

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕРНА В ЗАЗОРІ «ВИТОК – КОЖУХ» ШНЕКОВИХ ЖИВИЛЬНИКІВ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

*А.І. Бойко, доктор технічних наук
В.Л. Куликівський, аспірант**

Представлено схему сил, що діють на виток і зернину в зазорі між шнеком та кожухом. Виявлено границі руху зернової частинки, при яких реалізується її ковзання по поверхнях контакту деталей зазору. Визначено зони заклинювання зернової частинки в зазорі робочих поверхонь шнекового транспортера.

Зерно, зазор, шнек, машина.

Постановка проблеми. Шнекові робочі органи сільськогосподарського призначення працюють в складних умовах взаємодії із зерновим матеріалом, який в своєму складі містить певну кількість абразивних частинок.

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 в результаті протікання процесів зношування витків зерною масою. Від його величини залежать основні показники роботи шнека. Особливе значення даний параметр має для шнекових живильників зерноочисних машин, де від його величини залежить ступінь травмованості зерна, що транспортується.

Аналіз останніх досліджень. Досвід експлуатації шнекових робочих органів і проведені дослідження [1, 2] показують, що найбільше зношування спостерігається на периферії витків. Особливо це відмічається для нижніх витків похилих шнеків, що орієнтовані під кутом до горизонту, який збільшує кут тертя зернової маси з матеріалом кожуха.

Згідно результатів 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 діаметру 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

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.І. Бойко

фактор є дуже суттєвим, так як від ступеня пошкодження зерна залежить не тільки його подальша схожість, але і можливість ефективного збереження.

Мета досліджень. Дослідити взаємодію зернових частинок в зазорі між кожухом і витком шнека, та виявити зусилля, що обумовлюють зношування гвинтових робочих поверхонь транспортерів зерноочисних машин.

Результати досліджень. Найбільша інтенсивність зношування спостерігається на робочій поверхні витка в периферійній його частині. Поступово початкова практично прямокутна форма нового витка при зношуванні заокруглюється і набуває в перерізі криволінійний робочий профіль (рис. 1).

Таким чином в процесі роботи профіль зношування переміщується в тіло витка характеризуючи зміну геометрії і маси витка. Однак, при цьому, якщо розмір зазору між рухомим витком і кожухом шнека H (рис. 1) не змінюється, то зношування витка практично не впливає на показники його роботи. Зміни в роботоздатності робочого органу починають проявлятися при збільшенні зазору в наслідок подальшого зношування витка.

Для узагальнення форми зернова частинка прийнята у вигляді еліпсоїда, що найкраще відповідає більшості реальних частинок зерна. Відповідно в перерізі частинка зерна представляється еліпсом, канонічне рівняння якого в декартовій системі координат має вигляд:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

де a – довжина великої півосі еліпса; b – довжина малої півосі еліпса.

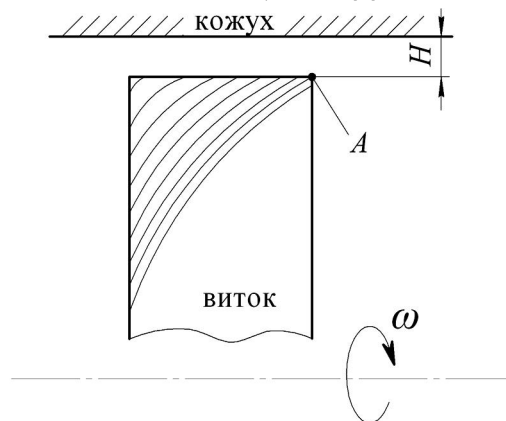


Рис. 1. Схема профілів зношування периферійної частини витка шнека.

Із двох деталей робочого органу, що утворюють зазор, кожух є нерухомим, а виток шнека обертається навколо власної осі з кутовою швидкістю ω .

Внаслідок встановлення витків шнека під кутом α до осі лінійна швидкість від кутового обертання дорівнює:

$$V = \omega \cdot r, \quad (2)$$

де r – радіус точки контакту зернини з витком.

Вона може бути розкладена на дві складові згідно векторного рівняння:

$$\bar{V} = \bar{V}_a + \bar{V}_0, \quad (3)$$

де V_a – швидкість переміщення точки контакту вздовж витка; V_0 – швидкість переміщення точки контакту в напрямку осі обертання шнека.

На частинку зерна в зазорі коли є ступені вільності її переміщення відносно контактних поверхонь діють наступні сили (рис. 2): сила ваги G ; реакція поверхні кожуха R_e ; реакція поверхні витка R_a ; опір шару сусідніх частинок Q .

Ці сили в даному випадку породжують моменти обертового руху частинки при її не защемленні: момент від сили ваги M_G ; момент від реакції кожуха M_{R_e} ; момент від реакції витка M_{R_a} ; момент від опору сусідніх частинок M_Q .

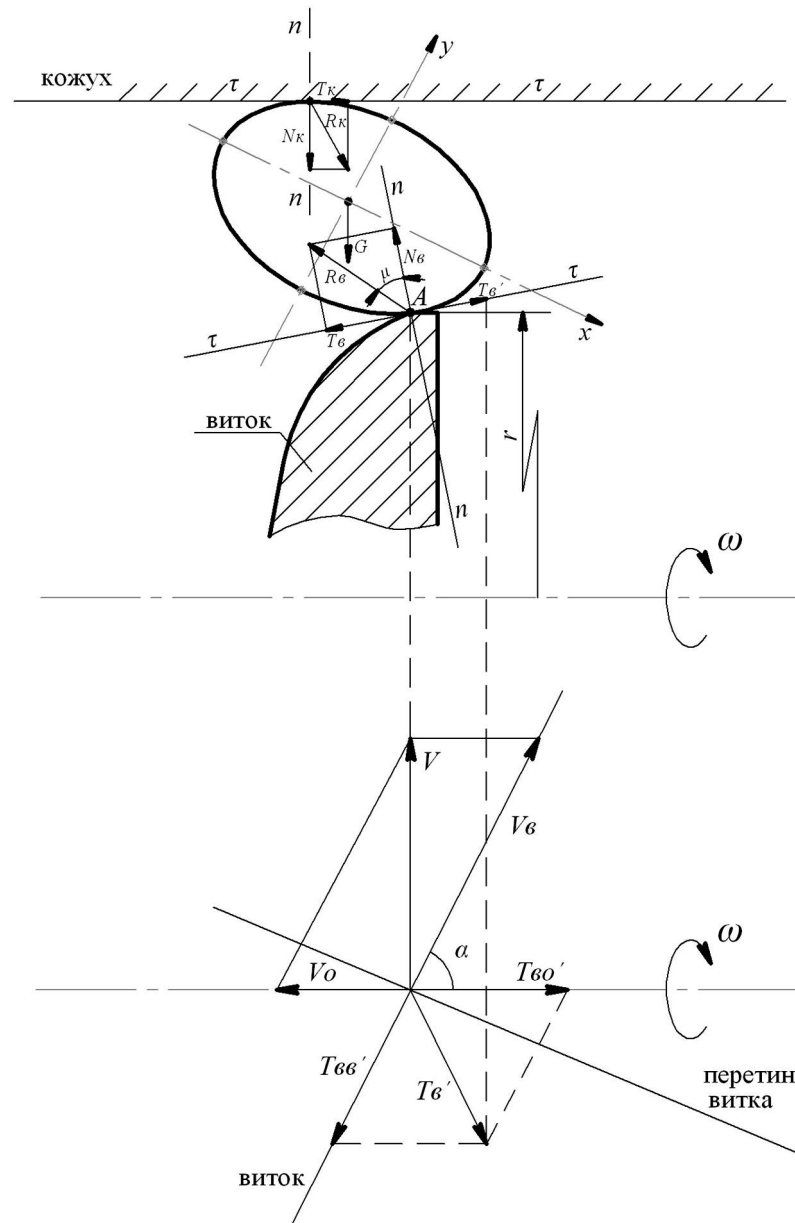


Рис. 2. Схема сил, що діють на виток і зернину в зазорі між шнеком та кожухом.

Під дією цих сил і моментів рухоме переміщення зерна в зазорі, коли є ступені вільності частинки відносно поверхонь тертя як в контакті з кожухом, так і з витком шнека може бути описано системою рівнянь:

$$\begin{cases} \bar{G} + \bar{R}_\varepsilon + \bar{R}_a + \bar{Q} = m \cdot a_0; \\ M_G + M_{R_\varepsilon} + M_{R_a} + M_{\bar{Q}} = I_0 \cdot \varepsilon, \end{cases} \quad (4)$$

де m – маса частинки зерна; a_0 – прискорення центра маси частинки у поступовому русі; I_0 – момент інерції частинки відносно центра маси; ε – кутове прискорення частинки в кутовому русі відносно центра маси.

З приведеного аналізу очевидна важливість виявлення границь руху зернової частинки, при яких реалізується її ковзання по поверхням контакту деталей зазору.

Якщо для підшипника ковзання геометричним місцем, що розділяє тертя ковзання від тертя кочення, є коло тертя, описане радіусом тертя [6, 7], то для еліпса зернової частинки, очевидно, буде границею розділу деяка область тертя. За допомогою її можна визначити ділянку дуги еліпса де реалізується тертя ковзання і границю де вона переходить в тертя кочення. Це важливо для встановлення самого процесу тертя ковзання, що призводить до зношування робочих поверхонь деталей в зазорі.

Для виявлення зон тертя ковзання і тертя кочення частинки зерна необхідно встановити радіус тертя, який може бути підрахований згідно формули [7]:

$$r_\delta = \rho_\zeta \cdot \sin \mu, \quad (5)$$

де ρ_ζ – радіус кривизни зернової частинки представленої еліпсом; μ – кут тертя.

При малих значеннях кутів тертя, що відповідає фізичній суті задачі, яка розглядається, з достатньою для практичних цілей точністю можна записати:

$$r_\delta = \rho_\zeta \cdot \operatorname{tg} \mu, \quad (6)$$

або:

$$r_\delta = \rho_\zeta \cdot f, \quad (7)$$

де f – коефіцієнт тертя частинки зерна по сталевій робочій поверхні деталі в зазорі.

Радіус кривизни еліпса в точці контакту A (рис. 2) можна визначити згідно відомої формули [8]:

$$\rho_\zeta = a^2 \cdot b^2 \left(\frac{x_A^2}{a^4} + \frac{y_A^2}{b^4} \right)^{3/2}, \quad (8)$$

де x_A , y_A – координати точки контакту зернини (еліпса) з витком шнека.

Визначення області тертя значно спрощується при застосуванні комбінованого графоаналітичного методу. Для цього, як і в

попередньому випадку, спочатку задаються координатами точки контакту $\dot{A}(x, y)$ (рис. 3). З точки контакту проводиться нормаль до кривої еліпса. На нормалі відкладається радіус кривизни кривої, підрахований згідно формули (8). Таким чином встановлюється центр кривизни, з якого проводиться коло тертя радіусом тертя, визначеним по формулі (6). Операції повторюються достатню кількість разів для побудови плавної кривої, що з'єднує і охоплює кола тертя. Ділянка в середині отриманої лінії представляє собою область тертя. Важливість її визначення полягає в тому, що за її допомоги встановлюються зони заклинювання частинки робочими поверхнями кожуха і витка. Для цього з точки контакту $\dot{A}_i(x_i, y_i)$ де виконується умова $tg\mu = f$ проводяться дотичні до області тертя (рис. 3). В перетині дотичних з контуром еліпса визначаються точки a і b , менша дуга між якими, задає зону заклинювання частинки нерухомою поверхнею кожуха. Зона заклинювання робочою поверхнею витка визначається шляхом паралельного переносу дотичної A_a (рис. 3) на протилежну сторону області тертя. Тоді в перетині контуру еліпса з цією дотичною встановлюється точка C . Коротка дуга $\dot{A}\tilde{N}$ між точками A і C задає ділянку заклинювання частинки зерна робочою поверхнею витка шнека. Як видно з отриманих графоаналітичних побудов, дуга заклинювання ab суттєво більша дуги заклинювання $\dot{A}\tilde{N}$. Отриманий результат підтверджує положення про те, що частинки сипкого матеріалу в своєму русі більш ймовірно втрачають швидкість переміщення до повної зупинки біля нерухомих поверхонь. Внаслідок цього нерухомі поверхні в зазорах зношуються в меншій мірі ніж рухомі.

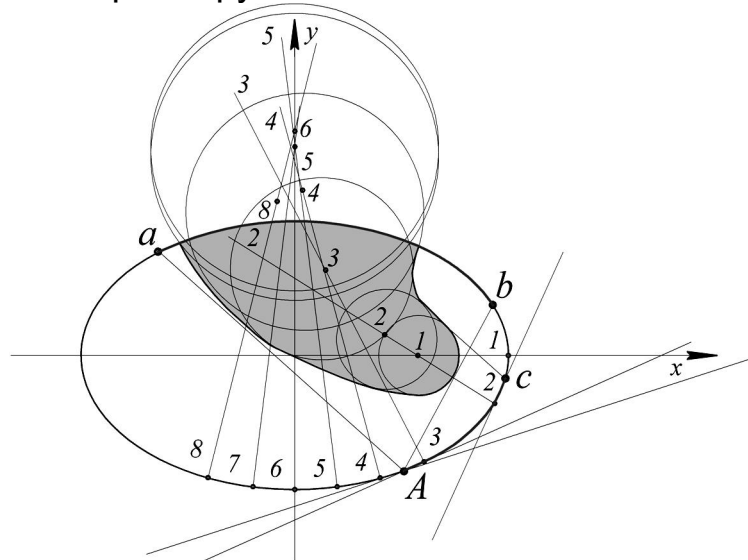


Рис. 3. Схема для визначення зон заклинювання зернової частинки в зазорі робочих поверхонь шнекового транспортера

Область тертя розділяє поведінку частинки зерна на два види в залежності від величини кута тертя μ між вектором реакції дії робочого органу R_a і вектором зусилля, що діє по нормалі до робочій поверхні N_a (рис. 2).

Якщо кут тертя буде таким, що $tg\mu > f$, то вектор реакції проходить повз область тертя і частинка зерна не заклинюється між робочими поверхнями в зазорі. При малих значеннях кута тертя, тобто коли нормальне зусилля і реакція відхиляються на незначний кут, а $tg\mu \leq f$, вектор реакції проходить через область тертя або дотично до неї. Тоді сили тертя такі, що утримують частинку в зазорі між витком і кожухом шнека. Це суттєво впливає на механізм взаємодії шнекового робочого органу з частинкою.

При заклинюванні відбувається перерозподіл зусиль. Осьовим рухом точки контакту витка V_0 (рис. 2) при заклинюванні частинка стискується в зазорі. Сили, що діють на неї (в тому числі і сила тертя) суттєво збільшуються. В той же час відбувається рух точки контакту вздовж витка зі швидкістю V_a . Сумісна дія силового фактору і фактору переміщення обумовлюють зношування робочої поверхні витка, що призводить до збільшення величини зазору між ним і кожухом шнека.

Зусилля стиску, що діють на зернину і відповідно її реакції на робочі поверхні деталей в зазорі ростуть до граничних значень при яких відбувається руйнування частинки.

Висновки

1. На рух частинки зерна в зазорі суттєво впливає наявність чи відсутність ковзання по поверхням деталей, що утворюють зазор. Наявність чи відсутність ковзання, а значить і реалізація того чи іншого виду руху частинки залежить від коефіцієнтів тертя на контакті.

2. Збільшення величини зазору між кожухом і витком шнека до розмірів близьких до параметрів частинки зерна, а також криволінійна форма поверхні зношування витка сприяють утворенню умов заклинюванню частинки. При цьому різко підвищується зусилля в контактах між зерниною і деталями зазору, що при наявності переміщень вздовж витка активізує його зношування і руйнування зернової частинки.

Список літератури

1. Кальбус Г.Л. К вопросу изнашивания вертикальных шнеков при транспортировании зерна и комбикормов / Г.Л. Кальбус, Л.В. Тененбаум, Т.И. Бородина // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства. – 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. – 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: 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. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М. – Л.: Изд-во Технико-теоретической литературы, 1952. – 704 с.
7. Юдин В.А. Теория механизмов и машин / В.А. Юдин, Л.В. Петрокас. – М.: Высшая школа, 1977. – 527 с.

8. *Бронштейн И.Н.* Справочник по математике / *И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев.* – М. – Л.: Изд-во Техничко-теоретической литературы, 1955. – 608 с.

Представлена схема сил, что действуют на виток и зерно в зазоре между шнеком и кожухом. Обнаружены границы движения зерновой частицы, при которых реализовывается ее скольжение по поверхностям контакта деталей зазора. Определены зоны заклинивания зерновой частицы в зазоре рабочих поверхностей шнекового транспортера.

Зерно, зазор, шнек, машина.

The scheme of forces that operate on coil and grain in backlash between conveyer and casing is presented. Borders of movement of grain particle are found out, at which realized its sliding on surfaces of contact of details of backlash. Zones of jamming of a grain particle in backlash of working surfaces screw conveyer are defined.

Grain, backlash, conveyer, mashine.