

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Volodymyr Bulgakov, Ivan Holovach,
Mykola Berezovyy, Olexander Eremenko

National Agrarian University of Ukraine, Kyiv

Анотація. Розроблена теорія ротаційного різального апарату гичкозбиральної машини. Аналітично розглянуто технологічний процес роботи різального апарату гичкозбиральної машини, який здійснює суцільний безпідпирний безкопирний зріз гички цукрового буряка.

Ключевые слова: гичка, різальний апарат, безпідпирне ротаційне різання, дугоподібний ніж, диференціальне рівняння руху, критична швидкість різання, динамічне зрівноваження ротора

ВВЕДЕНИЕ

Збирання цукрових буряків (коренеплодів і гички) є однією з найбільш трудомістких та енергомістких операцій у сільськогосподарському виробництві. Враховуючи те, що Україна належить до високорозвинутих бурякосіючих країн Європи і світу і цукор є одним із стратегічних продуктів харчування, вітчизняному машинобудуванню необхідно випускати бурякозбиральні машини, функціональні та експлуатаційні показники яких повинні відповідати рівню найкращих світових аналогів.

Підвищення якісних показників процесу збирання цукрових буряків є комплексною науково-технічною проблемою, вирішення якої повинно базуватись на пошуку нових конструктивних рішень робочих органів та компоновальних схем машин, ґрунтовному теоретичному обґрунтуванні їх конструктивних та технологічних параметрів, експериментальному підтвердженні проведених теоретичних досліджень з кінцевою метою аналізу і синтезу оптимальних їх параметрів.

Однією з головних операцій у технологічному процесі збирання цукрових буряків є видалення гички з головок коренеплодів. Останнім часом широкого розповсюдження у світі набули гичкозбиральні машини з ротаційним різальним апаратом. При цьому є багато конструкцій таких машин, у яких ножі можуть

обертатися у вертикальній чи горизонтальній площинах. Якщо ножі обертаються у вертикальній площині, то вони не тільки зрізують пучки гички, але й дещо їх подрібнюють.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Основні умови процесу безпідпільного зрізання стеблових рослинних культур, або з так званим інерційним підпором, були вперше аналітично розглянуті дуже давно, ще академіком В.П. Горячкиним [1968], стосовно окремої стеблини, що росте з ґрунту і вільно розташована. У подальшому це питання розглядалась Е.М. Гутьяром [1931], А.Ю. Ішлинським [1937], а також було предметом ґрунтовних досліджень І.Ф. Василенка [1937], Н.Ю. Резніка [1975], Е.С. Босого [1967, 1978] та ін. При цьому було встановлено, що такий процес є можливим за умови досягнення обґрунтованої критичної швидкості різання, а також на підставі фізичного моделювання даного процесу, який, на думку авторів, може базуватись на таких основних гіпотезах: виникнення пружних коливань стебла у момент удару по ньому ножа, які збуджують повздовжню хвилю деформацій, що підтримують одна одну і розповсюджуються по довжині стебла, роблячи його особливо жорстким [Горячкин 1968], або виникнення деформації згину тіла стеблини під час зрізу, що переміщується вгору і вниз від місця зрізу по матеріалу стебла зі швидкістю звуку [Гутьяр 1931], або уявлення стебла у вигляді зігнутої осі балки, до якої можна застосовувати рівняння її опору [Ишлинский 1937] і т. ін. Відповідно до вказаних гіпотез авторами були отримані різні аналітичні вирази для визначення критичної швидкості різання. Що стосується зрізання гички цукрового буряка, то багато часу (починаючи взагалі з розробки перших конструкцій гичкозбиральних машин) для цього застосовувались гичкорізальні апарати, які здійснювали звичайне ковзне різання плоским, круглим горизонтальним (або похило розташованим) ножем і у більшості випадків не стебел або листків гички, а безпосередньо головки коренеплоду, або суцільного пучка, що розташований близько від головки, оскільки при цьому обов'язково застосовувалось індивідуальне копіювання. Численні теоретичні дослідження зрізання гички цукрових буряків [Татьянко 1962, 1967, Хвостов и др. 1995 та ін.] присвячені в основному дослідженню в цілому гичкорізальних апаратів, яких існує багато конструкцій, і які складаються з копіювальних (активних і пасивних) і ножових пристроїв, а також пристроїв навішування і приводів. Однак, в останній час, при видаленні гички з головок коренеплодів стали широко використовуватись ротаційні різальні апарати, які здійснюють не індивідуальне обрізання гички з кожного рядка коренеплодів, а виконують суцільний безкопінний зріз з усієї ширини захвату. Простота конструкцій та висока якість процесу різання обумовлюють їх придатність для усіляких умов збирання, а також те, що гичку у більшості випадків перестали використовувати як корм, а тому найчастіше у подрібненому вигляді (при наявності великої кількості ґрунтових домішок) її розкидають по полю. Таким чином, гичку цукрових буряків зрізують ротаційними ножами, які мають дугоподібну форму, обертаються у повздовжньо-вертикальній площині і безумовно встановлені на підвищену висоту зрізу (із-за нерівного розташування головок коренеплодів по висоті, як у межах самого рядка, так і в сусідніх рядках). Тобто, з теоретичної точки зору такі апарати виконують звичайне

безпідпирне різання стеблевих рослинних культур з інерційним підпором. Очевидно з цих причин окремо теорія безпідпирного різання гички цукрових буряків ротаційним різальним апаратом, встановленим у повздовжньо-вертикальній площині, до цих пір докладно не розроблялась, оскільки вважається, що класична теорія безпідпирного різання цілком відображає вказаний процес. Однак, також безумовно, що при розробці нової теорії ротаційного гичкорізального апарату класична теорія безпідпирного різання стеблевих культур може мати з нею багато спільного (зокрема, у тій її частині, що стосується фізичної суті процесу різання), проте, внаслідок відмінних фізико-механічних властивостей гички і розташування коренеплодів буряків, окремих конструктивних відмінностей, може мати і ряд особливостей.

Тому, при створенні теорії різального апарату гичкозбиральної машини, використаємо основні положення класичної теорії безпідпирного безкопирного зрізування зеленої маси ротаційним апаратом з горизонтальною віссю обертання, яка найбільш докладно розроблена Е.С. Босим і викладена у сучасному вигляді у [Босой 1978]. Однак, слід відразу зауважити, що вказана теорія, на жаль, не позбавлена деяких неточностей і навіть помилок, тим більш, що останнім часом вона без будь-якої перевірки наводиться у чисельних підручниках і навчальних посібниках з сільськогосподарських машин.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Роторні косарки-подрібнювачі мають широке розповсюдження у сільському господарстві і служать для приготування зеленого корму, силосної маси з різних культур як на корені, так і з валків, а також подрібнюють солому, видаляють бадилля картоплі, тощо [Резник 1975, Босой 1978]. Тому є всі підстави для використання основних конструктивно-технологічних особливостей косарок-подрібнювачів при створенні нових конструкцій гичкозбиральних машин. Слід відразу зауважити, що у [Босой 1978] стверджується, що при ротаційному зрізанні будь-яких рослинних стебел вони можуть видалятися ротаційними ножами, леза яких навіть вже затупилися. Це відбувається через велику колову швидкість ножів, яка забезпечує виконання двох послідовних операцій: зламу, а потім розтягання і розриву стебла за дуже короткий проміжок часу. Тому деформація вздовж стебла не встигає поширитися на помітну величину. Відділення стебел від окоренкової частини відбувається в результаті розриву, а не зрізу, як це має місце при роботі коси, серпа і сегмента в апаратах збиральних машин, що ріжуть рослинну масу. Як правило, зріз стебел косаркою-подрібнювачем буває рваним і нерівним. Однак, ці обставини не мають суттєвого впливу на якість суцільного зрізу масиву гички цукрового буряка.

Тому, використовуючи основні фізико-механічні властивості гички і коренеплодів цукрових буряків, необхідно розробити конструкцію гичкозбиральної машини, яка б здійснювала технологічний процес за принципом ротаційної косарки. Також необхідно, максимально використовуючи існуючі теоретичні розробки з питань зрізання рослинної маси, розробити основні передумови теорії безпідпирного безкопирного зрізу саме гички цукрового буряка на корені, які можна було б використовувати для обґрунтування оптимальних параметрів гичкозбиральних машин.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробити основні положення теорії ротаційного гичкорізального апарату, який здійснює безпідпирний, безкопирний зріз гички з головки коренеплоду, закріпленого у ґрунті.

ЗМІСТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нами розроблена нова універсальна гичкозбиральна машина, яка виконує технологічний процес за принципом косарки-подрібнювача і фронтально начеплена на колісний трактор. У цій машині застосовується ротаційний гичкорізальний апарат, у якому зрізуючі ножі мають дугоподібну форму і обертаються у повздовжньо-вертикальній площині [Булгаков и др. 1997а, б].

На рис. 1 показана конструктивно-технологічна схема цієї машини, яка зрізує як пучки і листя гички, так і рослини, що є на буряковій плантації, і транспортує зрізану масу у кузов транспортного засобу, що рухається поруч. Технологічний процес збирання гички цукрового буряка відбувається таким чином. При русі трактора по рядках коренеплодів буряків, копіювальні колеса 2, що розташовані у передній частині рухомої рами 1, встановлюють ротор 3 з ножами на потрібну висоту зрізу. Ножі мають дугоподібну форму, шарнірно встановлені на циліндричній твірній і довжині ротора 3 таким чином, що забезпечується перекриття ними усієї ширини захвату, обертаються з великою частотою, що забезпечує зрізання усього масиву гички. Абсолютна швидкість кінців лез дугоподібних ножів для зрізу гички дорівнює 20...25 м/с, а для скошування інших, зокрема товстостеблевих культур – 40...50 м/с [Ишлинский 1937].

Зрізана дугоподібними ножами гичка рухається у верхню частину кожуха, де потрапляє на шнековий транспортер, який переміщує зрізану масу у торцеву частину, після чого кидалка 4 через патрубок 5 вивантажує її в кузов транспортного засобу, що рухається поруч. Остаточний технологічний процес збирання гички відбувається при зрізанні безпосередньо головок коренеплодів встановленим позаду дообрізувачем пасивного типу 6.

Основними перевагами гичкозбиральної машини ротаційного типу є те, що, маючи усього лише один робочий орган – ротор з ножами, вона забезпечує якісне зрізання основної маси гички і транспортування її у транспортний засіб, що рухається поруч, або може розкидати подрібнену гичку на зібрану частину бурякового поля. Гичкозбиральна машина універсальна, має високу надійність і може бути використана як ротаційна косарка (тобто може якісно зрізати різний травостій висотою до 1 м).

До недоліків гичкозбиральної машини слід віднести подрібнення гички в разі її збирання у кузов транспортного засобу, деяке забруднення зібраної маси гички ґрунтовими домішками (особливо при роботі на сухому ґрунті), значні складнощі технічного обслуговування (зокрема при знятті дугоподібних ножів для заточування, заміни тощо).

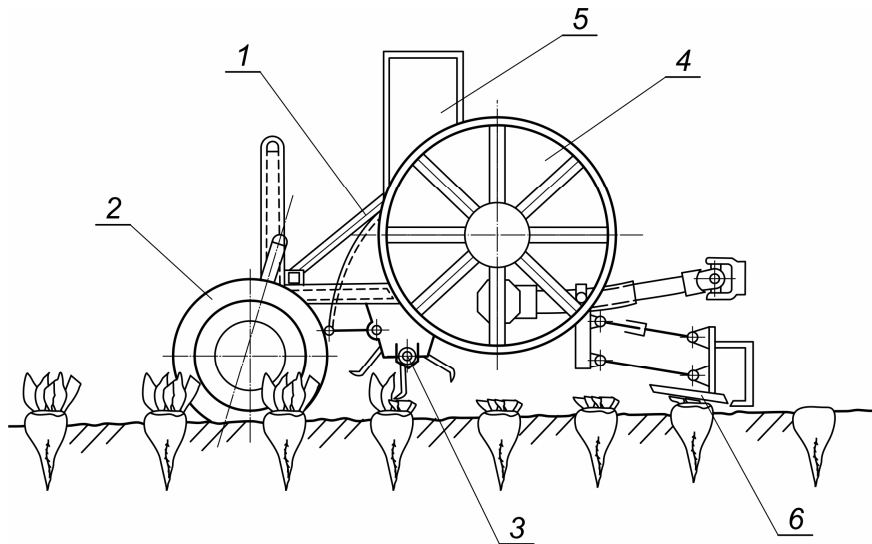


Рис. 1. Схема гичкозбиральної машини з ротаційним різальним апаратом

Fig. 1. Circuit design of the haulm gatherer with the rotational cutting apparatus

Проведемо теоретичне дослідження роботи ротаційного гичкорізального апарату вказаної гичкозбиральної машини з метою визначення оптимальних його конструктивних і кінематичних параметрів. Предметом такого дослідження буде визначення зони різання гички у повздовжньо-вертикальній площині, в залежності від кінематичних і конструктивних параметрів ротаційного гичкорізального апарату, умови повного перерізування пучка гички при одноразовому зіткненні з лезом ножа дугоподібної форми і аналітичне визначення інших конструктивних параметрів різального апарату. Для цього, перш за все, складемо еквівалентну схему взаємодії ножів ротаційного гичкорізального апарату з пучками гички. Розглянемо гичкорізальний апарат у повздовжньо-вертикальній площині і представимо його у вигляді ротора, на периферії якого розташовані дугоподібні ножі, що встановлені шарнірно (рис. 2). Ротор рухається поступально (напрямок швидкості $\vec{v}_l$ поступального руху показаний стрілкою) і одночасно обертається (ω) в напрямку, що співпадає з напрямком поступального переміщення. При цьому вісь ротора (на схемі точка O) встановлена на висоті H_1 над рівнем поверхні ґрунту і він рухається вздовж рядка коренеплодів цукрових буряків, у яких висота розташування гички над рівнем поверхні ґрунту позначена через H . Ротор виконує суцільний зріз гички на встановленій висоті h над рівнем поверхні ґрунту. Проведемо крізь центр ротора (точка O) прямокутну плоску декартову систему координат Oxy , у якій вісь x співпадає з напрямком поступального руху ротора, а вісь y напрямлена донизу. Покажемо на еквівалентній схемі дугоподібний ніж 1, що встановлений у шарнірі e , у самому нижньому положенні ротора (точка O_1), при якому він фактично вже починає процес різання гички. На схемі відносна траєкторія кінця ножа 1 (як і будь-яких інших ножів) показана пунктирною лінією. У нижній частині ротора ніж 1 починає взаємодію з масивом гички і у прийнятій

системі координат Oxy рівняння руху кінця ножа 1 (тобто кромки його леза) у параметричному вигляді мають такий вид [Босой 1978]:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= v_M t + R \sin \omega t, \\ y_1 &= R \cos \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де:

v_M – поступальна швидкість руху гичкозбиральної машини;

R – радіус ротора (в даному випадку від осі обертання ротора до кромки леза дугоподібного ножа);

ω – кутова швидкість обертання ротора.

Враховуючи поступальний і обертальний рухи ротора, траєкторією кінця ножа 1 буде крива O_1a .

Розглянемо далі рух другого ножа ротора. Сусідній ніж 2, що розташований на роторі відразу за ножом 1, який зміщений по довжині кола ротора на величину центрального кута α , опише точно таку ж криву, але зміщену у напрямку вектора $\bar{v}_M$ на величину x_b (оскільки ніж 2 починає різання гички у точці b). При цьому, центр ротора (точка O) переміститься поступально на величину $v_M t_b$. Таким чином, величина x_b буде дорівнювати:

$$x_b = v_M t_b = v_M \frac{\alpha}{\omega}, \quad (2)$$

де:

α – центральний кут між двома суміжними, але такими, що рухаються по одному сліду, ножами 1 і 2;

t_b – час, за який зміститься точка b від положення o_1 при поступальному русі ротора.

Рівняння руху кінця ножа 2 з урахуванням (2), як бачимо з рис. 2, у параметричному вигляді будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= v_M t + R \sin(\omega t - \alpha), \\ y_2 &= R \cos(\omega t - \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Траєкторією кінця ножа 2 буде крива bc .

Визначивши траєкторії O_1a і bc руху двох сусідніх ножів (1 і 2) ротора, є можливість визначити зону різання S двох ножів по довжині різання. У проекції на вісь x зона різання S дорівнює:

$$\begin{aligned} S &= x_c - x_b \\ S &= x_c - x_b, \end{aligned} \quad (4)$$

де:

x_c – абсциса точки c , тобто точки кінця різання.

Абсцису x_c точки c кінця різання визначимо наступним чином. Якщо H – висота пучка гички, H_1 – висота встановлення осі ротора над рівнем поверхні

грунту, а δ – величина, що дорівнює $\delta = H_1 - H$, тоді ордината y_c точки c кінця різання буде дорівнювати:

$$y_c = \delta = R \cos(\omega t_c - \alpha), \quad (5)$$

звідки знаходимо

$$\cos(\omega t_c - \alpha) = \frac{\delta}{R}, \quad (6)$$

і остаточно визначаємо з (6) час t_c :

$$t_c = \frac{1}{\omega} \left[\alpha + \arccos\left(\frac{\delta}{R}\right) \right]. \quad (7)$$

Тепер, для моменту часу $t = t_c$, використовуємо (3), визначаємо абсцису x_c . Вона буде дорівнювати:

$$x_c = v_M t_c + R \sin(\omega t_c - \alpha). \quad (8)$$

Далі, піднесемо до квадрату обидві частини виразу (6), що буде дорівнювати $\cos^2(\omega t_c - \alpha) = \frac{\delta^2}{R^2}$, тоді:

$$\sin(\omega t_c - \alpha) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega t_c - \alpha)} = \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{R^2}} = \frac{\sqrt{R^2 - \delta^2}}{R}. \quad (9)$$

Підставляючи вирази (7) і (9) у (8), матимемо:

$$x_c = \frac{v_M}{\omega} \left[\alpha + \arccos\left(\frac{\delta}{R}\right) \right] + \sqrt{R^2 - \delta^2}. \quad (10)$$

Підставимо (10) і (2) у (4), остаточно одержимо значення довжини зони різання S :

$$\begin{aligned} S &= \frac{v_M}{\omega} \left[\alpha + \arccos\left(\frac{\delta}{R}\right) \right] + \sqrt{R^2 - \delta^2} - \frac{v_M \alpha}{\omega} = \\ &= \frac{v_M}{\omega} \arccos\left(\frac{\delta}{R}\right) + \sqrt{R^2 - \delta^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Визначимо далі величину проникнення леза дугоподібного ножа у пучок гички у процесі його першого зіткнення з пучком гички. Для цього розглянемо взаємодію окремого пучка гички умовного діаметра d , розташованого на головці коренеплodu, і окремого дугоподібного ножа, що обертається з кутовою швидкістю ω разом з ротором (рис. 3). При цьому послідовно розглядаємо рух пучка гички, що має одну ступінь вільності і приведену масу $m_{np.}$, і рух дугоподібного ножа, що має приведену масу $M_{np.}$. Відлік початку руху пучка гички

під дією удару леза дугоподібного ножа починається від вертикалі, проведеної крізь точку O , яка визначає положення пучка гички, що є ще недеформованим. Крізь точку O проведемо горизонтальну вісь x . Прийmemo таке припущення, що переміщення приведеної маси m_{np} пучка гички і приведеної маси M_{np} леза дугоподібного ножа під час удару будуть прямолінійними на всій ділянці різання. Тоді пучок гички відхилиться від початкового положення (точка O) на відстань x , а кінець леза дугоподібного ножа переміститься на відстань x_n . Таким чином, для визначення величини проникнення леза ножа у пучок гички необхідно окремо скласти диференціальні рівняння руху приведеної маси пучка гички і приведеної маси дугоподібного ножа, для визначення їх законів переміщень, а потім розглянути різницю цих переміщень, яка і буде величиною проникнення ε ножа у пучок гички.

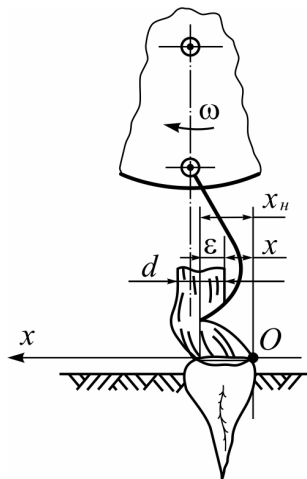


Рис. 3. Схема взаємодії дугоподібного ножа з пучком гички цукрового буряка

Fig. 3. The scheme of interaction of arc-like knife with a bunch of sugar beet haulm

Складемо диференціальне рівняння прямолінійного руху пучка гички, яке буде мати такий вигляд (рис. 3):

$$\begin{aligned} m_{i0} \ddot{x} &= P(\varepsilon) - cx \\ m_{i0} \ddot{x} &= P(\varepsilon) - cx, \end{aligned} \quad (12)$$

де:

m_{np} – маса пучка гички, приведена до точки удару;

x – прямолінійне переміщення приведеної маси m_{np} ;

$P(\varepsilon)$ – сила, що діє на пучок гички з боку ножа, яка залежить від величини ε проникнення ножа в пучок;

cx – сила пружного опору згину пучка гички.

Для розв'язування рівняння (12) необхідно визначити значення сили $P(\varepsilon)$. Залежність сили P від ε звичайно носить нелінійний характер. Однак, як показали попередні дослідження [Босой 1978], для визначення сили $P(\varepsilon)$ можна виходити з наступного виразу:

$$P(\varepsilon) = P_{\tilde{n}\tilde{d}} = \frac{A}{d}, \quad (13)$$

де:

P_{cp} – середня сила різання;

A – робота, необхідна на поперечного перерізання пучка гички;

d – діаметр пучка гички.

Підставляючи (13) у (12), матимемо таке рівняння руху пучка гички при зрізуванні дугоподібним ножом:

$$m_{i\tilde{d}} \ddot{x} + c x = P_{\tilde{n}\tilde{d}}. \quad (14)$$

Проінтегруємо отримане диференціальне рівняння (14). Очевидно, що загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння має наступний вигляд:

$$x_{i\tilde{d}} = C_1 \sin \sqrt{\frac{c}{m_{i\tilde{d}}}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{c}{m_{i\tilde{d}}}} t. \quad (15)$$

Знайдемо частинний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння. За виглядом правої частини рівняння (14) можна написати:

$$x_{i\tilde{d}\tilde{n}\tilde{d}} = M,$$

де:

M – невизначена константа.

Підставивши даний розв'язок у рівняння (14), отримаємо:

$$M = \frac{P_{\tilde{n}\tilde{d}}}{c}. \quad (16)$$

Отже частинний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння буде:

$$x_{i\tilde{d}\tilde{n}\tilde{d}} = \frac{P_{\tilde{n}\tilde{d}}}{c}.$$

Таким чином, загальний розв'язок диференціального рівняння (14) має такий вигляд:

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{c}{m_{i\tilde{d}}}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{c}{m_{i\tilde{d}}}} t + \frac{P_{\tilde{n}\tilde{d}}}{c}. \quad (17)$$

Сталі інтегрування C_1 і C_2 знаходимо за наступних початкових умов:

при $t = 0$: $x = 0$, $\dot{x} = 0$ ($C_1 = 0$, $C_2 = -\frac{P_{\bar{n}\bar{\delta}}}{c}$).

В результаті отримаємо остаточний вираз що описує переміщення приведеної маси m_{np} пучка гички в будь-який момент часу t :

$$x = \frac{P_{\bar{n}\bar{\delta}}}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_{i\bar{\delta}}}} t \right). \quad (18)$$

Для знаходження закону руху дугоподібного ножа необхідно скласти диференціальне рівняння його прямолінійного руху на ділянці різання. Дане диференціальне рівняння матиме такий вигляд:

$$M_{i\bar{\delta}} \ddot{x}_i = -P_{\bar{n}\bar{\delta}} + \mu(v_i t - x_i), \quad (19)$$

де:

M_{np} – приведена маса ножа (маса ножа, що приведена до точки удару леза об пучок гички); x_i – переміщення приведеної маси ножа;

v_i – критична швидкість поступального переміщення ножа, при якій

можливий безпідпирний зріз вільно стоячих пучків гички;

$v_i t$ – переміщення кромки леза ножа в момент часу t при відсутності зіткнення

з пучком гички, коли ніж перебуває у радіальному положенні;

$(v_i t - x_i)$ – відхилення ножа від радіального його положення внаслідок

зіткнення з пучком гички в процесі різання; μ – коефіцієнт пропорційності (інтенсивність навантаження, що діє на ніж при відхиленні його на одиницю довжини).

Другий член правої частини рівняння (19) являє собою зусилля, що виникає при відхиленні ножа від радіального положення завдяки наявності відцентрової сили.

Проінтегруємо диференціальне рівняння (19). Для цього перепишемо дане рівняння наступним чином:

$$\ddot{x}_i + \frac{\mu}{M_{i\bar{\delta}}} x_i = -\frac{P_{\bar{n}\bar{\delta}}}{M_{i\bar{\delta}}} + \frac{\mu v_i}{M_{i\bar{\delta}}} t. \quad (20)$$

Склавши для даного диференціального рівняння необхідне характеристичне рівняння та визначивши його корені, можна записати загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$x_{i\bar{i}\bar{a}\bar{i}} = C_1 \sin \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\bar{\delta}}}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\bar{\delta}}}} t. \quad (21)$$

Частинний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння будемо шукати у вигляді:

$$x_{i \rightarrow \dot{a} \ddot{n} \ddot{o}} = At + B, \quad (22)$$

де:

A і B – невизначені коефіцієнти.

Підставивши вираз (22) у вираз (20) знаходимо, що $\dot{A} = v_i$, $B = -\frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu}$. Отже:

$$x_{i \rightarrow \dot{a} \ddot{n} \ddot{o}} = v_i t - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu}. \quad (23)$$

Тоді загальний розв'язок рівняння (20) матиме такий вигляд:

$$x_i = C_1 \sin \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\ddot{o}}}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\ddot{o}}}} t + v_i t - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu}. \quad (24)$$

Сталі інтегрування C_1 і C_2 також знаходимо за наступних початкових умов: при $t = 0$: $x_i = 0$, $\dot{x}_i = v_i$ ($C_1 = 0$, $C_2 = \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu}$).

В результаті отримуємо закон руху дугоподібного ножа роторного гичкорізального апарату у такому вигляді:

$$x_i = v_i t - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\ddot{o}}}} t \right). \quad (25)$$

Тепер, використовуючи отримані вирази (18) і (25), є можливість визначити величину проникнення ε ножа в пучок гички (див. рис. 3):

$$\varepsilon = x_i - x,$$

або:

$$\varepsilon = v_i t - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\ddot{o}}}} t \right) - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_{i\ddot{o}}}} t \right). \quad (26)$$

Отриманий вираз (26) дає можливість визначити умови повного зрізання пучка гички діаметром d при першому зіткненні леза дугоподібного ножа з пучком гички.

Очевидно, що в цьому випадку необхідно, щоб $\varepsilon = d$, а тому вираз (26) набуде такого вигляду:

$$d = v_i t - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{i\ddot{o}}}} t \right) - \frac{P_{\ddot{n}\ddot{o}}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_{i\ddot{o}}}} t \right). \quad (27)$$

Таким чином, вираз (27) дає можливість задавати такі конструктивні і кінематичні параметри роторного гичкорізального апарату, при яких зріз пучка

гички відбувається у процесі одноразового зіткнення леза дугоподібного ножа з пучком гички. Для зрізання пучка гички необхідно, щоб ніж проникнув у пучок на величину його діаметра d перш, ніж відгин усього пучка x перевищить деяке задане значення $x_{кр.}$.

Характер розв'язку рівняння (26) буде залежати головним чином від закону зміни μ , оскільки $\mu = f(v_i)$.

Дійсна колова швидкість ротора визначається з умови, що лінійна швидкість кінця ножа повинна бути більшою критичної швидкості, необхідної для зрізання вільно стоячих пучків гички:

$$v = \frac{\pi n R}{30} > v_i, \quad (28)$$

звідки

$$n > \frac{30 v_i}{\pi R}, \quad (29)$$

де:

R – радіус, або відстань від осі обертання ротора до кромки леза дугоподібного ножа.

Радіус ротора обираємо з умови, що розмір зони різання по вертикалі не повинен перевищувати величину R , тобто $R > H - h$. Практично радіус ротора знаходиться в межах 300...350 мм [11].

Ширину дугоподібного ножа приймаємо виходячи з максимального діаметра $d_{\max}$ пучка гички:

$$B = d_{\max} + (30 \div 50), \text{ мм.} \quad (30)$$

Довжина робочої частини ножа O_1e (див. рис. 2) визначається кутом встановлення ножа τ . При зменшенні кута τ погіршується сходження зрізаної маси гички з ножа, а при збільшенні – значно зростає енергія на різання і подолання опору повітря. Експериментальні дослідження [Босой 1978] показали, що доцільно кут τ приймати в межах 30...40°.

Якщо гичкозбиральна машина зрізує масив гички без попереднього нахилу, то до кінця фази різання на робочій частині ножа накопичуються зрізані шматочки гички за рахунок підпору ще не зрізаних пучків, а потім під дією відцентрових сил вони сходять з поверхні ножа. Таким чином, на робочій поверхні ножа повинні поміститися всі пучки гички, що зрізуються на ділянці S . Позначимо K – кількість пучків гички на 1 м^2 ; $\sqrt{K}$ – кількість пучків гички, розміщених на одиниці довжини; N – кількість пучків гички на довжині S зони різання; d – діаметр пучка гички.

Тоді:

$$O_1e > Nd = \sqrt{K} \cdot Sd. \quad (31)$$

Визначимо число рядів ножів, що проходять по одному сліду. Якщо зрізуються довгі, попередньо нахилені стебла гички, або рослинних решток, то за

довжину різання l можна прийняти лінію ac . Зв'язок l з числом рядів ножів z одержимо таким чином:
оскільки

$$ac = l = \frac{v_M \alpha}{\omega}, \quad (32)$$

а

$$\alpha = \frac{2\pi}{z}, \quad (33)$$

то

$$l = \frac{2\pi v_i}{z \omega}, \quad (34)$$

звідси

$$z = \frac{2\pi v_i}{l \omega}. \quad (35)$$

Якщо ж зрізуються прямостоячі пучки (стебла) гички, то згідно рис. 2 максимальна довжина різання по вертикалі з достатньою для практичних розрахунків точністю також буде $ac = l$. Таким чином, і для даного випадку можна користуватися отриманими вище співвідношеннями.

Розглянемо далі докладно зрівноважування роторного гичкорізального апарату і вибір параметрів ножа.

Під час удару ножа по пучку гички з боку останнього на ніж буде діяти імпульс сили S (рис. 4). Ніж, відхиляючись у бік, протилежний напрямку обертання ротора, зі змінною кутовою швидкістю ω_1 , робить протидію ударному імпульсу: імпульсом у центрі ваги ножа S_C і імпульсом у шарнірі S_{III} . Тоді диференціальне рівняння обертання ножа відносно шарніра буде мати такий вигляд:

$$J \frac{d\omega_1}{dt} = \sum_{i=1}^n M_i, \quad (36)$$

де:

J – момент інерції ножа відносно шарніра;

ω_1 – кутова швидкість обертання ножа відносно шарніра;

$\sum_{i=1}^n M_i$ – сума моментів усіх зовнішніх сил, що діють на ніж відносно шарніра.

Якщо перейти до середнього прискорення, то вираз (36) можна представити у такому вигляді:

$$J \frac{\Delta\omega_1}{\Delta t} = M, \quad (37)$$

де:

$\Delta\omega_1 = \omega_1 - \omega_{10}$;

ω_{10} – початкова кутова швидкість обертання ножа відносно шарніра;

$$M = \sum_{i=1}^n M_i - \text{головний момент усіх зовнішніх сил відносно шарніра.}$$

оскільки

$$\omega_{10} = 0, \quad (38)$$

маємо

$$\Delta\omega_1 = \omega_1. \quad (39)$$

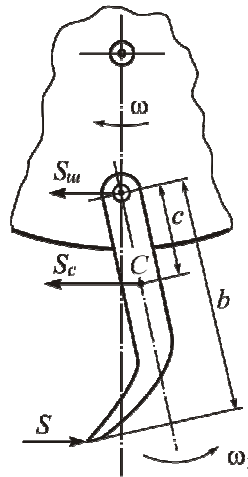


Рис. 4. Схема дії імпульсів на дугоподібний ніж під час удару по пучку гички

Fig. 4. The scheme of impulses operation on the arc-like knife during impact on haulm bunch

Тоді вираз (37) можна записати наступним чином:

$$J\omega_1 = M \Delta t. \quad (40)$$

З невеликою похибкою можна вважати, що момент M є добутком сили P , яка діє на кінець ножа під час удару ножа по пучку гички, на плече цієї сили відносно шарніра, тобто на довжину ножа:

$$M = P b. \quad (41)$$

Отже вираз (40) можна записати так:

$$J\omega_1 = P b \Delta t = P \Delta t b = S b, \quad (42)$$

де:

$S = P \Delta t$ – ударний імпульс сили P .

Тоді, як видно зі схеми рис. 4, імпульс S_{III} реакції шарніра дугоподібного ножа буде дорівнювати:

$$S_{III} = S - S_C, \quad (43)$$

де:

S_C – імпульс сили, приведений до центра ваги дугоподібного ножа.

Оскільки, враховуючи (42),

$$S = \frac{J\omega_1}{b}, \quad (44)$$

а імпульс S_C сили, приведеної до центра ваги ножа, дорівнює кількості руху:

$$S_C = m v_C = m \omega_1 c, \quad (45)$$

де:

m – маса ножа;

v_C – лінійна швидкість центра ваги дугоподібного ножа,

одержимо

$$S_{\emptyset} = \frac{J\omega_1}{b} - m \omega_1 c. \quad (46)$$

Ротор буде динамічно зрівноважений, якщо імпульс реакції шарніра ножа дорівнює нулю ($S_{III} = 0$), тобто

$$\left(\frac{J}{b} - mc \right) \omega_1 = 0, \quad (47)$$

або

$$\frac{J}{b} - mc = 0. \quad (48)$$

Оскільки $J = m \rho^2$, то можна записати

$$\frac{m\rho^2}{b} - mc = 0, \quad (49)$$

звідси

$$\rho^2 = b c. \quad (50)$$

де:

ρ – радіус інерції дугоподібного ножа.

Отже, ротор з дугоподібними ножами роторного гичкорізального апарату буде динамічно зрівноважений, якщо розміри і масу ножа вибрати таким чином, щоб квадрат радіуса ρ інерції ножа дорівнював добутку довжини ножа на відстань від центра його ваги до шарніра підвіски.

Другою умовою вибору механічних і геометричних параметрів ножа роторного гичкорізального апарату є необхідність мати в початковий момент максимальну швидкість різання. Ця умова виконується, якщо в момент зустрічі леза з пучком гички відносна швидкість колювання ножа збігається з коловою швидкістю ротора. Перерізання пучка гички відбувається через кожен оберт

ротора, тому для виконання вищенаведеної умови ніж за час одного оберту ротора $t_0 = \frac{2\pi}{\omega}$ повинен зробити $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ і т.д. коливань, тобто час t_0 і період T коливань ножа повинні бути зв'язані таким співвідношенням

$$\lambda T = \frac{2\pi}{\omega_1}, \quad (51)$$

де:

$$\lambda - \text{додатне число } \left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \dots \right).$$

Щоб визначити період коливань T , необхідно знайти закон коливального руху дугоподібного ножа під дією відцентрової сили P , не враховуючи при цьому сили тертя в шарнірі ножа і в інших опорах, що ускладнюють задачу. Диференціальне рівняння коливального руху дугоподібного ножа буде мати наступний вигляд:

$$J_A \ddot{\varphi} = M_A(P) = -m R \omega^2 \cdot AB. \quad (52)$$

Знак мінус показує, що момент протилежний відхиленню ножа від первісного нейтрального положення і $R = OC$ (рис. 5). У свою чергу, $AB = AO \cdot \sin \gamma$. З трикутника AOC за теоремою синусів маємо:

$$\frac{AC}{\sin \gamma} = \frac{CO}{\sin(\pi - \varphi)}, \quad (53)$$

звідси

$$\sin \gamma = \frac{AC}{CO} \sin(\pi - \varphi) = \frac{AC}{CO} \sin \varphi. \quad (54)$$

Для малих кутів відхилення $\sin \varphi = \varphi$. У свою чергу, $AO = r$, відстань AC позначимо через c . Тоді

$$\sin \gamma = \left(\frac{c}{R} \right) \sin \varphi, \quad (55)$$

Отже, диференціальне рівняння (52) набуде вигляду:

$$J_A \ddot{\varphi} = -m R \omega^2 r \sin \gamma, \quad (56)$$

або, враховуючи (55):

$$J_A \ddot{\varphi} = -m c r \omega^2 \varphi. \quad (57)$$

Записавши диференціальне рівняння (57) у вигляді:

$$\ddot{\varphi} + k^2 \varphi = 0, \quad (58)$$

знаходимо значення k^2 :

$$k^2 = \frac{mcr\omega^2}{J_A}. \quad (59)$$

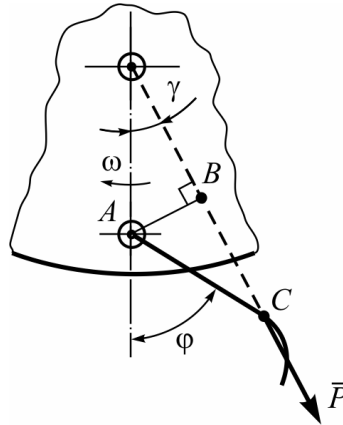


Рис. 5. Схема для визначення періоду коливань дугоподібного ножа гичкорізального апарату

Fig. 5. The scheme for definition of oscillations period of the cutting apparatus arc-like knife

При цьому, враховуючи вираз (59), період коливань дугоподібного ножа буде дорівнювати:

$$T = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{\omega} \sqrt{\frac{J_A}{mcr}}. \quad (60)$$

Підставивши отримане значення T у вираз (51), матимемо:

$$\lambda \frac{2\pi}{\omega} \sqrt{\frac{J_A}{mcr}} = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (61)$$

або

$$\lambda \sqrt{\frac{J_A}{mcr}} = 1. \quad (62)$$

Таким чином, виконання цієї умови і забезпечить максимальну початкову швидкість різання пучка гички роторним гичкорізальним апаратом.

ВЫВОДЫ

1. Використовуючи основні положення теорії безпідпільного безкопільного зрізу рослинної маси, розробленої Е.С. Босим [1978], складені основні теоретичні передумови розрахунку ротаційного гичкорізального апарату гичкозбиральної машини.

2. Аналітично знайдені зона різання гички, величина проникнення леза дугоподібного ножа у пучок гички, зокрема умови повного зрізу пучка гички при

одноразовому зіткненні з ножом і інші умови, які забезпечують суцільний зріз масиву гички.

3. Аналітично знайдені умови динамічного зрівноважування роторного гичкорізального апарату. Знайдені умови вибору механічних і геометричних параметрів дугоподібного ножа роторного гичкорізального апарату, які забезпечують максимальну швидкість різання у початковий момент.

4. Використовуючи отримані аналітичні залежності є можливість розраховувати і проектувати нові конструкції ротаційних зрізувальних апаратів гичкозбиральних машин.

ЛИТЕРАТУРА

- Горячкин В.П. 1968: Собрание сочинений. Том третий. Колос, 384 с.
- Гутьяр Е.М. 1931: К теории резания стеблей. Сельхозмашина, 7, 12–13.
- Ишлинский А.Ю. 1937: Задача о скорости косыбы злаков. Сельхозмашина, 5–6, 8–12.
- Василенко И.Ф. 1937: Теория режущих аппаратов жатвенных машин. Труды Висхом., 5, 7–14.
- Резник Н.Е. 1975: Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Машиностроение, 311 с.
- Босой Е.С. 1967: Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет. Машиностроение, 167 с.
- Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И., Султан-Шах Е.Г., Под ред. Е.С. Босого 1978: Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения. Машиностроение, 568 с.
- Татьянко Н.В. 1962: Расчет рабочих органов для обрезки ботвы сахарной. Тракторы и сельхозмашины 11, 18–21.
- Татьянко Н.В. 1967: Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы до их выкопки: Автореф. дис. канд. техн. наук. Харьков, 28 с.
- Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. 1995: Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). Висхом, 391 с.
- Булгаков В.М., Сипливец А.А., Березовый Н.Г., Зыков П.Ю. 1997a: Разработка конструкции новой универсальной ботвоуборочной машины. Зб. наук. праць Національного аграрного університету. Механізація сільськогосподарського виробництва. Т. III. Київ: НАУ, 76–77.
- Булгаков В.М., Войтюк Д.Г., Цурпал І.А та ін. 1997b: Створення нового універсального комплексу бурякозбиральних машин для фермерських господарств. Зб. наук. праць. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки. Кіровоград: КІСМ, 14–19.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE NEW HAULM GATHERER

Summary. The theory of the rotational cutting apparatus of the haulm gatherer is developed. Process of operation of the cutting apparatus of the haulm gatherer, which realizes a continuous unsupported cut of sugar beet haulm without copying analytically considered.

Key words: haulm, cutting apparatus, unsupported rotational cutting, arc-like knife, differential equation of movement, critical speed of cutting, dynamic equilibration of rotor.

Reviewer: Wojciech Tanaś, Prof. Sc. D. Eng.