

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ГИЧКИ ПРИ КОЛИВАННЯХ РОТОРНОГО ГИЧКОРІЗАЛЬНОГО АПАРАТУ У ПОВЗДОВЖНЬО-ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Volodymyr Bulgakov, Ivan Holovach

National Agrarian University of Ukraine, Kyiv

Анотація. На підставі накладання траєкторій коливальних рухів роторного гичкорізального апарату у повздовжньо-вертикальній площині і нерівностей поверхні ґрунту, на якій розташовані коренеплоди, аналітично визначені втрати гички при виконанні технологічного процесу суцільного її зрізу.

Ключові слова: роторний гичкорізальний апарат, розміщення коренеплодів, втрати гички, коливання

ВВЕДЕНИЕ

Високоякісне збирання гички цукрового буряку залишається актуальною задачею галузі буряківництва. В процесі роботи, розроблена нами фронтально навішена на трактор, гичкозбиральна машина здійснює рухи в просторі, які визначаються рельєфом поверхні поля, поступальною швидкістю руху трактора, розміщенням копіювальних коліс відносно системи підвісу та ін., що суттєво впливає на якість виконання цього технологічного процесу. Використання в якості копіювальних – пневматичних коліс викликає коливання роторного гичкорізального апарату гичкозбиральної машини у вертикальній площині, що в найбільшій ступені буде впливати на якість виконання технологічного процесу – рівномірне зрізування гички з головок коренеплоду по всій ширині захвату.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ

Внаслідок наявності нерівностей поверхні ґрунту бурякового поля виникають коливання роторного гичкорізального апарату при русі гичкозбиральної машини по рядках коренеплодів цукрового буряку. Зазначені коливання викликають нерівномірне зрізання гички по висоті з поверхні головок коренеплодів, що призводить до значних втрат гички при її збиранні. Аналітичне визначення втрат

гички, в залежності від амплітуди і частоти вказаних коливань роторного гичкорізального апарату дасть можливість визначати такі конструктивні і кінематичні параметри гичкозбиральної машини, які дозволять знизити вказані втрати урожаю гички.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Широке розповсюдження фронтально навішених гичкорізальних модулів бурякозбиральних машин західного виробництва, а також деяких конструкцій вітчизняних фронтально навішених гичкозбиральних машин однак не обумовило ґрунтовних аналітичних досліджень втратам гички при здійсненні коливань в процесі роботи.

МЕТА

Аналітично визначити втрати гички при коливаннях гичкорізального апарата в повздожньо-вертикальній площині.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для аналітичного визначення втрат гички при коливаннях роторного гичкорізального апарату у повздожньо-вертикальній площині, необхідно розглянути два можливих випадки:

- нерівності поверхні ґрунту розташовані у міжряддях, а головки коренеплодів у самих рядках знаходяться у переважній більшості на однаковому рівні;
- нерівності ґрунту розташовані як у міжряддях, так і у самих рядках, а тому головки коренеплодів знаходяться на різній висоті над умовною лінією поверхні поля.

Згідно [Морозов и Грингауз 1969] нерівності поверхні ґрунту змінюються за косинусоїдальним законом наступного аналітичного вигляду:

$$Y_0 = h_0 \cos \frac{2\pi}{l_3} X, \quad (1)$$

де:

l_3 – крок нерівностей поверхні ґрунту;

h_0 – висота нерівностей поверхні ґрунту;

X – поточна координата.

На підставі проведених нами теоретичних досліджень [Булгаков и др 1999] період коливань центру мас гичкорізального апарату (а фактично кінцівок ножів роторного гичкорізального апарату) приблизно у два рази менший за крок нерівностей поверхні ґрунту.

Таким чином, можна вважати, що коливання кінцівок ножів роторного гичкорізального апарату здійснюються за таким законом:

$$Y_1 = h_1 \cos \frac{4\pi}{l_3} X, \quad (2)$$

де:

h_1 – амплітуда коливань гичкорізального апарату у повздовжньо-вертикальній площині.

Розглянемо спочатку перший зазначений випадок.

Складемо схему розміщення коренеплодів цукрового буряку у повздовжньо-вертикальній площині (рис. 1). Покажемо систему координат OXY , при цьому головки коренеплодів розташовані на осі X , а сама вісь є умовною лінією поверхні бурякового поля. Осі коренеплодів цукрового буряку на вказаній схемі розташовані рівномірно на відрізку, що дорівнює кроку нерівностей, який позначено l_3 і який дорівнює $l_3 = 0,5 \text{ м}$, у кількості 5 шт.

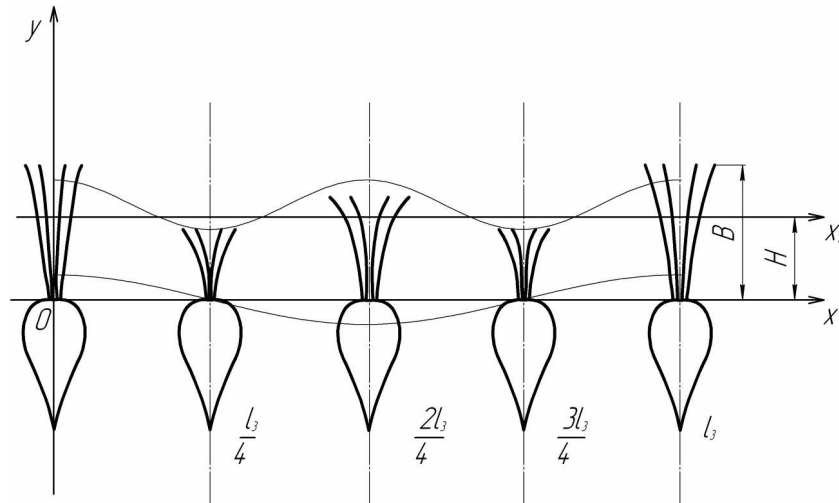


Рис.1. Схема розташування коренеплодів у ґрунті і висоти зрізу гички з урахуванням нерівностей поверхні і коливань гичкорізального апарату

Fig.1. Layout of root crops in soil and altitude of haulm cut in view of a surface irregularities and oscillations of the haulm cutter

Будемо вважати, що H – висота на якій здійснюється рух кінцівок ножів роторного гичкорізального апарату над умовною лінією поверхні поля. Очевидно, що в даному випадку косинусоїда коливань гичкорізального апарату знаходиться вище умовної лінії поверхні поля на величину H . Позначимо ось X_1 – середня лінія косинусоїди коливань гичкорізального апарату.

Згідно наведеної схеми висота B зрізу гички над поверхнею поля для коренеплоду, що знаходиться на відстані X від точки O , буде дорівнювати:

$$B = Y + H + Y_1, \quad (3)$$

або, враховуючи вирази (1) і (2), матимемо:

$$B = h_0 \cos \frac{2\pi}{l_3} X + H + h_1 \cos \frac{4\pi}{l_3} X \quad (4)$$

Підрахуємо висоту зрізу згідно виразу (4) для розміщених коренеплодів, показаних на рис. 1. Вона буде дорівнювати:

$$\text{при } X = 0: \quad B = h_0 + H + h_1;$$

$$\text{при } X = \frac{l_3}{4}: \quad B = H - h_1;$$

$$\text{при } X = \frac{l_3}{2}: \quad B = -h_0 + H + h_1;$$

$$\text{при } X = \frac{3l_3}{4}: \quad B = H - h_1;$$

$$\text{при } X = l_3: \quad B = h_0 + H + h_1.$$

Якщо врахувати, що головка коренеплоду знаходиться вище умовної лінії поверхні поля на величину h_k (див. рис. 2), то висота залишків гички для коренеплоду буде дорівнювати $B - h_k$.

У більш загальному випадку, при зміщенні фази коливань гичкорізального апарату на деяке число P , яке знаходиться у інтервалі $\left(0 \leq P \leq \frac{l_3}{2}\right)$, залежність (4) набуде наступного вигляду:

$$B = h_0 \cos \frac{2\pi}{l_3} X + H + h_1 \cos \left(\frac{4\pi}{l_3} X - P \right). \quad (5)$$

Розглянемо далі другий випадок.

Складемо схему (рис. 3), на якій також показано розташування коренеплодів, головки яких розміщені на самій косинусоїді нерівностей поверхні ґрунту.

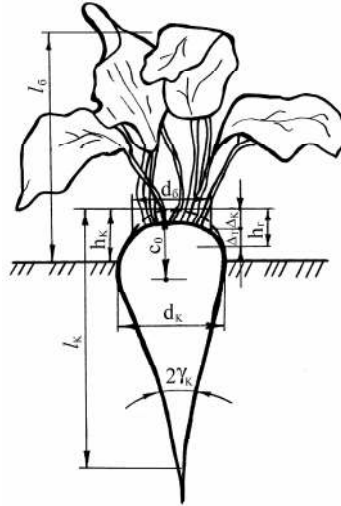


Рис. 2. Основні розміри гички і головки коренеплоду цукрового буряку:

d_K – діаметр коренеплоду; l_k – довжина коренеплоду; d_6 – діаметр пучка гички;
 l_6 – довжина пучка гички; h_K – висота розміщення коренеплоду над рівнем ґрунту;
 h_r – висота головки коренеплоду; Δ_0 – товщина зони "сплячих вічок"; Δ_K – товщина
 зони коронки коренеплоду; C_0 – координата центру ваги; $2\gamma_K$ – кут конусності

Fig. 2. The basic sizes of a sugar beet root crop head

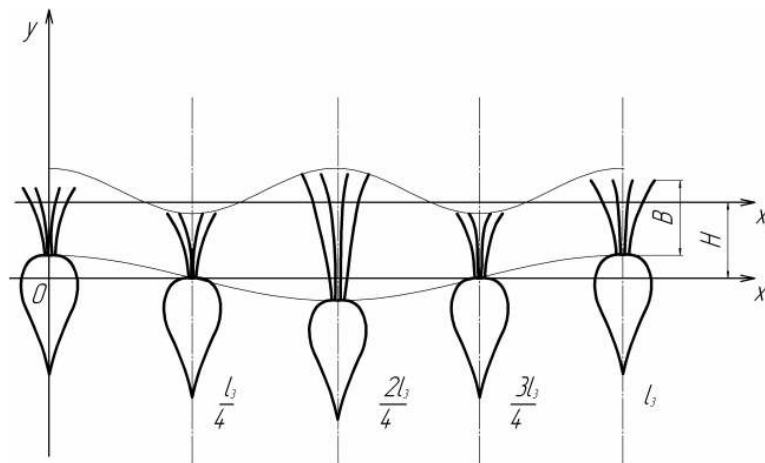


Рис. 3. Висота зрізу гички в залежності від розташування коренеплодів на осі OX за умови, що головки коренеплодів розташовані на косинусоїді нерівностей поверхні ґрунту

Fig. 3. Altitude of a haulm cut depending on root crops disposition on an axis OX provided that head of root crops are placed on a cosine curve of soil surface irregularities

Оскільки головки коренеплодів розташовані на косинусоїді нерівностей поверхні ґрунту, то висота незрізаної гички для коренеплоду, що знаходиться на відстані X від точки O , буде дорівнювати:

$$B = H + h_1 \cos \frac{4\pi}{l_3} X - h_0 \cos \frac{2\pi}{l_3} X. \quad (6)$$

Також підрахуємо висоту зрізу коренеплодів на підставі виразу (6). Вона буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} \text{при } X = 0: & \quad B = H + h_1 - h_0; \\ \text{при } X = \frac{l_3}{4}: & \quad B = H - h_1; \\ \text{при } X = \frac{l_3}{2}: & \quad B = H + h_1 + h_0; \\ \text{при } X = \frac{3l_3}{4}: & \quad B = H - h_1; \\ \text{при } X = l_3: & \quad B = H + h_1 - h_0. \end{aligned}$$

При зміщенні фази коливань гичкорізального апарату, вираз (6) набуде наступного вигляду:

$$B = H + h_1 \cos \left(\frac{4\pi}{l_3} X - P \right) - h_0 \cos \frac{2\pi}{l_3} X. \quad (7)$$

Визначимо далі мінімальну висоту розміщення гичкорізального апарату над поверхнею ґрунту з метою забезпечення нормального зрізу головок коренеплодів. З врахуванням агротехнічних вимог необхідно, щоб висота B зрізу гички над поверхнею ґрунту задовольняла наступній умові:

$$h_k + 2 \geq B \geq h_k - (\Delta_T + \Delta_K), \quad (8)$$

де:

h_k – висота розміщення коренеплоду над рівнем ґрунту;

Δ_T – товщина зони "сплячих вічок";

Δ_K – товщина зони коронки коренеплоду.

Вказані позначення вибрані згідно [Погорельй и др. 1983] і наведені на рис. 2.

Оскільки низький зріз головки коренеплоду небажаний згідно агротехнічних вимог через надмірну втрату цукру, то прийємо крайню умову нормального зрізу, яка буде мати такий вигляд:

$$B = h_K - (\Delta_T + \Delta_K). \quad (9)$$

Якщо косинусоїда коливань гичкорізального апарату зміщена відносно косинусоїди зазначених коливань, показаних на рис. 1, вліво або вправо на величину $\frac{l_3}{4}$, то найнижчий зріз коренеплоду відбудеться у точці $X = \frac{l_3}{2}$, який буде дорівнювати:

$$B = H - h_1 - h_0. \quad (10)$$

Це взагалі найнижчий зріз, який може мати місце при даних косинусоїдах (1) і (2). Підставляючи вираз (10) у вираз (9) отримаємо:

$$H - h_1 - h_0 = h_K - (\Delta_T + \Delta_K), \quad (11)$$

звідки визначаємо допустиме розміщення гичкорізального апарату над рівнем ґрунту з умов нормального зрізу гички:

$$H = h_0 + h_1 + h_K - (\Delta_T + \Delta_K). \quad (12)$$

При отриманому значенні H жоден з коренеплодів не зазнає низького зрізу, проте значна частина коренеплодів може зазнати високого зрізу. Очевидно, що зменшення високого зрізу можна досягти за рахунок зменшення величини H . Однак, при цьому з'являться коренеплоди з низьким зрізом. Якщо величину H зменшити на величину h_0 , тобто якщо

$$H = h_1 + h_K - (\Delta_T + \Delta_K), \quad (13)$$

то деякі коренеплоди матимуть найнижчий зріз, що визначається наведеним вище виразом (10).

Це саме ті коренеплоди, при обрізанні яких гичкорізальний апарат буде знаходитись, за рахунок нерівностей ґрунту і коливань самого роторного гичкорізального апарату, у найнижчому його положенні. Очевидно, що таких випадків буде небагато, а отже і коренеплодів з низьким зрізом буде небагато. Тому для проведення розрахунків втрат гички прийємо висоту установки гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля, що визначається з виразу (13). Звичайно, якщо взяти значення H менше ніж (13), то число коренеплодів з низьким зрізом значно зросте.

Згідно [Свекл. Машины 1983] приймемо такі геометричні розміри коренеплодів цукрового буряку: $h_k = 1,8 \dots 5,0$ (см); $\Delta_T = 0,8 \dots 2,14$ (см); $\Delta_K = 1,32 \dots 1,62$ (см).

Підставляючи найменші, середні та найбільші значення даних величин у вираз (13), отримаємо $H = 3,7$ см, $H = 4,5$ см і $H = 5,2$ см відповідно.

Тому можна вважати, що мінімальне значення H знаходиться в межах $4,0 \dots 6,0$ см.

Отже, при проведенні чисельних розрахунків на ПЕОМ необхідно задавати значення H , що задовольняє умові:

$$H \geq 3,7 \text{ см.}$$

Перейдемо далі до розрахунку втрат гички при її зрізанні роторним гичкорізальним апаратом. Будемо вважати, що на одному погонному метрі рядка розташовано не менш ніж 6 коренеплодів. Висоту зрізу B_i кожного коренеплоду підраховуємо згідно виразу (4), підставляючи значення його координати X_i , причому $X_{i+1} = X_i + \Delta$, де Δ – відстань між осями симетрії сусідніх коренеплодів, $X_1 = 0$, $\Delta = 20$ см, $i = 1, 2, \dots, 6$.

Далі, вважаючи що форму зрізаний пучок гички має форму зрізаного конуса, для кожного коренеплоду знаходимо об'єм гички, що залишилась після зрізання:

$$V_i = \frac{1}{3} \pi (B_i - h_k) [r_{T1}^2 + r_{T1} \cdot r_{T2} + r_{T2}^2], \quad (i = 1, 2, \dots, 6), \quad (14)$$

де:

r_{A1} – радіус нижньої основи зрізаного пучка гички;

r_{T2} – радіус верхньої основи зрізаного пучка гички.

Тоді, маса залишків гички для кожного коренеплоду буде дорівнювати:

$$m_i = \gamma \cdot V_i, \quad (i = 1, 2, \dots, 6). \quad (15)$$

де:

γ – середня щільність зрізаного пучка гички.

Загальна маса незрізаної гички на одному погонному метрі буде дорівнювати:

$$m_{\zeta \hat{a} \hat{a}} = \sum_{i=1}^6 m_i. \quad (16)$$

Після цього визначаємо, скільки відсотків гички залишається на одному погонному метрі після зрізання роторним гичкорізальним апаратом:

$$q = \frac{m_{\zeta \hat{a} \hat{a}}}{6 Q_{\hat{A}}} \cdot 100\%, \quad (17)$$

де:

Q_A – маса пучка гички, що знаходиться на коренеплоді до зрізання.

Даний розрахунок проводимо для кожного з наступних значень зсуву фаз косинусоїди коливань гичкорізального апарату:

$$P_1 = 0; \quad P_{i+1} = P_i + 0,05 l_3; \quad l_3 = 50 \text{ см}; \quad i = 1, 2, \dots, 11$$

Для більш повної оцінки втрат гички при її збиранні чисельні розрахунки проведемо для декількох значень H встановлення роторного гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля, а саме: $H = 3,7 \text{ м}$, 4 м , 5 м і 7 м .

Дані для розрахунку приймаємо згідно [Погорельий *и др.* 1983]. Вони дорівнюють:

$$r_{\Gamma 1} = 3 \tilde{n} \tilde{l}, \quad r_{\Gamma 2} = 6 \tilde{n} \tilde{l}, \quad \gamma = 0,15 \tilde{a} / \tilde{n} \tilde{l}^3, \quad Q_{\Gamma} = 500 \tilde{a}, \quad h_K = 2 \tilde{n} \tilde{l}.$$

Після розробки алгоритму та складання програми для ПЕОМ були проведені чисельні розрахунки та побудовані графіки (рис. 4–7) втрат q гички в залежності від значень зсуву фаз P_k при зазначених висотах H встановлення гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля.

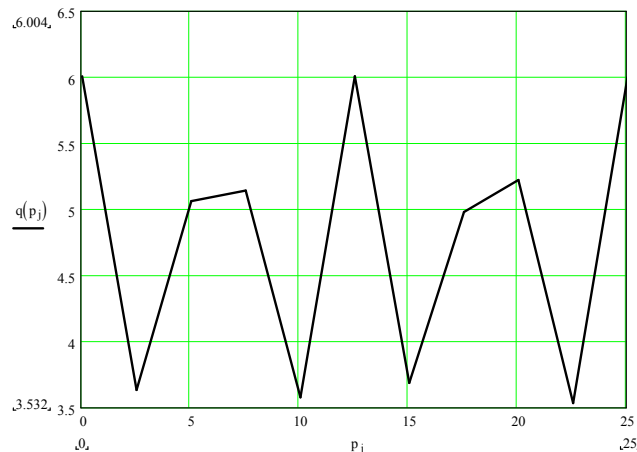


Рис. 4. Втрати гички (q , %) в залежності від значень зсуву фаз (P , см) косинусоїди коливань гичкорізального апарату відносно косинусоїди нерівностей поверхні ґрунту ($H = 3,7 \text{ см}$)

Fig. 4. Losses of a haulm (q , %) depending on values of the haulm cutter oscillations cosine curve phase shift (P , cm) concerning a cosine curve of soil surfaces irregularities ($H = 3,7 \text{ cm}$)

Як видно з наведеного графіка, при $H = 3,7 \text{ см}$, відсоток втрат гички q істотно залежить від зсуву фаз косинусоїд коливань гичкорізального апарату і нерівностей ґрунту і змінюється в межах 3,532...6%.

Аналогічним чином проведемо розрахунки на ПЕОМ і побудуємо графічні

залежності втрат гички при різних значеннях висоти встановлення роторного гичкорізального апарату над рівнем поверхні поля (рис. 5–7).

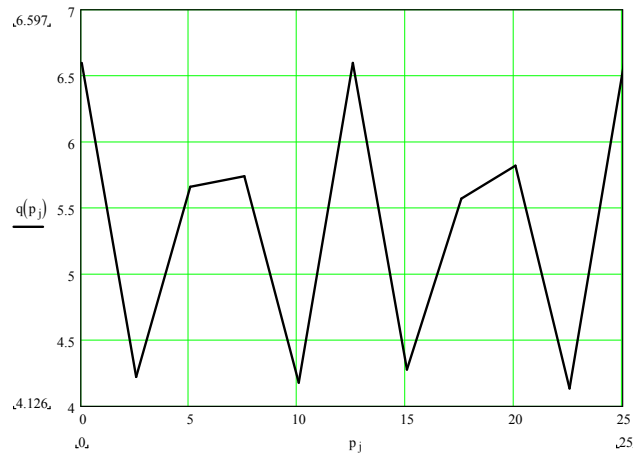


Рис. 5. Втрати гички (q , %) в залежності від значень зсуву фаз (P , см) косинусоїди коливань гичкорізального апарату відносно косинусоїди нерівностей поверхні ґрунту ($H = 4$ см)

Fig. 5. Losses of a haulm (q , %) depending on values of the haulm cutter oscillations cosine curve phase shift (P , cm) concerning a cosine curve of soil surfaces irregularities ($H = 4$ cm)

З графіка на рис. 5 бачимо, що при $H = 4$ см відсоток втрат гички змінюється в межах 4,126...6,597%.

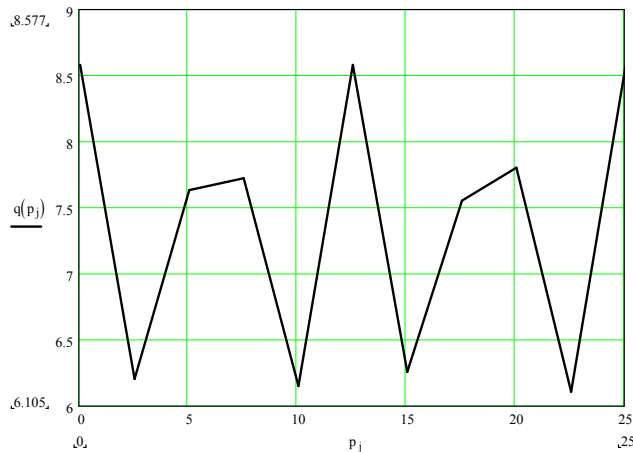


Рис. 6. Втрати гички (q , %) в залежності від значень зсуву фаз (P , см) косинусоїди коливань гичкорізального апарату відносно косинусоїди нерівностей поверхні ґрунту ($H = 5$ см)

Fig. 6. Losses of a haulm (q , %) depending on values of the haulm cutter oscillations cosine curve phase shift (P , cm) concerning a cosine curve of soil surfaces irregularities ($H = 5$ cm)

З графіка (рис. 6) бачимо, що при $H = 5$ см, відсоток втрат гички змінюється в межах 6,105...8,57%.

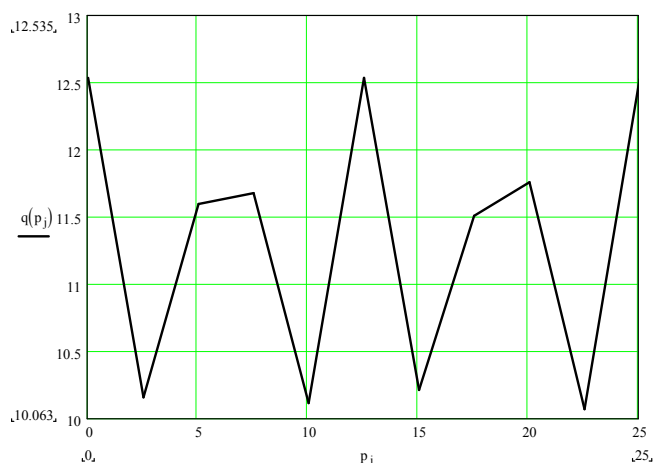


Рис. 7. Втрати гички (q , %) в залежності від значень зсуву фаз (P , см) косинусоїди коливань гичкорізального апарату відносно косинусоїди нерівностей поверхні ґрунту ($H = 7$ см)

Fig.7. Losses of a haulm (q , %) depending on values of the haulm cutter oscillations cosine curve phase shift (P , cm) concerning a cosine curve of soil surfaces irregularities ($H = 7$ cm)

З наведеного графіка (рис. 7) бачимо, при $H = 7$ см відсоток втрат гички змінюється в межах 10,063...12,535%.

Крім того, наведені вище графіки показують, що мінімальні значення втрат гички мають місце при значенні зсуву фаз $P = 2,5$ см; 10 см; 15 см; 20,5 см.

Результати всіх розрахунків втрат гички залежно від висоти встановлення роторного гичкорізального апарату наведені у наступній таблиці.

Таблиця 1. Втрати гички на погонному метрі рядка коренеплодів в залежності від висоти установки роторного гичкорізального апарату

Table 1. Haulm losses on a running meter of root crops line depending on altitude of the rotor haulm cutter setting

Висота встановлення гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля H , см	Втрати гички q на 1 погонному метрі рядка коренеплодів, %
3,7	3,532–6,000
4,0	4,126–6,597
5,0	6,105–8,570
7,0	10,063–12,535

Дані таблиці підтверджують, що мінімальні втрати гички (що знаходяться в межах агротехнічних вимог) будуть при висоті встановлення гичкорізального апарату у межах 4,0...6,0 см.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика аналітичного визначення втрат гички з врахуванням коливань роторного гичкорізального апарату і нерівностей поверхні ґрунту при збиранні гички цукрових буряків гичкозбиральною машиною, що дало можливість отримати наступне:

- аналітично визначене мінімальне значення висоти розміщення гичкорізального апарату над поверхнею ґрунту з врахуванням агротехнічних вимог до збирання гички цукрового буряку і забезпечення нормального зрізу головок коренеплодів. Дане значення, згідно розрахунків, повинно бути в межах 4,0–6,0 см.
- проведено розрахунок на ПЕОМ і отримано графіки втрат гички в залежності від значення зсуву фаз коливань роторного гичкорізального апарату, що дає можливість визначити значення зсуву фаз, при яких втрати гички будуть мінімальними. Зазначені значення зсуву фаз P дорівнюють: $P = 2,5$ см; 10 см; 15 см; 20,5 см.
- отримані значення втрат гички q (%) в залежності від висоти H (см) установки гичкорізального апарату над умовною поверхнею поля, які змінюються від 6,0 до 12%.

ЛІТЕРАТУРА

- Морозов Б.И., Грингауз Н.М. 1969: Расчет движения колесной машины по неровной дороге. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 7, 11–14.
- Булгаков В.М., Сипливец О.О., Березовий М.Г. 1999: Аналітичне дослідження руху машинного агрегату. – Збірник наукових праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва”, т. V. „Сучасні проблеми механізації сільського господарства”, Київ, 321–326.
- Свеклоуборочные машины: (конструирование и расчет). Л.В. Погорелый, Н.В. Татьяна, В.В. Брей и др.; Под общ. ред. Л.В. Погорелого. К.: Техніка, 1983. 168 с.

ANALYTICAL DEFINITION OF HAULM LOSSES AT ROTOR HAULM CUTTER
OSCILLATIONS IN A LONGITUDINAL-VERTICAL PLANE

Summary. On the basis of rotor haulm cutter vibratory movements paths superposition of in a longitudinal - vertical plane and irregularities of soil surface on which root crops are located, haulm losses are analytically defined at accomplishment of its continuous cut process.

Key words: rotor haulm cutter, root crops layout, losses of haulm, oscillations

Reviewer: Janusz Nowak, Prof. D. Sc. Eng.