

## **ОСОБЛИВОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ І РОЗПОДІЛ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ВИТКІВ ШНЕКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ**

*За допомогою приблизних закономірностей зміни напружень виконано математичну формалізацію опису розподілення зусиль, що діють на поверхні зношування периферійної частини витка шнека, без втрати фізичної сутності та точності. Побудовано епюри напружень, що діють на периферійну ділянку витка й обумовлюють її зношування. Встановлено, що найбільше напруження, яке відповідає максимальному лінійному зношуванню, спостерігається в кутовій частині профілю витка.*

### **Постановка проблеми**

Зношування металевих поверхонь робочих органів в потоці зернової маси є багатофакторним процесом, що залежить від тиску, швидкості переміщення частинок, вологості, абразивності середовища, впливу хімічних речовин тощо. Однак домінуючими факторами при механічному зношуванні вважаються вплив навантаження на поверхні тертя та швидкість переміщення контртіл відносно одне одного.

Спостереження за зношуванням шнеків вказують на нерівномірність його розподілу як в радіальному напрямленні витка, так і по довжині шнека.

Важливим параметром в роботі шнекових транспортерів є зазор між кожухом і витком. Цей параметр найбільш змінний через протікання процесів зношування витків зерновою масою. Від його величини залежать основні показники роботи шнека.

### **Аналіз останніх досліджень**

Зношування робочих поверхонь шнеків слід розглядати як природний процес втрати форми і маси при контактній взаємодії робочого органу з матеріалом, що транспортується. Проте на особливу увагу заслуговує нерівномірність його розподілення по окремих ділянках. Так найбільша інтенсивність зношування спостерігається на робочій поверхні витка в периферійній його частині. Поступово початкова практично прямокутна форма нового витка при зношуванні заокруглюється й набуває в перерізі криволінійний робочий профіль.

Характер зношування та геометрична форма, якої набуває деталь, безпосередньо вказують на ступінь прояву факторів. На підставі цього в роботах [4, 5] запропонована методика визначення напружень, що діють на поверхні тертя. Однак для початку проведення аналізу розподілу зношування по робочим поверхням важливо встановити динаміку зміни геометричної форми деталі, що досліджується.

Накопичений досвід вивчення динаміки зношування деталей кутової форми (молотки дробарок, ножі подрібнювачів та інше) [1, 3–6] вказує на нерівномірність розподілу зношування. Внаслідок дії фактора навантаження і кутової форми деталі найбільше зношування спостерігається на вершині кута, який швидко заокруглюється й набуває криволінійної форми.

### **Об'єкти та методика досліджень**

Об'єктом досліджень є процеси контактної взаємодії та закономірності динаміки зношування елементів робочих поверхонь гвинтових транспортерів та шнекових живильників.

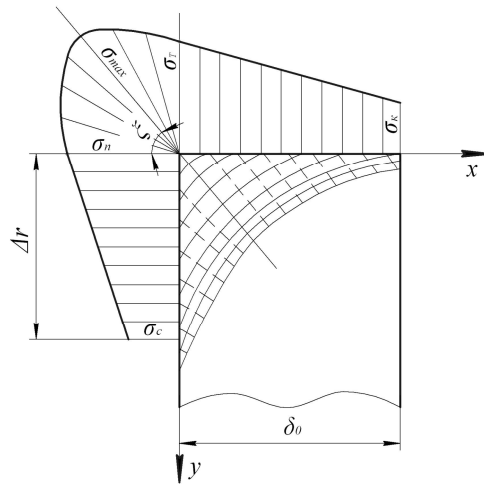
Математична формалізація опису розподілення зусиль, що діють на поверхні зношування периферійної частини витка, виконана за допомогою закономірностей зміни напружень.

### **Результати досліджень**

Правомірно припустити, що витки шнека, які в перерізі мають початкову практично прямокутну форму, зношуються зерною масою аналогічно до молотки дробарок. Тоді епіюру зношування можна побудувати у наступному схематичному вигляді (рис. 1).

Якщо до кожної обраної точки на поверхні профілю витка шнека встановити перпендикуляр й замінити отримані ламані лінії плавними кривими (показано пунктиром), то отримана побудова разом з профілями являє собою сітку зношування. Вона дає змогу кількісно оцінити ступінь та інтенсивність зношування у кожній точці профілю.

Так, якщо зношування розглядати по нормалям до поверхонь тертя, то отримують величини лінійного зношування. Між рівними інтервалами наробітку величини лінійних зношувань поступово зменшуються у міру віддалення від вершини кута витка. Встановлення закономірності протікання цього процесу являє практичний інтерес для подальшого обґрунтованого вибору конструктивних або технологічних заходів з підвищення довговічності шнекових робочих органів. В цьому аспекті також важливо знати закономірність розподілу зношування вздовж лінії профілю витка, що потребує окремого вивчення на основі проведення спеціальних експериментальних досліджень.



**Рис. 1. Сітка зношування перерізу витка шнекового робочого органу**

Встановленим фактом слід вважати, що для кутових форм робочих органів, які працюють і зношуються рослинним матеріалом та в яких проявляються крайові ефекти, динаміка лінійного зношування по нормалі до поверхні тертя може бути описана поліномом другого ступеня у такому вигляді [2]:

$$W = a_1 Q^2 + b_1 Q,$$

де  $Q$  – наробіток;  $a_1$ ,  $b_1$  – коефіцієнти, що встановлюються експериментально.

Повертаючись до аналізу впливу домінуючих факторів, що визначають зношування витків шнека й обумовлюють нерівномірність його розподілу, слід зауважити, що зона інтенсивного зношування витка на його периферії займає незначну ділянку, порівняно з повним робочим діаметром. Оскільки лінійна швидкість переміщення точки на робочій поверхні шнека  $V$  пов'язана з її радіусом обертання  $r$  залежністю  $V = \omega \cdot r$ , то лінійна швидкість, навіть з урахуванням защемлення та проковзування зерен, змінюється практично на ті ж незначні відсотки. Всі інші фактори впливу на зношування робочої поверхні (вологість, абразивність, шорсткість, твердість поверхні частинок та інше), крім тиску, залишаються однаковими. Таким чином, можна стверджувати, що в основному нерівномірність розподілу зношування на периферійній ділянці витка шнекового робочого органу обумовлена нерівномірністю діючого тиску з боку потоку зернових частинок.

Виходячи з зазначеного вище та використовуючи методику [4, 5], представляється можливість побудови епюри напружень, що діють на периферійну ділянку витка й обумовлюють її зношування (рис. 1).

Для подальшого аналізу епюру умовно можна поділити на три характерні ділянки. Перша належить до робочої гелікоїдної поверхні витка. На цій ділянці напруження змінюються практично за лінійним законом від деякої сталої

величини  $\sigma_c$  збільшуючись по мірі наближення в напрямку вершини кута до величини  $\sigma_n$ .

Відповідно до криволінійної форми зношеного витка в секторі кута, епюра набуває також криволінійної форми. При цьому величина напружень збільшується від  $\sigma_n$  до максимальних значень  $\sigma_{\max}$ . Після досягнення максимуму напруження починають зменшуватися до величини  $\sigma_T$ . Таким чином формується друга ділянка епюри, яка при досягненні напружень  $\sigma_T$  переходить в прямолінійну третю ділянку. Остання, третя ділянка епюри, завершується напруженням  $\sigma_e$ , дія якого відповідає повній товщині витка  $\delta_0$ .

Математичну формалізацію опису розподілення зусиль (напружень), що діють на поверхні зношування периферійної частини витка, без втрати фізичної сутності й точності, можна виконати за допомогою приблизних закономірностей зміни напружень.

Отримана епюра напружень, побудована через розподіл лінійного зношування на поверхні тертя, дає тільки приблизний опис дійсної картини, оскільки не враховує крайовий ефект втрати матеріалу та форми. Але ця неточність виявляється, в основному, у початковий період експлуатації, коли форма витка близька до прямокутної. В подальшому, при згладжуванні кутової форми, поверхня тертя розвантажується від концентрації зусиль й вплив крайового ефекту стає менш суттєвим. Ця ситуація відповідає переважному терміну експлуатації робочих органів.

Найбільше напруження, що відповідає максимальному лінійному зношуванню, спостерігається в кутовій частині профілю витка. Очевидно, що воно обумовлено руйнівною силою, яка призводить до подрібнення частинок в зазорі між кожухом та витком. Тоді максимальне напруження дорівнює напруженню руйнування зернових частинок  $\sigma_{\max} = \sigma_0$  (рис. 2).

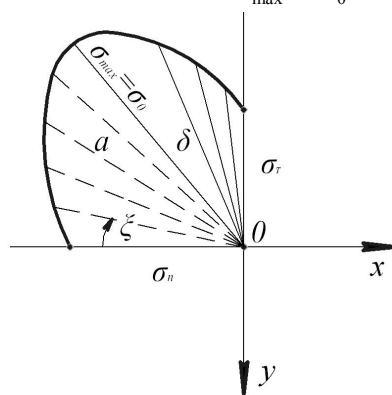


Рис. 2. Епюра напружень в кутовій частині витка шнека

Зміна напружень на другій (кутовій) ділянці поверхні зношування витка з достатньою точністю може бути описана синусоїдальним законом. Відповідно до цього, для першої половини ділянки, коли кут повороту радіуса вектора  $\xi$  (рис. 2) змінюється в межах:

$$\frac{\pi}{4} \geq \xi \geq 0,$$

маємо:

$$\sigma_{IIa} = \sigma_n + \sigma_n \cdot \sin \xi = \sigma_n (1 + \sin \xi). \quad (1)$$

На другій половині ділянки, коли  $\frac{\pi}{2} \geq \xi \geq \frac{\pi}{4}$ , функція синуса змінюється на косинус і формула для визначення напружень записується таким чином:

$$\sigma_{IIa} = \sigma_n (1 + \sin \xi). \quad (2)$$

Величини напружень на межах ділянок при переході з першої на другу та з другої на третю встановлюються шляхом зворотних перетворень, виходячи з граничної умови:

$$\sigma_0 = \sigma_n \left( 1 + \sin \frac{\pi}{4} \right).$$

Звідки

$$\sigma_i = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}}. \quad (3)$$

Відповідно для другої межі:

$$\sigma_0 = \sigma_n \left( 1 + \cos \frac{\pi}{4} \right),$$

$$\sigma_i = \sigma_T = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}}. \quad (4)$$

Тобто напруження на межах переходів з ділянки на ділянку однакові.

Підставляючи отримане значення напружень на межах у початкові рівняння (1) та (2) в кінцевому вигляді, виражаючи дію силового фактора через максимальне граничне напруження руйнування частинок зерна, маємо:

$$\sigma_{IIa} = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} (1 + \sin \xi); \quad \frac{\pi}{4} \geq \xi \geq 0, \quad (5)$$

$$\sigma_{IIa} = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} (1 + \cos \xi); \quad \frac{\pi}{2} \geq \xi \geq \frac{\pi}{4}. \quad (6)$$

Якщо кут повороту радіус-вектора  $\xi = 0$ , то:

$$\sigma_{IIa} = \sigma_i = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}}.$$

При  $\xi = \frac{\pi}{4}$  маємо:

$$\sigma_{IIa} = \sigma_{IIa} = \sigma_{\max} = \sigma_0.$$

Відповідно за  $\xi = \frac{\pi}{2}$ :

$$\sigma_{IIa} = \sigma_o = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}}.$$

Таким чином, запропоновані рівняння (5) та (6) адекватно описують розподіл напружень на криволінійній периферійній ділянці найбільш інтенсивного зношування витка шнека.

Вертикальна (перша) ділянка зношування є лінійною залежністю зміни напружень (рис. 3).

Згідно з позначеннями, прийнятими на рисунку 3, зміна напружень вздовж осі  $y$  може бути описана лінійною функцією вигляду:

$$\sigma_I = \sigma_c + (\sigma_n - \sigma_c) \frac{\Delta r - y}{\Delta r},$$

де  $\sigma_c$  – напруження, що діє по всій гвинтовій робочій поверхні в наслідок переміщення зернової маси;  $\Delta r$  – вертикальна ділянка зношування витка;  $y$  – поточне значення вертикальної координати на робочій поверхні шнека.

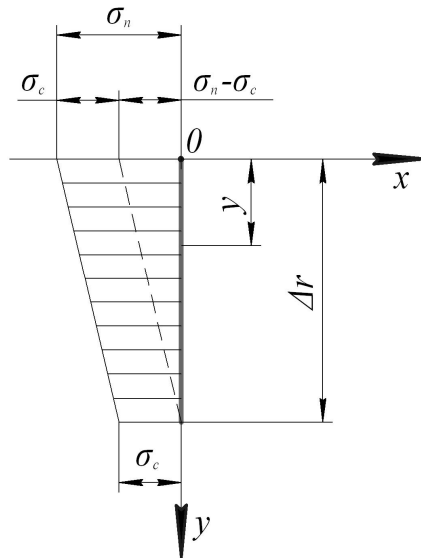
Підставляючи значення напруження  $\sigma_n$  з формули (3), в кінцевому вигляді запишемо:

$$\sigma_I = \sigma_c + \left( \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} - \sigma_c \right) \frac{\Delta r - y}{\Delta r}. \quad (7)$$

За  $y = 0$  на межі першої та другої ділянок зношування вираз (7) набуває значення:

$$\sigma_I = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}},$$

що відповідає дійсній епюрі напружень, що розглядається.

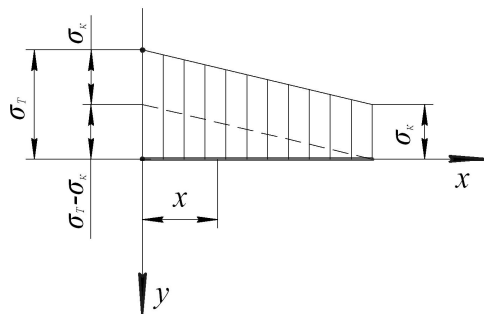


**Рис. 3. Епюра напружень на вертикальній ділянці витка шнека**

Якщо  $y = \Delta r$ , коли розглядаються напруження на початку першої ділянки зношування маємо:

$$\sigma_I = \sigma_c.$$

Горизонтальна ділянка зношування характеризується також лінійним зменшенням напружень (рис. 4).



**Рис. 4. Епюра напружень на горизонтальній ділянці витка шнека**

Відповідно до позначень, представлених на рисунку 4 лінійний закон зміни напружень на горизонтальній (третій) ділянці зношування витка може бути записаний у вигляді такого рівняння:

$$\sigma_{III} = \sigma_{\epsilon} + (\sigma_T - \sigma_{\epsilon}) \frac{\delta - x}{\delta},$$

де  $\delta$  – поточна довжина горизонтальної ділянки зношування витка шнека (залежить від наробітку та ступеня зношення витка);  $\sigma_{\epsilon}$  – напруження, що діє на кінці горизонтальної ділянки зношування торцевої поверхні витка шнека;  $x$  – поточне значення координати точки, що розглядається на горизонтальній поверхні зношування.

Підставляючи значення  $\sigma_T$  з рівняння (4), в кінцевому вигляді маємо:

$$\sigma_{III} = \sigma_{\epsilon} + \left( \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} - \sigma_{\epsilon} \right) \frac{\delta - x}{\delta}. \quad (8)$$

На краях горизонтальної ділянки, що розглядається маємо:

$$\text{- за } x = 0; \sigma_{III} = \sigma_T = \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}};$$

$$\text{- за } x = \delta_0 = \delta; \sigma_{III} = \sigma_{\epsilon}.$$

## Висновки

1. Нерівномірність розподілу зношування на периферійній ділянці витка шнекового робочого органу обумовлена нерівномірністю діючого тиску з боку потоку зернових частинок

2. Встановлено всі математичні залежності (5)–(8), що описують зміну напружень на окремих ділянках поверхонь тертя в перерізі витка шнека.

3. Як видно з результату, в цілому епюра напружень відповідає частково-неперервній функції. Елементи цієї функції необхідні для подальшого визначення навантажень, що обумовлюють інтенсивне зношування периферійної частини робочої поверхні шнека.

## Перспективи подальших досліджень

Дослідження слід зосередити на встановленні закономірностей протікання процесів зношування для подальшого обґрунтованого вибору конструктивних або технологічних заходів з підвищення довговічності шнекових робочих органів.

## Література

1. Бойко А.И. Графоаналитический метод изучения износа молотковых рабочих органов / А.И. Бойко // Исследование и конструирование машин и оборудования для животноводства : сб. науч. тр. ВНИИживмаш. – К. : ВНИИживмаш, 1987. – Вып. 12. – С. 90–96.
2. Бойко А.И. Исследование долговечности упрочненных молотков кормодрилок / А.И. Бойко, Н.И. Денисенко // Исследование и



- конструирование машин и оборудования для животноводства : сб. науч. тр. ВНИИживмаш. – К. : ВНИИживмаш, 1987. – Вып. 12. – С. 71–76.
3. *Бойко А.И.* Повышение долговечности рабочих органов кормоизмельчающих машин конструкторско-технологическими методами : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / *А.И. Бойко*. – К. : ВНИИживмаш, 1992. – 411 с.
  4. *Рабинович А.Ш.* Метод определения эпюры давления почвы на стабилизированный профиль лезвия / *А.Ш. Рабинович* // Сб. работ ВИМ. – М. : ВИМ, 1959. – Вып. II. – С. 7–10.
  5. *Рабинович А.Ш.* Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающих почворезущих лезвий / *А.Ш. Рабинович* // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 10. – С. 24–27.
  6. *Савченко В.М.* Моделювання процесу спрацювання зміцнених молоткових робочих органів кормодробарок / *В.М. Савченко, А.І. Бабко* // Зб. наук. пр. Луганського нац. аграр. ун-ту. – 2006. – № 2. – С. 173–182.
- 
-