

В.О.Шейченко, канд.техн. наук, ст. наук. співр.

Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” (ННЦ „ІМЕСІ”)

Підбирання стебел обертаючими пальцями підбирачів

Із застосуванням диференціальних рівнянь в узагальнених координатах (рівняння Лагранжа II роду) проведено теоретичний аналіз впливу обертаючих пальців підбирачів на стебла, що ним підбираються. Визначено умови стійкого підйому групи стебел пальцями підбирачів.

підбирач, стебла льону, полярні осі, швидкість обертання барабану, узагальнюючі сили, диференціальне рівняння руху групи стебел

Постановка проблеми Підбирачі стебел широко застосовуються при збиранні різних культур, конструкції їх різноманітні, робота їх досліджена багатьма авторами [1-7]. Проте ряд питань залишилося не дослідженими, а саме, мало проведено досліджень по визначенню закономірностей взаємодії ланцюгів підбирача і, особливо, взаємодії барабана і пальців барабанного підбирача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, що розглядаються, опубліковані в ряді робіт [1-7], проте залишилися нез'ясованими взаємодія пальців барабанного підбирача зі стеблами.

Мета досліджень. Розглянути динаміку роботи підбирача і дослідити взаємодію пальців підбирача зі стеблами із застосуванням рівнянь Лагранжа II роду.

Результати досліджень. Нехай у барабанного підбирача встановлені на ньому пальці круглого перетину і незначної товщини, рухаючись по полю захопили групу М зчеплених стебел на висоті h_0 і здійснюють їх підйом (рис.1). Висота h_0 захвату групи стебел залежить від ступеня викривлення лежачих на ґрунті стебел і невіривності поверхні ґрунту; прямолінійні стебла на вирівняній поверхні можуть бути захоплені пальцями на досить незначній висоті h_0 . Якщо ж стебла криволінійні, а ґрунт нерівний, то висота h_0 буде більшою. При подальшому русі пальців стебла М будуть здійснювати складний рух, який складається із переносного руху разом із пальцем барабана і відносного руху відносно пальця. Швидкість V_r відносного руху направлена вздовж пальця, тобто по лінії O_1M . Лінія O_1M знаходиться під кутом ψ до вертикалі O_1B , яка проведена вниз із центру O_1 обертання пальців. Швидкість V_e переносного руху перпендикулярна лінії пальця і направлена в бік руху пальця. Абсолютна швидкість V_a руху групи стебел визначається геометричним складанням швидкостей V_e і V_r .

Будемо досліджувати рух групи М стебел в полярній системі координат із початком (полюсом) в центрі O_1 обертання пальця і полярної осі ρ_0 , яка співпадає із вертикаллю O_1B . Кут ψ , який характеризує положення полярного радіуса групи М стебел, будемо відраховувати від продовження лінії O_1B в бік руху пальця. Якщо виходити із того, що вісь O_1 обертання пальця рухається разом із агрегатом поступально, прямолінійно і рівномірно, то вибрана система полярних координат буде

© В.О.Шейченко, 2010

рухатися відносно землі поступально, прямолінійно і рівномірно зі швидкістю v_M руху машини рис. 1.

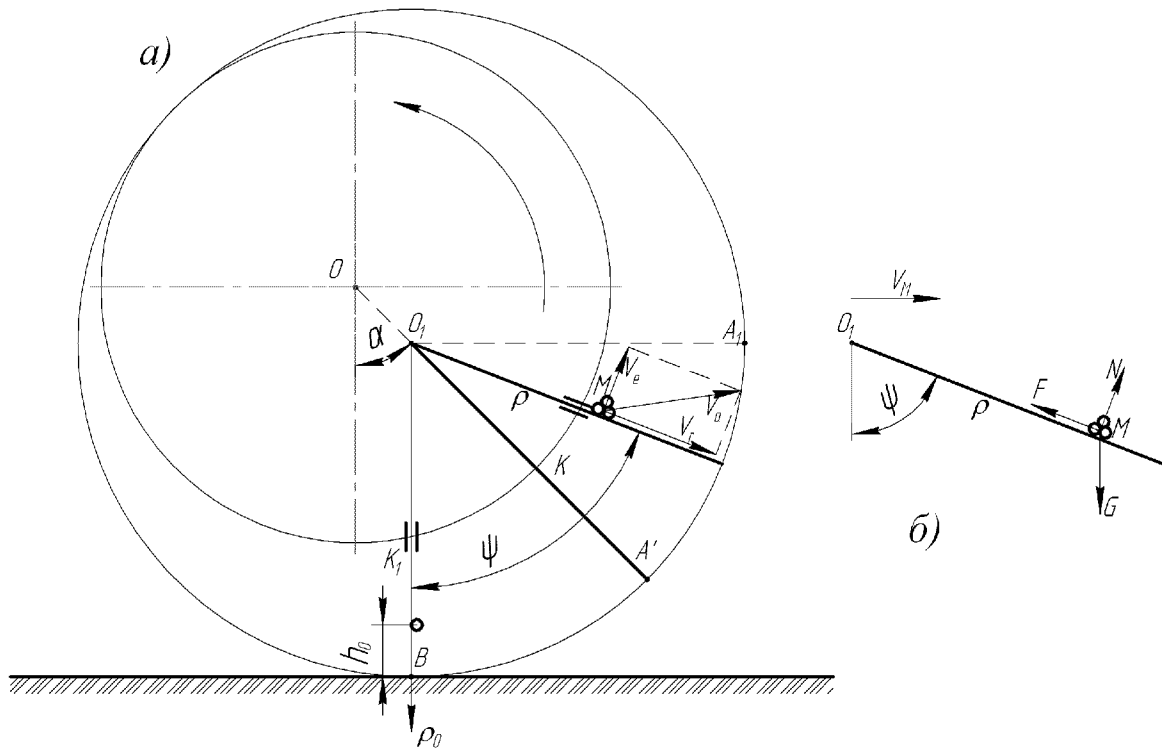


Рисунок 1 - Схема взаємодії пальця підбирача із захопленою групою стебел (а) та дія сил на цю групу стебел (б)

Розглянемо взаємодію групи стебел із пальцем і траєкторію її руху, застосувавши диференційні рівняння в узагальнених координатах (рівняння Лагранжа II роду). Положення групи стебел М, яку ми приймаємо за механічну систему, буде визначено, якщо будуть відомі координати її центра ваги: ψ і ρ . Внаслідок цього маємо дві узагальнені координати: ψ і ρ (поворот групи стебел навколо осі, що проходить через її центр ваги, розглядати не будемо).

Рівняння Лагранжа II роду в цьому випадку буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_{\psi} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\rho}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \rho} = Q_{\rho} \end{cases}, \quad (1)$$

де T - кінетична енергія групи стебел при їх русі в вибраній системі координат;

Q_{ψ} та Q_{ρ} - узагальнені сили;

$\dot{\psi}$ і $\dot{\rho}$ узагальнені швидкості.

Будемо нехтувати опором повітря при розрахунку кінетичної енергії, тоді енергія T буде дорівнювати у вибраній системі координат:

$$T = \frac{m_{rc} V_a^2}{2} + \frac{m_{rc}}{2} r_{ин}^2 \omega_{om}^2 = \frac{m_{rc}}{2} (V_e^2 + V_r^2 + r_{ин}^2 \omega_{om}^2), \quad (2)$$

де m_{rc} - маса групи стебел;

V_a - абсолютна швидкість руху групи стебел;

V_r - відносна швидкість руху групи стебел, яка дорівнює $\dot{\rho}$;

$r_{ин}$ - радіус інерції групи стебел відносно осі, перпендикулярній площі малюнку і яка проходить через центр ваги групи стебел;

ω_{om} - кутова швидкість обертання групи стебел в відносному русі, тобто відносно осі, яка проходить через центр ваги групи стебел перпендикулярно площі малюнку.

Приймаючи, що при роботі підбирача стебла, що піднімаються не повертаються відносно пальця, але можуть повернутися спільно із ним, будемо вважати, що $\omega_{om} \approx \dot{\psi}$, де $\dot{\psi}$ - кутова швидкість обертання пальця. Враховуючи те, що швидкість V_r дорівнює $\dot{\psi}\rho$, знаходимо:

$$T \approx \frac{m_{rc}}{2} [(\dot{\psi}^2 \rho)^2 + \dot{\rho}^2 + r_{un}^2 (\dot{\psi})^2] = \frac{m_{rc}}{2} [(r_{un}^2 + \rho^2) \dot{\psi}^2 + \dot{\rho}^2]. \quad (3)$$

Із отриманого рівняння знаходимо: $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right)$, $\frac{\partial T}{\partial \psi}$, $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\rho}} \right)$ та $\frac{\partial T}{\partial \rho}$. Вони

дорівнюють:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} &= m_{rc} (r_{un}^2 + \rho^2) \dot{\psi}; & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) &= m_{rc} (r_{un}^2 + \rho^2) \ddot{\psi}; & \frac{\partial T}{\partial \psi} &= 0 \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\rho}} &= m_{rc} \dot{\rho}; & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\rho}} \right) &= m_{rc} \ddot{\rho}; & \frac{\partial T}{\partial \rho} &= m_{rc} \rho \dot{\psi}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Для знаходження узагальнюючих сил надамо стеблам почергово такі можливі переміщення (рис1,б), при яких змінюється тільки одна узагальнююча координата (спочатку ψ , а потім ρ), а потім складемо суму елементарних робіт відзначених сил на кожному такому переміщенні.

На групу стебел буде діяти сила тяжіння $G = m_{rc}g$, (де g - прискорення вільного падіння), нормальна реакція N і сила тертя F , яка дорівнює fN і направлена протилежно відносно швидкості V_r (тут f - коефіцієнт тертя ковзання). На підставі викладеного отримаємо наступні рівняння для визначення узагальнюючих сил:

$$\begin{cases} \delta A_{\psi} = [N - m_{rc}g \sin \psi] \rho \delta \psi \\ \delta A_{\rho} = [m_{rc}g \cos \psi - F] \delta \rho \end{cases} \quad (5)$$

Із цих рівнянь знаходимо:

$$\begin{cases} Q_{\psi} = [N - m_{rc}g \sin \psi] \rho \\ Q_{\rho} = m_{rc}g \cos \psi - fN \end{cases} \quad (6)$$

Підставивши отримані вирази у рівняння (1), отримаємо:

$$\begin{cases} m_{rc} (r_{un}^2 + \rho^2) \ddot{\psi} = N \rho - m_{rc}g \rho \sin \psi \\ m_{rc} \ddot{\rho} - m_{rc} \rho \dot{\psi}^2 = m_{rc}g \cos \psi - fN \end{cases} \quad (7)$$

Значення r_{un} набагато менше ρ , тому не буде помилки, якщо будемо вважати, що $r_{un} \rightarrow 0$, внаслідок чого ним можливо знехтувати. З урахуванням цього із першого рівняння (7) знаходимо N :

$$N = \frac{m_{rc} (\rho^2 \ddot{\psi} + g \rho \sin \psi)}{\rho} \quad (8)$$

Підставимо це значення N у друге рівняння (7) і отримаємо:

$$\ddot{\rho} - \rho \dot{\psi}^2 = g \cos \psi - f \frac{\rho^2 \ddot{\psi} + g \rho \sin \psi}{\rho}.$$

Після скорочення, отримаємо:

$$\ddot{\rho} - \rho (\dot{\psi}^2 - f \ddot{\psi}) = g [\cos \psi - f \sin \psi]. \quad (9)$$

Це рівняння складне. Для його спрощення врахуємо, що підбирання стебел пальцями має місце при невеликому куті ψ повороту пальців, починаючи від положення O_1K_0 до положення пальця O_1A_1 (рис.1), при якому через положення точки

A_1 на рівні точки O_1 стебла будуть утримуватися і не скотяться із пальців вправо і вниз. В межах кута $K_0O_1A_1$ можна вважати, що кутова швидкість суттєво не змінюється, а кутові прискорення (тобто при умові, коли $\ddot{\psi} \rightarrow 0$, а $\dot{\psi} \approx \omega_{\text{пер}}$, де $\omega_{\text{пер}}$ - середня кутова швидкість обертання пальця за час його повороту від положення O_1K_0 до положення O_1A_1), рівняння (9) прийме вигляд:

$$\ddot{\rho} - \omega_{\text{пер}}^2 \rho \approx g [\cos \psi - f \sin \psi]. \quad (10)$$

Для визначення залежності $\omega_{\text{пер}}$ від кутової швидкості ω_6 обертання барабана звернемося до рис.2, на якому представлена схема барабана аналогічна схемі на рис.1 із трьома положеннями пальця, але побудовані швидкості точок K_0 , K і K_1 барабана при обертанні навколо точки O і пальців при обертанні навколо точки O_1 та при їх відносному русі (рух пальця відносно барабана в точках K_0 , K і K_1). Точки K барабана і пальця мають однакову швидкість $V_6 = \omega_6 r_6$, де ω_6 - кутова швидкість обертання барабана, а r_6 - радіус барабана. Барабан є ведучою ланкою, а палець - веденим. Внаслідок цього, як вже відмічалось, точка K пальця буде рухатися з такою ж швидкістю, з якою рухається точка K барабана, відносний рух між ними в цю мить відсутній. Точка барабана в положенні K_0 має швидкість V_6 , яка перпендикулярна радіусу OK_0 , а точка пальця в цьому ж положенні K_0 має швидкість $V_{\text{п}}$, яка перпендикулярна радіусу O_1K_0 ; швидкість барабана відносно пальця в точці K_0 - $V_{\text{бп}}$ направлена по лінії пальця. Усі ці вектори швидкостей побудовані у точці K_0 , тоді як у точці K побудовано тільки вектор V_6 , який, як вже відмічалось, представляє собою швидкість точки K барабана і швидкість точки K пальця.

У точки барабана в положенні K_1 швидкість буде V_6 , а у точки пальця в положенні K_1 швидкість буде $V_{\text{п}}$. В цій же точці K_1 барабан рухається відносно пальця зі швидкістю $V_{\text{бп}}$, яка направлена по пальцю O_1K (в трикутнику швидкостей ця швидкість паралельна пальцю O_1K_1). Кутова швидкість барабана дорівнює $\frac{V_6}{r_6}$, де r_6 - радіус кола барабана (на рис.2 це відстань OK_0 , OK і OK_1), а кутова швидкість пальця $\dot{\psi}$ дорівнює $\frac{V_{\text{п}}}{r_{\text{п}}}$, де $r_{\text{п}}$ - довжина частини O_1K_0 у пальця O_1B ; у пальця O_1A^1 $r_{\text{п}}$ - це довжина його частини O_1K , а у пальця O_1A_1 $r_{\text{п}}$ - це довжина його частини O_1K_1 . Із рис.2 видно, що в межах дуги кола барабана від точки K_0 до точки K_1 швидкість $V_{\text{п}}$ дуже близька по величині до швидкості V_6 , в наслідок чого не буде великої похибки, якщо прийняти, що $V_{\text{п}} \approx V_6$. Тоді можна вважати, що $\dot{\psi} \approx \frac{V_6}{r_{\text{п}}}$. Із врахуванням вище викладених даних, маємо $V_6 = r_6 \omega_6$ і $V_6 \approx r_{\text{п}} \dot{\psi}$. Так як ліві частини цих рівнянь рівні, то рівні і праві частини, тобто $r_6 \omega_6 \approx r_{\text{п}} \dot{\psi}$, звідки знаходимо $\dot{\psi} \approx \omega_6 \frac{r_6}{r_{\text{п}}}$.

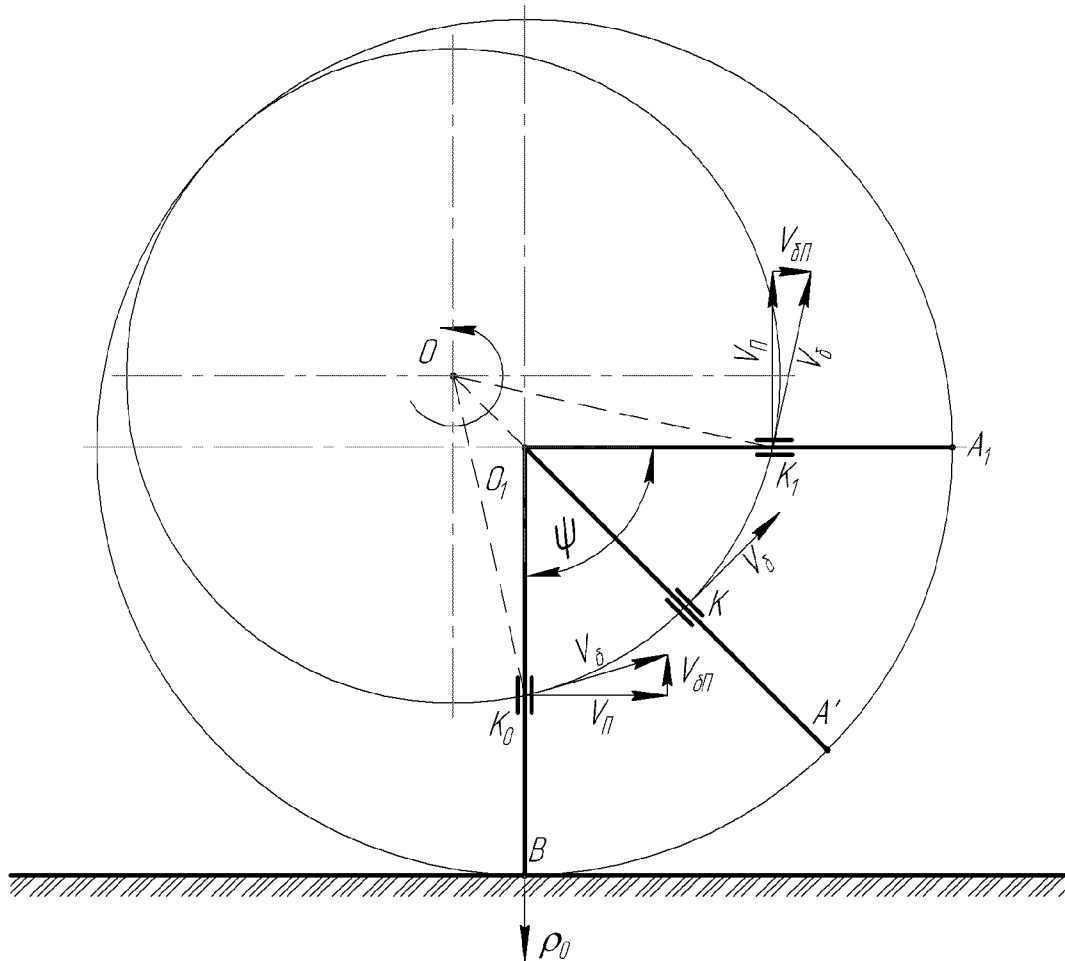


Рисунок 2 - Зображення пальців підбирача в вертикальному, у вигляді продовження осі OO_1 та в горизонтальному положеннях

В межах дуги кола від точки K_0 до точки K_1 відстань r_{π} (це відстань O_1K_0 , O_1K і O_1K_1) мало відрізняється одна від одної, тому не буде великої похибки, якщо вважати ці відстані рівними O_1K , тобто $r_6 - a$, де a – відстань OO_1 . Тоді $\omega_{\text{пер}}$ рівне середньому значенню кутової швидкості $\dot{\psi}$ пальця, буде дорівнювати

$$\omega_{\text{пер}} \approx \omega_6 \frac{r_6}{r_6 - a}. \quad (11)$$

Підставляючи ці значення $\omega_{\text{пер}}$ в рівняння (10) отримаємо

$$\ddot{\rho} - \omega_6^2 \left(\frac{r_6}{r_6 - a} \right)^2 \rho \approx g [\cos \psi - f \sin \psi]. \quad (12)$$

Такий вигляд має диференціальне рівняння руху групи стебел при їх взаємодії із пальцями підбирача в нижній частині їх зони взаємодії. Це лінійне диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами і правою частиною, яка відрізняється від нуля. Рішенням цього рівняння знаходиться залежність полярного радіуса ρ від часу t , тобто залежність положення групи зчеплених стебел від часу t . З іншої сторони, при відомій залежності кута ψ від часу t , можна визначити і залежність ρ від ψ та встановити траєкторію руху групи стебел, що піднімаються в вибраній системі координат.

Рівняння (12) аналітично розв'язується, але цей розв'язок із відомим наближенням справедливо, як вже відмічалось, в межах кута ψ від вертикалі BK_0O_1 до

горизонталі O_1A_1 (рис.1 і 2). Як вже відмічалось, кут ψ відраховується від осі $O_1\rho_0$ проти годинникової стрілки.

Згідно літературних джерел [7,с.143] кут ψ залежить від факторів, що на нього впливають, наступним чином

$$\psi = \arcsin \frac{\sin(\omega_6 t - \alpha)}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{r_6}\right)^2 - 2\left(\frac{a}{r_6}\right)\cos(\omega_6 t - \alpha)}}, \quad (13)$$

де α – кут відхилення відстані OO_1 між осями обертання барабана і пальця відносно вертикалі, яка проходить через центр O кола барабана.

Висновки. Для того, щоб захоплена рядом пальців група зчеплених стебел не зміщувалася із цих пальців (вправо і вниз) необхідно, щоб відносна швидкість V_r (тобто $\dot{\rho}$) була б рівною нулю, або меншою нуля, тобто потрібно, щоб ця відносна швидкість була б направлена від кінця пальця до центру O_1 (рис.1). Виходячи із цієї вимоги, здійснюється розрахунок кутової швидкості обертання барабана.

Список літератури

1. Ковалев М.М., Перов Г.А. Аналіз конструкции подбирающего аппарата для лубяных культур.// Тракторы и сельскохозяйственные машины.–1992.– №7. – С.28-30
2. Ковалев М.М. Параметры и режимы подбирающего аппарата для лубяных культур.// Тракторы и сельскохозяйственные машины. –2007.– №3. – С.34-35.
3. Хайліс Г.А., Цикалюк Ю.О. До теорії взаємодії пальця підбирача з стеблом.// Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. –Луцьк: ред.-вид. відділ ЛДТУ, 1998.– Вип.4. – С.156-161.
4. Макаев В.І. Результати робіт зі створення льонопідбирача-молотарки.// Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. –Луцьк: ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2006.–Вип.141. – С.137-144.
5. Хайліс Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин.– К.: Изд-во УСХА, 1992. – 182 с.
6. Хайліс Г.А. Элементы теории и расчета льноуборочных машин. – М.: Машгиз, 1963. – С.142-143.
7. Хайліс Г.А. О взаимодействии пальцев подборщиков с захватываемыми стеблями./ Труды Великолукского сельхозинститута. – 1972. – Вып. XXV. – С.56-62.

В.Шейченко

Подъем стеблей вращающимися пальцами подборщиков

Проведен теоретический анализ воздействия вращающихся пальцев подборщиков на поднимаемые стебли с применением дифференциальных уравнений в обобщенных координатах (уравнение Лагранжа II рода). Определены условия стабильного подъема группы стеблей пальцами подборщиков.

V.Sheychenko

Getting up of stems by the revolved fingers of pickup attachment

The theoretical analysis of influence of the revolved fingers of pickup attachment is conducted on the lifted stems with the use of differential equalizations in the generalized co-ordinates (equalization of Lagrange II family). The terms of the high-stability getting up of group of stems are definite by the fingers of pickup attachment.

Одержано 10.11.09