

УДК 631.361

**Дубчак Н.***(Бережанський агротехнічний інститут)***Барановський В.****Паньків М.***(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)***Спірін А.***(Вінницький національний аграрний університет)*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАСИ НАЛИПЛОГО ҐРУНТУ НА БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ ТІЛА КОРЕНЕПЛОДУ**

*Изложены результаты анализа экспериментальных исследований массы налипшей почвы на боковой поверхности тела кормовой свеклы с учетом поправочного коэффициента. Наведены эмпирические математические модели, которые характеризуют процесс изменения массы налипшей почвы от размерно-массовых параметров корнеплодов.*

*This article contains the results of experimental researches of adhered on sugar beet side surface soil's weight. There was made the analysis of this researches with correction factor. There are empirical mathematical models, which defines process of modification of adhered soil's weight depending on measuring and weight parameters of edible root.*

### **Вступ**

Обґрунтування раціональних типів очисних робочих органів і структури відповідних технологічно-компонувальних схем збиральних машин може бути виконано на основі аналітичного (математичного) моделювання, або прогнозування вірогідних характеристик основних параметрів коренеплодів з врахуванням множини зовнішніх умов протікання технологічного процесу очищення тіла коренеплоду від налиплого ґрунту. [1].

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 можливість прогнозування маси налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплоду при його викопуванні залежно від розмірних характеристик кореня. [1, 2].

### **Аналіз відомих досліджень**

Аналізу загальних принципів побудови аналітичних і регресійних моделей, які характеризують зміну маси налиплого ґрунту на поверхнях тіла коренеплодів присвячені праці [3, 4, 5]. Аналіз праць показав, що вони побудовані на основі ймовірних теоретично-розрахункових значень маси налиплого ґрунту до процесу викопування коренеплодів, тобто без врахування можливої частки налиплого ґрунту, яка відокремиться в процесі взаємодії коренеплодів з робочими органами під час їх викопування.

Відсутність наведених положень зумовило проведення даних досліджень.

### **Мета досліджень**

Метою даних досліджень є подальший розвиток методології обґрунтування та розрахунку основних конструктивно-кінематичних та технологічних параметрів очисних робочих органів коренезбиральних машин.

### **Результати досліджень**

Для обґрунтування поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ , який регламентує уточнення теоретичних залежностей [6]. маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків і підтвердження їх основних викладень, що відносяться до встановлення закономірності зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів, провели лабораторно-польові експериментальні дослідження шляхом реалізації двофакторного експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup>. Загальний вигляд агрегату для

викопування коренеплодів наведено на рис. 1.

Коренеплоди кормових буряків після викопування відбирали з утвореного валка, при цьому обробку одержаного масиву експериментальних даних провели згідно [7].

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  та уточненої маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних кормових буряків, утворювали таблиці одержаних результатів точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  та таблицю вибірки вимірів  $\lambda_s$  як відношення бічної площі налиплого ґрунту до загальної бічної площі підземної частини коренеплоду, тобто  $\sum S_p / \sum S_{k.n}$ .



**Рис. 1 - Агрегат для викопування кормових буряків**

На першому етапі обробки одержаного масиву експериментальних даних провели дослідження характеру зміни поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ .

Апроксимуючу функцію параметра оптимізації, адекватність якої перевіряли згідно положень [7], тобто характер зміни поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ , визначеного експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома

$$\lambda_s = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (1)$$

де -  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  - коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;

$x_1, x_2$  - відповідні кодовані фактори.

Після визначення коефіцієнтів і оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння (1) було одержано кінцевий вигляд рівняння регресії зміни поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  залежно від коефіцієнта пропорційності  $k_p$  і загальної довжини коренеплоду  $L_k$  у кодованих і натуральних величинах, як функціонала  $\lambda_s = f(k_p; L_k)$

$$\lambda_s = 0,28 + 0,77x_1 - 0,02x_2 - 0,04x_1x_2 + 0,0002x_2^2, \quad (2)$$

$$\lambda_s = -5,2 + 9,3k_p + 4,4 \cdot 10^{-2} L_k - 8,0 \cdot 10^{-2} k_p L_k + 8,0 \cdot 10^{-6} L_k^2. \quad (3)$$

Одержані регресійні залежності (2), (3) можуть бути використані для визначення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  залежно від зміни коефіцієнта пропорційності  $k_p$  і загальної довжини коренеплоду  $L_k$  у межах  $0,5 \leq k_p \leq 0,7$ ;  $15 \leq L_k \leq 25$  (см).

Аналіз одержаних рівнянь регресії та побудованої поверхні відгуку (рис. 2), як функції  $\lambda_s = f(k_p; L_k)$  показує, що основний масив значень поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  знаходиться у межах  $0,6 \dots 0,7$ , при цьому  $\lambda_s \cong 0,66$  забезпечується для  $0,5 \leq k_p \leq 0,7$  і  $L_k \cong 18,0$  см (рис. 3), а також для  $15 \leq L_k \leq 25$  (см) і  $k_p \cong 0,6 \dots 0,63$ .

Крім того, характер зміни коефіцієнта  $\lambda_s$  від окремих діючих факторів відбувається по різному. При збільшенні довжини коренеплодів  $L_k$  і значенні коефіцієнта  $k_p = 0,5$  та його подальшому збільшенні і значенні  $L_k \leq 15$  см коефіцієнт  $\lambda_s$ , відповідно, зростає від 0,659 до 0,71 (рис. 3, а; крива  $\lambda 1(L)$  рис. 3, б) та від 0,659 до 0,678 (рис. 3, а). При значенні  $k_p = 0,6$  коефіцієнт пропорційності  $k_p$  збільшується у незначних межах – від 0,665 до 0,674 (рис. 3, а; крива  $\lambda 2(L)$  рис. 3, б), а при значенні  $k_p = 0,7$  значно зменшується – від 0,678 до 0,64 (рис. 3, а; крива  $\lambda 3(L)$  рис. 3, б).

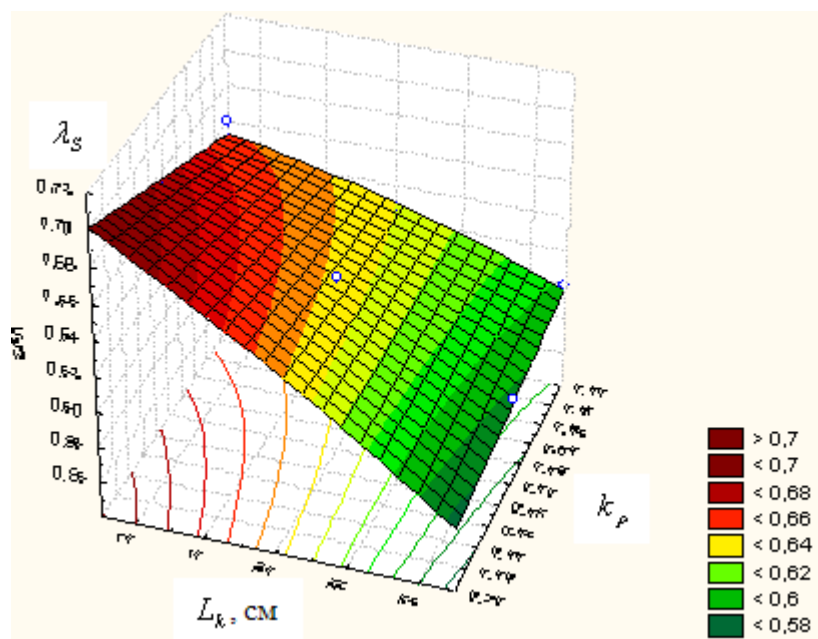


Рис. 2 - Поверхня відгуку  $\lambda_s = f(k_\rho; L_k)$

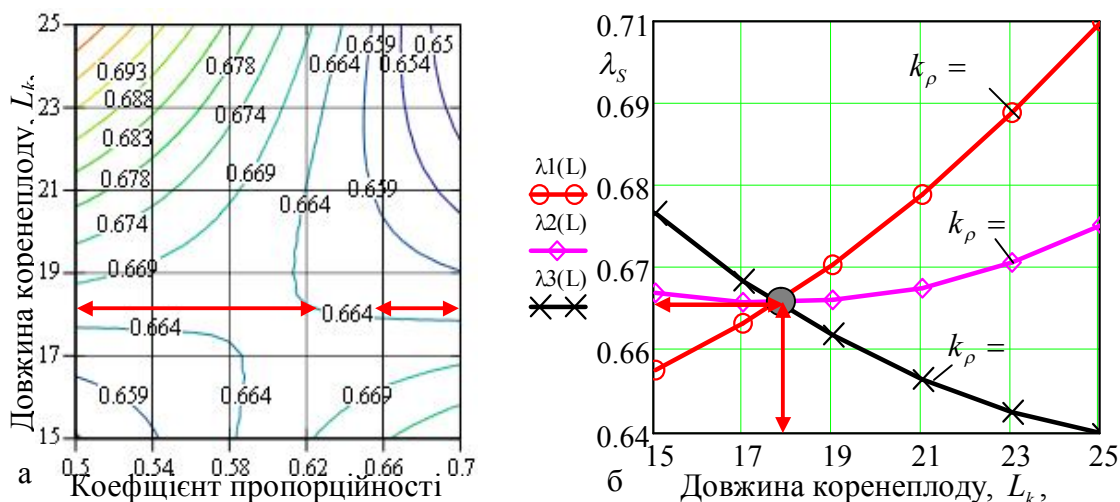


Рис. 3 - Залежність зміни поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ :

а – залежність  $\lambda_s = f(k_\rho; L_k)$ ; б – залежність  $\lambda_s = f(L_k)$

Апроксимуючу функцію маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних кормових буряків  $m_{1ap}^e$  знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома. У результаті обробки експериментальних даних, попередньо визначивши питому масу ґрунту  $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$  та після перевірок адекватності вибраної математичної моделі реальному процесу та значущості визначених коефіцієнтів отримали кінцеві рівняння регресії маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів  $m_{1ap}^e$  у кодованих факторах і натуральних величинах, які характеризують вплив двох змінних факторів на параметр оптимізації як функціонал  $m_{1ap}^e = f(k_\rho; L_k)$

$$m_{1ap}^e = 83,1 - 289,8x_1 - 2,3x_2 + 9,9x_1x_2 + 175,0x_1^2; \tag{4}$$

$$m_{1ap}^e = 4890,8 - 18498,0k_\rho - 12,3L_k + 19,8k_\rho L_k + 17500,0k_\rho^2. \tag{5}$$

Побудовані регресійні залежності (4), (5) регламентують характер зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної форми  $m_{1ap}^e$  після їх викопування залежно від коефіцієнта пропорційності  $k_p$  та довжини коренеплідів  $L_k$  у межах варіювання факторів  $0,5 \leq k_p \leq 0,7$ ;  $15 \leq L_k \leq 25$  (см).

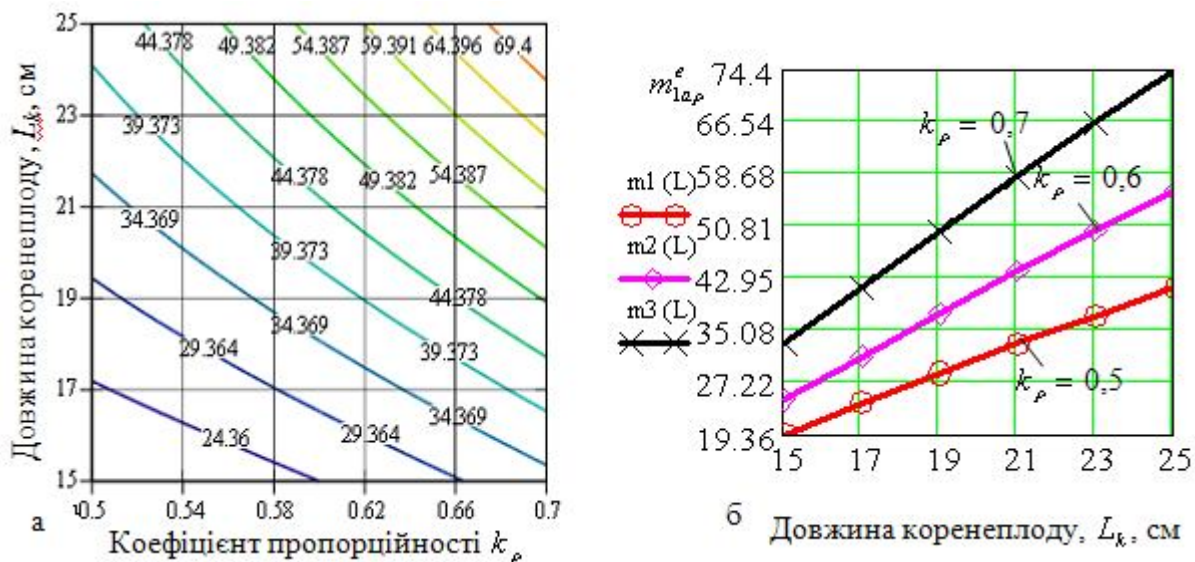


Рис. 4 - Залежність зміни  $m_{1ap}^e$ :

*a* – залежність  $m_{1ap}^e = f(k_p; L_k)$ ; *б* – залежність  $m_{1ap}^e = f(L_k)$

Основними факторами апроксимуючої функції  $m_{1ap}^e = f(k_p; L_k)$  (рис. 4), які впливають на характер зміни маси  $m_{1ap}^e$  є коефіцієнт пропорційності  $k_p$  і довжина коренеплідів  $L_k$  – їх збільшення у межах варіювання факторів призводить до значного приросту (в середньому на 15,0...20,0 г) маси налиплого ґрунту  $m_{1ap}^e$  на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної форми, при цьому  $m_{1ap}^e$  зростає від 20 до 75 г.

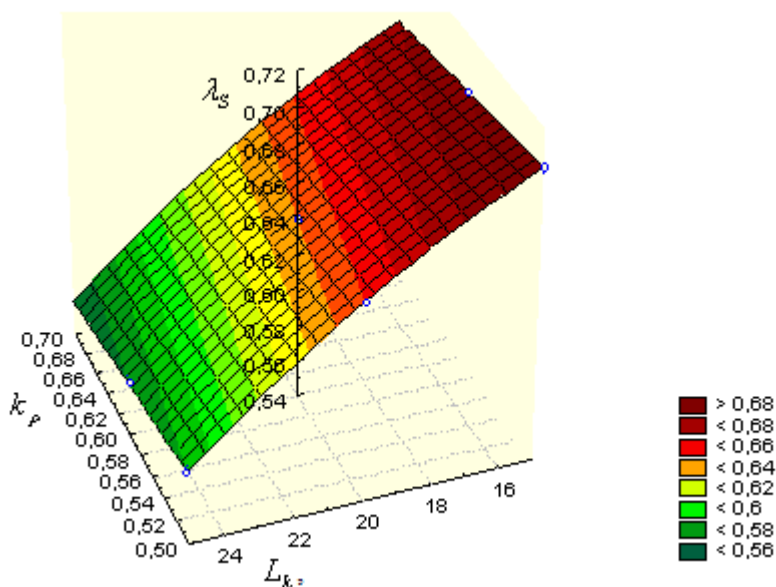


Рис. 5 - Поверхня відгуку

$$\lambda_s = m_{1ap}^e / m'_{1ap} = f(k_p; L_k) / m'_{1ap}$$

Можна констатувати, що для середніх значень розмірно-масових параметрів основного масиву кормових буряків конусної форми, або урожайності  $500,0 \dots 550,0$  ц/га, загальної довжини  $17 \leq L_{kc} \leq 20$  см та їх залягання в ґрунті на  $(1/2 \dots 2/3)L_k$  ( $k_p = 0,5 \dots 0,67$ ) [8], значення  $m_{1ap}^e$  на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів буде знаходитися в межах  $25,0 \dots 50,0$  г.

Для проведення порівняльного аналізу розбіжностей теоретичних значень [6] і експериментального розподілу випадкових величин маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів необхідно обґрунтувати (встановити) значення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ , який вираховували як числове відношення значень  $m_{1ap}^e$  граничних точок композиційного плану ПФЕ  $3^2$  до теоретичних значень  $m'_{1ap}$  відповідних точок. Одержані значення  $\lambda_s$  заносили у графі відповідних граничних точок композиційного плану ПФЕ  $3^2$ . Апроксимуючу функцію  $\lambda_s$  знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома.

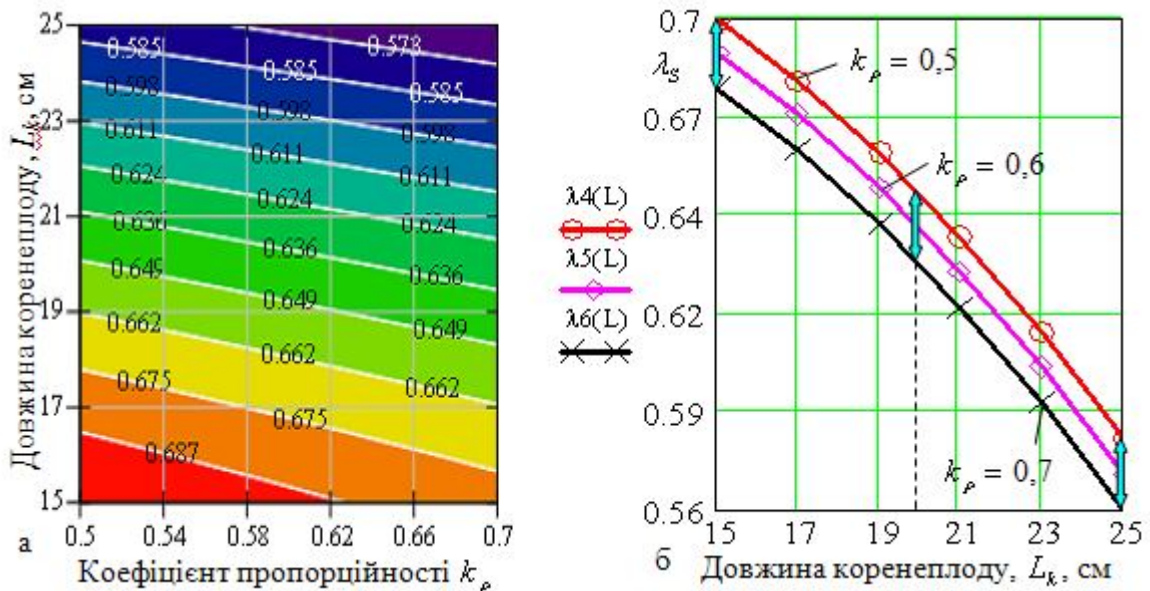


Рис. 6 - Залежність зміни поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  :

$$a - \text{залежність } \lambda_s = \frac{f(k_p; L_k)}{m'_{1ap}}; \quad b - \text{залежність } \lambda_s = \frac{f(L_k)}{m'_{1ap}}$$

У результаті обробки експериментальних даних і після перевірок адекватності вибраної математичної моделі реальному процесу та значущості визначених коефіцієнтів отримали кінцеві рівняння регресії  $\lambda_s$  у кодovаних і натуральних величинах, які характеризують вплив двох змінних факторів на параметр оптимізації як функціонал  $\lambda_s = m_{1ap}^e / m'_{1ap} = f(k_p; L_k) / m'_{1ap}$

$$\lambda_s = 0,78 - 0,1x_1 + 0,004x_2 - 0,0004x_2^2; \quad (6)$$

$$\lambda_s = 1,36 - k_p + 1,44 \cdot 10^{-3} L_k - 1,6 \cdot 10^{-5} L_k^2. \quad (7)$$

Згідно рівнянь (6), (7) наведено поверхню відгуку (рис. 5)  $\lambda_s$  у межах зміни  $0,5 \leq k_p \leq 0,7$ ;  $15 \leq L_k \leq 25$  (см). На рис. 6, а наведено лінії рівня розподілу  $\lambda_s$ ; на рис. 6, б – залежність зміни  $\lambda_s = f(L_k) / m'_{1ap}$ , при цьому

зміна  $\lambda_S$  має зворотно пропорційний характер – зі збільшенням  $k_\rho$  і довжини  $L_k$  поправочний коефіцієнт  $\lambda_S$  зменшується від 0,7 до 0,56, причому зміна  $\lambda_S$ , залежно від симетричної зміни  $k_\rho$ , має виражений асиметричний характер зміни –  $\lambda_S$  зменшується на постійну величину  $\Delta\lambda_S = const \cong 0,1$ .

Залежно від довжини кормових буряків поправочний коефіцієнт  $\lambda_S$  змінюється наступним чином: для  $L_k = 15,0$  см – у межах 0,68...0,7 (середнє значення  $\lambda_{Sc}^{15} = 0,69$ ); для  $L_k = 20,0$  см – у межах 0,63...0,65 (середнє значення  $\lambda_{Sc}^{20} = 0,64$ ); для  $L_k = 25,0$  см – у межах 0,56...0,58 (середнє значення  $\lambda_{Sc}^{25} = 0,57$  (рис. 6).

Тоді, враховуючи одержану теоретичну залежність прогнозування маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків (26) праці [6] можна записати, що

$$m_{1ap}^{15} = \pi\rho(0,68...0,7) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}; \quad (8)$$

$$m_{1ap}^{20} = \pi\rho(0,63...0,65) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}; \quad (9)$$

$$m_{1ap}^{25} = \pi\rho(0,56...0,58) \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}. \quad (10)$$

Для практичного використання (8-10) під час визначення теоретичного значення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків  $m_{1ap}$ , які залягають у ґрунті на відстані (1/2...2/3) загальної довжини коренеплоду  $L_k$  після викопування, приймають усереднене значення  $\lambda_{Sc} = 0,63$ .

Тоді узагальнена теоретична залежність, яка характеризує зміну маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків конусної форми  $m_{1ap}$  після їх викопування має вигляд:

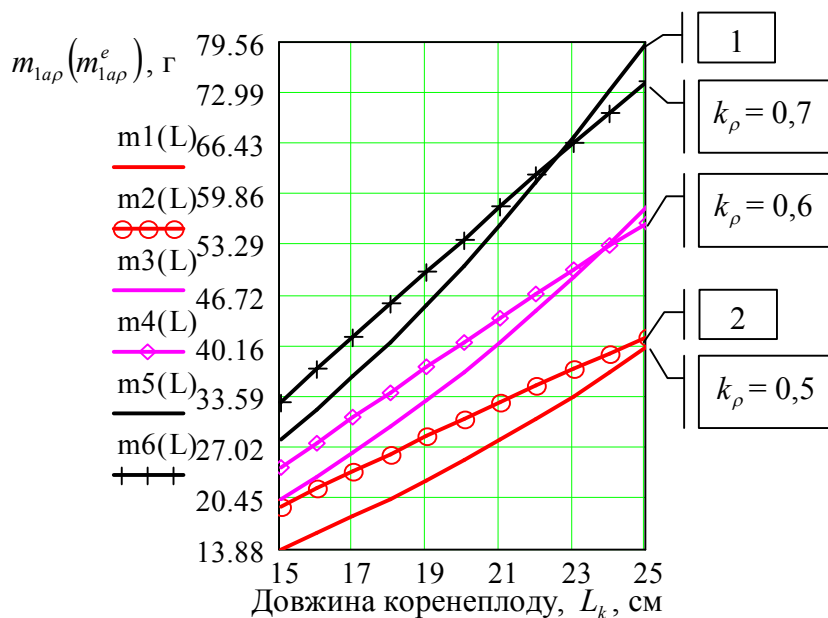
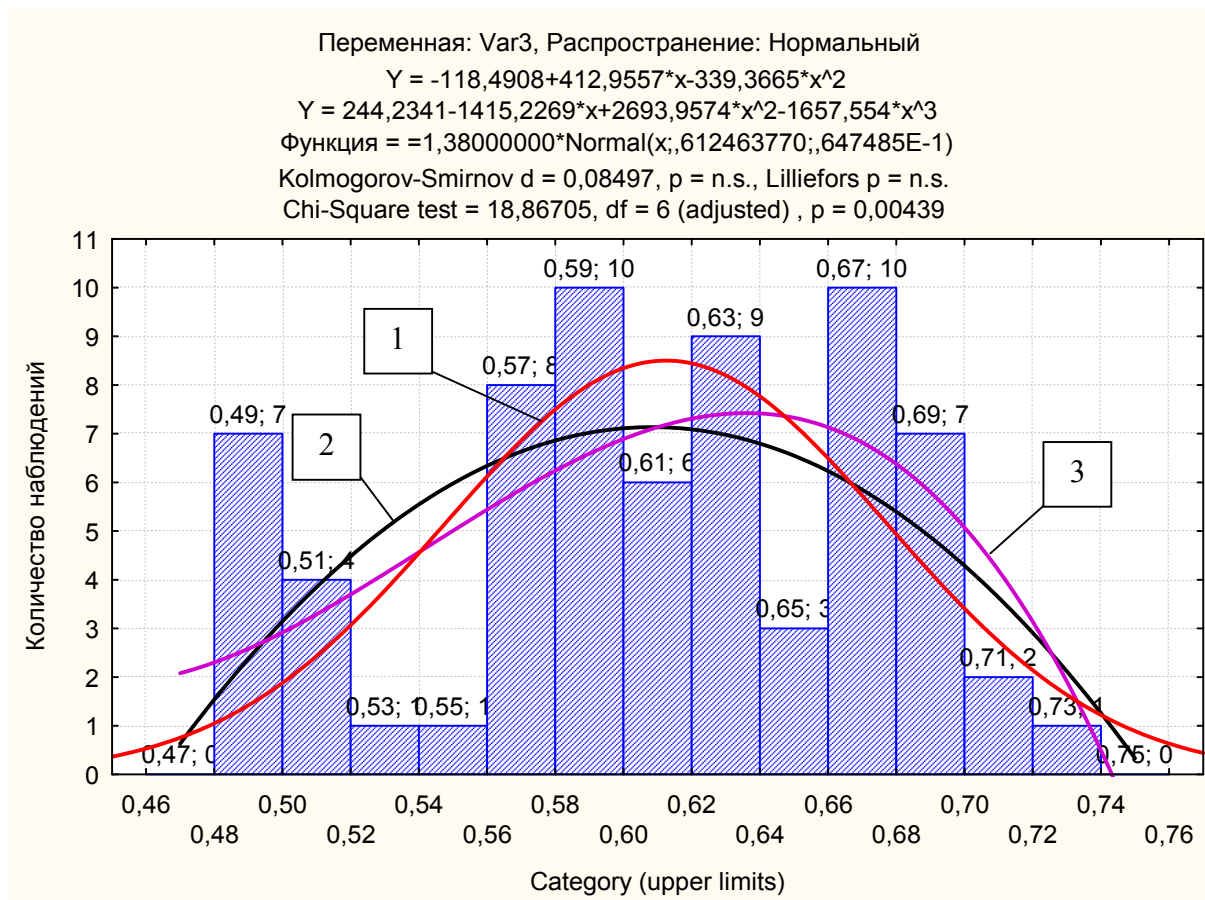


Рис. 7 - Залежність зміни: 1 –  $m_{1ap} = f(L_k)$  (теоретична);  
2 –  $m_{1ap}^e = f(L_k)$  (експериментальна)

$$m_{1ap} = 0,63\pi\rho \left\{ \frac{L_k^3 k_\rho^3 (1 - 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)}{3(L_k k_\rho + \delta)^2} [2L_k k_\rho \delta + \delta^2 (1 + 0,25 \operatorname{tg} \varphi / 2)] \right\}. \quad (11)$$

Аналіз побудованих теоретичної та експериментальної, згідно (11) і (8-10) залежностей зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла кормових буряків після їх викопування показує, що розбіжність значень маси налиплого ґрунту, отриманих теоретично  $m_{1ap}$  та експериментально  $m_{1ap}^e$  знаходиться у межах 7,0...12,5 % (рис. 7).



1 – усічений нормальний закон розподілу; 2 – квадратичний закон розподілу;  
 3 – кубічний закон розподілу

**Рис. 8 - Гістограма щільності розподілення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$**

Для підтвердження вірогідності розподілу значень поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ , визначеного за емпіричною залежністю та експериментального масиву, або оцінки випадкового розходження між емпіричним і експериментальним параметрами розподілу було проведено обробку експериментального масиву генеральної вибірки з метою встановлення функціонального розподілу значень випадкових величин поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  згідно стандартної методики.

У результаті обробки побудовано гістограму частот значень поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ , яка зображує диференційний закон розподілення випадкової величини (рис. 8), або щільність розподілення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$ .

Аналіз рис. 8 показує, що закон розподілення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  близький до усіченого нормального (крива 1), щільність імовірності розподілу якого у загальному випадку має вигляд:

$$f(x) = f\left(\frac{\sum S_p}{\sum S_{k.n}}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad (12)$$

де  $\sigma = 0,61$  - середнє квадратичне відхилення;  
 $\mu = 0,065$  - математичне сподівання.

Перевірка гіпотези про нормальний розподіл вибіркової сукупності випадкової величини необхідна для підтвердження або відхилення нульової гіпотези про розподіл випадкової величини та належність вибіркової сукупності до генеральної.

Перевірка відповідності розподілу  $\lambda_s$  проведена за критерієм відповідності Колмогорова-Смирнова  $K(\lambda)$ .

### **Висновки**

Встановлено, що масив значень  $\lambda_s$  знаходяться у межах 0,6...0,7, а середнє значення  $\lambda_s \cong 0,66$  забезпечується у межах зміни  $0,5 \leq k_p \leq 0,7$  і  $L_k \cong 18,0$  см та при зміні довжини коренеплодів у межах  $15 \leq L_k \leq 25$  (см) і значення  $k_p \cong 0,6...0,63$ , а закон розподілення поправочного коефіцієнта  $\lambda_s$  описується усіченим нормальним законом розподілу. Можна констатувати, що для середніх значень розмірно-масових параметрів кормових буряків конусної форми, урожайності 500,0...550,0 ц/га, загальної довжини  $17,0 \leq L_{kc} \leq 20,0$  см та їх залягання в ґрунті на  $(1/2...2/3)L_k$  ( $k_p = 0,5...0,67$ ), значення маси налиплого ґрунту  $m_{1ap}^e$  на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів буде знаходитися в межах 25,0...50,0 г, при цьому розбіжність значень маси налиплого ґрунту, отриманих теоретично  $m_{1ap}$  та експериментально  $m_{1ap}^e$  знаходиться у межах 7,0...12,5 %.

### **Література**

1. Погорельий Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельий, М.В. Татьяна – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
2. Погорілий М.Л. Підвищення динамічної активності і технологічної ефективності копачів бурякозбиральних машин / М.Л. Погорілий // Зб. наук. праць НАУ. – Т. 8. – К., 2000. – С. 56-66.
3. Погорілий М.Л. Механічні характеристики ґрунтово-коренеплідного середовища цукрових буряків в умовах динамічного навантаження / М.Л. Погорілий // Міжвід. науково-техн. зб. – Кіровоград, 1995. – С. 150-158.
4. Барановський В.М. Прогнозування кількості ґрунту на поверхні тіла коренеплоду / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, С.В. Кропивко [та ін.] // "MOTRO'L 03", IV Міжн. наук.-техн. конф., Люблін-Київ, т.6. - НАУ, 2003. - С. 164-172.
5. Барановський В.М. Аналітичні дослідження маси налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів / В.М. Барановський, Д.Г. Войтюк, А.Ю. Виговський // Всеукраїнський наук.-техн. журнал "Вібрації в техніці та технологіях". ВДАУ, № 3, 2004. – С. 9-12.
6. Математичні моделі маси налиплого ґрунту на коренеплодах кормових буряків / Дубчак Н.А., Барановський В.М., В.Б. Онищенко [та ін.] // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. агр. ун-т, 2008. – № 12(2). – С. 314-326.
7. Василенко П.М. Основы научных исследований / П.М. Василенко, Л.В. Погорельий // – К. : Вища школа, 1985. – 266 с.
8. Погорілий Л.В., Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки процесу збирання / Л.В. Погорілий, М.С. Волянський, А.М. Фомічов // Вісник сільськогосподарської науки. – № 1. – С. 64-69.