

УДК 631.331

І.П. Сисоліна, аспірант

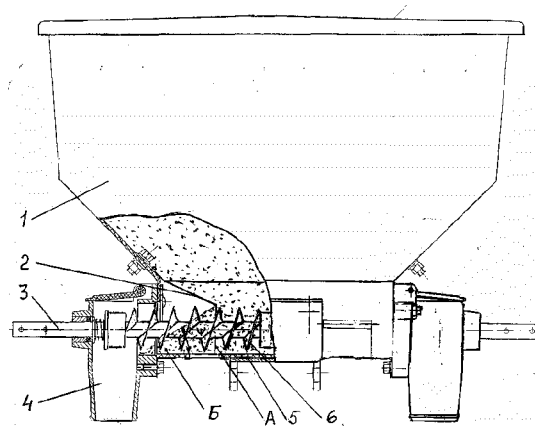
Кіровоградський національний технічний університет

Про причини нерівномірності висіву шнековими туковисівними апаратами

У статті приведені результати теоретичних досліджень по визначенню нерівномірності розподілу добрив у рядку, а також висвітлено основні принципи роботи шнекових туковисівних апаратів різної конструкції. Розроблена теоретично обґрунтована математична модель руху частки добрив та осьового переміщення нижніх точок шнека, для подальшого визначення напрямів покращення якості висіву добрив.

туковисівні апарати, нестійкість висіву, якість розподілу туків, шнек

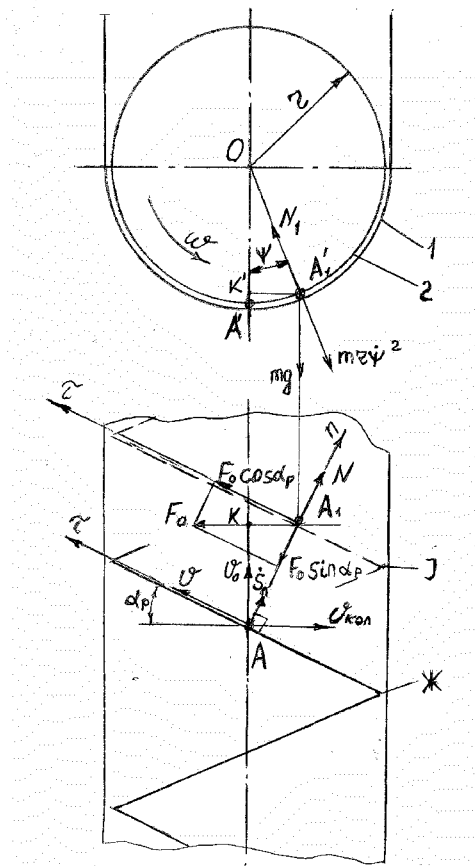
Якість висіву туковисівними апаратами визначається по якості їх дозуючої здатності, тобто здатності висівати за кожний оберт робочого органу однакову кількість добрив. Шнековий туковисівний апарат (рис. 1) відповідає агро вимогам по якості дозування (якість дозування не перевищує 8% [1]). Але розподіл туків уздовж рядка здійснюється вкрай нерівномірно [2]. Причина такої нерівномірності полягає у характері транспортування матеріалу гвинтом шнека по кожуху.



1 – бункер; 2 – козирок; 3 – вал; 4 – лійка; 5 – корпус; 6 – гвинт;
А – дозуючий отвір; Б – зона транспортування туків гвинтом до лійки

Рисунок 1 – Шнеково-пружинний туковисівний апарат

Під час роботи апарата туки самопливом поступають з бункера в забірну камеру, заповнюють її і поступово переміщуються гвинтом шнека крізь дозуюче вікно А (рис. 1) по жолобу до лійки 4. При цьому частка (гранула) (рис. 2), яка знаходиться на поверхні гвинта біля кожуха, при переміщенні стрічки гвинта шнека з положення Ж в положення J рухається по внутрішній поверхні кожуха та по поверхні стрічки з точки А до точки А₁ в напрямку по нормалі до стрічки гвинта. На частку діють: сила ваги mg ; відцентрова сила $mr\psi^2$; реакція кожуха шнека $A_1 N_1$; сила тертя частки $F_1 = f_1 N_1$ по поверхні кожуха; реакція стрічки шнека N ; сила тертя $F = fN$ по поверхні стрічки.



1 – кожух; 2 – стрічка гвинта шнека

Рисунок 2 – Сили, що діють на частку при обертанні гвинта шнеків

Тоді рівняння руху частки відносно рухомої системи координат $A\tau$ та An (рис. 2) буде наступним:

$$m \frac{d\vartheta}{dt} = F_0 \cos \alpha_p - fN; \quad (1)$$

$$m \frac{d\dot{S}_n}{dt} = F_0 \sin \alpha_p - N, \quad (2)$$

де α_p – кут підйому гвинтової лінії шнека;

F_0 – сила опору руху точки по поверхні кожуха,

$$F_0 = f_1(mg \cdot \cos \psi + mr \psi^2) + mg \sin \psi;$$

f – коефіцієнт тертя о поверхню стрічки гвинта шнека;

m – маса частки туків;

f_1 – коефіцієнт тертя о поверхню кожуха;

r – радіус циліндра кожуха;

g – прискорення вільного падіння.

Для того, щоб шнек працював як транспортер (конвеєр), а не ворушилка – перемішувач, необхідно щоб під час обертання шнека відбувався відносний рух ковзання матеріалу по стрічці гвинта шнека за рахунок дії рушійної сили. Цією умовою є:

$$\alpha_p < 90^\circ - \varphi, \quad (3)$$

де φ – кут тертя туків о поверхню стрічки гвинта шнека.

Під час обертання шнека, при наявності прослизання частки по поверхні стрічки гвинта шнека (умова 3), точка A переміститься в точку A_1 по напрямку дії реакції поверхні стрічки гвинта шнека N (рис. 2). Тоді, враховуючи рівняння (1) та (2), можемо записати рівняння руху матеріальної точки по осі An :

$$m \frac{d\dot{S}_n}{dt} = F_0 \cdot \sin \alpha_p - (F_0 \cdot \cos \alpha_p - m \frac{d\mathcal{G}}{dt}) / f. \quad (4)$$

Підставивши значення F_0 та зробивши відповідні перетворення, отримаємо:

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} = (gf_1 \cdot \cos \psi + rf_1 \dot{\psi}^2 + g \sin \psi) (\sin \alpha_p - \frac{\cos \alpha_p}{f}) + \frac{1}{f} \frac{d\mathcal{G}}{dt}, \quad (5)$$

де ψ – кут підймання матеріальної точки по поверхні кожуха, який знаходиться в геометричній залежності від величини шляху її по кожуху.

Тому, відповідно рисунку 2 $\sin \psi = K'A'_1 / OA'_1$, $K'A'_1 = KA_1 = AA_1 \cdot \sin \alpha_p = S_n \cdot \sin \alpha_p$.

Тоді:

$$\sin \psi = \frac{S_n}{r} \sin \alpha_p, \quad (6)$$

відповідно
$$\cos \psi = \sqrt{1 - (\frac{S_n}{r} \sin \alpha_p)^2}. \quad (7)$$

Підставивши значення $\sin \psi$ та $\cos \psi$ у рівняння (5) отримаємо:

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} = M (gf_1 \cdot \sqrt{1 - (\frac{S_n}{r} \sin \alpha_p)^2} + rf_1 \dot{\psi}^2 + \frac{gS_n}{r} \sin \alpha_p) + \frac{1}{f} \frac{d\mathcal{G}}{dt}, \quad (8)$$

де $M = \sin \alpha_p - \frac{\cos \alpha_p}{f}$.

Враховуючи геометричний зв'язок швидкостей \dot{S}_n та \mathcal{G} (рис. 2), зробимо заміну $\mathcal{G} = \dot{S}_n / \operatorname{tg} \alpha_p$. Тоді рівняння (8) запишеться так:

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} (1 - \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg} \alpha_p}) = M (gf_1 \cdot \sqrt{1 - (\frac{S_n}{r} \sin \alpha_p)^2} + rf_1 \dot{\psi}^2 + \frac{g}{r} S_n \sin \alpha_p)$$

або

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} = \frac{M}{\left(1 - \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg} \alpha_p}\right)} \left(gf_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{S_n}{r} \sin \alpha_p\right)^2} + \frac{gS_n}{r} \sin \alpha_p + rf_1 \dot{\psi}^2 \right). \quad (9)$$

Аналітичним шляхом це рівняння не вирішується. Для спрощення цього рівняння розглянемо роботу тихохідного шнека (частота обертання шнека $n_{ш} \leq 30 \text{ об/хв}$), де відцентровою силою можна знехтувати, тобто $rf_1 \dot{\psi}^2 = 0$, а також приймемо, що $f=f_1$, тоді:

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} = \frac{M}{\left(1 - \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg} \alpha_p}\right)} \left(gf \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{S_n}{r} \sin \alpha_p\right)^2} + \frac{gS_n}{r} \sin \alpha_p \right). \quad (10)$$

Оскільки рішення рівняння (10) у явному вигляді теж відсутнє, то для визначення осьового переміщення частки S_n використовуємо чисельний метод, з використанням програмного забезпечення MathCAD, при вихідних даних: $\alpha_p = 9^\circ$; $r = 0,025 \text{ м}$; $f = f_1 = 0,75$.

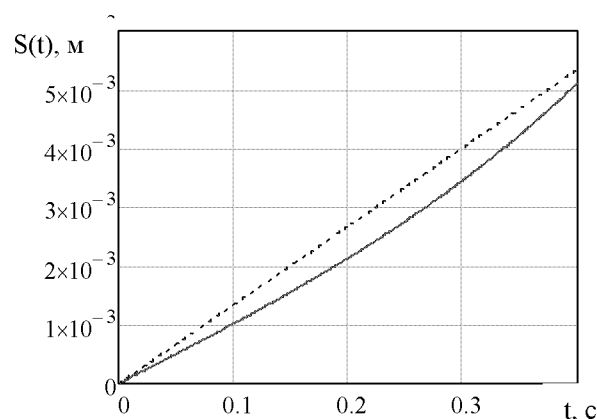
Підставимо вихідні дані у формулу (10), отримаємо розрахункову формулу:

$$\frac{d\dot{S}_n}{dt} = 0,118 \cdot g \cdot \sqrt{1 - 38,9 \cdot S_n^2} + 0,98 \cdot g \cdot S_n. \quad (11)$$

В той же час величину осьового переміщення точок крайки гвинта шнека, у нижній частині шнека, під час його обертання, можна визначити за формулою:

$$S_r = \vartheta_0 \cdot t = \vartheta_{\text{кол}} \operatorname{tg} \alpha_p \cdot t = \omega \cdot r \cdot \operatorname{tg} \alpha_p \cdot t. \quad (12)$$

Використовуючи ті ж вихідні дані, отримуємо графік зміни осьового шляху точок крайки гвинта шнека S_r (рис. 3).



— $S(t)$ – осьовий рух частки туків; - - - $S_s(t)$ – осьовий рух нижніх точок шнека

Рисунок 3 – Графіки зміни величини руху частки та осьового переміщення нижніх точок шнека

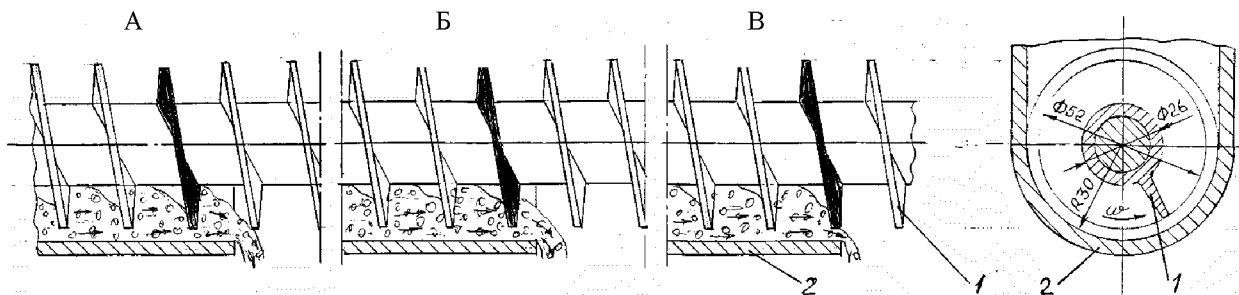
Як витікає з аналізу графіків, за рахунок випередження руху точок гвинта над осьовим переміщенням частки, перед робочими поверхнями стрічки гвинта відбувається відповідне накопичення матеріалу, який транспортується, а від попередньої гвинтової поверхні стрічки гвинта, яка рухається на відстані кроку попереду, він дещо відстає, а тому проміжок між сусідніми гвинтовими поверхнями заповнюється матеріалом нерівномірно.

Це можна пояснити також і тим, що рух гвинта з кутом підйому гвинтової лінії α_p з коловою швидкістю $\mathcal{G}_{кол}$ (рис. 2) супроводжує переміщення часток туків перпендикулярно до поверхні гвинта з абсолютною швидкістю $\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}_{кол} \cdot \sin \alpha_p$ і відносною швидкістю по робочій поверхні гвинта $\mathcal{G} = \mathcal{G}_{кол} \cdot \cos \alpha_p$. Виходячи з цього маємо, що

$$\mathcal{G} < \mathcal{G}_{кол} \quad (13)$$

Тобто колова швидкість більше за відносну швидкість матеріалу по поверхні стрічки гвинта, що приводить до відповідного накопичення матеріалу перед поверхнею стрічки.

На основі наведеного вище аналізу руху туків гвинтом шнека можливо уявити і процес скиду його у лійку тукопроводу. Так, розглядаючи, наприклад, будь-які послідовні три положення стрічки гвинта біля крайки розвантажувального вікна кожуха над тукопроводом бачимо, що кількість скиду туків у розвантажувальне вікно за один оберт гвинта шнека різна. При відкритті проміжку між суміжними стрічками гвинта над розвантажувальним вікном, спочатку відбувається максимальний скид матеріалу (рис. 4: положення А та Б), а в кінці руху цього проміжку відбувається скидання тільки активного шару (рис. 4: положення В), якщо є необхідний технологічний проміжок λ між крайкою гвинта шнека та кожухом.

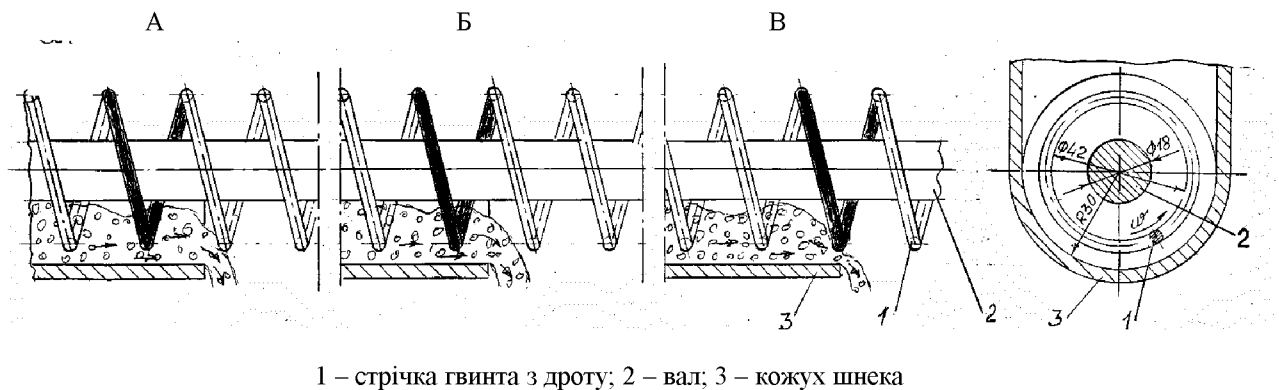


1 – гвинт; 2 – кожух шнека

Рисунок 4 – Схема характеру скиду туків гвинтом шнека у лійку тукопроводу туковисівним апаратом фірми «Джон-Дір»

При заміні суцільної стрічки гвинта на стрічку з дроту, для можливості висіву туків підвищеної вологості (наприклад, суміші суперфосфату з аміачною селітрою) без залипання стрічки гвинта, характер скиду матеріалу у розвантажувальне вікно залишається пульсуючим (рис. 5). Можливо можна дещо зменшити пульсацію матеріалу, що скидається у розвантажувальне вікно, за рахунок зміни кроку гвинта та діаметра дроту стрічки гвинта при умові, що кут нахилу α_p гвинта буде відповідати умові (3), а мінімальний крок гвинта шнека та внутрішній зазор між валом і дротом гвинта не повинен бути меншим двох максимальних діаметрів гранул, щоб уникнути їх

заклинювання і порушення процесу вільного обтікання дроту матеріалом під час роботи апарата.



1 – стрічка гвинта з дроту; 2 – вал; 3 – кожух шнека

Рисунок 5 – Схема характеру скиду туків гвинтом шнека, стрічкою якої є дріт, у лійку тукопроводу туковисівним апаратом АТП-2 «Червоної зірки»

Як показує наведений аналіз роботи шнеків, уникнути пульсуючого характеру скиду туків у лійку тукопроводу, а значить і нерівномірного їх розподілу уздовж борозни, за рахунок будови та геометричних параметрів гвинтів шнеків, не можливо. Але при відповідному виборі кроку та діаметру дроту стрічки гвинта можна тільки дещо «згладити» цю пульсацію. Експериментальним шляхом необхідно визначити як все це вплине на якість розподілення туків уздовж рядка.

Список літератури

1. Мордухович Д.И., Томпаков А.Е. Туковывсевающие аппараты // Механизация и электрификация с.-х.-1984.-№8.-С.60-61.
2. Осипов І.М., Рева О.М., Сисолина І.П. Результати попередніх досліджень шнекового туковисівного апарата АТП-2 // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ КНТУ, 2008, випуск 20.- С.226-229.

И. Сысолина

О причинах неравномерности высева шнековыми туковывсевающими аппаратами

В статье приведены результаты теоретических исследований по определению неравномерности распределения удобрений в рядке, а также изложено основные принципы работы шнековых туковывсевающих аппаратов разной конструкции. Разработана теоретически обоснованная математическая модель движения частицы удобрений и осевого перемещения нижних точек шнека, для определения направления улучшения качества высева удобрений.

I. Sysolina

On reasons of unevenness sown of screw devices of fertilizers.

In the article it is resulted of the theoretic researches of determination of unevenness of distributing of fertilizers is resulted in a line, and main principles of work of diversity design of screw devices of fertilizers are stated. For determination of the means of improvement quality of sown of fertilizers, the in theory grounded mathematical is developed model of movement of part of fertilizers and lengthwise of movement of lower points of screw.

Одержано 14.09.09