

УДК 635.655:664.727:631.363

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУХУ БОБІВ СОЇ ПО ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ ТЕРМОКАМЕРИ МІКРОНІЗАТОРА

С.В. Плавинська, асп¹.
Сумський НАУ

У статті розглянута теорія кочення і ковзання бобів сої по похилій поверхні. Здійснені розрахунки руху окремого бобу сої при наявності бобів попереду і позаду. Отримані залежності по визначенню параметрів руху бобу в термокамері мікронізатора.

Ключові слова: рух бобу сої, термокамера, коефіцієнт тертя кочення, ковзання, мікронізація, похила площина, прутковий транспортер.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Проблема стосується сільського господарства, а саме: якості термічної обробки (мікронізації) бобів сої з метою знешкодження антипоживних речовин (інгібіторів трипсину та інших шкідливих сполук). Ряд небезпечних речовин, які містяться у сирій сої порушують функції травлення і тим самим гальмують ріст, розвиток та відгодівлю сільськогосподарських тварин, тому необхідно зауважити, що соєві боби – лише сировина для отримання високобілкових кормів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню даної проблеми присвячується ряд робіт [1-5]. Найбільш перспективні сучасні методи термічної обробки бобів сої – з використанням ІЧ-променів [4]. Але усі відомі методи і способи не задовольняють із великою продуктивністю знешкодити антипоживні речовини. У роботі [5] пропонується значно підвищити якість термічної обробки за рахунок рівномірної дії інфрачервоними променями по всій поверхні бобу сої.

Ефективність мікронізації буде достатньо високою у випадку рівномірної дії інфрачервоних променів по всій поверхні бобу сої. Із цією метою нами розроблено пристрій – мікронізатор [5], що має похилу площину, прутковий транспортер, інфрачервоні випромінювачі та ін.

Формування цілей статті (постановка завдання). Мета роботи

¹ Науковий керівник – канд. техн. наук, доцент **О.В. Радчук**.

полягає у дослідженні закономірностей руху бобів сої по похилій площині термокамери мікронізатора за умови як вільного ковзання і кочення, так і з обмеженням руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо проблему мікронізації бобів сої з точки зору рівномірної дії інфрачервоних променів по всій поверхні за увесь час перебування їх в термокамері.

Запропонована нами [5] конструкція мікронізатора дозволяє у значній мірі вирішити цю проблему. При цьому необхідно забезпечити рух бобів без проковзування з рівномірним перекочуванням. Розглянемо і промодельюємо рух бобів сої по похилій площині термокамери мікронізатора.

При намаганні рухати одне тіло по поверхні іншого в площині дотику виникає сила опору їх відносному ковзанню, яку називають силою тертя ковзання F (рис. 1.а). Величина цієї сили може приймати будь-які значення від 0 до $F_{сп}$, яка є граничною силою тертя.

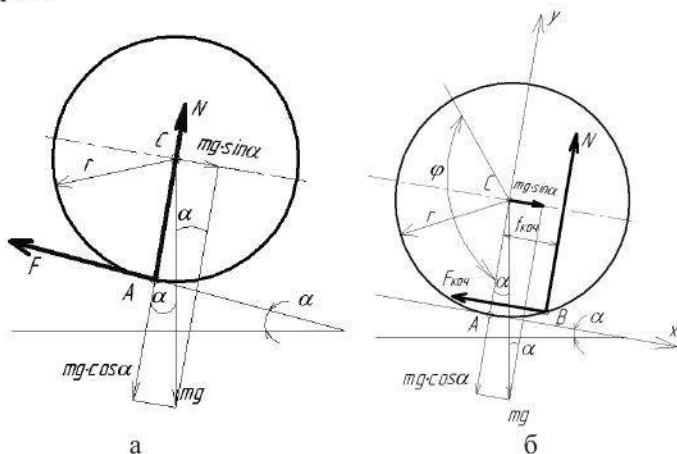


Рис. 1. Схеми тертя ковзання (а) і кочення (б)

Сила тертя спрямована в протилежному напрямку сил, що прагнуть зсунути тіло.

Величина граничної сили тертя:

$$F_{сп} = f_{ковз} \cdot N, \quad (1)$$

де $f_{ковз}$ – статичний коефіцієнт тертя ковзання визначається дослідним шляхом і залежить від матеріалу тіл, стану їх поверхонь; N – нормальна сила.

При рівновазі сила тертя спокою:

$$F \leq F_{\text{сп}} \quad \text{або} \quad F \leq f_{\text{ковз}} \cdot N \quad (2)$$

На рис. 1, а також показані: т. C – центр інерції тіла; т. A – точка торкання тіла і похилої площини; α – кут нахилу похилої площини до горизонту; mg , $mg \sin \alpha$, $mg \cos \alpha$ – сила тяжіння та її складові; r – радіус тіла.

Тертям кочення є опір, який виникає при коченні одного тіла по поверхні іншого. Розглянемо бій сої радіусом r і силою тяжіння mg , який знаходиться на похилій площині під кутом α до горизонту (рис.1,б). Прикладемо до осі бобу C (центра інерції) силу $mg \sin \alpha$, меншу за $F_{\text{сп}}$. Тоді в точці A (див. рис 1,а) виникає сила тертя, яка за величиною дорівнює $mg \sin \alpha$ і перешкоджає ковзанню бобу по площині. Якщо вважати нормальну реакцію N також прикладеною в точці A , то вона зрівноважить силу $mg \cos \alpha$, а сили $mg \sin \alpha$ і F створюють пару, яка викликає кочення бобу. За такою схемою кочення повинно розпочатися під дією будь-якої, як завгодно малої сили $mg \sin \alpha$.

Дійсна картина має інший вигляд. Пояснюється це тим, що фактично внаслідок деформації тіл, торкання їх відбувається уздовж деякої площини AB (рис. 1,б). При дії сили $mg \sin \alpha$ інтенсивність тиску у т. A зменшується, а у т. B збільшується. Внаслідок цього реакція N виявляється зміщеною вбік дії сили $mg \sin \alpha$. Зі збільшенням $mg \sin \alpha$ це зміщення зростає до деякої граничної величини $f_{\text{коч}}$. Таким чином, у граничному положенні на бій буде діяти пара сил $(mg \sin \alpha)_{\text{сп}}$, $F_{\text{коч}}$ з моментом $(mg \sin \alpha)_{\text{сп}} \cdot r$ і зрівноважуюча її пара сил N , $mg \cos \alpha$ з моментом $Nf_{\text{коч}}$.

Із рівності моментів знаходимо $(mg \sin \alpha)_{\text{сп}} \cdot r = Nf_{\text{коч}}$

$$\text{або} \quad (mg \sin \alpha)_{\text{сп}} = \frac{f_{\text{коч}}}{r} \times N. \quad (3)$$

Поки $mg \sin \alpha < (mg \sin \alpha)_{\text{сп}}$, бій знаходиться у стані спокою; при $mg \sin \alpha > (mg \sin \alpha)_{\text{сп}}$ починається кочення.

Лінійна величина $f_{\text{коч}}$, що входить до формули (3) є коефіцієнтом тертя кочення. Вимірюють величину $f_{\text{коч}}$ зазвичай у сантиметрах. Значення коефіцієнта $f_{\text{коч}}$ залежить від матеріалу тіл і визначається дослідним шляхом.

Після деяких перетворень формули (3) отримаємо:

$$f_{\text{коч}} = \text{tg} \alpha_{\text{сп}} \cdot r ; \quad \text{tg} \alpha_{\text{сп}} = \frac{f_{\text{коч}}}{r}. \quad (4)$$

Для подальшого дослідження закономірностей руху бобів сої зробимо деякі припущення:

- площа, по якій відбувається кочення, є однорідною;
- розміри бобів однакові;
- боби за шириною транспортера рухаються рядами;
- боби розташовані на площині в один шар;
- пристрій дає можливість рухатися бобам із підпиранням;
- швидкість транспортера за величиною постійна, невелика, і, отже силами інерції, які виникають при переміщенні бобів, можна знехтувати.

Уявімо біб як тверде тіло, що здійснює плоско-паралельний рух по похилій площині (рис. 1,б). Візьмемо за площину креслення ту площину, яка проходить через центр інерції C і паралельно якій проходить рух бобу сої. У перерізі бобу цією площиною будемо мати плоску фігуру – круг, до якої буде належати і центр інерції C .

Розкладемо абсолютний рух бобу на переносний рух разом із центром інерції і на відносний рух по відношенню до центра інерції. Перше із цих складових є рух поступальний, друге – обертання навколо осі, яка проходить через центр інерції C перпендикулярно до площини креслення. Поступальний рух з центром інерції буде цілком визначеним, якщо координати X_C та Y_C центра інерції, віднесені до нерухомих осей X та Y , будуть відомі як функції часу, обертальна частина руху бобу буде визначена кутом повороту α як функція часу. Плоско-паралельний рух бобу сповна визначається трьома величинами X_C , Y_C та φ як функції часу: $X_C = f_1(t)$, $Y_C = f_2(t)$, $\varphi = f_3(t)$.

До бобу прикладені сили: тяжіння mg , яку можна розкласти на складові: $mg \sin \alpha$, яка спрямована за напрямком площини, і $mg \cos \alpha$, - перпендикулярно цій площині, сила тертя кочення $F_{\text{коч}}$ і нормальна реакція N , що прикладені в т. B , яка розташована на відстані $f_{\text{коч}}$ від перпендикуляра, що проходить через центр інерції C .

Для визначення координат X_C та Y_C центра інерції бобу скористаємося законом руху центра інерції. Для визначення кута повороту α використаємо закон моментів у відносному русі бобу по відношенню до його центра інерції.

1. Розглянемо рух поодинокого бобу сої

Стосовно нашого випадку маємо диференційні рівняння руху:

$$mX_C'' = mg \sin \alpha - F_{\text{коч}}, \quad (4.1)$$

$$mY_C'' = N - mg \cos \alpha, \quad (4.2)$$

$$I_C \varphi'' = -F_{\text{коч}} \cdot r, \quad (4.3)$$

де X_C'' , Y_C'' – прискорення центра інерції по осях X ; Y ; φ'' – кутове прискорення обертання бобу; I_C – момент інерції бобу, $I_C = mr_i^2$ (тут r_i – радіус інерції бобу).

Координата $Y_C = r$ є величина постійна. Отже $Y_C'' = 0$.

Із рівняння (4.2) отримаємо $N = mg \cos \alpha$.

Зробимо припущення, що під дією сили $mg \sin \alpha$ біб сої котиться без ковзання. У цьому випадку точка дотику бобу А з площиною транспортера є миттєвим центром швидкостей в русі бобу. Оскільки швидкість центра бобу X_C' повинна бути обертальною швидкістю навколо миттєвого центра швидкостей, то маємо

$$X_C' = -r\varphi', \quad (5)$$

де φ' – кутова швидкість центра інерції бобу.

Ця залежність між X_C' та φ' дозволяє визначити значення, яке має сила $F_{\text{коч}}$ у тому випадку, коли біб сої котиться по площині без ковзання.

Продиференціювавши рівняння (5) за часом, отримуємо $X_C'' = -r\varphi''$.

Підставлення цього значення X_C'' у рівняння (4.1) призводить до одержання наступного рівняння:

$$-mr\varphi'' = mg \sin \alpha - F_{\text{коч}}. \quad (6)$$

Помножимо рівняння (6) на r_i^2 і додамо до нього рівняння (4.3), попередньо помноживши його на радіус бобу сої r .

Тоді величина φ'' вилучається і отримаємо:

$$\begin{aligned} -mr\varphi'' \cdot r_i^2 &= mg \sin \alpha r_i^2 - F_{\text{коч}} r_i^2, \\ mr_i^2 \varphi'' \cdot r &= -F_{\text{коч}} r^2. \end{aligned}$$

Після додавання маємо:

$$\begin{aligned} -mr\varphi'' r_i^2 + mr\varphi'' r_i^2 &= mg \sin \alpha r_i^2 - F_{\text{коч}} r_i^2 - F_{\text{коч}} r^2, \\ 0 &= mg \sin \alpha r_i^2 - F_{\text{коч}} (r_i^2 + r^2), \end{aligned}$$

$$F_{\text{коч}} (r_i^2 + r^2) = mg \sin \alpha r_i^2.$$

Звідси
$$F_{\text{коч}} = mg \sin \alpha \frac{r_i^2}{r_i^2 + r^2}. \quad (7)$$

Таке значення сили тертя $F_{\text{коч}}$ у тому випадку, коли поодинокій біб сої котиться по похилій площині транспортера без ковзання. Але сила тертя повинна задовольняти нерівності $F_{\text{коч}} \leq f_{\text{коз}} N$, оскільки $N = mg \cos \alpha$, тоді:

$$F_{\text{коч}} \leq f_{\text{ковз}} mg \cos \alpha, \quad (8)$$

де $f_{\text{ковз}}$ – коефіцієнт тертя ковзання між бобом і поверхнею транспортера.

$$\text{Через це отримуємо } mg \times \sin \alpha \frac{r_i^2}{r_i^2 + r^2} \leq f_{\text{ковз}} mg \times \cos \alpha$$

$$\text{або} \quad \text{tg} \alpha \leq f_{\text{ковз}} \frac{r_i^2 + r^2}{r_i^2}.$$

Для кульки (бобу сої) $r_i = 0,4r$, тоді

$$\text{tg} \alpha \leq f_{\text{ковз}} \frac{r^2 + (0,4r)^2}{(0,4r)^2} = \frac{r^2 + 0,16r^2}{0,16r^2} \times f_{\text{ковз}}; \quad (9)$$

$$\text{tg} \alpha \leq 7,25 f_{\text{ковз}}.$$

$$\text{Звідси} \quad \alpha \leq \arctg 7,25 f_{\text{ковз}}. \quad (10)$$

Якщо кут α гілки транспортера не перевищує граничної величини, знайденої за формулою (10), то біб сої буде перекочуватися без ковзання. В іншому випадку він буде котитися, одночасно ковзаючи по поверхні транспортера.

2. Розглянемо випадок, коли руху бобу будуть заважати сусідні: попередній і задній боби (рис. 2)

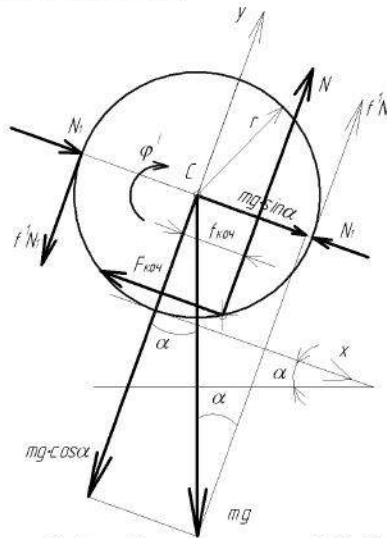


Рис. 2. Схема руху бобу сої при наявності бобів попереду і позаду

Замість рівняння (4.3) для нашого випадку будемо мати диференціальне рівняння:

$$mr_i^2 \varphi'' = -F_{\text{коч}} r + 2f^1 N_1 r_1, \quad (11)$$

де f^1 – коефіцієнт внутрішнього тертя між бобами сої; N_1 – зусилля підпирання, яке забезпечується прутками транспортера [5],

$$0 \leq N_1 \leq N_1 \text{max}.$$

Зробивши для нашого випадку відповідні перетворення, отримаємо

$$F_{\text{коч}}^1 = \frac{mg \sin \alpha r_i^2 + 2f^1 N_1 r^2}{r_i^2 + r_2}.$$

При порівнянні сил тертя кочення $F_{\text{коч}}$ та $F_{\text{коч}}^1$ бачимо, що в обох рівняннях знаменники мають одну величину $(r_i^2 + r_2)$, а чисельник є більшим, для другого випадку, тому

$$F_{\text{коч}}^1 > F_{\text{коч}}.$$

Граничним значенням для $F_{\text{коч}}^1$ також буде нерівність: $F_{\text{коч}}^1 < f_{\text{ковз}} N = f_{\text{ковз}} Y \cos \alpha$.

Висновки. У результаті дослідів отримані залежності по визначенню граничного кута нахилу; сили кочення за умови руху бобу по похилій площині без ковзання і умови кочення бобів по похилій площині у масі без ковзання. Аналіз отриманих залежностей дозволяє оптимізувати керований рух бобів сої у термокамері мікронізатора, конструкція якого забезпечує зміну швидкості руху транспортера, кута нахилу та шорсткості робочої поверхні термокамери.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Бабич А. О.* Сучасне виробництво і використання сої/ А. О.Бабич. - К. : Урожай, 1993. - 432 с.
2. *Обертюх Ю. В.* Основні способи знешкодження антипоживних речовин зерна сої/ Ю. В. Обертюх, М. І. Кулик // Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. – К., – 2002. – Вип. 49. – С. 148 – 155.
3. *Адамень Ф.Ф.* Использование сои в народном хозяйстве / В. В. Адамень, В. Н. Письменов. – Симферополь. Таврида, 1995. – 208 с.
4. *Дослідження засобів технічного забезпечення термічної обробки насіння зернобобових культур / С. В. Плавинська, О. В. Радчук.* Харків. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.Петра Василенка. – 2011. – Вип.

– №108. –С.177-183.

5. Пат. 90123 Україна, МПК (2009) C2 A23N5/00, A23N12/00. Пристрій для термічної обробки бобів сої/ Плавинська СВ., Плавинський В.І.; заявники і патентовласник – СНАУ - № а 200708441; заяв. 23.07.2007; опубл. 12.04.2010, бюл. № 7.
-

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ БОБОВ СОИ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ ТЕРМОКАМЕРЫ МИКРОНИЗАТОРА

В статье рассмотрена теория качения и скольжения бобов сои по наклонной плоскости. Проведены расчеты движения отдельного боба сои при наличии бобов спереди и сзади. Получены зависимости для определения параметров движения боба в термокамере микронизатора.

Ключевые слова: движение боба сои, коэффициент трения качения, микронизация, скольжение, наклонная плоскость, транспортер.

RESEARCHES OF PATTERNS OF MOVEMENT (MOTION) OF SOYBEANS ON AN INCLINED PLANE THERMAL CAMERA OF THE MIKRONIZATOR

The article is dedicated to the theory of rolling and slipping of soya beans on the oblique surface. The calculation were conducted concerning the movement of soya bean while there are other beans in front and behind. There were received relations for determination of the marginal inclination angle, rolling power under the conditions of bean's movement along the oblique surface without slipping and under the conditions of bean's movement along the oblique surface without slipping among other beans.

Key words: movement of soybeans, friction bearings, micronization, slip, slide, inclined plane, conveyor.