B\right)}{r \mu_k \cos(\alpha + \rho_B)}} \quad (5)$$

де β – кут нахилу конвеєра до горизонту;
 α – кут підйому гвинтової лінії;
 ρ_B – кут тертя між вантажем і гвинтовою поверхнею;
 μ_k – коефіцієнт тертя між вантажем і кожухом;
 r – зовнішній радіус гвинта;
 g – 9,81 м/с² – прискорення сил тяжіння.

При більшому заповненні кожуха, або збільшенні частоти обертання гвинта частинки вантажу, притиснуті до його внутрішньої поверхні, описують просторові гвинтові траєкторії і одночасно переміщуються вздовж кожуха. Якщо кути нахилу $\beta > 70^\circ$, то частинки вантажу завжди переміщуються, не відриваючись від кожуха і гвинтової поверхні, але транспортування також часткове; воно відбувається тільки при майже суцільному заповненні. При такому заповненні кожуха шар вантажу, що міститься біля зовнішнього діаметра гвинта, сильніше притискається до кожуха і, ковзаючи по гвинтовій поверхні, переміщується вздовж нього.

Коефіцієнт заповнення кожуха гвинтового конвеєра ψ можна визначити за кривими (рис. 2), які характеризуються для легкосипких вантажів залежність коефіцієнта ψ від кута нахилу конвеєра β і відцентрової сили [2].

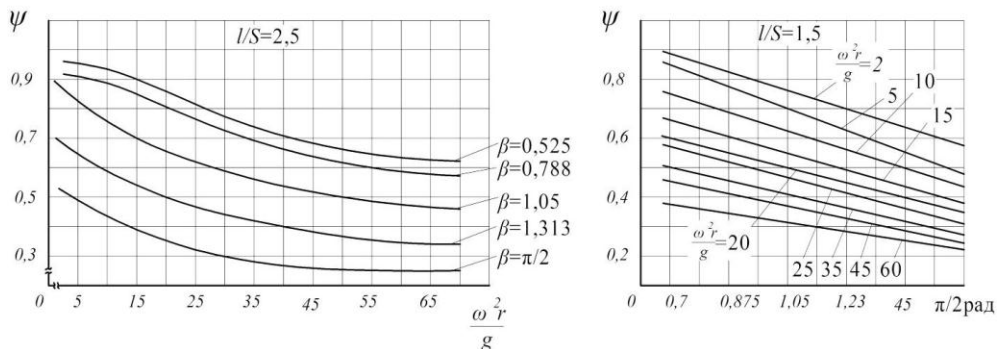


Рис. 2. Залежність коефіцієнта заповнення шкруптонахилоного гвинтового конвеєра від кута нахилу конвеєра β і відцентрових сил (поданих як функція від $\frac{\omega^2 r}{g}$)

Основні теоретичні залежності

Розглянемо швидкості, які діють на вантаж при його переміщенні.

Визначимо абсолютну v_a , обертову v_b швидкість (рис. 3), а також швидкість переміщення (умовно приймемо, що вантаж зосереджено в точці А) [4, 6]:

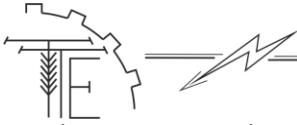
$$v_a = \frac{v_n}{\cos \varepsilon}, \quad (6)$$

$$v_b = v_n \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (7)$$

де ε – кут нахилу траєкторії абсолютного переміщення вантажу до твірної циліндричного кожуха шнека, що проходить через точку А.

Приймаємо допущення, що вантаж рівномірно концентрично розміщується у трубі транспортера.

Для визначення кута ε розглянемо рівновагу сил які прикладені до частинки А (рис. 3)



розміщеної у нижній частині на поверхні кожуха під довільним кутом φ від нормалі до напрямку транспортування вантажу:

$$\begin{cases} F_K \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) = mg \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha - mg \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha + F_T \\ F = F_K \cdot \cos(\varepsilon - \alpha) + mg \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + mg \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (8)$$

де β – кут нахилу конвєсра до горизонту, град.

Підставивши значення $F_T = f \cdot F$, та вилучивши з цих рівнянь силу F , одержимо:

$$F_K = \frac{m \cdot g \cdot \sin(\alpha + p) \cdot \sin \beta - m \cdot g \cdot \cos(\alpha + p) \cdot \cos \beta \cdot \sin \varphi}{\sin(\varepsilon - \alpha - p)} \quad (9)$$

З іншого боку сила F_K , можна записати наступним рівнянням:

$$F_K = \frac{f \cdot m \cdot v_n^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varepsilon}{R} + f \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi \quad (10)$$

Максимальне значення сили F_K буде при $\varphi = 0$. Тоді, прирівнявши праві частини цих рівнянь, одержимо:

$$\frac{f \cdot v_n^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varepsilon}{R} + f \cdot g \cdot \cos \beta = \frac{g \cdot \sin(\alpha + p) \cdot \sin \beta}{\sin(\varepsilon - \alpha - p)} \quad (11)$$

Рівняння (11) приведемо до наступного виду:

$$v_n = \operatorname{ctg} \varepsilon \sqrt{R \cdot g \left[\frac{\sin(\alpha + p) \cdot \sin \beta}{f \cdot \sin(\varepsilon - \alpha - p)} - \cos \beta \right]} \quad (12)$$

У рівнянні (12) невідомою є величина кута ε , який неважко визначити методом послідовних наближень.

Підставивши у рівняння (12) замість кута ε різні його значення, ми можемо добитись рівності лівої та правої частини, при цьому за початкову величину кута ε можна прийняти:

$$\varepsilon = \alpha + p + 30^\circ \quad (13)$$

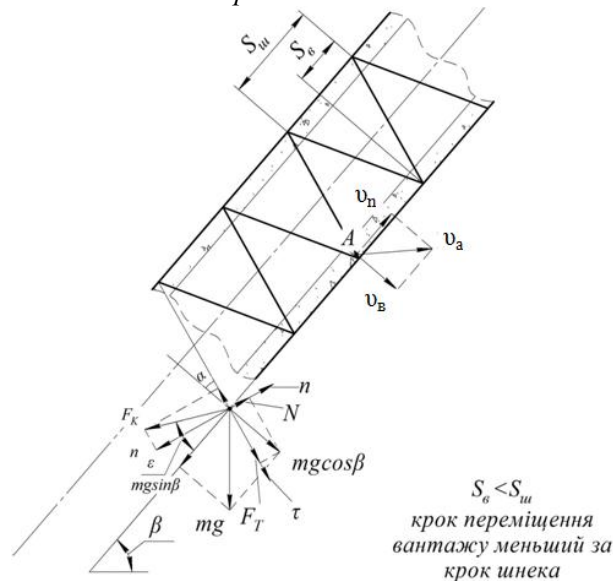


Рис. 3. Схеми сил, які діють на частинку вантажу для крутопохилого швидкохідного транспортера

Згідно рівнянь (6) і (7) визначаємо швидкість v_a і v_b .

Кількість обертів шнека та кутову швидкість можна визначити згідно формул:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (14)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (15)$$

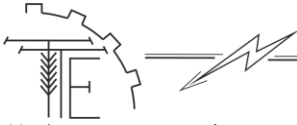
де ω – кутова швидкість на краю шнека.

$$v = v_n (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \varepsilon), \quad (16)$$

де v_n – швидкість переміщення вантажу впродовж осі шнека.

Результати розрахунків та досліджень

Провівши відповідні розрахунки згідно викладеної методики можна констатувати, що для крутопохилого гвинтового швидкохідного транспортера, який показаний на рис. 1, в, продуктивність



60т/год, та висоті подачі вантажу – 2,5 м, при куті нахилу траси $\beta = 60^\circ$ при транспортуванні пшениці отримали результати:

- зовнішній діаметр шнека $D = 300$ мм;
- діаметр вала гвинта $d = 60$ мм;
- швидкість переміщення вантажу впродовж осі шнека $v_n = 0,7$ м/с
- критична кутова швидкість $\omega_k = 11,87$ с⁻¹;
- колова швидкість на краю шнека $v = 4,02$ м/с;
- фактичне число обертів шнека $n = 256$ хв⁻¹;
- фактична кутова швидкість $\omega_\phi = 26,79$ с⁻¹;
- потужність яка витрачається на переміщення вантажу $P_0 = 1,78$ кВт.

Для визначення вплив основних технічних параметрів на продуктивність крутонахилених швидкохідних гвинтових транспортерів були проведені дослідження результати яких представлені на рис. 4 і рис. 5.

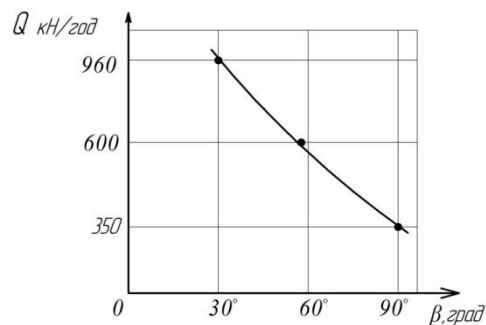


Рис. 4. Залежність продуктивності Q від кута нахилу шнека β при кількості обертів гвинта $= 256$ хв⁻¹

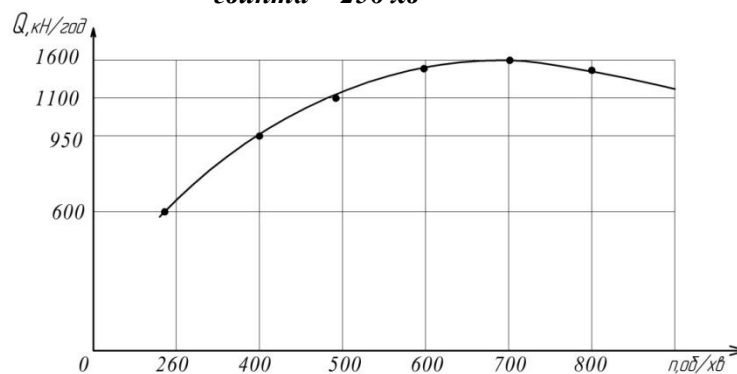


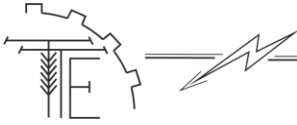
Рис. 5. Залежність продуктивності Q від частоти обертання гвинта при кутові нахилу шнека $\beta = 60^\circ$

Аналізуючи отриманні результати (рис. 4) можемо зробити заключення, що із збільшенням кута нахилу від 30° до 90° продуктивність зменшилась приблизно 2,75 рази, при частоті обертання гвинтової поверхні 256 об/хв. Це можна пояснити тим, що вантаж рухається по траєкторії, яка описує гвинтову спіраль з кроком меншим ніж крок самого гвинта. В дійсності траєкторія складніша, так як вантаж неоднорідний, частково переміщується та нерівномірно завантажується через горловину.

Аналізуючи отриманні результати (рис. 5) можемо зробити заключення, що із збільшенням частоти обертання продуктивність на початку збільшується до певної величини, а потім частково зменшується, наприклад для зерна пшениці продуктивність збільшується до частоти приблизно 700 об/хв, при куті нахилу $\beta = 60^\circ$, а потім зменшується. Це можна пояснити тим, що великих кутових швидкостях зерно розріджується повітрям та більше переміщується.

Висновки

1. Крутопохилені гвинтові конвеєри з повільним обертанням гвинта можуть транспортувати сипкий вантаж при відповідному заповненні вантажем кожуха конвеєра;
2. При кутах нахилу $\beta > 35...45^\circ$ застосовувати гвинтові конвеєри з невеликою швидкістю гвинта недоцільно, так, як при цьому знижується продуктивність, а потужність частково витрачається на переміщення та перемелювання продукції;
3. Критична частота обертання гвинта, при якому можливе піднімання часток вантажу для



крутопохилих гвинтових конвеєрів визначається за формулою (5);

4. Для здійснення руху частинок вантажу вздовж осі гвинта залежить від багатьох факторів: швидкість збільшується; із збільшенням кута підйому гвинта; із зменшенням радіуса гвинта; із зменшенням коефіцієнта тертя між частинами вантажу та гвинтом, та із збільшенням коефіцієнта тертя між частинками вантажу та стінкою кожуха.

Список літератури

1. Любін М.В. Підйомно-транспортні машини. Швидкохідні гвинтові конвеєри / М.В. Любін, О.Ю. Гуменюк. – Вінниця: ВЦ ВДАУ, 2005, – 36с.
2. Курсовое проектирование транспортирующих машин. / А.А. Кукибный. -Вища школа, 1973, – 288 с. (на українском языке)
3. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов.ун-те.–1989. –176с.
4. Груздев И.Э. Теория шнековых устройств / И.Э. Груздев, В.Г. Мирзоев, В.И. Янков – Л.: Машиностроение, – 1987. – 164с.
5. Матухно Н.В. Шнекові транспортні органи зернозбиральних комбайнів / Н.В. Матухно // Науковий вісник: Збірник наук. праць Нац. агр. ун-ту. – Київ НАУ – 1998. Вип 9. – с. 256-260.
6. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва / Р.М. Рогатинський // Дис. докт. техн. Наук.: 05.20.04. – Київ. – 1997. – 425с.
7. Рогатинський Р.М. Дослідження процесів транспортування вантажів мобільними гвинтовими конвеєрами / Р.М. Рогатинський // Збірник наук. праць Нац. агр. ун-ту. – Київ: НАУ – 1997. Том 1. – с. 69-73.

References

1. Lyubin M.V. Pidiomno-transportni mashyny. Shvydkokhidni hvyntovi konveieri / M.V. Lyubin, O.Yu. Humeniuk – Vinnytsia: VTs VDAU, 2005, – 36s.
2. Kursovoe proektyrovanye transportyruishchyykh mashyn. / A.A. Kukybyni. - Vyshchashchkola, 1973, – 288 s. (na ukraynskom yazyke)
3. Nevko B.M. Vyntovye podaiushchye mekhanizmy selskokhoziaistvennykh mashyn / B.M. Nevko, R.M. Rohatynskiy – Lvov: Vyshcha shkola. Yzd-vo pry Lvov.un-te.–1989. –176s.
4. Hruzdev Y. Э. Teoryia shnekovykh ustroystv / Y.Э. Hruzdev, V.H. Myrzojev, V.Y. Yankov – L.: Mashynostroenye, – 1987. – 164s.
5. Matukhno N.V. Shnekovi transportni orhany zernozbyralnykh kombainiv / N.V. Matukhno // Naukovyi visnyk: Zbirnyk nauk. prats Nats. agr. un-tu. – Kyiv NAU – 1998. Vyp 9. – s. 256-260.
6. Rohatynskiy R.M. Mekhaniko-tekhnologichni osnovy vzaiemodii shnekovykh robochykh orhaniv z syrovynoiu silskohospodarskoho vyrobnytstva / R.M. Rohatynskiy // Dys. dokt. tekhn. Nauk.: 05.20.04. – Kyiv. – 1997. – 425s.
7. Rohatynskiy R.M. Doslidzhennia protsesiv transportuvannia vantazhiv mobilnymy hvyntovymy konveieramy / R.M. Rohatynskiy // Zbirnyk nauk. prats Nats. agr. un-tu. – Kyiv: NAU – 1997. Tom 1. – s. 69-73.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КРУТОНАКЛОННЫХ ВИНТОВЫХ ТРАНСПОРТЕРОВ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотація: в статті приведено огляд сучасної навісної шнекової продукції для швидкої розгрузки транспортних засобів. При проектуванні шнекової продукції необхідно враховувати особливості їх транспортних властивостей. Транспортування сыпучих грузов крутонаклонным винтовым средством зависит от частоты вращения и от заполнения грузом кожуха транспортера. Приведены основные теоретические зависимости для определения работоспособности навесной шнековой продукции. Для определения влияния основных технических параметров на производительность крутонаклонных быстроходных транспортеров были проведены исследования.

Ключевые слова: винтовой транспортер, зерновая продукция, производительность, угловая скорость, коэффициент трения, угол наклона.

FEATURES OF WORK OF STEEPLY INCLINED SPIRAL CONVEYERS ARE AT MOVING OF CORN PRODUCTS

Summary: the review of modern hanging screw products for the rapid unloading of transport vehicles is resulted in the article. At planning of screw products it is necessary to take into account features of their transport properties. Transporting of friable loads by steeply inclined screw vehicles depends upon frequency of rotation and from filling of conveyor housing by load. Basic theoretical dependences for determination of capacity of hanging screw products are resulted. For determination of influence of basic technical parameters on the productivity of steeply inclined high-speed conveyers researches were conducted.

Keywords: spiral conveyor, corn products, productivity, angulator, coefficient of friction, angle of slope.