

## Дослідження динаміки спрацювання периферійної частини витка шнекового робочого органу

**Ключові слова:** шнековий робочий орган, виток, зношування, профіль, зусилля, тертя, динаміка, зернина.

Визначено сили, що діють на поверхню тертя периферійної частини витка шнека. Співвідношення величин лінійного спрацювання доцільно відзначити на характерних границях окремих ділянок. Встановлено, що ступінь лінійного спрацювання в кутовій частині витка майже в два рази вищий, ніж в інших місцях периферійної зони.

**Постановка проблеми.** Шнеки знайшли широке застосування в сільськогосподарських машинах як транспортувальні або змішувальні робочі органи. Вони характеризуються простотою конструкції, зручністю у використанні, малими габаритами, герметичністю жолоба, що закритий по всій довжині, та безпечністю обслуговування.

Основною причиною виходу шнеків з ладу є спрацювання периферійної частини витків, внаслідок чого знижується їх продуктивність і збільшується травмованість зернового матеріалу, що транспортується. Для вибору раціональних шляхів підвищення довговічності шнеків необхідно проаналізувати причини, що викликають їх спрацювання, і розподіл його на периферійній частині витка.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Досвід експлуатації шнекових робочих органів і проведені дослідження [1-3] показують, що найбільше спрацювання спостерігається у периферійній частині витків, особливо нижніх витків похилих шнеків, що орієнтовані під кутом до горизонту, який перебільшує кут тертя зернової маси по матеріалу кожуха.

Згідно з результатами попередньо проведених досліджень [3-5] величина зазору між витком і кожухом двояко впливає на основні показники роботи шнека як транспортуючого робочого органу. По-перше, внаслідок зменшення діаметра несучої поверхні і розподілу потоків зернової маси зменшується продуктивність транспортування. По-друге, збільшення зазору і наближення його до середніх розмірів зернових частинок, що транспортуються, призводить до підвищення травмування і руйнування окремих зерен. Для сільськогосподарського виробництва цей фактор є дуже суттєвим, оскільки від ступеня пошкодження зерна залежить не лише його подальша схожість, але й можливість ефективного збереження.

Руйнівна дія шнекового робочого органу на зерновий матеріал знижується, коли зазор збільшується до розмірів, що в кілька разів перевищує розмір частинок [5]. У цьому випадку між кожухом і витком шнека в зазорі утворюється проміжний шар зернової маси. Якщо нахил шнека більший за кут тертя, зернова маса починає рухатись у зазорі в протилежний бік від напрямку транспортування. Це негативно впливає на ефективність роботи шнека, знижуючи його продуктивність.

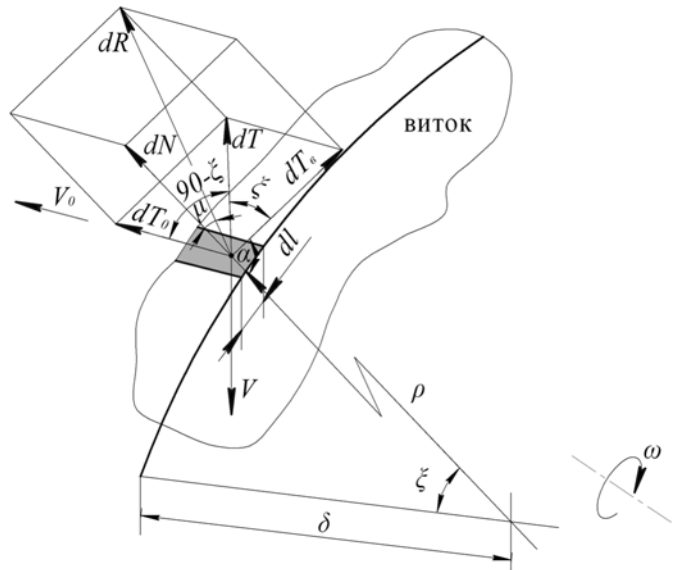


Рис. 1 – Сили, що діють на елементарну площадку криволінійної ділянки поверхні спрацювання витка шнека

**Мета досліджень.** Проаналізувати причини, що викликають спрацювання периферійної частини витка, з метою вибору раціональних шляхів підвищення довговічності шнекових транспортерів та живильників.

**Результати досліджень.** Для визначення зусиль на поверхнях тертя периферійної частини витка шнека виділимо елементарну площадку (рис. 1).

Оскільки товщина витка значно менша від інших його геометричних параметрів, елементарна площадка може бути представлена у вигляді елементарної смужки довжиною, рівною спрацьованій ділянці товщини витка  $\delta$ . В свою чергу криволінійний профіль поверхні тертя периферійної частини витка спрощено може бути представлений дугою кола радіусом  $\rho = \delta$ .

Тоді довжина дуги елементарної площадки дорівнює:

$$dl = \delta \cdot d\xi,$$

а його площа відповідно становить:

$$dS = dl \cdot \delta.$$

Зусилля, що діє на елементарну площадку, дорівнює векторній сумі:

$$d\vec{R} = d\vec{N} + d\vec{T}.$$

Елементарна сила тертя розкладається на дві складові:

$$d\bar{T} = d\bar{T}_0 + d\bar{T}_e.$$

Величина сили елементарної реакції через епюру напружень, отриману в роботі [6], дорівнює:

$$d\bar{R} = \sigma \cdot dS. \quad (1)$$

Враховуючи, що в умовах защемлення частинки зерна між кожухом і витком шнека [7] кут між реакцією та нормальним зусиллям дорівнює куту тертя  $\mu$ , маємо:

$$dN = dR \cdot \cos \mu.$$

Після підстановки реакції з рівняння (1) запишемо:

$$dN = \sigma \cdot dS \cdot \cos \mu.$$

Згідно з дослідженнями, проведеними Хрущовим Н.М. та Бабичевим М.А. [8, 9], між нормальною силою тиску і спрацюванням матеріалів існує залежність:

$$W = k \cdot p^m \cdot V^n \cdot t,$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує умови спрацювання;  $p$  – тиск на поверхню тертя;  $V$  – швидкість відносного переміщення;  $t$  – час.

Для умов абразивного спрацювання або прирівняних до них  $n = m = 1$ . В зерновій масі завжди є домішки абразиву (1-3%), а зовнішня оболонка зернин являє собою тверду речовину? покрити, як правило, пиллом, що також містить дрібні частинки абразиву. Тому з певними припущеннями можна використати формулу Хрущова-Бабичева для визначення спрацювання матеріалів внаслідок тертя об них зернової маси.

Для окремих ділянок периферійної частини витка шнека, де параметри  $k$ ,  $V$  та  $t$  практично однакові, суттєвий вплив на зношування має нормальний тиск. Прийнемо для розв'язуваної задачі, що його величина виражається нормальною складовою напруження, яке діє внаслідок контакту поверхні тертя із зерниною. Тоді:

$$\sigma_N = \sigma \cdot \cos \mu,$$

а величина спрацювання визначиться рівнянням:

$$W = k \cdot \sigma_N \cdot V \cdot t = k \cdot \sigma \cdot \cos \mu \cdot V \cdot t.$$

Використовуючи епюру навантажень та підставляючи значення напружень з рівняння (5) [6] для ділянки II-а, запишемо:

$$W_{IIa} = k \cdot \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} (1 + \sin \xi) \Big|_0^{\frac{\pi}{4}} \cdot V \cdot \cos \mu \cdot t. \quad (2)$$

Відповідно для інших ділянок профілю маємо:

$$W_{IIb} = k \cdot \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} (1 + \cos \xi) \Big|_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \cdot V \cdot \cos \mu \cdot t; \quad (3)$$

$$W_I = k \cdot \left[ \sigma_c + \left( \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} - \sigma_c \right) \cdot \frac{\Delta r - y}{\Delta r} \Big|_{y=\Delta r-\delta}^{y=0} \right] \cdot V \cdot \cos \mu \cdot t; \quad (4)$$

$$W_{III} = k \cdot \left[ \sigma_c + \left( \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} - \sigma_c \right) \cdot \frac{\delta - x}{\delta} \Big|_{x=0}^{x=\delta} \right] \cdot V \cdot \cos \mu \cdot t. \quad (5)$$

Науковий та практичний інтерес мають не стільки абсолютні значення величин зношування, скільки їх співвідношення, оскільки від цього залежить геометрична форма поверхні, якої набуває периферійна частина витка в процесі експлуатації.

Співвідношення величин лінійного спрацювання доцільно визначити на характерних границях окремих ділянок. Так, для першої ділянки величина спрацювання під час переходу її з периферійної зони в звичайну робочу зону для транспортування зерна дорівнює:

$$W_{Ib} = k \cdot V \cdot \sigma_c \cdot \cos \mu \cdot t.$$

Певні труднощі можуть виникати у визначенні напруження  $\sigma_c$ . Але величина цього напруження може бути, у першому наближенні, розрахована через потужність, що витрачається шнеком на транспортування зернової маси. Більш точним шляхом визначення напруження  $\sigma_c$  є експериментальний – через встановлення зусиль, що діють на основну (транспортивальну) робочу поверхню шнека.

Максимальне лінійне спрацювання витка спостерігається в зоні його кута, де під час защемлення часток зерна виникають максимальні зусилля. Крім того, на величину спрацювання впливає і виступна початкова кутова форма витка. Таким чином, на другій ділянці спрацювання маємо:

$$W_{II} = W_{\max} = k \cdot V \cdot \sigma_0 \cdot \cos \mu \cdot t. \quad (6)$$

Для третьої ділянки характерним є значення спрацювання на максимальному віддаленні від кута профілю витка, тобто при  $x = \delta_0$ . Тоді можна записати:

$$W_{III} = k \cdot V \cdot \sigma_c \cdot \cos \mu \cdot t.$$

Важливим є розгляд ситуації, коли виток спрацювався до такої межі, що профіль його досяг протилежного кута (рис. 2), а подальше спрацювання призведе до збільшення зазору  $H$  між витком та кожухом.

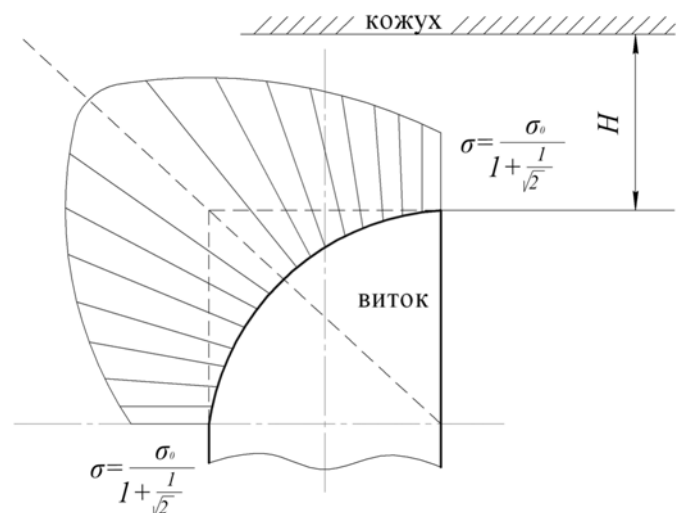


Рис. 2 – Схема спрацювання профілю витка до величини зазору між витком та кожухом

Фактично в цьому випадку, який підтверджується багатьма спостереженнями за динамікою спрацювання шнеків, уся периферійна поверхня спрацювання може бути розглянута як єдина друга ділянка. Тоді граничні величини спрацювання під час переходу з другої ділянки на першу та з другої на третю дорівнюють:

$$W_{II-I} = W_{II-III} = k \cdot V \cdot \frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}} \cdot \cos \mu \cdot t.$$

Порівнюючи величини лінійного спрацювання на границях характерних ділянок, в цьому випадку можна записати:

$$\frac{W_{\max}}{W_{II-I}} = \frac{W_{\max}}{W_{II-III}} = \frac{\sigma_0}{\frac{\sigma_0}{1 + \frac{1}{\sqrt{2}}}} \approx 1,7. \quad (7)$$

Тобто, величина лінійного спрацювання в кутовій частині витка майже в два рази вища, ніж в інших місцях периферійної зони. Відповідно до цього й повинні бути запропоновані заходи стосовно вирівнювання розподілу величин інтенсивності спрацювання. Очевидним є застосування в периферійній зоні витка зміцнюючих зносостійких матеріалів. Це рішення реалізовано в ряді робіт, де наукові досягнення пов'язані, насамперед, з успіхами створення зносостійких матеріалів і технологій їх нанесення.

Другим перспективним напрямком зменшення інтенсивності спрацювання шнеків може бути забезпечення в їх конструкції таких зазорів між витком та кожухом, які б не давали можливості заклинюватись частинкам зерна, тим самим попереджуючи руйнування витків під час великих напружень, що інтенсифікують їх спрацювання.

Іншим шляхом збільшення довговічності шнеків і зниження травмування зерна є виготовлення їх з полімерних матеріалів та використання таких конструкційних рішень, які можуть допускати своєчасне відгинання витка у разі перевантажень в зазорі. В цьому плані для розроблення раціональних конструкцій доцільним є визначення зусиль, що діють на периферійну частину витка.

#### Висновки.

1. Основною дією осьової складової зусилля тертя є створення напруг тиску та руйнування часток зерна в зазорі, тимчасом як складова, направлена вздовж витка, викликає його спрацювання.

2. Максимальне лінійне спрацювання спостерігається в зоні його кута, де у разі заземлення часток зерна виникають максимальні зусилля.

3. Для вирівнювання інтенсивності спрацювання між найбільш навантаженою периферійною ділянкою витка і його робочою транспортувальною поверхнею необхідно, щоб зносостійкість матеріалу периферійної частини була вищою не менше ніж в 1,7 разу.

Перспективи подальших досліджень мають бути зосереджені на визначенні зусиль, які діють на периферійну частину витка шнека, що дозволить запропонувати заходи стосовно вирівнювання розподілу величин інтенсивності його спрацювання.

#### Список літератури

1. Кальбус Г.Л. К вопросу изнашивания вертикальных шнеков при транспортировании зерна и комбикормов / Г.Л. Кальбус, Л.В. Тененбаум, Т.И. Бородин // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства: сб. науч. тр. ВНИИживмаш. – К.: ВНИИживмаш, 1976. – Вып. 2. – С. 147-151.
2. Кузнецов В.В. Исследование износостойкости навивок шнеков / В.В. Кузнецов, Б.П. Ласаев, В.Л. Седаш // Совершенствование и улучшение использования сельскохозяйственной техники: науч. тр. – Воронеж: Изд-во ВСХИ, 1976. – Т. 75. – С. 46-48.
3. Кузнецов В.В. Методы уменьшения износа поверхностей трения зерноочистительных агрегатов / В.В. Кузнецов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 132 с.
4. Пугачев А.Н. Повреждение зерна машинами / А.Н. Пугачев. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
5. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2003. – 331 с.
6. Бойко А.І. Особливості навантаження і розподіл зношування поверхонь витків шнекових робочих органів / А.І. Бойко, В.М. Савченко, В.Л. Куликівський // Вісник ЖНАЕУ. – 2011. – № 1.
7. Бойко А.І. Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі «виток-кожух» шнекових живильників зерноочисних машин / А.І. Бойко, В.Л. Куликівський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України – 2011. – Вип. 145.
8. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
9. Хрущов М.М. Исследование изнашивания металлов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: АН СССР, 1971. – 267 с.

**Аннотация.** Определены силы, которые действуют на поверхность трения периферийной части витка шнека. Соотношение величин линейного изнашивания целесообразно определять на характерных границах отдельных участков. Установлено, что степень линейного изнашивания в угловой части витка до двух раз выше, чем в других местах периферийной зоны.

**Summary.** Forces which operate on the surfaces of friction of peripheral part of coil of screw are certain. It is expedient to get correlation of sizes of linear wear on characteristic limits of separate areas. It is set that the size of linear wear in angular part of coil of to two times is higher, than in other places of peripheral area.

Стаття надійшла до редакції 21 березня 2011 р.