

ІНЖЕНЕРНІ ПРОБЛЕМИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 631.358.42

¹Р.Б.Гевко, д.т.н., професор²С.З.Залуцький, інженер²М.Р.Гевко, к.т.н.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШНЕКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ЕЛАСТИЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

¹ Тернопільський національний економічний університет² Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Проведено аналіз існуючих конструкцій робочих органів шнекових транспортерів з еластичними поверхнями. Запропоновано спосіб виготовлення шнекового робочого органу з еластичною зовнішньою поверхнею та послідовність відповідних технологічних операцій. Розроблено стенд для проведення експериментальних досліджень, та проведені теоретичні дослідження з визначенням параметрів руху сипкого матеріалу між секціями шнекового робочого органу

Ключові слова: шнек, еластична поверхня, сипкий матеріал, стенд, параметри руху

Вступ. В сільськогосподарському виробництві гвинтові конвесери займають важливу роль і є незамінними при транспортуванні зернових, насінневих матеріалів, гранульованих мінеральних добрив, які при переміщенні в замкнених кожухах зазнають значних пошкоджень, що є недопустимим.

Основною причиною травмування сипкого матеріалу при переміщенні є попадання його частинок матеріалу в зазор між обертовим шнековим робочим органом і нерухомою внутрішньою поверхнею направляючої труби. Внаслідок цього відбувається повне або часткове пошкодження сипких матеріалів, а також можливе заклинювання робочого органу.

Регулювання величини зазорів між периферією шнека та внутрішньою поверхнею труби, застосування різних профілів зовнішніх кромek гвинтових поверхонь в залежності від геометричних та реологічних параметрів транспортованого сипкого матеріалу лише частково може вирішити дану проблему.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведений аналіз відомих досліджень підтвердив актуальність поставленої задачі. Вирішенню даних питань, а саме розробці оригінальних конструкцій гвинтових робочих органів та вибору їх раціональних параметрів присвячені праці [1,2,3]. З іншої сторони, в літературі дедалі частіше зустрічаються конструктивні рішення, які спрямовані на більш кардинальне вирішення даних проблемних питань.

Так, американська компанія «Lundell Plastics Corp» пропонує використовувати полімерні спіральні накладки на гвинтових ребрах (рис.1).

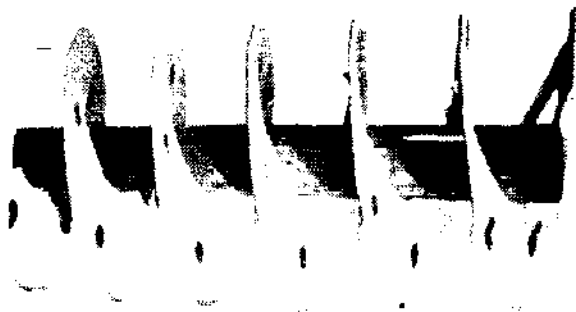


Рис. 1. Шнек з еластичною гвинтовою поверхнею

Недоліком даної конструкції шнека та методу його виготовлення є зміщення еластичних накладок одна відносно одної, і як наслідок виникнення зазорів між ними, що призводить до нерівномірного спрацювання поверхні шнека.

Італійська компанія «WAM Group» пропонує виготовлення робочого органу, металева основа якого покрита полімерним матеріалом (рис.2а). Однак даний спосіб має ряд недоліків, до яких можна віднести підвищену трудомісткість і енерговитратність при виготовленні шнеків, також низька їх ремонтоздатність. При цьому, як і попередньому випадку жорсткість периферійної поверхні шнека залишається досить високою.

Також відома конструкція шнека австралійської компанії «Bulknet» (рис.2б), периферійна

поверхня якої виготовлена у вигляді еластичної шітки. До недоліку такої конструкції можна віднести те, що робоча поверхня шнека не є однорідною, а отже при переході від суцільної спіралі до еластичної шітки за рахунок відцентрових можуть виникати зміни швидкості та напрямку руху сипкого матеріалу, що приводить до підвищеного пошкодження сипкого матеріалу.



Рис. 2. Гвинтові робочі органи італійської компанії «WAM Group» (а) з полімерним покриттям та шнек австралійської компанії «Bulknet» (б) з периферійною поверхнею виготовленою у вигляді еластичної шітки

Постановка завдання. Метою дослідження є підвищення експлуатаційних показників шнекових транспортерів шляхом зменшення ступеня пошкодження сипких матеріалів при їх транспортуванні, а також розробка способу виготовлення шнекового робочого органу з еластичною зовнішньою поверхнею та схеми експериментального стенду для проведення досліджень з визначення ступеня пошкодження сипких матеріалів в залежності від конструктивних і кінематичних параметрів гвинтового робочого органу.

Основний зміст. Для реалізації даного напрямку розроблено спосіб виготовлення шнекового робочого органу з еластичною зовнішньою поверхнею, послідовність виконання технологічних операцій, при якому зображено на рис.3.

Попередньо навита смугова спіраль 1, витки котрої контактують одні з одними, встановлюється на втулку 2, на якій виконано один виток з кроком рівним товщині спіралі. Аналогічна втулка 3 розташовується у верхній частині спіралі. Далі витки спіралі за допомогою ступінчастої втулки 4 і центрального гвинта 5, який вкручується в основу оправки 6, максимально стискаються між собою. На зовнішній поверхні втулки 3 рівномірно в колісному напрямку по периферії витків спіралі виконано наскрізні отвори, в яких встановлені кондукторні втулки 7. Далі, за допомогою свердлильної головки 8 відбувається одночасне свердління декількох (або всіх) отворів по периферії витків спіралі.

Наступною технологічною операцією є калібрування смугової спіралі на заданий крок, яка в подальшому жорстко кріпиться на валу 9. До пари отворів на спіралі кріпляться (наприклад за допомогою болтових з'єднань із заокругленими головками) еластичні накладки, які можуть мати різну конструкцію периферійної поверхні (заокруглену, клиноподібну).

Основною вимогою, яка висувається до еластичних накладок є забезпечення мінімального коефіцієнту тертя робочої поверхні та гарантованого транспортування матеріалу. Однак якщо частинка матеріалу (наприклад зернина) попадає і заклинюється в зазорі між периферійною поверхнею еластичної накладки і направляючою трубою то еластична накладка, прогинаючись повинна вивільнити частину матеріалу із зазору без її пошкодження.

Також рекомендується нижню поверхню еластичних накладок також виконувати з профілем, який виключатиме різкий перехід матеріалу із суцільної металеві спіралі на еластичні накладки.

Важливу роль при транспортуванні сипких матеріалів відіграє швидкість обертання гвинтового робочого органу, при збільшенні якої збільшується не тільки продуктивність шнекового конвеєра, але і ймовірність пошкодження транспортованого матеріалу.

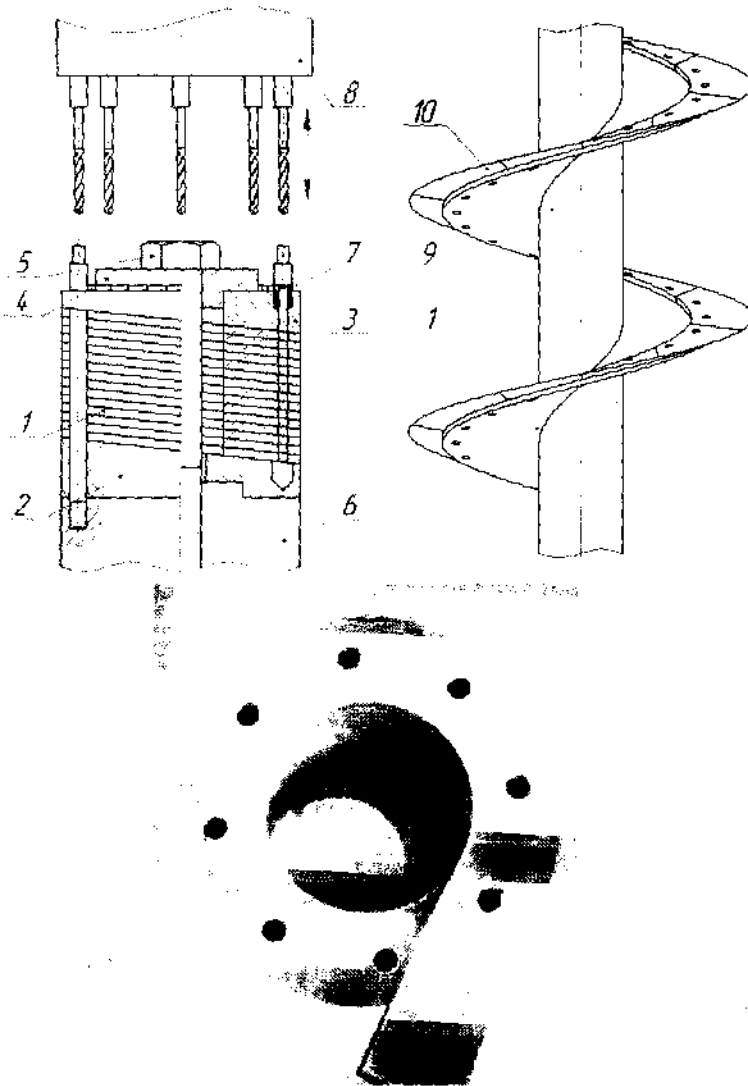


Рис.3. Послідовність технологічних операцій та загальний вигляд навитої на ребро спіралі з виконаними отворами для виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею

Швидкість взаємодії робочого органу та матеріалу який транспортується визначається за формулою:

$$V = \omega R, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість обертання шнека, R – радіус поверхні обертання шнека.

З іншої сторони швидкість ударної взаємодії тіл при вільному падінні одного з них визначається за формулою:

$$V = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, h – висота вільного падіння тіла.

Отже застосовуючи вищенаведені формули можна визначити критичні швидкості взаємодії сипкого матеріалу і поверхні шнека в залежності від реологічних параметрів матеріалів тіл взаємодії та висоти вільного падіння одного з тіл.

Для цього розроблено експериментальний стенд, який представлено на рис.4.

Він містить основу, яка складається з вертикальної 1 та горизонтальної 2 частин. На вертикальній частині у вертикальній колодці 3 закріплений імітатор робочого органу 4, який може бути виконаний з різною жорсткістю та величиною їх консольного виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 до кронштейна 5 вертикальної колодки. Вона має можливість вертикального зміщення, фіксації та розфіксації з вільним падінням по направляючих вертикальної частини основи стенду. На горизонтальній частині основи 2 у горизонтальній колодці 6 закріплений сільськогосподарський матеріал 7 (наприклад зернина), причому його вільна сторона має

можливість взаємодіяти з консольною поверхнею імітатора робочого органу 4.

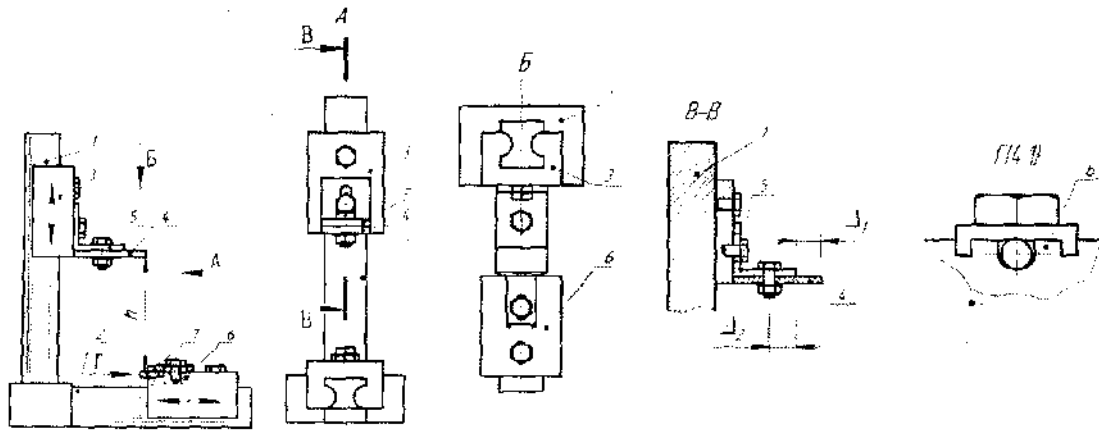


Рис. 4. Стенд для дослідження ступеня пошкодження сипких матеріалів

Методика проведення експериментальних досліджень поляє в наступному. Спочатку сипкий матеріал (наприклад зернину) однією стороною закріплюють в горизонтальній колодці. Далі, до кронштейна вертикальної колодки закріплюють імітатор робочого органу, а саму колодку по напрямлюючих вертикальної частини основи піднімають і фіксують на певній висоті h відносно матеріалу, який консольно закріплений в горизонтальній колодці з величиною виступу δ . Після цього колодку розфіксують і вона по напрямлюючих вертикальної частини основи стану вільно падає, і таким чином відбувається взаємодія імітатора робочого органу з консольно закріпленим матеріалом. Через висоту вільного падіння h визначається швидкість ударної взаємодії робочої поверхні імітатора з матеріалом.

Величиною консольного виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 імітатора робочого органу до кронштейна вертикальної колодки забезпечується зміна конструктивних та технологічних параметрів, що також впливає на пошкодження матеріалу.

Таким чином, змінюючи відповідні кінематичні (швидкість взаємодії через висоту вільного падіння h), конструктивні (величини виступу Δ_1 та кріплення Δ_2 імітатора робочого органу до кронштейна) та технологічні (величина консольного виступу δ матеріалу) параметри можна досягнути мінімального пошкодження матеріалу.

У випадку закріплення еластичних секцій із зазором одна відносно одної сипкий матеріал при переході з однієї секції на іншу буде перекидатись, а тому їх необхідно провести теоретичний розрахунок з визначення траєкторії руху сипкого вантажу.

Розглянемо рух сипкого вантажу по нерухомому жолобу за допомогою спіралі шнека у варіантах окремої частинки та її руху в потоці. Виділимо елементарний об'єм потоку сипкого матеріалу, який одночасно дотикається до нерухомого жолоба та обертової спіралі шнека.

Розглянемо зусилля, що діють на цю ділянку, і на їх основі складемо рівняння руху частинки сипкого вантажу. З боку жолоба на частинку потоку діє реакція, яка перпендикулярно направлена до поверхні жолоба, та відповідна сила тертя, направлена у сторону, протилежну до напрямку швидкості переміщення частинки відносно жолоба. Реакція з боку жолоба визначається векторною сумою зусиль від сили ваги виділеного елемента потоку та доцентрової сили, яка виникає при обертовому русі. Одночасно на частинку також діє реакція від поверхні ребра гвинтової спіралі шнека, яка направлена перпендикулярно до поверхні шнека в точці контакту та відповідна їй сила тертя, що діє у напрямку, протилежному до напрямку переміщення потоку сипкого матеріалу відносно поверхні гвинтового ребра, тобто по дотичній до неї. На рис. 5 показані зусилля, які діють на вантаж, що переміщується в жолобі.

Рівняння руху окремої частинки вантажу, не пов'язаної із потоком, можна записати у вигляді системи двох диференціальних рівнянь

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = N_1 \cos \gamma - F_1 \sin \gamma - F_2 \sin \beta - mg \sin \alpha; \quad (3)$$

$$mR \frac{d^2\theta}{dt^2} = N_1 \sin \gamma + F_1 \cos \gamma - F_2 \cos \beta - mg \sin \theta \cos \alpha; \quad (4)$$

де m - маса частинки вантажу; R - радіус жолоба; N_1 - реакція шнека на вантаж; F_1 - сила тертя від реакції N_1 ; N_2 - реакція жолоба на вантаж; F_2 - сила тертя від реакції N_2 ; γ - кут підйому гвинтової поверхні шнека; α - кут нахилу осі шнека до горизонту; β - кут напрямку руху частинки вантажу відносно жолоба; θ - кутове положення частинки вантажу в її обертовому русі; z - поздовжня координата частинки вздовж осі жолоба.

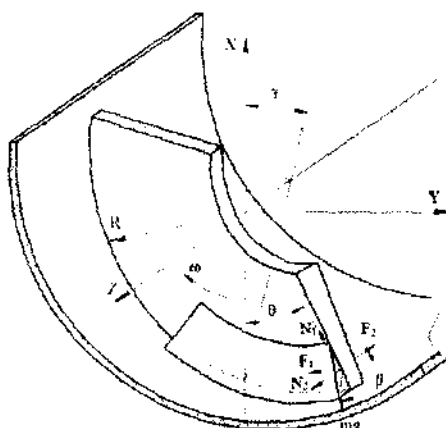


Рис.5. Схема для визначення зусиль, що діють на сипкий вантаж, який переміщається в жолобі

Реакція N_2 визначається з умови

$$N_2 = mg \cos \theta \cos \alpha + mR \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2. \quad (5)$$

Сили тертя відповідно визначаються

$$F_1 = \mu_1 N_1; \quad (6)$$

$$F_2 = \mu_2 N_2; \quad (7)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя вантажу по поверхні шнека; μ_2 - коефіцієнт тертя вантажу по поверхні жолоба.

Між напрямками руху частинки та геометрією шнека, при його обертанні із кутовою швидкістю ω , можна записати такі геометричні залежності

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\dot{z}}{R \dot{\theta}}; \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\dot{z}}{R(\omega - \dot{\theta})}. \quad (9)$$

Якщо розглядати рух виділеного елемента в потоці, тоді із рівняння (4) можна виключити останній доданок, так як сила ваги виділеного елемента компенсується підпором сипкого матеріалу. Решта зусиль діють, як і раніше. Тоді рівняння (4) набере вигляду

$$mR \frac{d^2\theta}{dt^2} = N_1 \sin \gamma + F_1 \cos \gamma - F_2 \cos \beta. \quad (4^*)$$

Для розв'язку системи рівнянь (3) - (9) застосуємо перетворення та підстановки, щоб позбутись невідомого зусилля N_1 і виразити всі параметри через величину кута θ . Спочатку дана система прийме вигляд

$$m\ddot{z} = N_1 (\cos \gamma - \mu_1 \sin \gamma) - \mu_2 (mg \cos \theta \cos \alpha + mR \dot{\theta}^2) \sin \beta - mg \sin \alpha; \quad (10)$$

$$mR \ddot{\theta} = N_1 (\sin \gamma + \mu_1 \cos \gamma) - \mu_2 (mg \cos \theta \cos \alpha + mR \dot{\theta}^2) \cos \beta - mg \sin \theta \cos \alpha. \quad (11)$$

В кінцевому вигляді диференціальне рівняння руху для змінної θ набере вигляду

$$\ddot{\theta} + \dot{\theta}^2 A + B_c \cos \theta - B_s \sin \theta - C = 0. \quad (12)$$

У цьому рівнянні вказані коефіцієнти визначаються такими залежностями

$$A = \mu_2 [\cos(\beta + \gamma) - \mu_1 \sin(\beta + \gamma)]; \quad (13)$$

$$B_c = \frac{\mu_2 g}{R} [\cos(\beta + \gamma) - \mu_1 \sin(\beta + \gamma)] \cos \alpha \cos \gamma; \quad (14)$$

$$B_s = \frac{g}{R} (\cos \gamma - \mu_1 \sin \gamma) \cos \alpha \cos \gamma; \quad (15)$$

$$C = \frac{g}{R} (\sin \gamma + \mu_1 \cos \gamma) \sin \alpha \cos \gamma. \quad (16)$$

У випадку руху потоку, при застосуванні формули (4*), коефіцієнт $B_c = 0$.

Під час руху потоку необхідно, щоб доцентрова сила була більшою від сили ваги. Інакше частинки потоку сипкого вантажу не будуть знаходитись у безвідривному режимі, відбуватиметься пересипання та перемішування, що значно спотворює картину потокового транспортування. Це досягається при умові $\dot{\theta} > \sqrt{g/R}$.

Важливим моментом руху є відрив частинок потоку від ребра спіралі та їх вільний рух по поверхні жолоба, або можливий вільний політ усередині жолоба до зупинки чи до моменту контакту із ребром шнека наступної секції.

Вільний рух частинок вантажу по поверхні жолоба у випадку відриву від лопаті запишеться у вигляді двох диференціальних рівнянь другого порядку

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -F_2 \sin \beta - mg \sin \alpha; \quad (17)$$

$$mR \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -F_2 \cos \beta - mg \sin \theta \cos \alpha. \quad (18)$$

Після перетворення отримаємо

$$m\ddot{z} = -\mu_2 (mg \cos \theta \cos \alpha + mR \dot{\theta}^2) \sin \beta - mg \sin \alpha; \quad (19)$$

$$mR\ddot{\theta} = -\mu_2 (mg \cos \theta \cos \alpha + mR \dot{\theta}^2) \cos \beta - mg \sin \theta \cos \alpha. \quad (20)$$

Третім етапом руху може бути вільний політ частинок потоку при відриві від поверхні жолоба у випадку, якщо розрахункове значення зусилля тиску на жолоб буде $N_2 < 0$. У цьому випадку рух частинок вантажу можна описати системою трьох незалежних диференціальних рівнянь руху по трьох взаємно перпендикулярних осях x , y і z (рис. 3)

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -g \cos \alpha; \\ \ddot{y} &= 0; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\ddot{z} = -g \sin \alpha.$$

Рух тіла у вільному падінні завершиться при умові, що відбудеться контакт із жолобом, тобто виконається нерівність $x^2 + y^2 \geq R^2$. У подальшому рух частинки по жолобу відповідає системі рівнянь (19) і (20). Зв'язок швидкостей у декартовій та циліндричній системах координат при відриві частинок вантажу від гвинтового ребра запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} \dot{x} &= R \dot{\theta} \sin \theta; \\ \dot{y} &= -R \dot{\theta} \cos \theta. \end{aligned} \quad (22)$$

При падінні частинки вантажу на поверхню жолоба кутова швидкість обертання запишеться як сума проєкцій векторів швидкостей на дотичну до кола у точці дотику

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta}{R}. \quad (23)$$

Розглянемо рух потоку сипкого матеріалу у різних точках його поперечного січення. Характерні точки поперечного січення потоку зображено на рис.6.

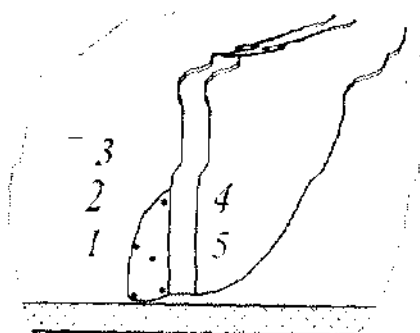


Рис.6. Схема розташування характерних точок поперечного січення потоку

Вважатимемо, що сили тертя між частинками матеріалу ~~(зернинами, частинками матеріалу)~~ значно перевищують сили тертя цих частинок по поверхні шнека та жолоба. Це припущення дає можливість розглядати рух частинок у січнні як єдиного цілого із однаковою кутовою швидкістю. Реальний рух матеріалу відрізняється від ідеального, тому точки на краю 1 і 2 незначно відстають від точок 3, 4 і 5. Значне відставання буде спостерігатись лише у випадку транспортування матеріалу, що має низький коефіцієнт тертя між окремими частинками (зернинами). Проте, за наявності псевдо в'язкого тертя, яке характерне для транспортування зернового матеріалу, взаємне перемішування окремих частинок є незначним, частинки

майже злипаються та рухаються суцільним потоком, особливо на великих швидкостях. Точка 1 знаходиться на краю січення потоку близько до поверхні жолоба. Швидкість її руху є максимальною внаслідок максимального віддалення від центра жолоба. Аналогічно, така сама лінійна швидкість точки 5. Швидкість точок 2 і 4 - відповідно зменшується пропорційно радіусу, по якому вони рухаються. Найменша швидкість характерна для точки 3, розташованої найближче до центра обертання.

Наявність різних лінійних швидкостей для різних точок січення потоку матеріалу призводить до різних траєкторій їх польоту при відриві від поверхні лопаті шнека.

Отже, лінійна швидкість відриву частинки визначиться за формулою

$$v_i = R_i \dot{\theta}, \quad (24)$$

де R_i - радіус обертання i -ої частинки.

Швидкість v_i направлена по дотичній до кола відповідного радіуса і направлена вздовж вектора, що складає кут β_i з колом у площині XOY . Із (8) випливає, що

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{\dot{z}}{R_i \dot{\theta}}. \quad (25)$$

Причому, як поздовжня \dot{z} , так і кутова швидкості $\dot{\theta}$ всіх елементів січення ~~згідно з~~ припущеннями, є однаковими. Очевидно, з формули (25), що частинки, які знаходяться на менших радіусах, мають більший кут вильоту β_i , а відповідно, мають меншу складову човної швидкості у площині, перпендикулярній до осі Z .

З метою визначення максимально можливої відстані польоту частинок із різних точок січення необхідно розглянути вільний рух кожної з частинок по колу відповідного радіуса. Вважатимемо, що окремі частинки під час вільного руху взаємодіють між собою подібно до попереднього руху, тобто між ними є сили тертя, а рух кожної з них відбувається по колу попереднього радіуса. Це припущення обґрунтовується тим, що нижні частинки не можуть піднятися вверх внаслідок наявності там верхніх частинок. Відставання чи випередження нижніх частинок відносно верхніх практично відсутнє за рахунок значних сил тертя між частинками. Тому рух частинок можна вважати, як рух з'єднаної маси.

Чим менший радіус обертання частинки R_i , тим менше доцентрове прискорення

$$a_{ni} = R_i \dot{\theta}^2. \quad (26)$$

У випадку зменшення кутової швидкості за рахунок гальмування доцентрове прискорення стане меншим за прискорення земного тяжіння g і частинки починають вільно опадати на нижню поверхню горизонтально розміщеного жолоба. Опладання починатиметься із нижніх шарів, поступово поширюючись на верхні по мірі їх гальмування.

При розв'язку систем диференціальних рівнянь (12), (19) і (20) та (21) необхідно, щоб кінцеві умови на попередньому етапі автоматично ставали початковими для наступного.

Для аналізу руху частинки у потоці та у зоні відриву створено програму на мові Delphi із застосуванням метода Рунге-Кутта та можливістю графічного відображення результатів.

На рис.7а представлені графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу L від частоти обертання робочого органу n та кута підйому технологічної магістралі α_n (рис.7б) при різних куткових положеннях θ частинки в момент її відриву від ребра гвинтової спіралі. При проведенні розрахунків і дослідженні впливу одного з параметрів на кут відривання частинки сипкого матеріалу, інші приймалися постійними, а їх абсолютні значення параметрів становили: $\gamma = 22,6^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $R = 50\text{мм}$; $n = 600\text{ об/хв}$.

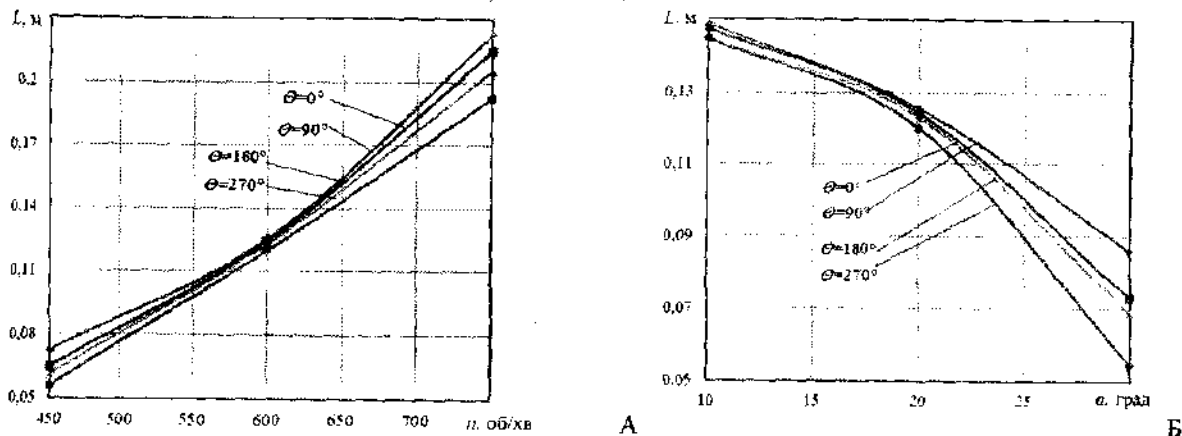


Рис.7. Графічні залежності дальності вільного переміщення частинки вантажу L від частоти обертання робочого органу n та кута підйому технологічної магістралі α_n при різних куткових положеннях θ частинки в момент відриву від ребра гвинтової спіралі

З аналізу графічних залежностей (рис.6а) можна зробити висновок про те, що найбільша дальність польоту частинки вантажу сипкого матеріалу відповідає куту її відривання від поверхні ребра гвинтової спіралі $\theta = 90^\circ$, ($\theta = 0^\circ$ відповідає ~~мінімальній дальності польоту частинки~~) і становитиме $L = 0,223\text{м}$ для $n = 750\text{ об/хв}$. Мінімальна дальність вантажу для даної частоти обертання робочого органу становитиме $L = 0,193\text{м}$ для $\theta = 270^\circ$. Як видно з графічних залежностей (рис.6б) при мінімальному куті підйому технологічної магістралі $\alpha_n = 10^\circ$ дальність польоту частинки є максимальною і становить $L = 0,144..0,148$. Із збільшенням кута підйому дальність польоту зменшується, і при $\alpha_n = 30^\circ$ становить $L = 0,054..0,086$.

Висновки. Проведено аналіз існуючих конструкцій робочих органів шнекових транспортерів з еластичними поверхнями. Запропоновано спосіб виготовлення шнекового робочого органу з еластичною зовнішньою поверхнею та послідовність відповідних технологічних операцій. Розроблено стенд для проведення експериментальних досліджень, а також методику її здійснення для визначення оптимальних параметрів взаємодії робочого органу та сільськогосподарського матеріалу.

Проведені теоретичні дослідження та їх результати повинні лягти в основу вибору меж раціональних параметрів при виготовленні шнекових робочих органів для транспортування з мінімальними пошкодженнями сипких сільськогосподарських матеріалів.

Література

1. Адамчук В., Ратушний В., Онищенко В. Універсальний агрегат до самохідного шасі //Техніка АПК. -1998. -N2. - С.22.
2. Вітровий А.О. Результати досліджень пошкодження зерна гнучким гвинтовим конвеєром //Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. пр. Нац.агр.ун-ту. -К.: В-во НАУ, -1999. - Т.6. -С. 34-36.
3. Пік А.І. Підвищення технічного рівня засобів механізованого переміщення сипких сільськогосподарських матеріалів по криволінійних трасах. Дис. канд. техн. наук: 05.20.01.- Луцьк, 1999.- 149с.
4. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія/ Гевко Р.Б., Вітровий А.О., Пік А.І.- Тернопіль: Астон, 2012.-204 с.
5. Гевко Р.Б., Залудський С.З., Вітровий А.О. Стенд для дослідження ступеня пошкодження сільськогосподарських матеріалів заявка на корисну модель № 4201302116 від 20.02.2013.
6. Гевко Р.Б., Пилипець М.І., Залудський С.З., Спосіб виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею заявка на корисну модель № 4201214308 від 14.12.2012.