

мобільної техніки рільництва: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук за спец. 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Кузьмінський Роман Данилович : Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва. - Глеваха, 2013. - 40 с.

16. Бойко А.І. Встановлення функцій відновлення підсистем зернозбиральних комбайнів в умовах розвитку сфери технічного обслуговування / А.І. Бойко, К.М. Думенко // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження – Львів, 2010. – Т.1, № 14. – С. 12 – 20.

17. Новицкий А. Исследование надежности сложных технических систем «человек – машина» методом графов / А. Новицкий // Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2014. Vol. 16. No 3. – P. 96 – 102.

*Рецензент д.т.н., проф. В.М. Несвідомін*

УДК 631.171

© М.І. Пилипець, д.т.н., І.М. Кучвара, І.Б. Гевко д.т.н., А.С. Дячун, к.т.н. Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

### **ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЬНИХ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

*В роботі розглянуто процес формоутворення гвинтового профільного робочого органу. Виведені аналітичні залежності для визначення силових параметрів процесу навивання, і необхідних конструктивних параметрів технологічного оснащення. На основі результатів теоретичних досліджень отримано графічні залежності силових параметрів.*

#### **ГВИНТОВА ПРОФІЛЬНА СПІРАЛЬ, РОБОЧІ ОРГАНИ, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ.**

**Постановка проблеми.** Одним із важливих питань сучасного сільськогосподарського машинобудування є підвищення надійності машин, довговічності їх гвинтових робочих органів, приводів, їх вузлів і окремих деталей. Важливим моментом такого стану є гвинтові конвеєри і їх робочі органи, які знаходяться в середині нерухомого кожуха, при транспортуванні, подрібненні, змішуванні сипких

матеріалів. Тому актуальним питанням є створення конструктивних схем енергоощадних гвинтових конвеєрів і їх робочих органів, працездатний стан яких забезпечує зменшення зношення гвинтових елементів і енерговитрат. До таких способів відноситься виготовлення профільних гвинтових елементів робочих органів навіванням, експлуатаційна надійність яких більша ніж прокатних.

**Результати останніх досліджень та публікацій.** На даний час ведуться активні пошуки можливості вдосконалення профільних гвинтових робочих органів з метою підвищення їх експлуатаційних показників [3-12], оскільки гвинтові робочі органи, незважаючи на простоту виготовлення, не забезпечують відповідної продуктивності або мають низький ресурс роботи. Основні напрямки вдосконалення конструкцій профільних гвинтових робочих органів, проведення теоретичних і експериментальних досліджень пов'язані із зменшенням енерговитрат на процес виготовлення [12-18], спрощення конструкцій та зменшення їх матеріаломісткості, а також підвищення експлуатаційних показників [3, 7, 8, 12, 18].

**Метою даного роботи** є теоретичне дослідження процесу навівання профільних гвинтових робочих органів сільхозмашин, і виведення аналітичних залежностей для визначення їх конструктивних параметрів і параметрів технологічного обладнання.

**Результати дослідження.** Розглянемо процес формоутворення профільних гвинтових робочих органів сільхозмашин на оправу, розрахункова схема якого представлено на рис. 1.

Пристрій для навівання еліпсних гвинтових заготовок виконано у вигляді станини, ступінчастої оправки, торцева поверхня якої виконана у вигляді гвинтової поверхні з кроком рівним товщині смуги, еліпсної форми. Посередині ступінчастої оправки жорстко закріплено торцевий копір-кулачок, з правого торця якого виконана [ - подібна виточка, яка відповідає еквідестанті еліпсної оправки. В торцевій частині копір-кулачка виконано осьовий паз, який є у взаємодії з зігнутих кінцем смуги.

Параметри (радіуси) еліпсної оправки виконані розміром меншим параметрам навивної еліпсної заготовки з врахуванням її відпружинення. Крім цього еліпсна оправка виконана конусної форми в сторону сходження навивної заготовки під кутом  $1...3^\circ$  для зручності її знімання з оправки.

Радіальне притискання смуги здійснюється притискним роликом, який встановлено на осі в осьовий паз штока, а з лівої сторони притискного ролика на цій же осі встановлено копірувальний ролик, який зовнішнім діаметром є у взаємодії з внутрішнім діаметром

виточки, форма якої відповідає еквідистанті еліпсної оправки в направляючих станини, з можливістю його осьового переміщення разом з направляючим штоком і разом з притискним роликом здійснює осьові переміщення при формуванні еліпсної гвинтової заготовки.

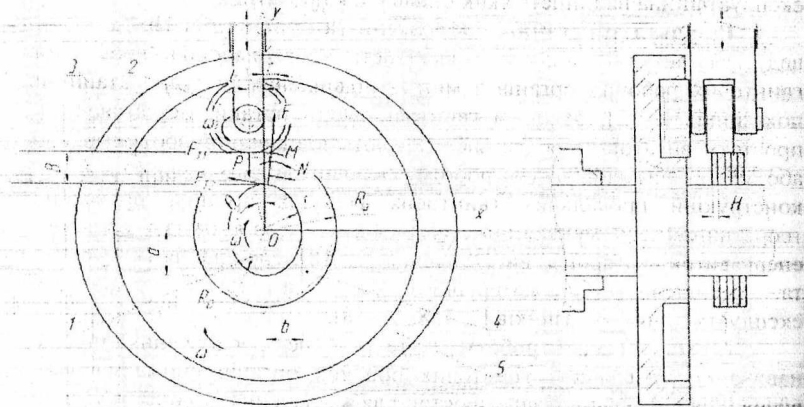


Рис. 1 - Розрахункова схема процесу навивання гвинтового робочого органу сільхозмашин на оправу: 1 - еліпсна оправка; 2 - притискний ролик; 3 - стрічка; 4 - гвинтовий еліпсний елемент; 5 - торцевий кулачок, форма якого відповідає еквідистанті еліпсної оправки 1

Робота пристрою для навивання еліпсних заготовок здійснюється наступним чином. Заготовка у вигляді смуги встановлюється в направляючі і зігнутим кінцем фіксується в пазу копір-кулачка і зверху смуга притискується притискним роликом. Включається привід, еліпсна оправка провертається і здійснює процес навивання гвинтової еліпсної заготовки. Після закінчення технологічного процесу навивання еліпсної заготовки прокручування еліпсної оправки продовжується і за допомогою гвинтової насічки на зовнішньому діаметрі притискного ролика і конусного виконання еліпсної оправки навивна еліпсна заготовка знімається з оправки. У випадку значної її довжини вона розміщується в направляючому жолобі, який жорстко кріпиться до рами.

В процесі навивання відбувається стиснення волокон стрічки на внутрішньому діаметрі і розтяг волокон стрічки на зовнішньому

діаметрі гвинтового еліпсного елемента. Визначимо момент згину стрічки в цих зонах, розглянувши процес деформації в гарячому та холодному стані

Особливістю навивання еліпсних гвинтових елементів є те, що радіуси кривизни, а відповідно і радіуси гнuttя стрічки є змінними протягом одного оберту еліпсної оправки. Тому внутрішній радіус гнuttя заготовки  $r$  можна визначити на основі рівняння радіуса кривизни еліпса [2] за формулою:

$$r = a^2 b^2 \left[ \frac{y_0^2}{a^4} + \frac{x_0^2}{b^4} \right]^{-\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

де  $a$  - половина більшої осі еліпса, мм;  $b$  - половина меншої осі еліпса, мм;  $x_0, y_0$  - координати точки, в якій визначається радіус кривизни в системі координат  $xoy$ , мм.

У параметричному вигляді рівняння еліпса має наступний вид:

$$\begin{cases} x = b \sin \theta; \\ y = a \cos \theta, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\theta$  - кутовий параметр, що знаходиться в межах  $0 \leq \theta \leq 2\pi$  і визначає кут повороту еліпсної оправки, рад.

Момент гнuttя стрічки визначимо за формулою:

$$M = \left( \int_{\rho_{II}}^R \sigma_{\theta 0} \rho d\rho + \int_r^{\rho_{II}} \sigma_{\theta 2} \rho d\rho \right) H, \quad (3)$$

де  $\rho_{II}$  - радіус нейтральної поверхні напружень, мм;  $H$  - товщина стрічки, мм.

Радіус нейтральної поверхні напружень визначимо за формулою [1]:

$$\rho_{II} = \sqrt{Rr}. \quad (4)$$

Момент гнuttя стрічки в гарячому стані визначимо за формулою:

$$M = \beta \sigma_s \frac{H \beta_v^2 B^2}{4} \quad (5)$$

На основі формули (5) робимо висновок, що момент гнuttя стрічки в гарячому стані не залежить від радіуса кривизни еліпсної оправки, а отже він буде постійним протягом одного оберту оправки.

У випадку навивання стрічки на еліпсну оправу в холодному стані відбувається зміцнення матеріалу стрічки, при чому величини тангенціальних напружень визначаються за формулами [1]:



- в зоні розтягу:

$$\sigma_{\theta} = \beta \left[ \sigma_{T0} \left( 1 - \ln \frac{R}{\rho} \right) + \frac{\Pi}{2} \left( 2 \ln \frac{\rho}{\rho_H} - \ln \frac{\rho R}{\rho_H^2} \ln \frac{R}{\rho} \right) \right]; \quad (6)$$

- в зоні стиску:

$$\sigma_{\theta} = -\beta \left[ \sigma_{T0} \left( 1 + \ln \frac{\rho}{r} \right) + \frac{\Pi}{2} \left( 2 \ln \frac{\rho_H}{\rho} + \ln \frac{\rho_H^2}{\rho r} \ln \frac{\rho}{r} \right) \right], \quad (7)$$

де  $\sigma_{T0}$  - екстрапольована границя текучості матеріалу стрічки, МПа;  
 $\Pi$  - лінійний модуль зміцнення матеріалу стрічки, МПа.

Найбільший момент гнуття виникає при куті повороту  $\theta = 0, \pi$  радіан, найменший момент гнуття виникає при кутах повороту  $\theta = 1/2\pi, 3/4\pi$  радіан.

Згідно розрахункової схеми на рис. 1 рівняння рівноваги частини стрічки, що піддається деформації запишемо наступним чином:

$$\begin{cases} \text{по осі } x: -F_{T1} - F_{T2} \cdot \cos \gamma + N \cdot \cos \gamma + F \sin \gamma = 0; \\ \text{по осі } y: -P + F_{T2} \cdot \sin \gamma + N \cdot \sin \gamma + F \cos \gamma = 0; \\ \text{сума елементів: } P \cdot l + F_{T1} \cdot R_3 + F_{T2} \cdot R_0 - N \cdot \rho_H - M = 0, \end{cases}$$

де  $F_{T1}$  - сила тертя між роликком та стрічкою, Н;  $F_{T2}$  - сила тертя між стрічкою та еліпсною оправою, Н;  $\gamma$  - кут тиску оправи, градус;  $N$  - поздовжня сила, Н;  $F$  - рівнодіюча нормальних контактних напружень на стрічці, Н;  $P$  - сила гнуття притискним роликком, Н;  $l$  - відстань між центрами оправи та притискного ролика, мм;  $R_3$  - зовнішній радіус взаємодії гвинтового елемента відносно центра обертання оправи, мм;  $R_0$  - відстань від центра обертання оправи до її поверхні, мм.

Рівнодіючу нормальних контактних напружень знаходимо за формулою:

$$F = \sigma_r \cdot H \cdot L, \quad (8)$$

де  $\sigma_r$  - контактні нормальні напруження на внутрішньому радіусу ПГЗ, МПа;  $L$  - довжина трапецевидного пелюстка по внутрішньому діаметру, мм.

Експериментальні дослідження показали, що максимальна сила гнуття  $P$  притискним роликком виникає на початковій стадії деформування, тобто, коли кут  $\gamma$  рівний нулю.

Відстань від центра обертання оправи до її поверхні визначаємо за формулою:

$$R_0 = \sqrt{a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta}. \quad (9)$$

Зовнішній радіус взаємодії гвинтового елемента відносно центра обертання оправы визначаємо за формулою:

$$R_3 = \sqrt{(a+B)^2 \cos^2 \theta + (b+B)^2 \sin^2 \theta}. \quad (10)$$

Слід зауважити, що тут коефіцієнт тертя  $\mu_1$  між притискним роликком і профільною стрічкою є величиною приведеною і не відповідає безпосередньому значенню коефіцієнта тертя для контактуючих матеріалів. Момент, який необхідно прикласти для обертання оправы, залежить від конструктивних особливостей оправ і в загальному випадку визначається згідно рис. 1 за залежністю:

$$M_0 = k_M \cdot P \cdot (l + \mu_1 \cdot R_3) \quad (11)$$

де  $k_M$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні виконання оправы.

На основі приведених вище формул можна проектувати необхідне технологічне оснащення. При цьому, для зменшення моменту обертання оправы, а отже, і зменшення необхідної потужності навівання ПГЗ, потрібно звести до мінімуму коефіцієнт тертя  $\mu_1$ , наприклад, використовуючи змащувальні речовини.

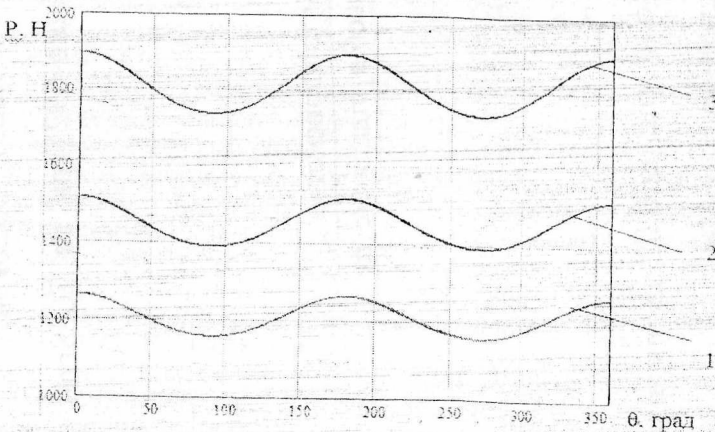


Рис. 2. - Залежності сили гнущя притискним роликком від кута повороту оправы (Ст 3,  $\sigma_b=440$ МПа)  $B=15$ мм;  $a=50$ мм;  $b=40$ мм: 1 –  $H=1$ мм; 2 –  $H=1,2$ мм; 3 –  $H=1,5$ мм

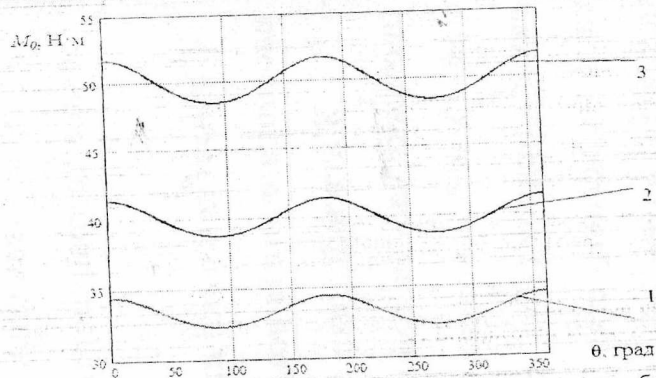


Рис. 3. - Залежності моменту, який необхідно прикласти для обертання оправки від кута повороту оправки (Ст 3,  $\sigma_b=440\text{МПа}$ )  $B=15\text{мм}$ ;  $a=50\text{мм}$ ;  $b=40\text{мм}$ : 1 -  $H=1\text{мм}$ ; 2 -  $H=1,2\text{мм}$ ; 3 -  $H=1,5\text{мм}$

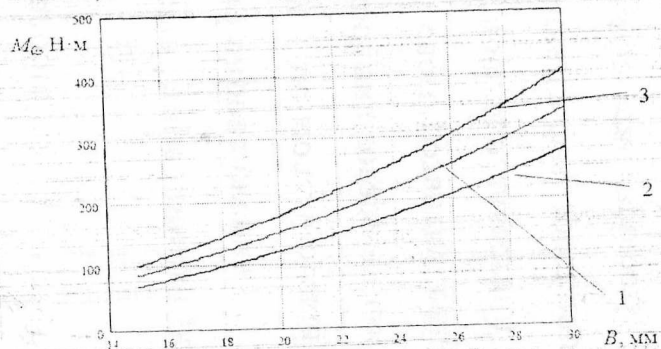


Рис. 4. - Залежності моменту, який необхідно прикласти для обертання оправки від ширина стрічки  $H=2,5\text{мм}$ ;  $a=50\text{мм}$ ;  $b=40\text{мм}$ : 1 - Ст 3,  $\sigma_b=440\text{МПа}$ ; 2 - Сталь 08кп,  $\sigma_b=340\text{МПа}$ ; 3 - Алюмінієвий сплав Д16,  $\sigma_b=520\text{МПа}$

#### Висновки

1. Розглянуто процес навівання профільних гвинтових робочих органів сільхозмашин на оправку з метою покращення умов роботи і розширення технологічних умов;
2. Представлені аналітичні залежності для визначення силових параметрів процесу навівання і конструктивних параметрів технологічного оснащення;

3. За результатами теоретичних досліджень проведено комплекс експериментальних випробувань і побудовано графічні залежності сили гнуття притисним роликком і залежності моменту, який необхідно прикласти для обертання оправи від кута повороту оправи, який необхідно прикласти для обертання оправи від ширини стрічки.

#### Література

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / Зубцов М. Е. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.

2. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б. М. – Львов: Вища школа, 1986. – 128 с.

3. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Наука, 1981. – 720 с.

4. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б. М. – Львов: Вища школа, 1986. – 128 с.

5. Пат. № 81956, Україна МПК В21D 11/06. Пристрій для калібрування гвинтових заготовок з рівномірно збільшеним кроком. Заявники і власники патенту: Ляшук О.Л., Дячун А.С., Павельчук Ю.Ф., Кучвара І.М., Лотоцький Р.І. Заявл: 25.02.2013; опубл: 10.07.2013, Бюл. № 13.

6. Гевко Б.М. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко, А.П. Драган, І.Я. Новосад. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367с.

7. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський. – Львов: Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 176с.

8. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.С. Дячун – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.

9. Owen, P.J. and Cleary, P.W. (2009) - "Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM)", Powder Technology, 193(3), P. 274-288.;

10. J. W Fernandez, P. W. Cleary, W. Bride. (2009) - "Effect of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder", Seventh international conference on CFD in the minerals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia 9-11 December.;