

О. Ляшук, канд. техн. наук; О. Колесник

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ГВИНТОВИХ ОПОР ПІДНІМАЛЬНО – ТРАНСПОРТНИХ ЛЕБІДОК

Наведено методику розрахунку міцності гвинтових опор піднімально-транспортних лебідок прямокутного поперечного січення і січення у вигляді пустотілого трикутника. Виведено аналітичні залежності для їх розрахунків на міцність, у результаті яких встановлено, що міцність гвинтової опори трикутного пустотілого профілю значно перевищує міцність гвинтової опори звичайного прямокутного профілю прямокутного поперечного січення. Дано практичні рекомендації щодо проектування.

O. Lyashyk, O. Kolesnyk

CALCULATION OF DURABILITY OF SPIRAL SUPPORT LIFTS– TRANSPORTING SWAN

A method of strength analysis of helical bearings for rising and transporting winches of rectangular cross section and triangular hollow cross is given. Analytical dependences for their strength calculation have been derived. It was determined strength of helical bearings for triangular hollow cross ranks over rectangular cross section. Practical design recommendations are made.

Умовні позначення

F_1 - площа першого варіанту гвинтової опори прямокутного поперечного січення, мм²;

F_2 - площа другого варіанту гвинтової опори пустотілого трикутника, мм²;

B – ширина витка, мм;

H – товщина витка, мм;

K – основа $\sphericalangle ACD$;

H_2 - товщина стінки пустотілого трикутника ACD, мм;

α - кут при вершині пустотілого трикутника, град;

M_{max} - максимальний згинний момент, мм;

σ_{max1} - максимальні напруження у витку, Н/мм²;

W_{z1} - осьовий момент опору січення першого витка, мм³;

σ_{zm} - напруження зминання ґрунту, Н/мм²;

L – довжина витка по внутрішньому діаметрі, мм;

L_1 – довжина витка по середньому діаметрі, мм;

W_{z2} - осьовий момент опору січення другого витка, мм³;

I_z - осьовий момент інерції січення при основі другого витка.

Піднімально-транспортні машини і механізми є основою механізації і автоматизації різних типів технологічних процесів. Від правильного вибору і розрахунку цих механізмів залежить їх експлуатаційна надійність і довговічність.

Питанням надійності і міцності гвинтових елементів присвячено ряд робіт [1, 2, 3], однак низка питань міцності гвинтових опор піднімально – транспортних лебідок (ПТЛ) потребують свого подальшого вирішення.

Тому метою роботи є розроблення теоретичних передумов для визначення міцності різних типів гвинтових опор піднімально – транспортних лебідок і підготовка рекомендацій щодо їх проектування при виконанні операцій при натягуванні канатів ліній і електропередач, при вирощуванні хмелю і винограду, а також в інших випадках.

Робота виконується згідно постановою Кабінету Міністрів України “Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентоздатною технікою” на 2003...2007 роки.

Для визначення раціонального профілю гвинтових опор піднімально – транспортних лебідок порівняємо міцність шнеків із витками прямокутного поперечного січення із січенням у вигляді пустотілого трикутника, які представлені на рисунку 1. Для того, щоб провести порівняльну характеристику на міцність, прийемо площі поперечних січень першого і другого варіантів рівними, тобто

$$F_1 = F_2, \quad (1)$$

де F_1 - площа першого варіанту гвинтової опори прямокутного поперечного січення, мм²(рис1.б); F_2 - площа другого варіанту гвинтової опори пустотілого трикутника, мм² (рис1.а).

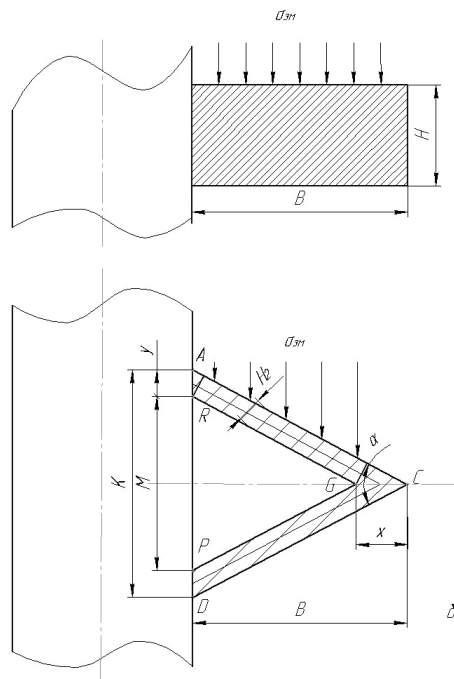


Рисунок 1– Розрахункові схеми поперечних січень витків опор гвинтової опори піднімально – транспортної лебідки: а) прямокутного поперечного січення; б) пустотілого трикутного поперечного січення

Площу поперечного січення гвинтової опори першого варіанту визначають за формулою:

$$F_1 = B \cdot H, \quad (2)$$

де B – ширина витка, мм; H – товщина витка, мм.

Площу поперечного січення гвинтової опори у вигляді пустотілого трикутника (рис. 1б) визначають з залежності:

$$F_2 = \frac{1}{2} B \cdot K - \frac{1}{2} (B - X) \cdot (K - 2y), \quad (3)$$

де K – основа $\sphericalangle ACD$.

Причому інші параметри є рівними:

$$\left. \begin{aligned} K &= 2 \cdot B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ X &= \frac{H_2}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}; \quad y = \frac{H_2}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де H_2 - товщина стінки пустотілого трикутника ACD, мм;

α - кут при вершині пустотілого трикутника, град.

Підставивши значення формул (2) і (4) у формулу (1) одержимо:

$$BH = B^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - B^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{B \cdot H_2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{B \cdot H_2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{2H_2^2}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (5)$$

Спростивши вираз (5), одержимо

$$BH = \frac{2B \cdot H_2}{\cos \frac{\alpha}{2}} - \frac{2H_2^2}{\sin \alpha}. \quad (6)$$

Звідси товщину стінки гвинтової опори піднімально – транспортної лебідки визначають з формули:

$$H_2 = \frac{\left(-\frac{2B}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \sqrt{\frac{4B^2}{\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{8}{\sin \alpha} \cdot BH} \right) \sin \alpha}{-4}. \quad (7)$$

Проводячи розрахунок витків на міцність, можемо із достатньою точністю розглядати їх як консольно закріплені балки. Для першого варіанту величину максимальних напружень у витку визначають за формулою:

$$\sigma_{max1} = \frac{M_{max}}{W_{z1}}, \quad (8)$$

де M_{max} - максимальний згинний момент, мм;

σ_{max1} - максимальні напруження у витку, Н/мм²;

W_{z1} - осьовий момент опору січення першого витка, мм³.

$$W_{z1} = \frac{L \cdot H^2}{6}, \quad (9)$$

де σ_{zm} - напруження зминання ґрунту, Н/мм².

Величину максимального згинного моменту визначають із залежності:

$$M_{max} = \frac{\sigma_{zm} \cdot B^2 \cdot L_1}{2}, \quad (10)$$

де L – довжина витка по внутрішньому діаметрі, мм;

L_1 – довжина витка по середньому діаметрі, мм.

Для другого варіанту напруження зминання ґрунту визначається із залежності:

$$\sigma_{max2} = \frac{M_{max}}{W_{z2}}, \quad (11)$$

де W_{z2} - осьовий момент опору січення другого витка, який визначають з залежності, мм^3 .

$$W_{z2} = \frac{I_z}{B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (12)$$

де I_z - осьовий момент інерції січення при основі другого витка, який визначають із залежності:

$$I_z = 2 \cdot \frac{L \cdot y^3}{12} + 2 \cdot y \cdot L \cdot \left(B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{y}{2} \right)^2. \quad (13)$$

Підставивши значення виразів (12) і (13) у вираз (11), отримаємо:

$$\sigma_{\max 2} = \frac{M_{\max} \cdot B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{L \left[\frac{H_2^3}{6 \cdot \cos^3\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 2 \cdot \frac{H_2}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \left(B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{H_2}{2 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) \right]^2}. \quad (14)$$

Для порівняння двох варіантів введемо коефіцієнт підвищення міцності, який визначають з залежності:

$$K_M = \frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma_{\max 2}} ;$$

$$K_M = \frac{\frac{H_2^3}{\cos^3\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 12 \frac{H_2}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \left(B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{H_2}{2 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right)^2}{B \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot H^2}. \quad (15)$$

На основі формули (15) побудовано графічні залежності, які представлені на рис. 2, 3 і 4, з яких видно, у скільки разів зростає міцність витків трикутного перерізу гвинтової опори ПТЛ в порівнянні із витками прямокутного перерізу, при однаковій площі поперечного перерізу і об'єму витків. При цьому за основу опорних витків приймали площу прямокутного перерізу, з якої розраховували геометричні параметри трикутного перерізу при ширині опори $B = 70 \text{ мм}$ і куті при вершині $\alpha = 30^\circ$. При цьому коефіцієнт міцності зростає в 10...12 разів. Найбільший вплив на зростання міцності витків мають кут при вершині перерізу гвинтової опори та ширина витка, а також в меншій мірі товщина витка.

K_M

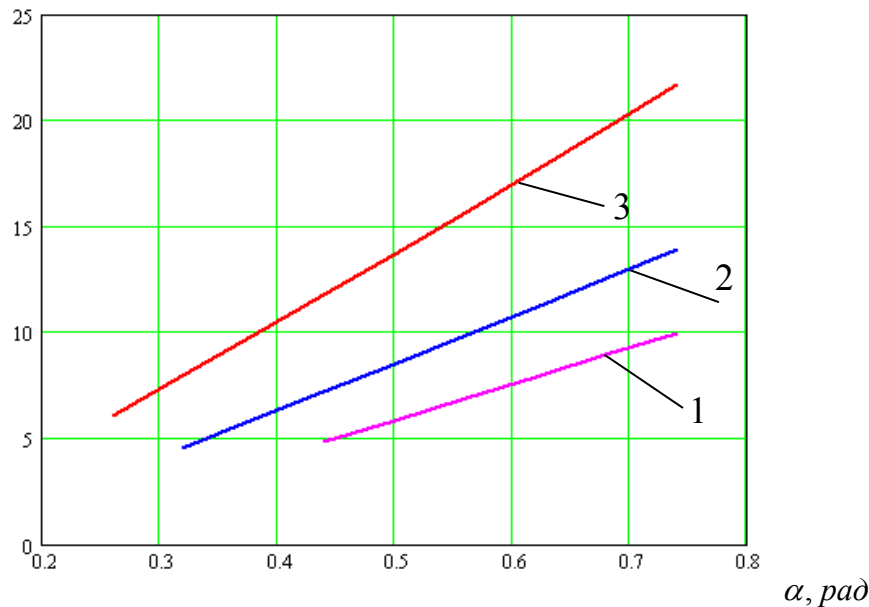


Рисунок 2 - Залежність коефіцієнта збільшення міцності гвинтової опори ПТЛ від кута при їх вершині зі збереження площі витків, що порівнюються:
1) $H=4$ мм, 2) $H=6$ мм, 3) $H=8$ мм $B=40$ мм

З рисунка 2 бачимо, що коефіцієнт збільшення міцності зростає в 10...12 разів при куті $\alpha = 22^\circ$ і при товщині шнека 4 мм.

На рисунку 3 наведена залежність зміни коефіцієнта збільшення міцності гвинтової опори ПТЛ від ширини еквівалентного шнека при збереженні рівних площ витків і об'ємів.

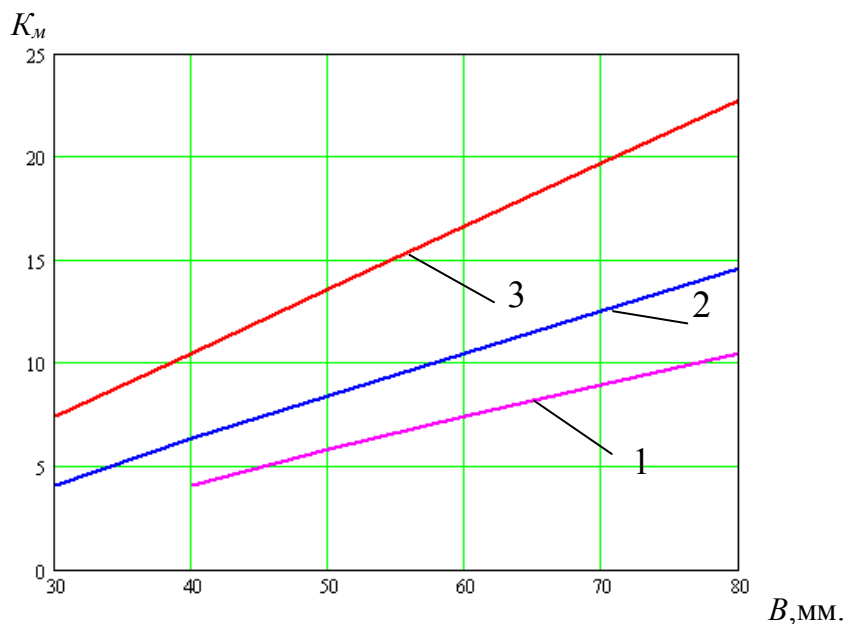


Рисунок 3 - Залежність зміни коефіцієнта збільшення міцності гвинтової опори ПТЛ від ширини еквівалентного шнека, при збереженні рівних площ витків, що порівнюються:
1) $H=4$ мм, 2) $H=6$ мм, $H=8$ мм $\alpha = 30^\circ$

Як видно з рисунка 3, зі збільшенням ширини шнека і кута при їх вершині, що дорівнює $\alpha = 30^\circ$, коефіцієнт збільшення міцності гвинтової опори ПТЛ зростає в 10...12 разів.

Висновки

1. Виведено аналітичні залежності для визначення міцності гвинтових опор ПТЛ прямокутного поперечного січення і пустотілого трикутника. Встановлено, що міцність пустотілого трикутного поперечного січення при ширині опори, рівної 70 мм, і куті $\alpha = 30^\circ$, при вершині коефіцієнт міцності в порівнянні з прямокутним зростає в 10...12 разів.
2. Встановлено, що найбільший вплив на зростання міцності витків мають кут при вершині перерізу трикутної гвинтової опори та ширина витка, а також в меншій мірі товщина витка при однаковій площі поперечного перерізу і об'єму витків.

Література

1. Пономарев С.Д., Андреев Л.С. Расчет упругих элементов машин и приборов.- М.: Машиностроение, 1980.-328с.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. - М.: Машиностроение, 1972. - 258с.
3. Груздев И.Э. и др. Теория шнековых устройств.- Л, 1987. -258с.
4. Механізми з гвинтовими пристроями / Гевко Б.М., Данильченко М.Г., Рогатинський Р.М., Пилипець М.І., Матвійчук А.В. – Львів.: Світ, 1993. – 208 с.
5. Патент №20111 Україна, Піднімально – транспортна гвинтова лебідка, Гевко І.Б., Колесник О.А., Дзюра В.О., Бюл. № 1, 2007.

Одержано 16.10.2007 р.