Головко С. Розрахунок параметрів плоского ножа зі зворотно-поступальним рухом // Вісник ТДТУ. – 2008. - Том 13. - №4. – ст.. 83-88. – (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 631.358.42

С. Головко

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЛОСКОГО НОЖА ЗІ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНИМ РУХОМ

У статті проведено теоретичний розрахунок плоского ножа зі зворотно-поступальним рухом на резонанс, що є визначальним для динаміки гичкозрізувального механізму бурякозбирального комбайну, який рухається в процесі збирання з швидкістю 1,7 м/с. Визначено величину резонансної частоти плоского ножа, виконано порівняння її з робочою частотою і зроблено висновок про можливість збільшення робочої швидкості комбайна.

S. Golovko

PARAMETER CALCULATION OF MOVEMENT FLAT KNIFE WITH BACK – PROGRESS

In the article was it is lead theoretical calculation of a flat knife with back - progress movement on a resonance which is determining for dynamics of beet cut the mechanism of a beet-harvesting combine which moves during collecting with a speed of 1,7 km/s is lead. The size of resonant frequency of a flat knife is curtained, comparisons are made with working frequency and a conclusion on an opportunity of increase in working speed of a combine.

Умовні позначення

$d_б$ – діаметр коренеплоду;
m – маса плоского ножа;
$V_м$ – швидкість руху бурякозбирального комбайна;
c – жорсткість пружини;
$OA=l$ – довжина сторони важеля, яка взаємодіє з ножем;
M – маса важеля;
$OC = a$ – відстань від шарніра до центра ваги важеля;
$P_з = P_x \sin \omega t * \cos \alpha$ - збуджуюча сила різання коренеплоду;
I – момент інерції важеля;
ω - частота коливання плоского ножа;
t – час взаємодії ножа з коренеплодом;
α – кут нахилу ножа до перпендикуляру ходу машини;
φ – кут відхилення важеля від лінії руху машини;
x – координата плоского ножа;
$L_б$ – відстань між коренеплодами.

Одним із основних робочих органів бурякозбиральних комбайнів як вітчизняного виробництва, так і імпортних є ножі для зрізування гички з коренеплодів цукрових буряків. Ножі мають різне виконання, бувають активними і пасивними, а також дисковими чи у вигляді полоси. Від їх конструкції, а також гостроти леза і його стійкості залежить якість зрізування гички з коренеплодів цукрових буряків, що впливає на їх втрати і величину забрудненості.

У сучасних бурякозбиральних комбайнах Kleine (ФРН), TIM (Данія) плоскі ножі виконують функції дообрізування гички після її високого зрізування і працюють методом рублення. В роботі розглядається плоский ніж, який разом з копіром належить до пристрою для дообрізування гички. Ніж розроблений згідно з патентом на корисну модель [1] і працює методом ковзання, що дозволяє зменшити силу різання коренеплоду цукрових буряків, а це потребує зменшення потужності комбайна, а отже,

і зменшення витрати палива в процесі збирання. Основи розрахунку різальних апаратів [2] не досліджують і не обґрунтовують плоский ніж, який працює методом ковзання.

Дослідження виконувались в рамках пріоритетного напрямку науки і техніки «Оптимізація несучих систем замкнутого профілю важконавантажених сільськогосподарських машин типу коренезбиральних комбайнів» на 2006 – 2008 роки.

Метою статті є розрахунок плоского ножа на резонанс, що є однією з важливих показників динаміки гичкозбирального механізму, час спрацювання якого визначається десятими долями секунди.

Проводимо обґрунтування величини збуджуючої сили і взаємовідношення сил при різанні коренеплоду ножем з ковзанням. При русі бурякозбирального комбайна в процесі дообрізування залишків гички після її високого зрізування відбувається взаємодія ножа, який має зворотно-поступальний рух з головкою коренеплоду цукрового буряка згідно зі схемою, представленої на рис.1.

Коли бурякозбиральний комбайн рухається зі швидкістю $V_м$ *(м/с)*, відбувається зрізування залишків гички з головки коренеплоду 1 ножем 2, який розташований під кутом α перпендикулярно до руху машини по рядках цукрових буряків згідно з рис. 1.

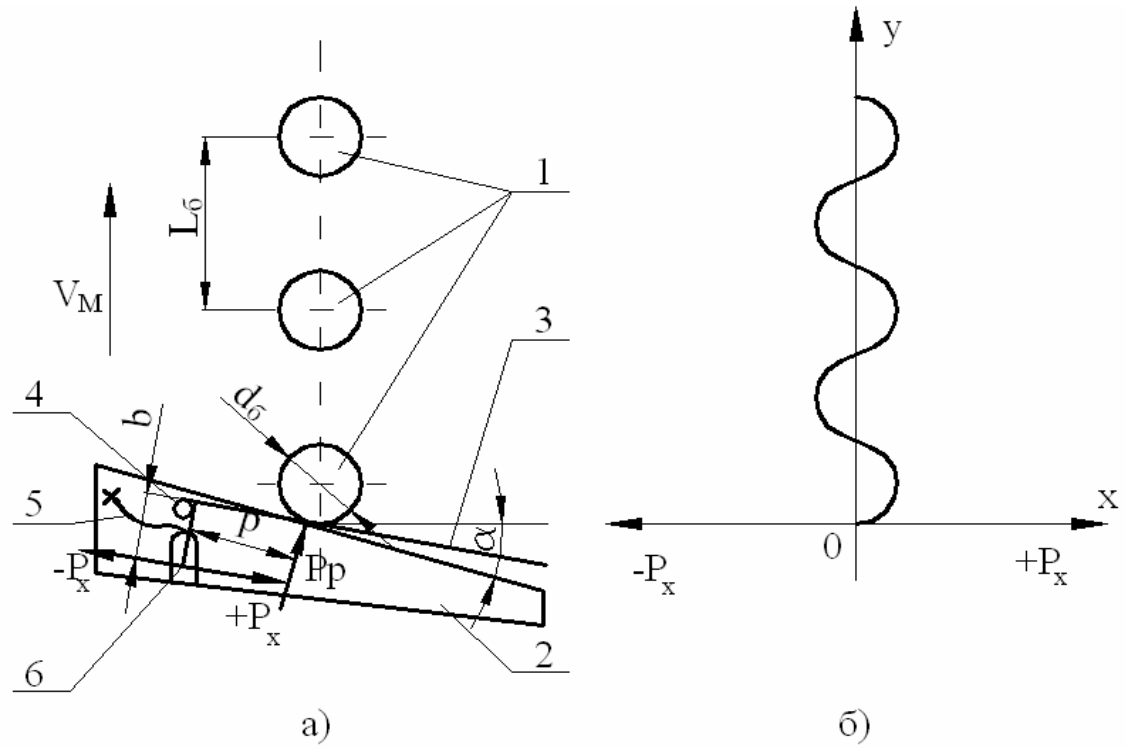

Рисунок 1 – Обґрунтування величини збуджуючої сили, яка діє на ніж:
а) схема взаємодії ножа з коренеплодом, б) графік залежності сили P_x від X, де:
1 – коренеплід; 2 – ніж; 3 – важіль пружини, що взаємодіє з залишком коренеплоду; 4 – вісь;
5 – C – подібний важіль пружини; 6 – паз ножа

В процесі зрізування залишків коренеплодів з гичкою відбувається тиск на важіль пружини 3, і вона провертається навколо осі 4. Після зрізування залишка коренеплоду він рухається ножем 2 і падає в міжряддя. Отже, при зрізуванні залишка коренеплоду на ніж діє сила + P_x, яка передається важелем пружини 3 і через вісь 4 передається на ніж 2 через паз 6. При проходженні ножем 2 проміжків між коренеплодами 1 на нього діє С – подібний важіль пружини 5, який повертає ніж 2 в попереднє положення з силою – P_x. Процес руху ножа при зрізуванні головки коренеплоду і повертання його в попереднє положення відбувається за час t із частотою ω.

Оскільки пружність C – подібного важеля пружини 5 можна регулювати, то величини сил - P_x і + P_x приймаємо рівними.

Отже, в процесі руху комбайна по рядках коренеплодів при зрізуванні залишків гички на ніж зі зворотно – поступальним рухом діє збуджуюча сила $P_з$, яка дорівнює

$$P_з = P_x \sin \omega t \cdot \cos \alpha ,$$

де α - кут нахилу ножа до перпендикуляра до ходу комбайна.

Оскільки

$$P_x = \frac{P_p \cdot p}{b},$$

де p – відстань від осі обертання пружини до точки взаємодії з коренеплодом; b – відстань від осі обертання пружини до точки контакту з пазом ножа, тоді

$$P_з = \frac{P_p \cdot p}{b} \sin \omega t \cos \alpha \ . \qquad (1)$$

Що стосується розкладу сил при різанні з ковзанням головки коренеплоду на корені для зняття залишків гички плоским ножем зі зворотно-поступальним рухом згідно з [3], то це показано на рис. 2.

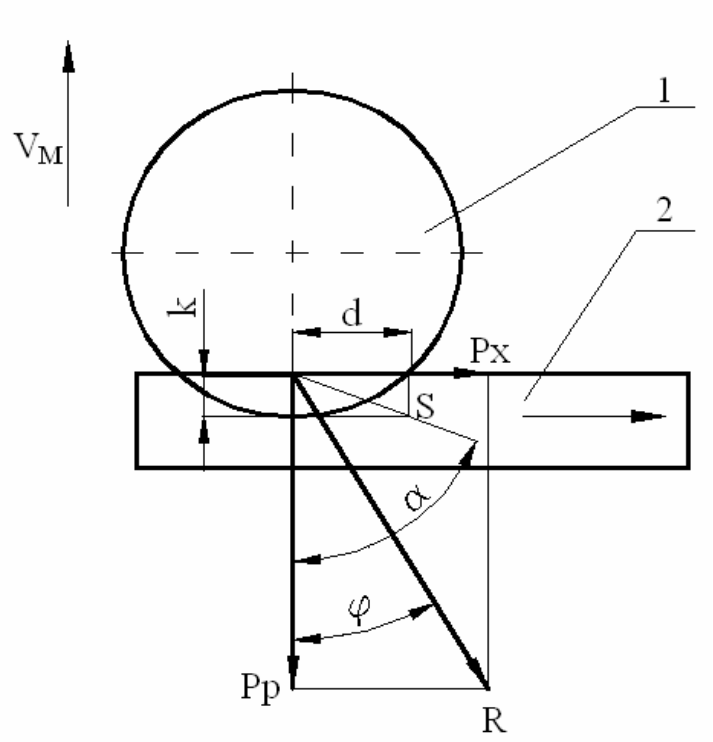

Рисунок 2 – Схема сил, діючих при різанні коренеплоду ножем з ковзанням, де:
1 – коренеплід; 2 – ніж

Рівнодіюча сила визначається за формулою

$$R = \sqrt{P_p^2 + P_x^2} , \qquad (2)$$

де P_p – сила різання коренеплоду; P_x – дотична сила різання коренеплоду.

Для різання з ковзанням необхідно дотриматися умови $\alpha \geq \varphi$, де: α - кут між рівнодіючою S переміщення ножа і P_p – сила різання коренеплоду. Кут α визначається з умови

$$tg\alpha = \frac{k}{d}, \qquad (3)$$

Кут φ між рівнодіючою силою R і P_p – силою різання коренеплоду визначаємо з умови

$$tg\varphi = \frac{P_x}{P_p} \ . \tag{4}$$

Для ходу ножа $k = 0,04$ *м* і глибини різання коренеплоду $d = 0,08$ *м* $tg\varphi = \frac{0,04}{0,08} = 0,5$, отже,

$$P_x = 0,5P_p. \tag{5}$$

Для розрахунку плоского ножа зі зворотно-поступальним рухом використовуємо загальні теореми динаміки, розрахункова схема якого представлена на рис.3.

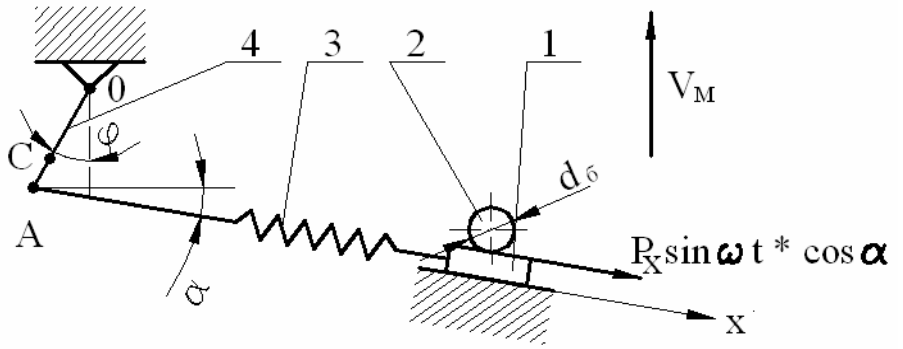

Рисунок 3 - Розрахункова схема плоского ножа зі зворотно-поступальним рухом, де:
1 – ніж; 2 – коренеплід; 3 – пружина; 4 – важіль

Система має два ступені вільності. Її положення можна визначити двома координатами: кутом повороту важеля φ, який будемо враховувати від лінії ходу бурякозбирального комбайна зі швидкістю $V_м$, координатою плоского ножа X, яку будемо відраховувати від рівноважного положення плоского ножа при положенні важеля вздовж ходу бурякозбирального комбайна (при цьому пружина не деформована). На ніж діє збуджуюча сила, яка дорівнює $P_з = \frac{P_p \cdot p}{b} \sin\omega t \cos\alpha$, реакція пружини і сила ковзання його взаємодії з коренеплодом.

Диференціальне рівняння прямолінійного руху плоского ножа наступне:

$$m\ddot{x} = -c(x - l \cdot \varphi) + P_x \sin\omega t \cdot \cos\alpha \ , \tag{6}$$

де $(x - l\varphi)$ - подовження пружини при провороті важеля.

Для складання диференціального рівняння провороту важеля відзначимо, що момент сили тяжіння відносно горизонтальної осі, що проходить через точку О, дорівнює

$$-\ Mga\ \sin\ \varphi\ \approx\ -Mga\ \varphi\ .$$

Момент реакції пружини відносно тієї ж осі:

$$P_x \sin\omega t \cdot \cos\alpha \cdot l \cos\varphi \approx c(x - l\varphi)l \ .$$

Приймаємо $\cos\varphi \approx 1$. Тоді диференціальне рівняння малих коливань важеля буде мати вигляд:

$$I\ddot{\varphi} = -Mga\varphi + c(x - l\varphi)l \ . \tag{7}$$

Загальний розв'язок системи складається з однорідної системи і неоднорідної його частин. Оскільки, згідно з умовою, необхідно визначити вимушені коливання плоского ножа, будемо знаходити розв'язок неоднорідної системи за відомими визначеннями $x = A\sin\omega t$, $\varphi = B\sin\omega t$. Підставивши ці значення перемінних та їх других похідних в систему, скоротивши потім на $\sin\omega t$, знаходимо систему алгебраїчних рівнянь для визначення А і В.

$$\left.\begin{aligned}(c - m\omega^2)A - clB = P\cos\alpha,\\ -clA + (cl^2 + Mga - I\omega^2)B = 0.\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Звідси визначимо амплітуду вимушених коливань плоского ножа:

$$A = \frac{\begin{vmatrix} P_x\cos\alpha & -cl \\ 0 & (cl^2 - Mga - l\omega^2) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (c - m\omega^2) & -cl \\ -cl & (cl^2 + Mga - l\omega^2) \end{vmatrix}} . \tag{9}$$

Вносимо це значення А в рівняння (5) і знаходимо вимушені коливання плоского ножа.

$$x = \frac{P\cos\alpha(cl^2 + Mga - I\omega^2)}{mI\omega^4 - (cI + mcl^2 + mMga)\omega^2 + cMga}\sin\omega t . \tag{10}$$

Координата *x*, що визначає коливання плоского ножа, необмежено виросте, коли знаменник в правій частині останнього рівняння перетвориться на нуль, тобто:

$$mI\omega^4 - (cI + mcl^4 + mMga)\omega^2 + cMga = 0 .$$

Звідси знаходимо резонансне значення ω:

$$\omega^2 = \frac{cI + mcl^2 + mMga \pm \sqrt{(cI + mcl^2 + mMga)^2 - 4cmMIga}}{2mI} . \tag{11}$$

З чотирьох значень ω два від'ємні значення не мають змісту. Таким чином, згідно з (11), існують два резонансних значення ω. Для розрахунку формули (11) на ПК введемо позначення $\omega^2 = \dfrac{a + b + c \pm d}{e}$, де $a = cI$; $b = mcL^2$; $c = mMga$; $d = \sqrt{(cI + mcL^2 + mMga)^2 - 4cmMIga}$; $e = 2mI$ і отримаємо значення резонансних частот:

$$\omega = \sqrt{\frac{a + b + c \pm d}{e}} \text{ або}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{a + b + c + d}{e}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{a + b + c - d}{e}}. \tag{12}$$

Визначаємо теоретичні резонансні частоти ω_1 і ω_2 коливань плоского ножа для наступних вихідних даних: *m = 0,9 кг* – маса плоского ножа; *OA = L = 0,03 м* – довжина сторони важеля, що взаємодіє з ножем; *c = 1,46 ·10³ н/м* – жорсткість пружини; $X_1 = 0{,}04$ *м* - хід ножа; *M = 0,1 кг* – маса важеля; *OC = p = 0,115 м* – відстань від шарніра до центра коренеплоду; *I = 2,25 · 10⁻³ кгм²* – динамічний момент інерції важеля; *q = 9,8 м/с²* – прискорення вільного падіння; $V_м$ *= 1,7 м/с* – швидкість бурякозбирального комбайна; $d_б$ *= 0,08 м* - діаметр буряка; $\alpha = 40^o$ – кут нахилу ножа до перпендикуляра до ходу комбайна.

З використанням програми «Excel» отримуємо дані резонансних частот ω_1 і ω_2:

Таблиця 1 - Дані резонансних частот ω_1 і ω_2

m	0,9			
L	0,03		a	0,03285
c	1460		b	1,1826
M	0,1		c	0,01323
a	0,015		d	1,227972
I	0,0000225		e	0,054
q	9,8			
Vm	1,7			
d	0,08		w1	6,744892
Vk	0,44		w2	0,114475
w	14,67			
t	0,18			
aIfa	40			

Розраховуємо фактичну частоту коливань ножа ω_p при роботі гичкозбирального комбайна для наступних вихідних даних: $V_м = 1,7$ *м/с* – швидкість бурякозбирального комбайна; $d_б = 0,08$ *м* - діаметр буряка; $L_б = 0,3$ *м* – відстань між коренеплодами; $X_1 = 0,04$ *м* – хід ножа.

Визначаємо фактичну швидкість ножа:

$$V_n = \frac{L}{p} V_m = \frac{0,03}{0,115} \cdot 1,7 = 0,44 \frac{м}{c}.$$

Звідси знаходимо робочу частоту зворотно-поступального руху ножа для $d_б = 0,08$ *м* , $X_1 = 0,04$ *м* при роботі бурякозбирального комбайна.

$$\omega_p = \frac{V_н}{d_б + X_1} = \frac{0,44}{0,12} = 3,7 \frac{1}{c}.$$

При порівнянні робочої частоти зворотно-поступального руху ножа з його резонансними частотами можна зробити наступні **висновки:**

1. Резонансна частота зворотно-поступального руху ножа дорівнює $\omega_1 = 6,7 \frac{1}{c}$, тобто в процесі роботи бурякозбирального комбайна такий ніж в резонанс не попаде, тобто $\omega_1 > \omega_p$, або $6,7 \frac{1}{c} > 3,7 \frac{1}{c}$.
2. Розрахункову частоту зворотно-поступального руху ножа $\omega_2 = 0,11 \frac{1}{c}$ використовувати не потрібно, оскільки при ній швидкість $V_м$ бурякозбирального комбайна наближається до 0, що немає практичного значення при збиранні цукрових буряків.
3. З урахуванням розрахунку плоского ножа зі зворотно-поступальним рухом на резонанс можливе підвищення швидкості бурякозбирального комбайна до 2 м/с при проведенні аналогічних розрахунків інших робочих органів.

Література

1. Патент на корисну модель №17327 Україна, МПК АОІД 23/02. Пристрій для дообрізання гички / С.І. Головко (Україна). - №U200603778; Заявлено 06.04.06: Опубл. 15.09.06., Бюл. №9.
2. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
3. Патент на корисну модель №19426 Україна, МПК GOIM 19/00. Стенд для випробовувань ножів коренезбиральних комбайнів / В.Я. Мартиненко, С.І. Головко (Україна). - №U200606884; Заявлено 19.06.06: Опубл. 15.12.06., Бюл. №12.

Одержано 04.09.2008 р.