

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАСИ НАЛИПЛОГО ҐРУНТУ НА ПОВЕРХНІ ТІЛА КОРЕНЕПЛОДІВ

Наведено методику проведення та результати експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів в залежності від розмірних характеристик коренеплодів і фізичного стану ґрунту.

Умовні позначення

$m_{зр.е}$ - маса налиплого ґрунту, г;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ - коефіцієнти відповідних значень x_i рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3 - кодовані фактори;

$W_{зр}$ - вологість ґрунту, %; ($k_{W\gamma}$ - коефіцієнт вологості ґрунту);

$k_{H_1L_k}$ - коефіцієнт відношення глибини залягання коренеплоду в ґрунті H_1 до L_k ;

L_k - довжина коренеплоду, см;

D_k - діаметр головки коренеплоду, см.

Постановка проблеми. Однією із залежних технологічних операцій збирання коренеплодів, на яку мають безпосередній вплив агрофізичні характеристики культури, є операція відокремлення домішок від коренеплодів із складу поступаючого вороху.

Розмірні та масові характеристики коренеплодів безпосередньо в полі є випадковими і коливаються в певних межах, що є визначальним при вирішенні задач аналізу і синтезу основних робочих органів бурякозбиральних машин в цілому. З точки зору синтезу робочих органів для очищення коренеплодів від домішок, а особливо очищення від налиплого на їх поверхні ґрунту, необхідно мати наукову уяву про такі характеристики фізичного стану коренеплоду, як масу налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду при його викопуванні в залежності від розмірних характеристик кореня та фізичного стану ґрунту – вологості та щільності.

Обґрунтування раціональних типів очисних робочих органів і структури відповідних технологічно-компонувальних схем збиральних машин може бути виконано на основі аналітичного моделювання вірогідних характеристик основних параметрів коренеплодів з врахуванням множини зовнішніх умов протікання технологічного процесу очищення тіла коренеплоду від налиплого ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в наукових виданнях питання експериментальних досліджень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів не висвітлено, окрім результатів теоретичних досліджень даної наукової задачі [1, 2].

Метою даної роботи є аналітичне обґрунтування залежності маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів від їх розмірних характеристик і фізичного стану ґрунту.

Результати досліджень. Для підтвердження теоретичних викладень, які відносяться до встановлення закономірностей зміни маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів [1, 2], провели експериментальні дослідження, порядок проведення яких був наступним. Дослідження проводили протягом цілого сезону збирання коренеплодів в межах зміни вологості ґрунту від 15,0 до 27,0 %. Урожайність коренеплодів залікової ділянки, ширина якої становила 2,7 м (шість рядків посівів

коренеплодів довжиною 10 м кожний) і висоту розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту визначали за загальновідомою методикою.

Після викопування коренеплодів пристроєм (рис. 1) утворювався валок коренеплодів. Вручну з головки коренеплодів дообрізували залишки гички, після чого з поверхні тіла викопаних коренеплодів зчищували налиплий ґрунт на шальку терезів з наступним зважуванням його з точністю до 0,1 г.

Після зчищення ґрунту з поверхні тіла коренеплоду визначали, шляхом вимірювання, діаметр головки та загальну довжину коренеплоду з точністю до 0,1 см. Глибину залягання коренеплоду в ґрунті визначали як різницю загальної довжини і висоти розташування коренеплоду над поверхнею ґрунту. Вагу коренеплоду визначали зважуванням на вагах з точністю до 0,1 кг.

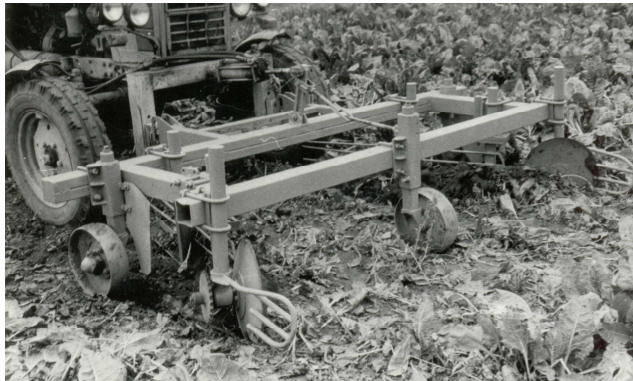


Рис. 1. Агрегат для викопування коренеплодів

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто масу налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів $m_{сп.е}$, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома

$$m_{ад.е} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (1)$$

Зі всього напрацьованого експериментального масиву даних утворювали таблицю результатів умовного повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 . Вхідними змінними факторами приймали: - вологість ґрунту $W_{сп}$, яка відповідала певному коефіцієнту вологості ґрунту $k_{W\gamma}$, який кодували індексом x_1 ; коефіцієнт $k_{H_1L_k}$ відношення довжини залягання коренеплоду в ґрунті H_1 до загальної довжини коренеплоду L_k , який кодували індексом x_2 ; - діаметр головки коренеплоду D_k , який кодували індексом x_3 .

Коефіцієнт вологості ґрунту $k_{W\gamma}$ визначали згідно з табл. 2.1 [1], при цьому розбіжність отриманих експериментальних і прийнятих табличних значень вологості ґрунту не перевищувала $\pm 0,5\%$, або відповідно розбіжність коефіцієнта вологості $k_{W\gamma}$ не перевищувала $\pm 0,03$. Коефіцієнт $k_{H_1L_k}$ визначали числовим методом за формулою (2.20) [1] і округлювали до десятих частин з похибкою $\pm 0,05$. Характеристика факторів та їх рівні варіювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика факторів та їх рівні варіювання

Кодоване позначення фактора	Найменування фактора	Значення рівнів фактора
x_1	Вологість ґрунту, $W_{сп}$, %	15,0-27,0
x_2	Коефіцієнт співвідношення, $k_{H_1L_k}$	0,3-0,7

x_3	Діаметр головки коренеплоду, D_k , см	10,0-20,0
-------	---	-----------

Визначали коефіцієнти регресії: $b_0 = 28,69$; $b_1 = 5,52$; $b_2 = 0,37$; $b_3 = 0,69$; $b_{12} = 1,79$; $b_{13} = 1,27$; $b_{23} = 9,0$; $b_{123} = 0,03$; $b_{11} = 1,69$; $b_{22} = 0,008$; $b_{33} = 0,03$.

Загальний вигляд рівняння регресії залежності маси налиплого ґрунту на коренеплодах $m_{зр.е}$ від $k_{W\gamma}$, коефіцієнта $k_{H_1L_k}$ і D_k в кодованих величинах буде:

$$m_{зр.е} = 28,69 + 5,52x_1 - 0,37x_2 - 0,69x_3 + 1,79x_1x_2 + 1,27x_1x_3 + 9,0x_2x_3 - 0,03x_1x_2x_3 + 1,69x_1^2 - 0,008x_2^2 - 0,03x_3^2 \quad (2)$$

При значеннях коефіцієнтів $b_2 = 0,37$; $b_{123} = 0,03$; $b_{22} = 0,008$; $b_{33} = 0,03$ не виконується умова значущості, тоді

$$m_{зр.е} = 28,69 + 5,52x_1 - 0,69x_3 + 1,79x_1x_2 + 1,27x_1x_3 + 9,0x_2x_3 + 1,69x_1^2. \quad (3)$$

Після визначення нульового рівня, інтервалу варіювання та кодового значення кожного фактора, відповідно, 21 %, 3 %, $x_1 = (W_{зр} - 21)/3$; 0,5, 0,1, $x_2 = (k_{H_1L_k} - 0,5)/0,1$; 15 см, 2,5 см, $x_3 = (D_k - 15)/2,5$ рівняння регресії (3) в натуральних величинах (координатах) приймає вигляд

$$m_{\tilde{a}\delta.\tilde{a}} = 823,3 - 124,2W_{\tilde{a}\delta} - 665,3k_{H_1L_k} - 3,8D_k + 6,0W_{\tilde{a}\delta}k_{H_1L_k} + 0,17W_{\tilde{a}\delta}D_k + 36,0k_{H_1L_k}D_k + 0,19W_{\tilde{a}\delta}^2. \quad (4)$$

Отримана регресійна залежність (4) може бути використана для визначення маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів $m_{зр.е}$ в залежності від зміни вологості ґрунту $W_{зр}$ (відповідного значення коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$), коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ і діаметра головки коренеплоду D_k в таких межах: $15,0 \leq W_{зр} \leq 27,0$ (%) ($0,66 \leq k_{W\gamma} \leq 1,46$); $0,3 \leq k_{H_1L_k} \leq 0,7$; $10,0 \leq D_k \leq 20,0$ (см).

Аналіз отриманого рівняння регресії (4) показує, що основними складовими величинами, які впливають на масу налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, є коефіцієнт співвідношення глибини залягання коренеплоду в ґрунті до його загальної довжини $k_{H_1L_k}$ і вологість ґрунту $W_{зр}$ (коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$). Із їх збільшенням маса налиплого ґрунту $m_{зр.е}$ значно збільшується на відміну від діаметра коренеплоду D_k , зміна якого має не суттєве значення на кінцевий результат $m_{зр.е}$.

Для визначення впливу основних агрофізичних параметрів коренеплодів і фізичного стану ґрунту (змінних факторів) на параметр оптимізації, тобто встановлення залежності маси налиплого ґрунту на поверхні викопаних коренеплодів

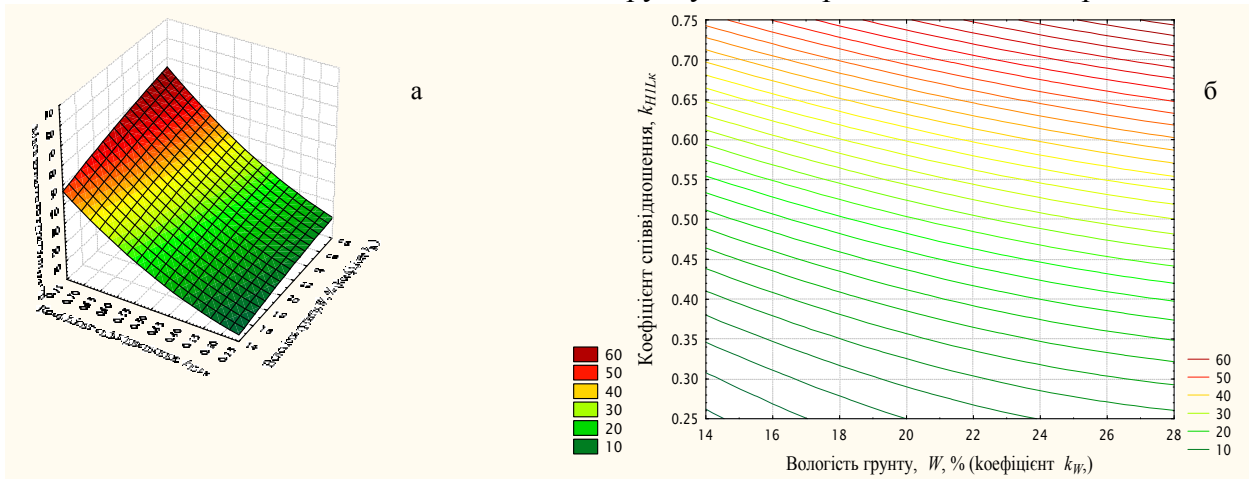


Рис. 2. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності маси налиплого 86 ґрунту $m_{зр.е}$ на поверхні тіла коренеплодів від вологості ґрунту $W_{зр}$ (коефіцієнта вологості ґрунту

$k_{W\gamma}$) і коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$

$m_{zp.e}$ від вологості ґрунту W_{zp} (коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$), коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ і діаметра головки коренеплоду D_k використовували програмне забезпечення “STATISTICA-6.0” для побудови графічного відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів залежності маси налиплого ґрунту $m_{zp.e}$ як функції Y_i від двох змінних факторів X_i при постійному незмінному третьому факторі $X_3 = const$ та конкретизованих регресійних моделей при фіксованих значеннях розмірних характеристик коренеплодів – діаметра головки та довжини.

В результаті обробки експериментальних даних і після перевірок значущості коефіцієнтів регресії та адекватності математичної моделі, отримали проміжні загальні рівняння регресії маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів $m_{zp.e}(x_i)$, відповідно, в кодованих факторах і натуральних величинах, які характеризують вплив двох змінних факторів на функцію відгуку

$$m_{zp.e}(x_1x_2) = -11,16 + 1,16x_1 - 33,74x_2 + 1,49x_1x_2 + 100,14x_2^2, \quad (5)$$

$$m_{zp.e}(W_{zp}k_{H_1L_k}) = 226,6 + 0,4W_{zp} - 1443,1k_{H_1L_k} + 5,0W_{zp}k_{H_1L_k} + 10014,0k_{H_1L_k}^2; \quad (6)$$

$$m_{zp.e}(x_2x_3) = 50,61 - 138,11x_2 - 4,69x_3 + 9,0x_2x_3 + 100,14x_2^2, \quad (7)$$

$$m_{zp.e}(k_{H_1L_k}D_k) = 4616,3 - 778,1k_{H_1L_k} - 1221,6D_k + 36,0k_{H_1L_k}D_k + 16,0D_k^2; \quad (8)$$

$$m_{\ddot{a}\delta.\dot{a}}(x_1x_3) = -6,46 + 1,26x_1 - 1,08x_3 + 0,09x_3^2, \quad (9)$$

$$m_{\ddot{a}\delta.\dot{a}}(WD_k) = -18,5 + 0,42W_{\ddot{a}\delta} - 1,5D_k + 0,02D_k^2. \quad (10)$$

Аналіз наведених регресійних рівнянь (5-10) показує, що основним фактором, який впливає на збільшення маси налиплого ґрунту на коренеплодах в залежності від зміни факторів, є: для комбінації факторів $x_1, x_2, (W_{zp}, k_{H_1L_k})$, тобто $m_{zp.e}(x_1x_2)$ ($m_{zp.e}(W_{zp}k_{H_1L_k})$) та $x_2, x_3, (k_{H_1L_k}, D_k)$, тобто $m_{\ddot{a}\delta.\dot{a}}(x_2x_3)$ $m_{\ddot{a}\delta.\dot{a}}(k_{H_1L_k}D_k)$ – коефіцієнт співвідношення $k_{H_1L_k}$ глибини залягання коренеплоду в ґрунті до його загальної довжини; для комбінації факторів $x_1, x_3, (W_{zp}, D_k)$, тобто $m_{zp.e}(x_1x_3)$ ($m_{zp.e}(W_{zp}D_k)$) – вологість ґрунту W_{zp} (коефіцієнт вологості ґрунту $k_{W\gamma}$).

Згідно з рівнянням регресії (6) побудовано поверхню та двомірний переріз поверхні відгуку маси налиплого ґрунту $m_{\ddot{a}\delta.\dot{a}}(W_{\ddot{a}\delta}k_{H_1L_k})$ на поверхні тіла викопаних коренеплодів в залежності від вологості ґрунту W_{zp} (коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W\gamma}$) і коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ глибини залягання коренеплоду в ґрунті до його загальної довжини, які наведені на рис. 2.

Аналіз побудованих теоретичної [2] та експериментальної поверхонь відгуку (рис. 2) показує, що розбіжність значень маси налиплого ґрунту, отриманих теоретично (m_{zp}) та експериментально ($m_{zp.e}(W_{zp}k_{H_1L_k})$), знаходиться в межах 6,0-13,5 %.

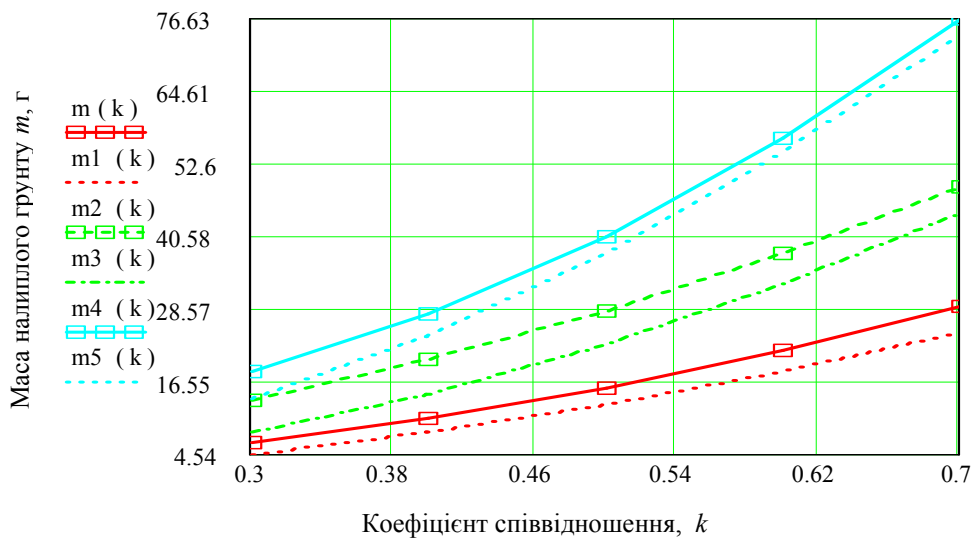


Рис. 3. Залежності маси налиплого ґрунту від коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ при $L_k = 20,0$ см: $m(k)$, $m2(k)$, $m4(k)$; $m1(k)$, $m3(k)$, $m5(k)$ – відповідно, експериментальна та теоретична залежність для $D_k = 10,0; 15,0; 20,0$ см

В результаті обробки експериментальних даних були отримані конкретизовані проміжні рівняння регресії в кодованих і натуральних величинах, які характеризують залежність маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів $m_{D_{k_i} - L_{k_{zp.e}}}$ від зміни двох факторів - вологості ґрунту W_{zp} (коефіцієнта вологості ґрунту k_{W_γ}) і коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ при фіксованих значеннях діаметра коренеплоду $D_k = 10, 15, 20$ см і його довжини $L_k = 20$ см, тобто як функції відгуку в залежності від фізичного стану ґрунту і агрофізичних характеристик коренеплодів $m_{D_{k_i} - L_{k_{zp.e}}} = f(W_{zp}, k_{H_1L_k})$ в натуральних величинах

$$\left. \begin{aligned} m_{10-20_{zp.e}} &= -429,0 - 3,4W_{zp} - 1121,6k_{H_1L_k} + 6,9W_{zp}k_{H_1L_k} + 5552,0k_{H_1L_k}^2; \\ m_{15-20_{zp.e}} &= 1076,6 + 0,6W_{zp} - 538,4k_{H_1L_k} + 6958,0k_{H_1L_k}^2; \\ m_{20-20_{zp.e}} &= 4769,4 - 2,4W_{zp} - 2609,8k_{H_1L_k} + 6,7W_{zp}k_{H_1L_k} + 17542,0k_{H_1L_k}^2. \end{aligned} \right\} (11)$$

Аналіз наведених рівнянь регресії (11) показує, що домінуючим фактором, який суттєво впливає на масу налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів, є коефіцієнт співвідношення $k_{H_1L_k}$ - з збільшенням даного співвідношення, тобто з збільшенням глибини залягання коренеплоду в ґрунті маса налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів значно зростає.

З метою підтвердження відповідності виведених аналітичних залежностей [2] експериментальному розподілу випадкових величин провели вирівнювання кривої ломаної лінії. При цьому визначали коефіцієнти a , b і c апроксимуючого полінома другої степені $m = a + bk_{H_1L_k} + ck_{H_1L_k}^2$, відповідно для діаметра коренеплодів $D_k = 10, 15$ і 20 см та вологості ґрунту $W_{zp} = 21,0\%$ [1] (коефіцієнта вологості ґрунту $k_{W_\gamma} = 0,9$).

Ступень точності вирівнювання, побудованих графічних залежностей за результатами отриманих експериментальних даних, оцінювали за способом найменших квадратів. На рис. 3. наведено теоретичні та відповідні апроксимовані залежності маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів від коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ для діаметра головки коренеплоду $D_k = 10, 15, 20$ см і фіксованих загальної довжини коренеплоду $L_k = 20$ см та вологості ґрунту $W_{zp} = 21\%$.

Закономірність збільшення маси налиплого ґрунту на коренеплодах із збільшенням коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k}$ спостерігається для всіх груп коренеплодів різного діаметра, що підтверджується числовими розрахунками аналітичних залежностей [2]. Але більш стрімке зростання маси налиплого ґрунту спостерігається при значеннях коефіцієнта співвідношення $k_{H_1L_k} > 0,5$, який більш характерний для гібридних сортів кормових буряків, глибина залягання яких сягає 2/3 їх загальної довжини [4] та для діаметра головок коренеплодів $D_k > 15$ см.

Так, при значенні $k_{H_1L_k} = 0,5$ маса налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів для $D_k = 10$ і 20 см відповідно становить 16,1 і 40,6 г, а при значенні $k_{H_1L_k} = 0,7$ відповідно 28,6 і 76,6 г (trace 1 і trace 6), тобто збільшення маси налиплого ґрунту приблизно в 1,6-2,0 рази.

Висновок. Розбіжність експериментальних і теоретичних значень маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів (рис. 4) знаходиться в межах 6,0-13,5 %, тобто вибрана теоретична математична модель [1] і отримані проміжні теоретичні залежності [2] реально описують існуючий процес або адекватні отриманому реальному експериментальному розподілу і можуть бути використані для подальшої розробки та обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів очисників вроху коренеплодів.

Methods of the undertaking that results experimental studies of the mass residing ground are Considered on surfaces of the body excavated surface depending on dimensioned features surface and physical condition of ground.

Література

1. В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, Кропивко С.В., А.Ю. Виговський. Прогнозування кількості ґрунту на поверхні тіла коренеплоду. // МІТРО'Л 03", IV Міжн. наук.-техн. конф - Люблін-Київ.Т.6, вид. НАУ, 2003. - С. 164-172.
2. В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, А.Ю. Виговський. Аналітичні дослідження маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів. // Всеукраїнський наук.-техн. журнал "Вібрації в техніці та технологіях. - № 3, 2004. – С. 9-12.

Одержано 22.03.2005 р.