

УДК 631.356.2

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НОВОЇ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

В.М. Булгаков, академік НААН, **М.Г. Березовий**, канд. техн. наук,
В.В. Яременко, канд. техн. наук,
НУБіП України

Розроблена нова гичкозбиральна машина та вдосконалена теорія суцільного зрізу гички цукрового буряку роторним різальним апаратом. Аналітично знайдені зона різання гички, величина проникнення леза дугоподібного ножа у пучок гички, а також умови повного зрізу пучка гички при одноразовому зіткненні з ножем і інші умови, які забезпечують якісний суцільний зріз масиву гички.

Ключові слова: цукровий буряк, гичкозбиральна машина, безкопінний зріз, різальний апарат, закон руху, параметри.

Проблема. Комплексною науково-технічною проблемою при збиранні цукрових буряків є підвищення якісних показників процесу, 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, яке відбувається при розташуванні коренеплодів у ґрунті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ґрунтовні умови процесу безпідпінного зрізання стеблових рослинних культур, або з так званим інерційним підпором, були вперше аналітично розглянуті В.П. Горячкіним [1], стосовно окремої стеблини, що росте з ґрунту і вільно розташована у просторі. У подальшому це питання докладно розглядалися Е.М. Гутьяром [2], А.Ю. Ішлинським [3], а також було предметом ґрунтовних досліджень І.Ф. Василенка [4], Н.Ю. Резніка

© В.М. Булгаков, М.Г. Березовий, В.В. Яременко.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 96. 2012.

[5], Е.С. Босого [6, 7] та ін. При цьому було встановлено, що такий процес є можливим за умови досягнення обґрунтованої критичної швидкості різання. Що стосується зрізання гички цукрового буряку, то багато часу (починаючи взагалі з розробки перших конструкцій гичкозбиральних машин) до 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 [8 – 10 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 стали широко використовуватись ротаційні різальні апарати, які здійснюють не індивідуальне обрізання гички з кожного рядка коренеплодів, а виконують суцільний безкопирний зріз з усієї ширини захвату.

Мета дослідження. Розробка нової конструкції та теорії ротаційного гичкорізального апарата, який здійснює безпідпирний, безкопирний зріз гички.

Результати дослідження. Нами була розроблена нова універсальна гичкозбиральна машина, яка виконує технологічний процес за принципом косарки-подрібнювача, що фронтально начеплена попереду на колісний трактор. У цій машині застосовується ротаційний гичкорізальний апарат, у якому зрізуючі ножі обертаються у повздовжньо-вертикальній площині і мають дугоподібну форму [11]. На рис. 1 показана конструктивно-технологічна схема цієї машини, яка зрізає як пучки і листя гички, так і рослини, що є на буряковій плантації під час збирання, і транспортує зрізану масу у кузов транспортного засобу, що рухається поруч.

Технологічний процес збирання гички цукрового буряку 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 кін-

ців лез дугоподібних ножів для зрізу гички дорівнює 20...25 м/с, а для скошування інших, зокрема товстостеблових культур – 40...50 м/с [3]. 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.

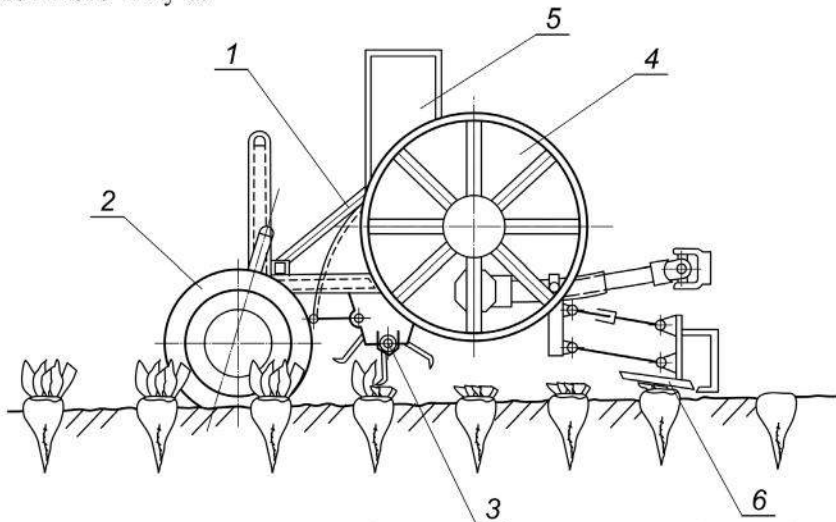


Рис. 1. Схема нової гичкозбиральної машини з ротаційним різальним апаратом

Для обґрунтування параметрів проведемо теоретичне дослідження роботи ротаційного гичкорізального апарата вказаної гичкозбиральної машини. Для цього, перш за все, складемо еквівалентну схему взаємодії ножів ротаційного гичкорізального апарата 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}_M поступального руху показаний стрілкою) і одночасно обертається (з кутовою швидкістю 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 Ox , у якої вісь x співпадає з напрямком поступального руху ротора, а вісь y у 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 Ox рівняння руху кінця ножа 1 (тобто кромки його леза) у параметричному вигляді мають такий вид [7]:

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

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 $O_1 a$.

Розглянемо далі рух другого ножа ротора. Сусідній ніж 2, що розташований на роторі відразу за ножем 1, який зміщений по довжині кола ротора на величину центрального кута α , опише точно таку ж криву, але зміщену у напрямку вектора \vec{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 видно зі схеми 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:

$$S = x_c - x_b, \quad (4)$$

де x_c – абсциса точки c , тобто точки кінця різання.

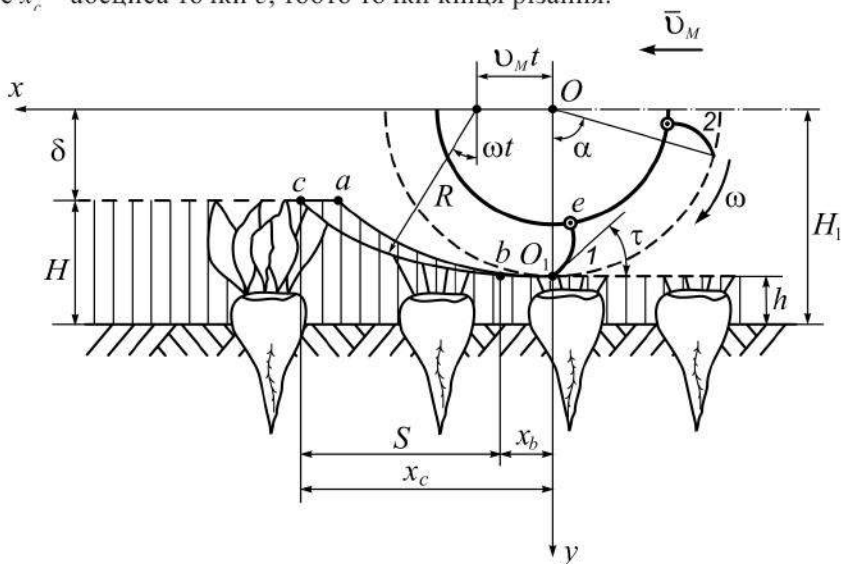


Рис. 2. Еквівалентна схема взаємодії ножів роторного гичкорізального апарата з масивом гички цукрового буряку

Абсцису x_c точки c кінця різання визначимо наступним чином. Якщо H – висота пучка гички, H_1 – висота встановлення осі ротора над рівнем поверхні ґрунту, а δ – величина, що дорівнює $\delta = H_1 - H$, тоді ордината y_c точки c кінця різання $y_c = \delta = R \cos(\omega t_c - \alpha)$ дає можливість визначити $\cos(\omega t_c - \alpha)$, з якого визначаємо час t_c :

$$t_c = \frac{1}{\omega} \left[\alpha + \arccos \left(\frac{\delta}{R} \right) \right]. \quad (5)$$

Тепер, для моменту часу $t = t_c$, використовуюючи вираз (3), визначимо абсцису x_c . Вона буде дорівнювати:

$$x_c = v_M t_c + R \sin(\omega t_c - \alpha), \quad (6)$$

або після перетворень:

$$x_c = \frac{v_M}{\omega} \left[\alpha + \arccos \left(\frac{\delta}{R} \right) \right] + \sqrt{R^2 - \delta^2}. \quad (7)$$

Підставимо (7) і (2) у (4), остаточно одержимо значення довжини зони різання S :

$$\begin{aligned} S &= \frac{v_M}{\omega} \left[\alpha + \arccos \left(\frac{\delta}{R} \right) \right] + \sqrt{R^2 - \delta^2} - \frac{v_M \alpha}{\omega} = \\ &= \frac{v_M}{\omega} \arccos \left(\frac{\delta}{R} \right) + \sqrt{R^2 - \delta^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

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 коренеплоду, і окремого дугоподібного ножа, що обертається з кутовою швидкістю ω разом з ротором (рис. 3).

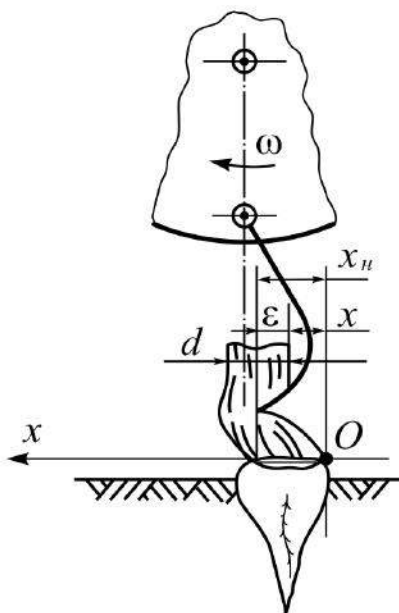


Рис. 3. Схема взаємодії дугоподібного ножа з пучком гички цукрового буряку

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 . Приймемо таке припущення, що переміщення приведенної маси $m_{np.}$ пучка гички і приведенної 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 приведенної маси пучка гички і приведенної маси дугоподібного ножа, для визначення їх законів переміщень, а потім розглянути різницю цих переміщень, яка і буде величиною проникнення ε .

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

$$m_{np.} \ddot{x} = P(\varepsilon) - cx, \quad (9)$$

де $m_{np.}$ – маса пучка гички, приведена до точки удару; x – прямолінійне переміщення приведенної 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 (9) необхідно визначити значення сили $P(\varepsilon)$. Залежність сили P від ε звичайно носить нелінійний характер. Однак, як показали попередні дослідження [7], для визначення сили $P(\varepsilon)$ можна виходити з наступного виразу:

$$P(\varepsilon) = P_{cp.} = \frac{A}{d}, \quad (10)$$

де $P_{cp.}$ – середня сила різання; A – робота, необхідна на поперечне перерізання пучка гички; d – діаметр пучка гички.

Підставляючи (10) у (9), матимемо таке рівняння руху пучка гички при різанні дугоподібним ножом:

$$m_{np.} \ddot{x} + cx = P_{cp.} \quad (11)$$

Після інтегрування отриманого диференціального рівняння (11) отримаємо остаточний вираз, що описує переміщення приведенної маси $m_{np.}$ пучка гички в будь-який момент часу t :

$$x = \frac{P_{cp.}}{c} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_{np.}}} t \right). \quad (12)$$

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

$$M_{np.} \ddot{x}_n = -P_{cp.} + \mu(v_n t - x_n), \quad (13)$$

де $M_{np.}$ – приведена маса ножа (маса ножа, що приведена до точки удару леза об пучок гички); x_n – переміщення приведеної маси ножа; v_n – критична швидкість поступального переміщення ножа, при якій можливий безпідпирний зріз вільностоячих пучків гички; $v_n t$ – переміщення кромки леза ножа в момент часу t при відсутності зіткнення з пучком гички, коли ніж перебуває у радіальному положенні; $(v_n t - x_n)$ – 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).

Після інтегрування диференціального рівняння (13) отримуємо закон руху дугоподібного ножа роторного гичкорізального апарата у такому вигляді:

$$x_n = v_n t - \frac{P_{cp.}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{np.}}} t \right). \quad (14)$$

Тепер, використовуючи отримані вирази (12) і (14), є можливість визначити величину проникнення ε ножа в пучок гички (рис. 3), яка дорівнює $\varepsilon = x_n - x$, або після підстановки виразів (14) і (12), з врахуванням того, що умовою повного зрізання пучка гички діаметром d при першому зіткненні леза дугоподібного ножа з пучком гички необхідно, щоб $\varepsilon = d$, отримаємо:

$$\varepsilon = d = v_n t - \frac{P_{cp.}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{\mu}{M_{np.}}} t \right) - \frac{P_{cp.}}{\mu} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m_{np.}}} t \right). \quad (15)$$

Отриманий вираз (15) визначає умови повного зрізання пучка гички і дає можливість задавати такі конструктивні і кінематичні параметри роторного гичкорізального апарата, при яких зріз пучка гички відбувається у процесі одноразового зіткнення леза дугоподібного ножа з пучком гички. Для зрізання пучка гички необхідно, щоб ніж про-

никнув у пучок на величину його діаметра d , перш ніж відгин усього пучка x перевищить деяке задане значення $x_{кр}$.

Характер розв'язку рівняння (15) буде залежати головним чином від закону зміни μ , оскільки $\mu = f(v_n)$.

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

$$v = \frac{\pi n R}{30} > v_n, \text{ що визначає умову, за якою } n > \frac{30 v_n}{\pi R}.$$

Радіус ротора R обираємо з умови, що розмір зони різання по вертикалі не повинен перевищувати величину R , тобто $R > H - h$. Практично радіус R ротора знаходиться в межах 300...350 мм [11]. Ширину дугоподібного ножа приймаємо, виходячи з максимального діаметра d_{max} пучка гички, який дорівнює $B = d_{max} + (30 \div 50)$, мм. 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 [7] 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 . Якщо позначити 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, а d – діаметр пучка гички, то $O_1e > Nd = \sqrt{K} \cdot Sd$.

Визначимо далі 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 , що

дорівнює $ac = l = \frac{v_M \alpha}{\omega}$. Оскільки $\alpha = \frac{2\pi}{z}$, то зв'язок l з числом рядів

$$\text{ножів } z \text{ буде } l = \frac{2\pi v_M}{z \omega}, \text{ звідки } z = \frac{2\pi v_M}{l \omega}.$$

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.

Висновки

1. Розроблена нова конструкція гичкозбиральної машини з ротаційним різальним апаратом.

2. Використовуючи основні положення теорії безпідпiрного безкопiрного зрiзу рослинної маси, складені основні теоретичні передумови розрахунку ротаційного гичкорізального апарата гичкозбиральної машини.

3. Аналітично знайдені зона різання гички, величина проникнення лека дугоподібного ножа у пучок гички, зокрема умови повного зрiзу пучка гички при одноразовому зіткненні з ножом і інші умови, які забезпечують суцільний зріз масиву гички.

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

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений. Т. 3. Изд. 2-е. – М.: Колос, 1968. – 384 с.
2. *Гутьяр Е.М.* К теории резания стеблей. – Сельхозмашина, 1931, №7. – С.12-13.
3. *Ишлинский А.Ю.* Задача о скорости косыбы злаков. – Сельхозмашина, 1937, №5-6. – С. 8-12.
4. *Василенко И.Ф.* Теория режущих аппаратов жатвенных машин. Труды ВИСХОМ. – М.: 1937, №5. – С.7-14.
5. *Резник Н.Е.* Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
6. *Босой Е.С.* Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.
7. *Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах; Под ред. Е.С. Босого – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.*
8. *Татьянко Н.В.* Расчет рабочих органов для обрезки ботвы сахарной свеклы. Тракторы и сельхозмашины. – 1962. – №11. – С. 18-21.

9. *Татьянко Н.В.* Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы до их выкопки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1967. – 28 с.
10. *Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С.* Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). – М.: ВИСХОМ, 1995. – 391 с.
11. *Булгаков В.М., Сипливец А.А., Березовый Н.Г., Зыков П.Ю.* Разработка конструкции новой универсальной ботвоуборочной машины. – Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Т. III, “Механізація сільськогосподарського виробництва”, К. 1997. – С. 76–77.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОВОЙ БОТВОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Разработана новая ботвоуборочная машина и усовершенствована теория сплошного среза ботвы сахарной свеклы роторным режущим аппаратом. Аналитически найдены зона резания ботвы, величина проникновения лезвия дугообразного ножа в пучок ботвы, а также условия полного среза пучка ботвы при одноразовом столкновении с ножом и другие условия, обеспечивающие качественный сплошной срез массива ботвы.

Ключевые слова: сахарная свёкла, ботвоуборочная машина, бескопирный срез, режущий аппарат, закон движения, параметры.

PRODUCT DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF KEY PARAMETERS OF THE NEW HAULM GATHERER

The new haulm gatherer is developed and the theory of continuous cutting of sugar beet haulm by the rotor cutting apparatus is developed. The zone of cutting of haulm, magnitude of penetration of a blade of the arc-wise knife in a haulm cluster, and also conditions of full cutting of a haulm cluster are analytically discovered at one-shot collision with a knife.

Key words: sugar beet, haulm gatherer, cutting without following, cutting apparatus, law of motion, parameters.