

УДК 633.63:631.35

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЦУКРОНОСНОЇ МАСИ ТА ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ПРИ ЇЇ БЕЗКОПІРНОМУ ЗРІЗІ**

Борис А.М., інж.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (044) 527-82-33

**Анотація** - визначено експериментальним і теоретичним шляхом втрати цукроносної маси та залишки гички цукрового буряку при безкопірному зрізі. В інтервалі робочих висот зрізу 20...60 мм відхилення теоретичних розрахунків від експериментальних не перевищує 1%.

**Ключові слова** - коренеплід, головка коренеплоду, гичка, математична модель, безкопірний зріз.

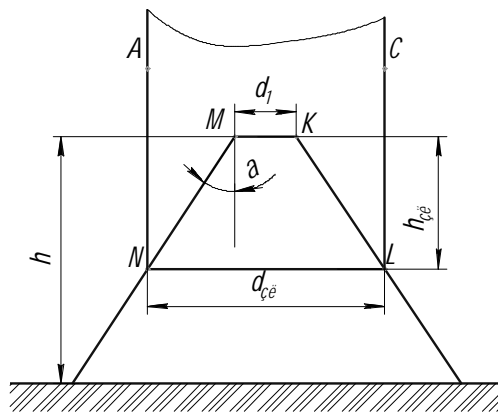
*Постановка проблеми.* Проведеними чисельними випробуваннями встановлено, що однією з проблем технологічного процесу збирання цукрових буряків є технологічна несумісність між викопувальними та гичкозрізальними робочими органами за швидкостями поступального руху. Так, копірні гичкозрізальні робочі органи задовільно працюють на швидкості до 1,5 м/с, а дискові викопувальні органи можуть працювати на швидкості до 2,5 м/с. Роторні робочі органи якісно виконують зріз гички при робочих швидкостях більше 2,5 м/с. Але на даний час відсутні методи визначення раціональної висоти безкопірного зрізу гички за відходами цукроносної маси та залишками гички на коренеплодах, що відповідають вимогам стандарту. Це є важливою проблемою, тому що зменшення відходу цукроносної маси при зрізі безпосередньо зменшує втрати врожаю, а великий вміст гички у воросі коренеплодів зменшує вихід цукру при переробці.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Фундаментальні дослідження способів зрізу гички цукрового буряку наведені в [1, 2]. Тут ґрунтовно визначалася висота безкопірного зрізу гички, при якій можна оптимізувати відходи цукроносної маси в гичку для діючих закупівельних цін. Розподілення висот виступання головок коренеплодів моделювалося нормальним законом, а форма головки коренеплода - конусом, зрізаним конусом та сферою. Але дані дослідження носять досить наближений характер і їх важко використати для моделювання процесу безкопірного зрізу.

*Формулювання цілей статті.* З метою зменшення втрат цукроносної маси і відповідно підвищення продуктивності машин для відокремлення гички необхідно розробити методику визначення раціональної висоти безкопінного зрізу. Для цього необхідно: розробити математичну модель технологічного процесу безкопінного зрізу. Теоретичним шляхом визначити залежності втрат цукроносної маси та залишків гички на коренеплодах від висоти безкопінного зрізу для різних агрофізичних характеристик посівів і коренеплодів цукрових буряків. Провести експериментальну перевірку математичної моделі технологічного процесу і визначити межі її практичного застосування.

*Основна частина.* Дослідженнями А.О. Василенка, П.Ф. Вовка, М.М. Зуєва, Л.В. Погорілого, М.В. Татянка доведено, що між висотою виступання головки і розмірними параметрами коренеплоду існують в основному лінійні залежності. Основна частина головок коренеплодів має форму зрізаного конуса. Максимальний діаметр понад 80% коренеплодів знаходиться нижче рівня ґрунту. Біля головки гичка розміщена настільки щільно, що її можна моделювати однорідним циліндричним тілом. При відомій відстані від вершини до основи зелених листків можна визначити діаметр циліндра гички. За відомим законом розподілу висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту та функціональними залежностями параметрів головки і гички від висоти виступання головки коренеплоду можна описати закономірності розподілення їх мас відносно поверхні ґрунту. Це уможливило побудову математичної моделі технологічного процесу безкопінного зрізу гички з подальшим обґрунтуванням оптимальної висоти зрізу. Модель головки наведено на рис. 1.

Залежності параметрів головки коренеплоду та гички мають наступний вигляд:



$$\left. \begin{aligned} h_{3l} &= a \cdot h + b; \\ d_1 &= m \cdot h + n; \\ d_{3l} &= d_1 + 2 \cdot h_{3l} \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $h_{3l}$  – відстань від вершини головки до основи зелених листків;  $h$  – висота виступання головки;  $d_1$  – діаметр вершини головки коренеплоду;  $d_{3l}$  – діаметр пучка гички;  $\alpha$  – половина кута конусності головки;  $a$ ,  $b$ ,  $m$ ,  $n$  – постійні величини.

Рис. 1. Модель головки коренеплоду.

Аналізуючи розміщення коренеплодів відносно поверхні

ґрунту, виділено шість груп характерного розташування гички та головок коренеплодів (рис. 2).

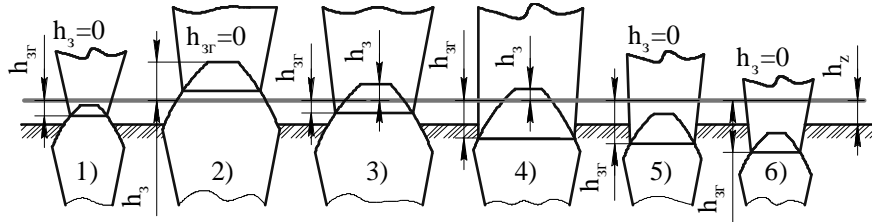


Рис. 2. Характерні випадки розташування коренеплодів та гички  $h_3$ ,  $h_{3Г}$  – відповідно висота зрізу гички та головки коренеплоду.

Аналитичні залежності для визначення розташування коренеплоду і гички відносно поверхні ґрунту, проходження площини зрізу відносно вершини головки та основи зелених листків, висот зрізу головки і гички, об'ємів втрат цукронової маси та залишків гички, зведено у табл. 1.

Таблиця 1- Математична модель зрізу гички та головки коренеплоду

Розташування коренеплоду	Математичні аналоги			
	розташування коренеплоду	Випадок	проходження площини зрізу	висоти зрізу головки та гички
	$h_i > 0$ $h_i \geq h_{xi}$	1	$h_z \geq h_i$	$h_3 = 0$ $h_{3Г} = h_{xi} - h_3 + h_z$
		2	$h_i > h_z \geq (h_i - h_{xi})$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{3Г} = h_{xi} - h_i + h_z$
		3	$h_i > h_z < (h_i - h_{xi})$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{3Г} = 0$
	$h_i \leq h_{xi}$	4	$h_z \geq h_i$	$h_3 = 0$ $h_{3Г} = h_{xi} - h_3 + h_z$
		5	$h_z < h_i$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{3Г} = h_{xi} - h_i + h_z$
	$h_i \leq 0$	6	$h_3 = 0$	$h_{3Г} = h_{xi} - h_i + h_z$
Випадок	Розрахункові формули			
1	$V_K = 0; V_z = \frac{\pi \cdot h_{xi} \cdot d_{xi}^2}{4} - \frac{3,14 h_{xi} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}$			
2	$V_K = \frac{\pi (h_i (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2))}{12}; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{xi} \cdot d_{xi}^2}{4} - \frac{3,14 (h_{xi} - h_i) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}$			
3	$V_C = 0; V_K = \frac{3,14 (h_i) (d_{xi}^2 + d_{xi} \cdot d_1 + d_1^2)}{12}$			
4	$V_K = 0; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{xi} \cdot d_{xi}^2}{4} - \frac{3,14 h_{xi} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}$			
5	$V_K = \frac{3,14 (h_i) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{xi} \cdot d_{xi}^2}{4} - \frac{3,14 (h_{xi} - h_i) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}$			
6	$V_K = 0; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{xi} \cdot d_{xi}^2}{4} - \frac{3,14 h_{xi} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{xi} + d_{xi}^2)}{12}$			

Втрати цукроносної маси та залишки гички для коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначаємо за формулою:

$$M_i = F(h_i; h_3) \cdot P(h_i; h_{i+1}) \cdot N_i, \quad (2)$$

де  $F(h_i; h_3)$  – втрати цукроносної маси або залишки гички для коренеплоду

$F(h_i; h_3) = V_k \cdot \rho$ , для гички  $F_c(h_i; h_{32}) = V_z \cdot \rho_r$ , де  $V_k, \rho$  і  $V_z, \rho_r$  – відповідно об'єм і густина коренеплоду та гички;  $N_i$  – кількість коренеплодів заданого інтервалу на одиниці площі;  $P(h_i; h_{i+1})$  – ймовірність появи даного інтервалу висот виступання головок коренеплодів, що визначається за формулою:

$$P(h_i; h_{i+1}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{h_i}^{h_{i+1}} \exp\left(-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}\right) dh. \quad (3)$$

Інтеграл у виразі 3 не визначається в квадратурах, тому ймовірність появи коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначимо чисельним інтегруванням за формулою Сімпсона. Просумувавши залишки гички та втрати цукроносної маси для всіх інтервалів висот виступання, отримуємо сумарні залишки гички та втрати цукроносної маси на одиниці площі:

$$BM = \sum_{i=a}^b \left[ N \cdot F\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_\xi\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (4)$$

$$GM = \sum_{i=a}^b \left[ N \cdot F_c\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_\xi\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (5)$$

де  $m$  – кількість інтервалів:  $m = 2U$ ;  $U=1,2,3,4,\dots$ ;  $c_j$  – коефіцієнт при значеннях підінтегральної функції у відповідних точках,  $c_j = 1,2,3,4,2,4,\dots,2,4,1$ .

На підставі вищенаведених залежностей складено алгоритм та програму розрахунку для ПК (рис. 3). Варіант розрахунку втрат цукроносної маси та залишків гички в залежності від висоти безкопінного зрізу при відповідних агрофізичних характеристиках посіву та коренеплодів наведено на рис. 4.

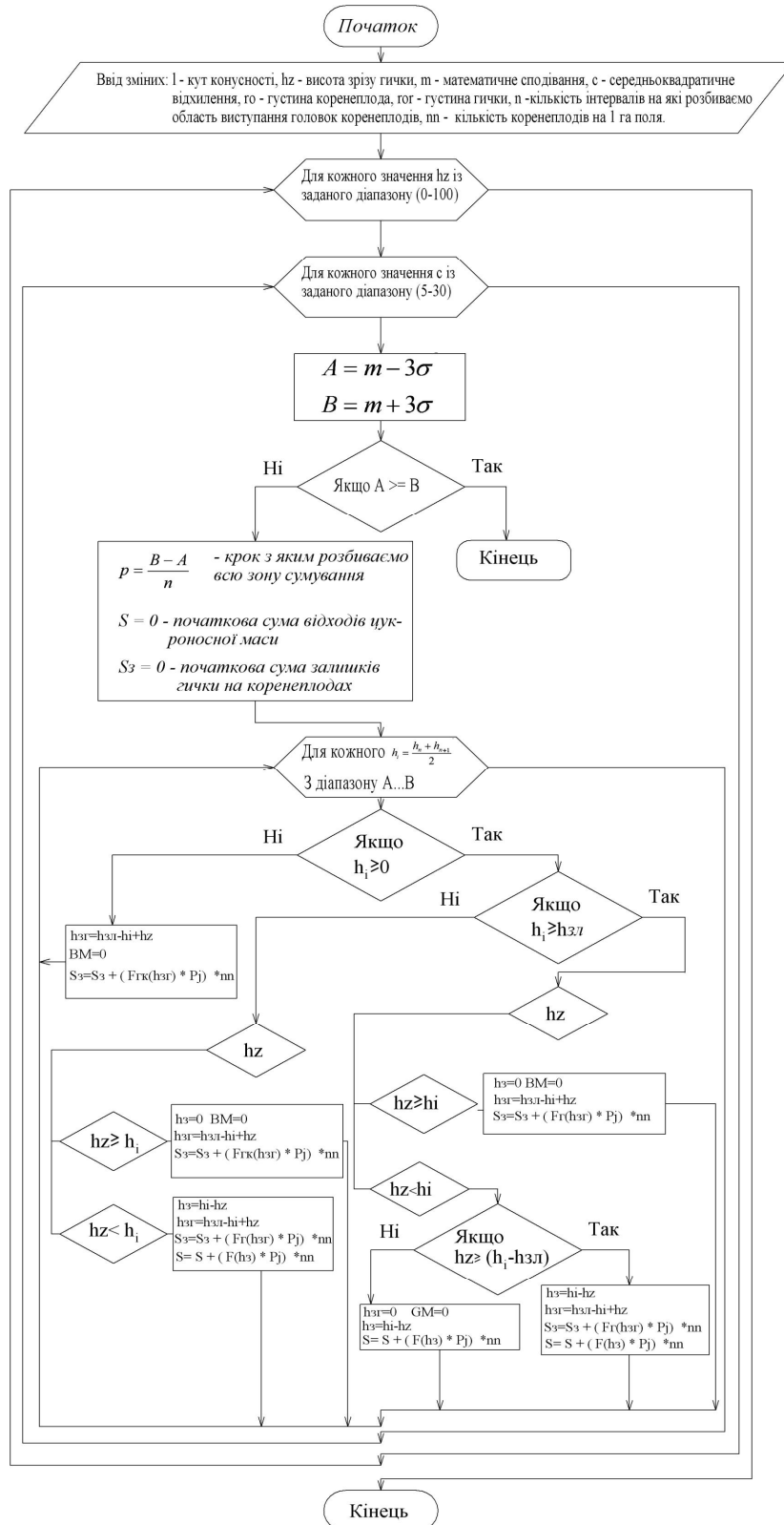


Рис. 3. Алгоритм безкопінного зрізу.

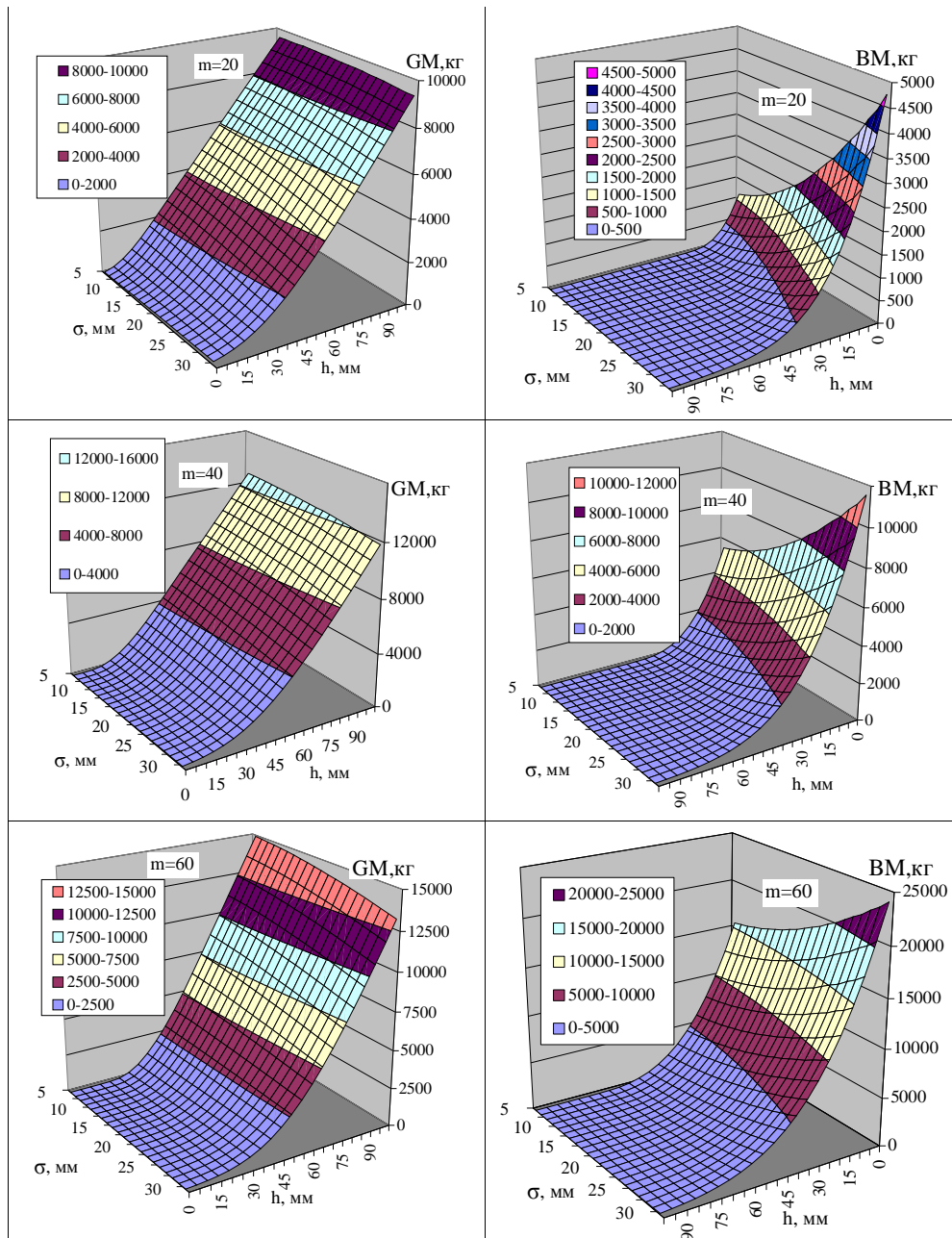
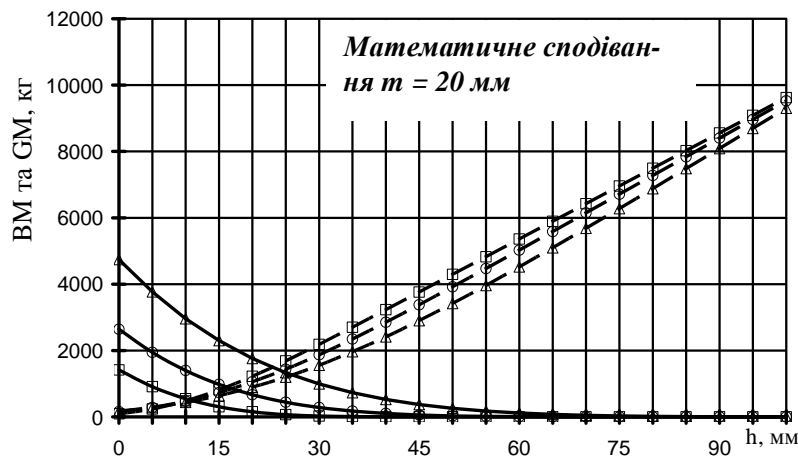
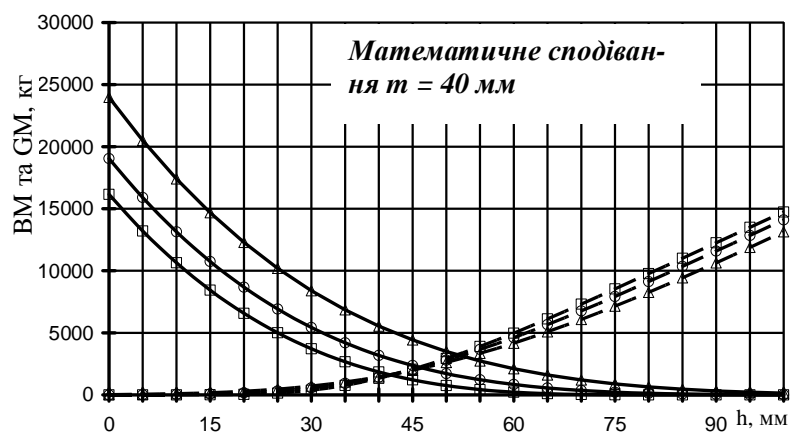
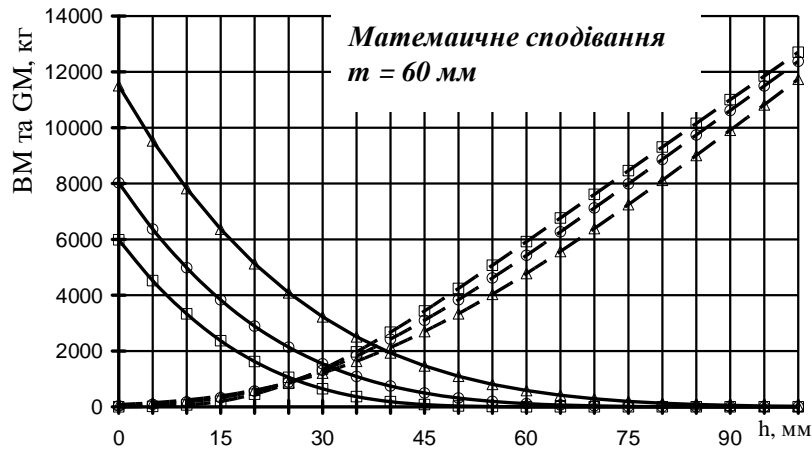


Рис. 4. Результати моделювання втрат цукроносної маси та залишків гички при безкопінному зрізі.



середньоквадратичне відхилення  $\sigma = 10$  мм     $\Delta$   $\sigma = 20$  мм    — - втрати цукронової маси  
  $\sigma = 30$  мм    - - - залишки гички на коренеплодах

Рис. 5. Залежності для визначення висоти безкопійного зрізу.

Процес безкопінного зрізу експериментально спільно досліджували Зуєв М.М. і Топоровський С.А. Результати досліджень опубліковано в роботі [1]. У проведених експериментальних дослідженнях визначено розподіл висот виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту, відходи цукронової маси та залишки гички на коренеплоді при встановленні ножа ріжучого апарату відносно поверхні ґрунту на висоті 10 – 50 мм з інтервалом 10 мм. Також визначено урожайність коренеплодів. За даними дослідів, можна провести математичне моделювання безкопінного зрізу на ПК за допомогою складеної програми. Використовуючи розподіл висот виступання головок коренеплодів, нами визначено математичне очікування  $m$  середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ . Визначивши за середньостатистичними даними залежності діаметра вершини головки та висоти зони зелених листків від висоти виступання, а також кут конусності головки, отримали результати моделювання і порівняли з експериментальними даними. Порівняння теоретичних і експериментальних досліджень процесу безкопінного зрізу наведено на рис. 5.

Таблиця 2 - Вихідні дані для визначення відходів цукронової маси та залишків гички

Назва показників	Значення показників або функціональна залежність
Урожайність, т/га	50,5
Характеристики закону розподілення висот виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту:	
математичне сподівання, мм	55,4
середньоквадратичне відхилення, мм	16,9
Середнє значення кута конусності головки коренеплоду, градус	78
Діаметр вершини головки, $d_1$	$d_1=0,58h+14,2$
Висота зони зелених листків, $h_{3л}$	$h_{3л}=1,02h+11$

Порівнюючи результати експериментальних і теоретичних досліджень можна зробити висновок, що теоретична модель в цілому відображає тенденції залежностей відходу цукронової маси та залишків гички від висоти безкопінного зрізу, отриманих експериментальним шляхом.

Для перевірки математичної моделі повторено дослід. При цьому визначені вихідні характеристики коренеплодів та поля, на якому проводились дослідження (табл. 2).



Результати порівняння теоретичних та експериментальних досліджень приведені на рис 6.

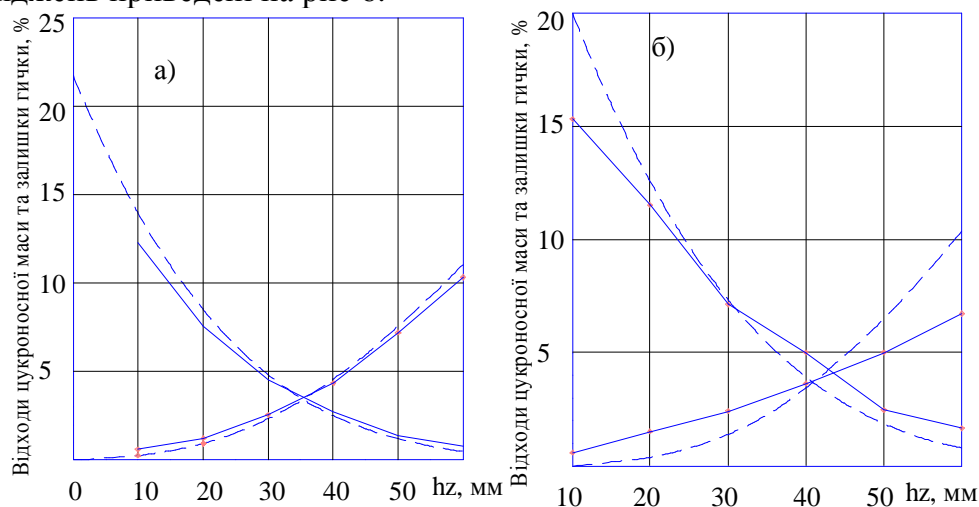


Рис. 6. Залежність відходу цукронової маси та залишків гички від висоти безкопінного зрізу.

Визначення показників якості проводилось за методикою Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН, що є достатньо точною, але характеризується великою трудомісткістю чим обмежується проведення необхідної кількості дослідів. Нами визначено відхилення теоретичних даних від експериментальних (табл. 3).

Теоретичні розрахунки у порівнянні з експериментальними дослідженнями відхиляються наступним чином:

– відходи цукронової маси за дослідженнями Зуєва, Топоровського від  $-1,4\%$  до  $+4,7\%$ , за власними дослідженнями – від  $-0,3\%$  до  $+1,8\%$ ;

– залишки гички за дослідженнями Зуєва, Топоровського від  $-1,2\%$  до  $3,6\%$ , за власними дослідженнями від  $-0,3\%$  до  $0,7\%$ .

Таблиця 3 - Абсолютне відхилення результатів теоретичних обчислень від експериментальних даних

$h_z$ , мм	110	220	330	440	550	660	110	220	330	440	550	660
	За даними Зуєва, Топоровського											
Відходи маси, %	11,8	00,9	00,3	-0,2	-0,2	-0,3	44,7	11,1	00,2	-1,4	-0,6	-0,9
Залишки гички, %	-0,3	-0,2	-0,2	00,3	00,4	00,7	-0,6	-1,2	-1,0	-0,2	11,4	33,6

Однією з причин відхилення результатів теоретичних та експериментальних досліджень є неврахування у математичній моделі додаткового очищення гички та пошкодження коренеплодів у коренезбиральній машині.

При відходах цукронової маси від 1% до 5%, що є близькими до агротехнічних вимог, відхилення результатів теоретичних досліджень від експериментальних не перевищує 0,7% для залишків гички і 0,5% для відходів цукронової маси. Тому дану математичну модель можна використовувати для прогнозування відходів цукронової маси та залишків гички різних сортів цукрових буряків.

Побудувавши на основі характеристик залежності приведені на рис. 6 можна визначити висоту безкопінного зрізу з прогнозованими відходами цукронової маси та залишками гички.

*Висновки.* Розроблено математичну модель процесу відокремлення основної маси гички шляхом безкопінного зрізу та алгоритм, що дозволяє визначити оптимальну висоту встановлення гичкорізьного апарату над рівнем ґрунту відповідно до мінімально допустимих втрат цукронової маси та агрофізичних характеристик посівів і коренеплодів. В результаті досліджень виявлено, що для існуючих агрофонів ( $\sigma = 10...30$  мм,  $m = 40...60$  мм) площина зрізу повинна проходити не вище 60 мм над рівнем ґрунту.

Визначено експериментальним шляхом залежність втрат цукронової маси та залишків гички від висоти безкопінного зрізу. При порівнянні з теоретичними розрахунками встановлено, що в інтервалі висот зрізу 20-60 мм над рівнем ґрунту відхилення результатів теоретичних досліджень від експериментальних даних не перевищує 0,7% для залишків гички і 0,9% – для втрат цукронової маси. Тому, запропоновану математичну модель можна використовувати для обґрунтування висоти зрізу.

#### Література

1. Зуев Н.М. Бескопирный срез головок коренеплодов. / Н.М.Зуев, С.А. Топоровский // Сахарная свекла. - 1988.-№6. - С. 42 – 45.
2. Топоровський С.А. Обґрунтування технологічного процесу і основних параметрів робочого органу для збирання гички цукрових буряків без копіювання голівок коренеплодів. Автореферат на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук./ С.А. Топоровський – Київ. – 1988. – 19 с.
3. Борис М.М. Моделювання процесу зрізу гички коренеплодів цукрових буряків. /М.М. Борис // Збірник Наукових праць Національного аграрного університету. Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків. – Том 2, Київ – НАУ, 1997. – с. 77 – 80.
4. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. /П.Ф.

Фильчаков – К.: Наукова думка, 1974. – 743 с.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей./ Е.С. Вентцель – М.: Наука, 1964. – 576 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ САХАРОНОСНОЙ МАССЫ И ОСТАТКОВ БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ЕЕ БЕЗКОПИРНОМ СРЕЗЕ**

А.Н. Борис

*Аннотация* - определены экспериментальным и теоретическим путем потери сахароносной массы и остатки ботвы сахарной свеклы при бескопирном срезе. В интервале рабочих высот среза 20...60 мм отклонение теоретических расчетов от экспериментальных не превышает 1%.

### **DEFINITION OF LOSSES OF SUGAR-BEARING WEIGHT AND THE RESTS OF A TOPS OF VEGETABLE OF A SUGAR BEET AT ITS CUT WITHOUT COPYING**

A. Borys

#### *Summary*

The mathematical model of process of without copying the head of root crops is developed. Certainly losses of sugar-bearing mass and tailings of tops by an experimental and theoretical way. In the interval of workings heights of cut 20...60 mm deviation of theoretical calculations from experimental does not exceed 1 %. **Keywords:** root crop, head of root crop, tops, mathematical model, cut without copying the head of root crops.