

ПОШКОДЖЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ПРИ ВИКОНАННІ НАВАНТАЖУВАЛЬНО- РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ

Кисіль В. С., асп., Поляшенко С.О., к.т.н. доц.

*(Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенко)*

Стаття присвячена результатам досліджень з обґрунтування раціональної висоти вивантаження коренеплодів цукрових буряків у вантажно-розвантажувальних процесах. Отримане рівняння регресії дозволяє розрахунковим шляхом визначити пошкодження коренеплодів у вантажно-розвантажувальних процесах в залежності від висоти їх вивантаження та їх маси.

Вступ. Цукровий буряк в Україні є однією з основних культур сільськогосподарського виробництва. Якість збирання цукрового буряку має першорядне значення в технологічному процесі в зв'язку з необхідністю отримання високоякісної сировини для цукрової промисловості. Основною причиною втрат коренеплодів цукрового буряку є пошкодження продукції під час навантажувально-розвантажувальних операцій, починаючи з навантаження коренеплодів транспортером в кузов транспортного засобу, де висота навантаження складає в середньому 1,5-2,0м [1-4], та закінчуючи розвантаженням та навантаженням у бурти, у овочесховище, у контейнери, у вагони, а також на лініях післязбиральної обробки та поставкою до споживача. В овочесховище для зберігання поступає продукція з пошкодженням до 35 -40%. Під час зберігання пошкоджені коренеплоди в першу чергу загнивають, в результаті чого цукрова промисловість недобирає значну частину цукру з бурякової сировини [1-6].

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз пошкодження коренеплодів у вантажно-розвантажувальних процесах в залежності від висоти їх вивантаження та їх маси, а також вибір раціональних експлуатаційних параметрів та зменшення втрат і пошкодження коренеплодів цукрових буряків.

Виклад основного матеріалу. Пошкодження коренеплодів η при вивантаженні є функцією двох перемінних: маси коренеплодів m і висоти їхнього падіння h .

$$\eta = f(m, h). \quad (1)$$

Функція двох перемінних апроксимується поверхнею другого порядку

$$\eta = Am^2 + Bmh + Ch^2 + Dm + Eh + F, \quad (2)$$

де A, B, C, D, E, F - коефіцієнти, що підлягають визначенню.

Дослідні значення пошкодження коренеплодів позначимо η_{ij} $j=1, 2, 3, 4$ - порядкові номери досвідів з різною висотою падіння, $i=1, 2, 3, 4, 5$ - порядкові номери досвідів з різною масою коренеплодів.

Вираз для похибок апроксимації буде мати вигляд:

$$S_{ij} = (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F) - \eta_{ij}. \quad (3)$$

Для відшукування коефіцієнтів A, B, C, D, E, F прийmemo метод найменших квадратів, мінімізуючи суму квадратів відхилень.

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 [(Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F) - \eta_{ij}]^2. \quad (4)$$

Диференціюючи (4) по параметрах A, B, C, D, E, F і дорівнюючи отриманий вираз нулю, приходимо до системи шести рівнянь відносно A, B, C, D, E, F . Продиференціюємо

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i^2 \\
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i h_j \\
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) h_j^2 \\
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i \\
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) h_j \\
\frac{\partial \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 S_{ij}^2}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij})
\end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Отримаємо систему рівнянь, дорівнюючи значення часток похідних нулю.

$$\left. \begin{aligned}
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i^2 &= 0 \\
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i h_j &= 0 \\
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) h_j^2 &= 0 \\
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) m_i &= 0 \\
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) h_j &= 0 \\
2 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F - \eta_{ij}) &= 0
\end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Перетворимо систему (6) так, щоб у правій частині знаходилися вільні члени.

$$\left. \begin{aligned}
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F)m_i^2 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 m_i^2 \eta_{ij} \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F)m_i h_j = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 m_i h_j \eta_{ij} \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F)h_j^2 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 h_j^2 \eta_{ij} \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F)m_i = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 m_i \eta_{ij} \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F)h_j = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 h_j \eta_{ij} \\
& \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (Am_i^2 + Bm_i h_j + Ch_j^2 + Dm_i + Eh_j + F) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 \eta_{ij}
\end{aligned} \right\} (7)$$

Перетворимо систему рівнянь (7)

$$\left. \begin{aligned}
& \sum_{i=1}^5 (4Am_i^4 + Bm_i^3 \sum_{j=1}^4 h_j + Cm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j^2 + Dm_i^3 + Em_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j + 4Fm_i^2) = \sum_{i=1}^5 m_i^2 \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} \right) \\
& \sum_{i=1}^5 (Am_i^3 \sum_{j=1}^4 h_j + Bm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j^2 + Cm_i \sum_{j=1}^4 h_j^3 + Dm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j + Em_i \sum_{j=1}^4 h_j^2 + Fm_i \sum_{j=1}^4 h_j) = \\
& \quad = \sum_{i=1}^5 m_i \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} h_j \right) \\
& \sum_{i=1}^5 (Am_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j^2 + Bm_i \sum_{j=1}^4 h_j^3 + C \sum_{j=1}^4 h_j^4 + Dm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j^2 + Em_i \sum_{j=1}^4 h_j^2 + F \sum_{j=1}^4 h_j^2) = \\
& \quad = \sum_{i=1}^5 \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} h_j^2 \right) \\
& \sum_{i=1}^5 (4Am_i^3 + Bm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j + Cm_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j^2 + 4Dm_i^2 + Em_i \sum_{j=1}^4 h_j + 4Fm_i) = \sum_{i=1}^5 m_i \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} \right) \\
& \sum_{i=1}^5 (Am_i^2 \sum_{j=1}^4 h_j + Bm_i \sum_{j=1}^4 h_j^2 + C \sum_{j=1}^4 h_j^3 + Dm_i \sum_{j=1}^4 h_j + E \sum_{j=1}^4 h_j^2 + F \sum_{j=1}^4 h_j) = \\
& \quad = \sum_{i=1}^5 \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} h_j \right) \\
& \sum_{i=1}^5 (4Am_i^2 + Bm_i \sum_{j=1}^4 h_j + C \sum_{j=1}^4 h_j^2 + 4Dm_i + E \sum_{j=1}^4 h_j + 20F) = \sum_{i=1}^5 \left(\sum_{j=1}^4 \eta_{ij} \right)
\end{aligned} \right\} (8)$$

Для одержання чисельних значень при невідомих у системі (8), виконаємо допоміжні обчислення. Будемо знаходити з заданих значень мас m (кг): $m=0,15$; $m=0,34$; $m=0,52$; $m=0,93$; $m=1,4$ і заданих значень висоти падіння h (м): $h=0,5$; $h=1,0$; $h=1,5$; $h=2,0$, а також значень пошкодження коренеплодів при різних серіях дослідів, наведених у табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні дані пошкодження η коренеплодів з масою m при вивантаженні їх с висоти h

		Висота вивантаження коренеплодів, м															
		2,0				1,5				1,0				0,5			
Серии опытов		1	2	3	$\bar{\eta}$	1	2	3	$\bar{\eta}$	1	2	3	$\bar{\eta}$	1	2	3	$\bar{\eta}$
Діаметр коренеплодів, мм	Середня маса коренеплодів, г	Пошкодження коренеплодів, %															
120-140	1400	18,4	23,1	22,4	21,3	16,1	14,5	21,0	17,2	8,4	5,5	13,4	9,1	2,9	4,1	7,1	4,7
100-120	930	17,9	20,7	16,6	18,4	16,5	12,1	17,3	15,3	11,5	4,2	9,2	8,3	3,2	3,3	6,1	4,2
80-100	590	16,6	14,2	16,6	15,9	11,9	13,9	15,3	13,7	10,1	5,8	6,3	7,4	1,9	5,0	4,2	3,7
60-80	340	11,2	15,7	13,6	13,5	9,7	9,6	14,0	11,1	6,1	4,8	8,9	6,6	4,2	3,9	1,8	3,3
40-60	150	9,6	13,1	11,3	11,4	9,1	6,0	13,1	9,4	3,7	4,6	8,2	5,5	1,7	5,2	-	2,3

 $(\bar{\eta})$ - середнє арифметичне значення)

Допоміжні величини

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{j=1}^4 h_j &= 5; \sum_{j=1}^4 h_j^2 = 7,5; \sum_{j=1}^4 h_j^3 = 12,5; \sum_{j=1}^4 h_j^4 = 22,125; \\
 \sum_{j=1}^4 \eta_{1j} &= 28,6; \sum_{j=1}^4 \eta_{2j} = 34,5; \sum_{j=1}^4 \eta_{3j} = 40,6; \sum_{j=1}^4 \eta_{4j} = 46,2; \sum_{j=1}^4 \eta_{5j} = 52,3; \\
 \sum_{i=1}^5 \left(m_i^2 \sum_{j=1}^4 \eta_{ij} \right) &= 158,076; \\
 \sum_{j=1}^4 \eta_{1j} h_j &= 43,55; \sum_{j=1}^4 \eta_{2j} h_j = 51,9; \sum_{j=1}^4 \eta_{3j} h_j = 61,4; \\
 \sum_{j=1}^4 \eta_{4j} h_j &= 70,15; \sum_{j=1}^4 \eta_{5j} h_j = 79,85; \\
 \sum_{i=1}^5 \left(m_i^2 \sum_{j=1}^4 \eta_{ij} h_j \right) &= 233,136; \\
 \sum_{j=1}^4 \eta_{1j} h_j^2 &= 72,825; \sum_{j=1}^4 \eta_{2j} h_j^2 = 86,4; \sum_{j=1}^4 \eta_{3j} h_j^2 = 102,35; \\
 \sum_{j=1}^4 \eta_{4j} h_j^2 &= 117,375; \sum_{j=1}^4 \eta_{5j} h_j^2 = 134,175; \\
 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 \eta_{ij} h_j^2 &= 513,075.
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Знайдемо праву частину рівнянь (6,7,8) системи і підставивши знайдені значення в систему (8), отримаємо

$$\begin{aligned}
 &4A \underbrace{(0,15^4 + 0,34^4 + 0,52^4 + 0,93^4 + 1,4^4)}_N + \\
 &+ 5B \underbrace{(0,15^3 + 0,34^3 + 0,52^3 + 0,93^3 + 1,4^3)}_M + \\
 &+ 4D(0,15^3 + 0,34^3 + 0,52^3 + 0,93^3 + 1,4^3) + \\
 &+ 7,5C \underbrace{(0,15^2 + 0,34^2 + 0,52^2 + 0,93^2 + 1,4^2)}_L + \\
 &+ 5E(0,15^2 + 0,34^2 + 0,52^2 + 0,93^2 + 1,4^2) + \\
 &+ 4F \underbrace{(0,15 + 0,34 + 0,52 + 0,93 + 1,4)}_K = 1
 \end{aligned}$$

Підрахуємо значення K, L, M, N

$$K = 3,34 = \sum_{i=1}^5 m_i; \quad L = 3,233 = \sum_{i=1}^5 m_i^2; \quad M = 3,732 = \sum_{i=1}^5 m_i^3; \quad N = 4,677 = \sum_{i=1}^5 m_i^4.$$

З використанням позначень

$$K = \sum_{i=1}^5 m_i; \quad L = \sum_{i=1}^5 m_i^2; \quad M = \sum_{i=1}^5 m_i^3; \quad N = \sum_{i=1}^5 m_i^4.$$

Система рівнянь (8) має вигляд

$$4AN + 5BN + 7,5CL + 4DM + 5EL + 4FL = 158,08$$

$$5AM + 7,5BL + 12,5CK + 5DL + 7,5EK + 5FK = 233,14$$

$$7,5AL + 12,5BK + 22,125C \cdot 5 + 7,5DK + 5E \cdot 12,5 + 5F \cdot 7,5 = 513,08$$

$$4AM + 5BL + 7,5CK + 4DL + 5EK + 4FK = 153,32$$

$$5AL + 7,5BK + 5C \cdot 12,5 + 5DK + 5E \cdot 7,5 + 5F \cdot 5 = 306,85$$

$$4AL + 5BK + 5C \cdot 7,5 + 4DK + 5E \cdot 5 + 20F = 202,20$$

Підставляючи значення K, L, M, N , остаточно отримаємо систему щодо параметрів A, B, C, D, E, F

$$\left. \begin{aligned} 18,71A + 18,66B + 24,25C + 14,93D + 16,17E + 12,93F &= 158,08 \\ 18,66A + 24,25B + 41,75C + 16,17D + 25,05E + 16,70F &= 233,14 \\ 24,25A + 41,75B + 110,62C + 25,05D + 62,50E + 37,50F &= 513,08 \\ 14,93A + 16,17B + 25,05C + 12,93D + 16,70E + 13,36F &= 153,32 \\ 16,17A + 25,05B + 62,50C + 16,70D + 37,50E + 25F &= 306,85 \\ 12,93A + 16,70B + 37,50C + 13,36D + 25E + 20F &= 202,20 \end{aligned} \right\} (10)$$

Отриману систему рівнянь вирішуємо на ПЕОМ методом Гауса.

Вирішивши систему, отримаємо:

$$A = -2,82; \quad B = 4,24; \quad C = 1,07; \quad D = 3,67; \quad E = 8,49; \quad F = -2,68.$$

Таким чином, емпіричний закон втрат маси коренеплодів як функції маси і висоти падіння визначається рівнянням

$$\eta\% = -2,82m^2 + 4,24mh - 1,07h^2 + 3,67m + 8,49h - 2,68, \quad (11)$$

де $m = m(\text{кг})$, $h = h(\text{м})$.

Підставивши в рівняння (11) по черзі значення мас (m) коренеплодів: 0,15; 0,34; 0,59; 0,93; 1,4 кг і значення висоти (h) падіння коренеплодів: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м, отримаємо теоретичні значення пошкодження коренеплодів η у функції від їхньої маси m і висоти падіння h . Отримані значення пошкодження

наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Пошкодження коренеплодів цукрового буряка теоретична,
отримана з математичної моделі

Середній діаметр коренеплодів, м	Середня маса коренеплодів, кг	Висота вивантаження коренеплодів, м			
		2,0	1,5	1,0	0,5
0,13	1,4	21,51	16,17	10,29	3,86
0,11	0,93	18,88	14,54	9,66	4,25
0,9	0,59	15,58	12,10	8,04	3,54
0,7	0,34	13,82	10,73	7,1	2,14
0,05	0,15	11,79	10,74	5,07	2,11

За даними пошкодження коренеплодів, отриманим експериментальним шляхом, і даним, отриманим з використанням рівняння регресії (11), побудовані відповідні поверхні втрат коренеплодів як функції їхньої маси і висоти падіння. На рис. 1 видно, що експериментальна і теоретична поверхні близько збігаються.

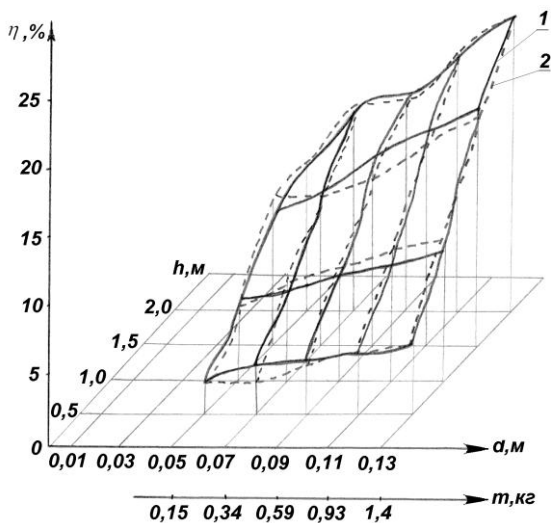


Рис. 1. Графік втрат маси коренеплодів цукрового буряка $\eta = f(m, h)$ при навантаженні транспортером коренезбиральної машини: 1 - експериментальна поверхня втрат; 2 - теоретична

поверхня втрат.

Висновок. Рівняння регресії дозволяє розрахунковим шляхом визначити пошкодження коренеплодів у вантажно-розвантажувальних процесах в залежності від висоти вивантаження і складу коренеплодів по масі цукрового буряка. Це дозволяє зробити висновок про адекватність математичної моделі пошкодження коренеплодів реальним процесам. Використання теоретичних залежностей дає змогу вибрати раціональні експлуатаційні параметри і зменшити втрати і пошкодження коренеплодів цукрових буряків.

Список литературы

1. Справочник по эксплуатации свеклоуборочных комплексов / А.М. Мазуренко, И.И. Русанов, В.И. Сухомлин и др.; Под ред. А.М. Мазуренко. – К.: Урожай, 1984. – 128 с.
2. Довідник буряководів. – К., Урожай, 1975 – 224 с.
3. Н.М. Зуев Снижение потерь при уборке //Сахарная свекла, № 4, 1992, С. 19-22.
4. Хвощева Б.Г., Суханова Р.С. Потери при уборке и хранении сахарной свеклы и пути их сокращения // Обзор и информация – М.: 1987 – 50 с.
5. Н.М. Зуев, Катеренчук И.А. Снижение потерь и повышение качества сырья при уборке //Сахарная свекла, № 10, 1992, С. 26-29.
6. Єсіпов О.В., Жихарев М.В., Поляшенко В. С., Підвищення якості коренеплодів цукрового буряка в технологічному процесі збирання// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: Зб. наук. пр. Вип. 59, т.2 - Харків, ХДТУСГ – 2007, – С. 44–51.

Аннотация

ПОВРЕЖДЕНИЕ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ

Статья посвящена результатам исследований и обоснованию рациональной высоты выгрузки корнеплодов сахарной свеклы в погрузочно-разгрузочных процессах. Полученное уравнение регрессии позволяет расчетным путем определить повреждение корнеплодов в погрузочно-разгрузочных процессах в зависимости от высоты их

выгрузки и их массы.

Abstract

DAMAGE OF ROOT CROPS OF SUGAR BEET AT IMPLEMENTATION OF FREIGHT-UNLOADING WORKS

The article is sanctified to the results of researches from the ground of rational height of unloading of root crops of sugar beets in freight-unloading processes. The got equalization of regression allows a calculation way to define the damage of root crops in processes depending on the height of their unloading and their mass.