



УДК 633.63:631.35

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БЕЗКОПІРНОГО ЗРІЗУ ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Булгаков В.М., д.т.н.,

Борис А.М., асп.*

(Національний університет біоресурсів і природокористування
України)

Тел. 044527-82-33

Борис М.М., к.т.н.

(Подільський державний аграрно-технічний університет)

Тел. (03849) 68-3-50

Анотація – у статті досліджено та визначено втрати цукроносної маси та залишки гички експериментальним і теоретичним шляхом. 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. 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. Найбільш фундаментальними дослідженнями способів зрізу гички цукрового

© д.т.н. В.М. Булгаков, асп. А.М. Борис, к.т.н. М.М. Борис

*д.т.н. В.М. Булгаков

буряку займались Зуєв М.М. і Топоровський С.А. [1, 2]. Ними ґрунтовно визначалася висота безкопінного 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 безкопінного зрізу.

Постановка завдання. 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.

Виклад основного матеріалу. Дослідженнями А.О. Василенка, П.Ф. Вовка, М.М. Зуєва, Л.В. Погорілого, М.В. Татьянка доведено, що між висотою виступання головки і розмірними параметрами коренеплоду існують 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.

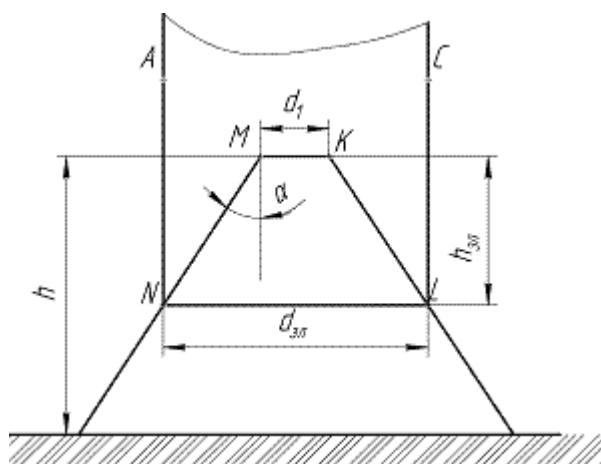


Рис. 1. Модель головки коренеплоду.

Залежності параметрів головки коренеплоду та гички мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} h_{3л} &= ah + b; \\ d_1 &= mh + n; \\ d_{3л} &= d_1 + 2h_{3л} \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

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

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

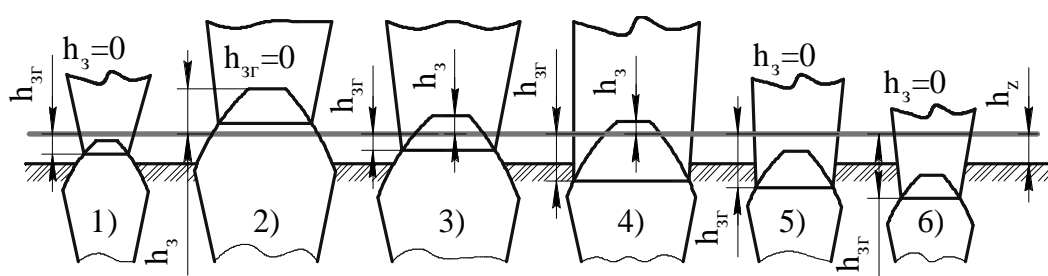
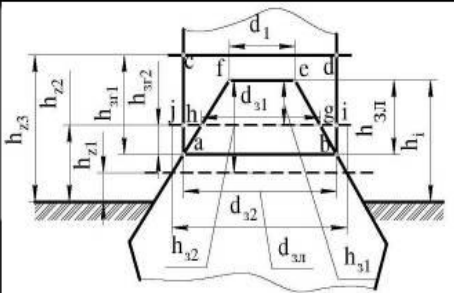
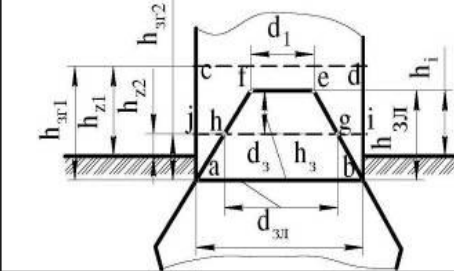
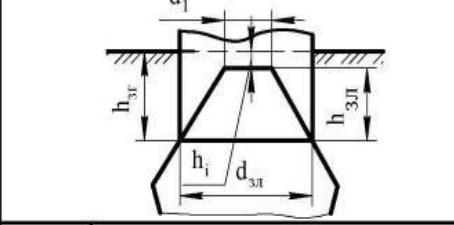


Рис. 2. Характерні випадки розташування коренеплодів та гички:
 $h_3, h_{3л}$ – відповідно висота зрізу гички та головки коренеплоду.

Аналітичні 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	Випа-док	проходжен-ня площини зрізу	висоти зрізу головки та гички
	$h_i > 0$ $h_i \geq h_{3i}$	1	$h_z \geq h_i$	$h_3 = 0$ $h_{32} = h_{3i} - h_3 + h_z$
		2	$h_i > h_z \geq (h_i - h_{3i})$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{32} = h_{3i} - h_i + h_z$
		3	$h_i > h_z < (h_i - h_{3i})$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{32} = 0$
	$h_i \leq h_{3i}$	4	$h_z \geq h_i$	$h_3 = 0$ $h_{32} = h_{3i} - h_3 + h_z$
		5	$h_z < h_i$	$h_3 = h_i - h_z$ $h_{32} = h_{3i} - h_i + h_z$
	$h_i \leq 0$	6	$h_3 = 0$	$h_{32} = h_{3i} - h_i + h_z$
Випа-док	Розрахункові формули			
1	$V_K = 0; V_z = \frac{\pi \cdot h_{3z} \cdot d_{3z}^2}{4} - \frac{3,14 h_{3z} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			
2	$V_K = \frac{\pi (h_3) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{3z} \cdot d_{3z}^2}{4} - \frac{3,14 (h_{3z} - h_3) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			
3	$V_z = 0; V_K = \frac{3,14 (h_3) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			
4	$V_K = 0; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{3z} \cdot d_{3z}^2}{4} - \frac{3,14 h_{3z} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			
5	$V_K = \frac{3,14 (h_3) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{3z} \cdot d_{3z}^2}{4} - \frac{3,14 (h_{3z} - h_3) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			
6	$V_K = 0; V_z = \frac{3,14 \cdot h_{3z} \cdot d_{3z}^2}{4} - \frac{3,14 h_{3z} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{3z} + d_{3z}^2)}{12}$			

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 $F_c(h_i; h_{32}) = V_2 \cdot \rho_g$, де V_k, ρ і V_2, ρ_g – 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:

$$BM = \sum_{i=a}^b \left[NF\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_3\right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j f(h) \right) \right], \quad (4)$$

$$GM = \sum_{i=a}^b \left[NF_c\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_3\right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j f(h) \right) \right], \quad (5)$$

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.

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 цукроносної 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.

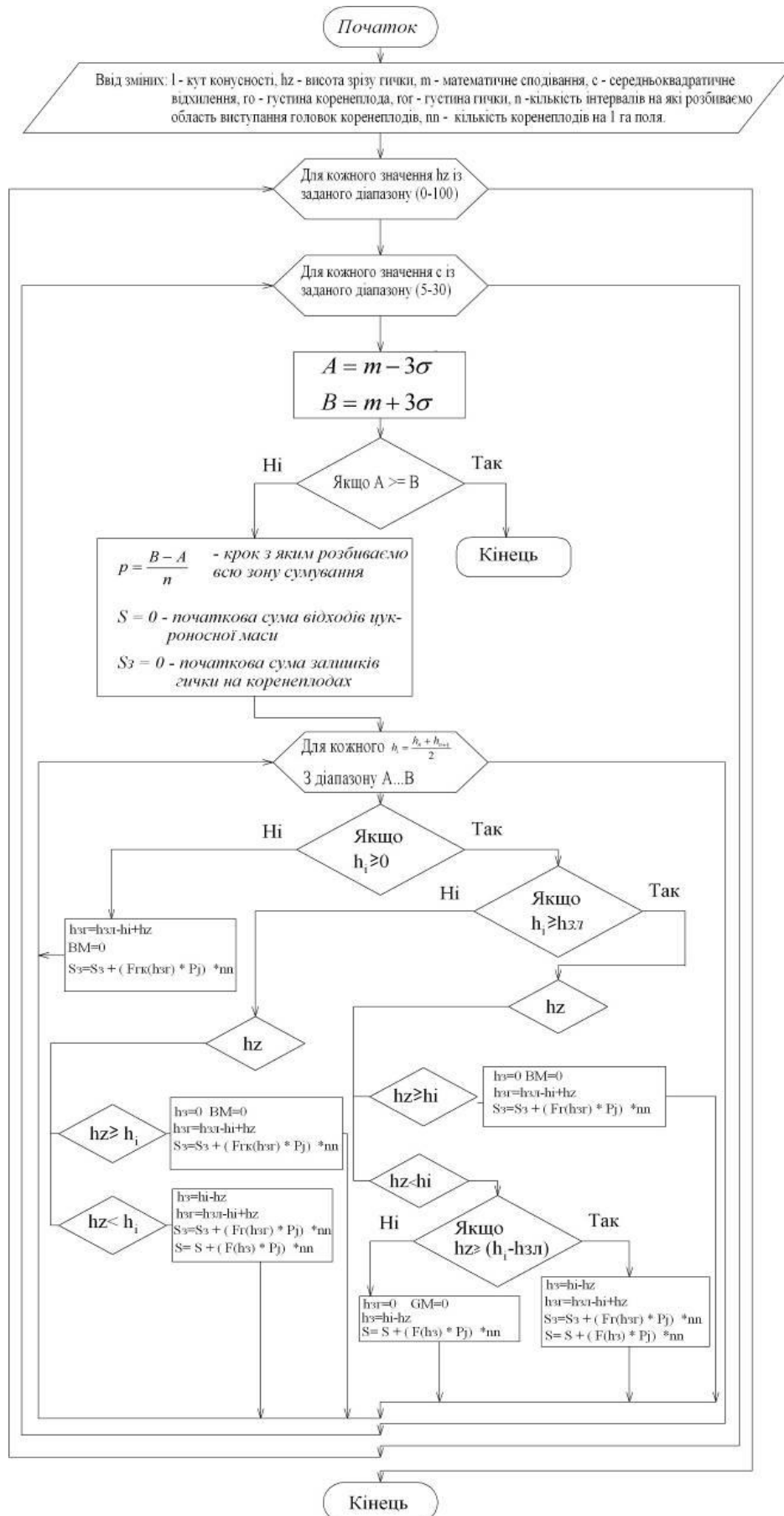


Рис. 3. Алгоритм безкопінного зрізу.

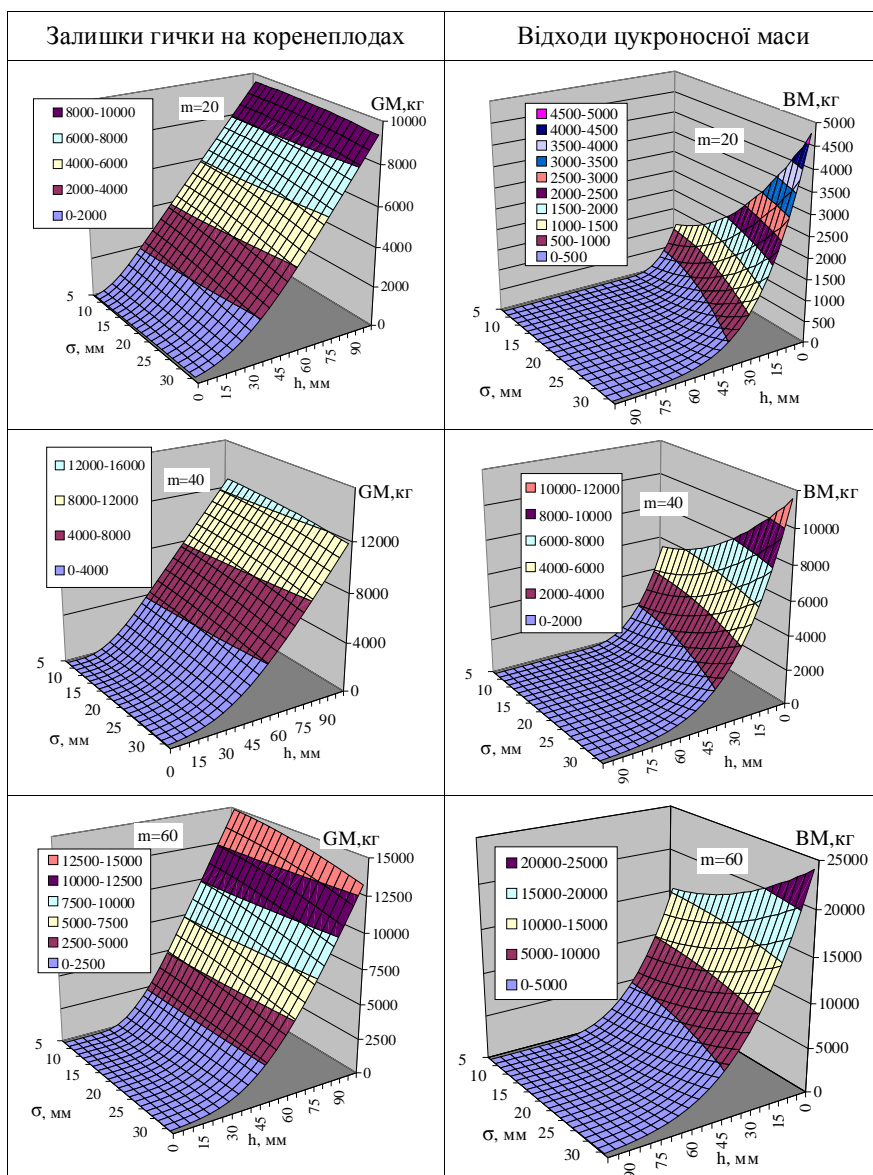
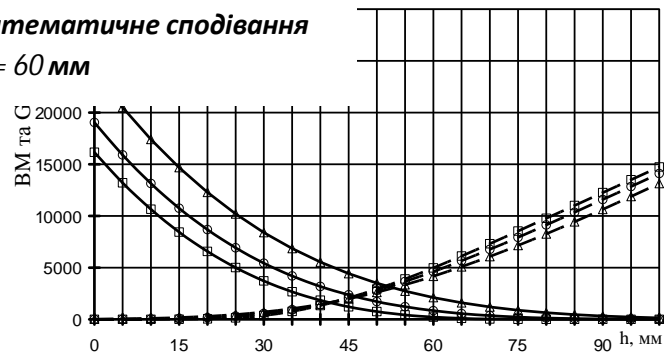


Рис. 4. Результати моделювання втрат цукроносної маси та залишків гички при безкопірному зрізі.

За даними дослідів, можна провести математичне моделювання безкопірного зрізу на ПК за допомогою складеної програми. Використовуючи розподіл висот виступання головок коренеплодів, нами визначено математичне очікування m середньоквадратичне відхилення σ . 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 безкопірного зрізу наведено на рис. 6.

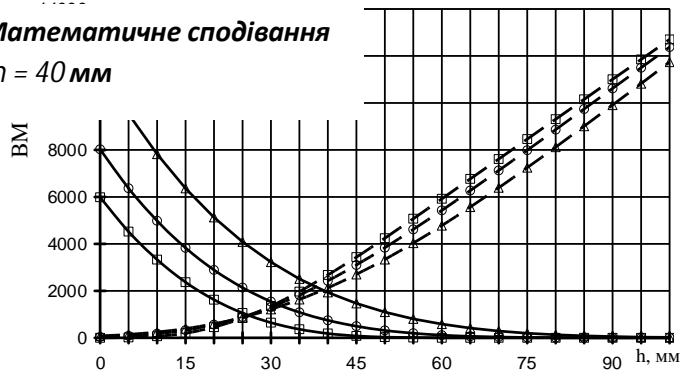
Математичне сподівання

$t = 60 \text{ мм}$



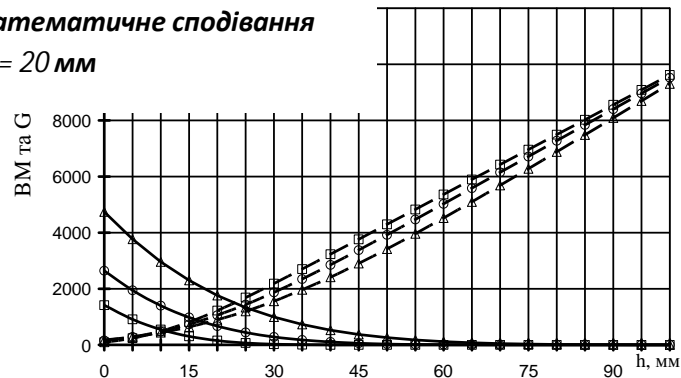
Математичне сподівання

$t = 40 \text{ мм}$



Математичне сподівання

$t = 20 \text{ мм}$



середньоквадратичне відхилення — — — втрати цукронової маси
 □ $\sigma = 10 \text{ мм}$ - - - залишки гички на
 △ $\sigma = 20 \text{ мм}$ коренеплодах
 ○ $\sigma = 30 \text{ мм}$

Рис. 5. Залежності для визначення висоти безкопінного зрізу.

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.

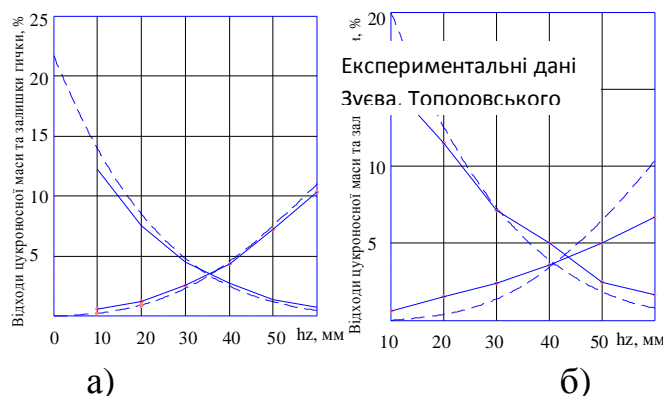


Рис. 6. Залежність відходу цукроносної маси та залишків гички від висоти безкопірного зрізу.

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

Таблиця 2 – Вихідні дані для визначення відходів цукроносної 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, $h_{зл}$	$h_{зл}=1,02h+11$

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).

Таблиця 3 – Абсолютне відхилення результатів теоретичних обчислень від експериментальних даних

h_z , мм	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60
							За даними Зуєва, Топоровського					
Відходи маси, %	1,8	0,9	0,3	-0,2	-0,2	-0,3	4,7	1,1	0,2	-1,4	-0,6	-0,9
Залишки гички, %	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0,4	0,7	-0,6	-1,2	-1,0	-0,2	1,4	3,6

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 $0,7\%$.

Однією з причин відхилення результатів теоретичних та експериментальних досліджень є не врахування 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 безкопирного зрізу з прогнозованими відходами цукронової маси та залишками гички.

Висновки.

Розроблено математичну модель процесу відокремлення основної маси гички шляхом безкопирного зрізу та алгоритм, що дозволяє визначити оптимальну висоту встановлення гичкорізного 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 ($\sigma = 10\text{...}30$ мм, $m = 40\text{...}60$ мм) площа зрізу повинна проходити не вище 60 мм над рівнем ґрунту.

Визначено експериментальним шляхом залежність втрат цукронової маси та залишків гички від висоти безкопирного зрізу. При порівнянні з теоретичними розрахунками встановлено, що в інтервалі висот зрізу $20\text{--}60$ 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., Топоровский С.А. Бескопирный срез головок коренеплодов // 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. – Київ. – 1988. – 19 с.

3. Борис М.М. Моделювання процесу зрізу гички коренеплодів цукрових буряків // Механізація с/г виробництва : Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків : Зб. наук. пр. Нац. аграр. ун-ту. – 1997. – Т. 2– С. 77-80.

4. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. – К.: Наукова думка, 1974. – 743 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА БЕСКОПИРНОГО СРЕЗА БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Булгаков В.М., Борис А.Н., Борис Н.М.

Аннотация

Разработана математическая модель процесса бескопирного среза ботвы. Определены потери сахароносной массы и остатки ботвы экспериментальным и теоретическим путем. В интервале рабочих высот среза 20...60 мм отклонение теоретических расчетов от экспериментальных не превышает 1%.

MATHEMATICAL MODELLING AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF A CUT OF A TOPS OF VEGETABLE OF A SUGAR BEET

V.Bulgakov , A. Borys , M. 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%.