



# Механізація, електрифікація

УДК 631.356.02

© 2019

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИСОТИ ВИСТУПАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ НАД ПОВЕРХНЕЮ ҐРУНТУ

В.В. Адамчук<sup>1</sup>, В.М. Булгаков<sup>2</sup>,  
І.В. Головач<sup>3</sup>, Є.І. Ігнат'єв<sup>4</sup>, А.М. Борис<sup>5</sup>

<sup>1, 2</sup>доктори технічних наук, професори, академіки НААН

<sup>3</sup>доктор технічних наук, професор

<sup>4, 5</sup>кандидати технічних наук

<sup>1, 5</sup>Національний науковий центр «Інститут механізації  
та електрифікації сільського господарства»

вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл., 08631, Україна

<sup>2, 3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

<sup>4</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного  
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72300, Україна  
e-mail: <sup>1</sup>vadamchuk@gmail.com, <sup>2</sup>vbulgakov@meta.ua, <sup>3</sup>holovach.iv@gmail.com, <sup>4</sup>yevhen.  
ihnatiev@tsatu.edu.ua, <sup>5</sup>aborys@ukr.net

ORCID: <sup>2</sup>0000-0003-3445-3721

Надійшла 21.11.2019

**Мета.** Експериментально обґрунтувати статистичний розподіл висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту та висоту зрізу для досягнення зменшення втрат цукроносної маси та кількості залишків гички після її суцільного безкопінного зрізу з головок коренеплодів буряків цукрових на корені. **Методи.** Польові експериментальні дослідження і статистична обробка отриманих результатів на ПК. **Результати.** Експериментальні дослідження та експлуатаційні випробування новітніх моделей бурякозбиральних комбайнів Європи та Америки, результати яких висвітлено у багатьох наукових працях вітчизняних і зарубіжних учених, свідчать про значні втрати цукроносної маси в процесі збирання буряків цукрових. Причому основним джерелом цих втрат є незадовільне обрізання головок коренеплодів на корені. Отже, виникає потреба у проведенні наукових досліджень для обґрунтування необхідних інженерних рішень, що дають можливість зменшити втрати цукроносної маси і кількість залишків гички на головках коренеплодів. Результатом досліджень цієї роботи є експериментальне підтвердження гіпотези про нормальний розподіл висоти висту-

**пання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Висновки. Визначено статистичні параметри нормального розподілу: математичне очікування  $m = 40...60$  мм, стандартне квадратичне відхилення  $\sigma = 20...30$  мм. Проведені на лабораторній установці експерименти та польові дослідження створили достатні передумови для розроблення нової системи автоматичного регулювання висоти обрізання головок коренеплодів на сучасних бурякозбиральних комбайнах, що забезпечить мінімальні втрати цукроносної маси.**

**Ключові слова:** буряк цукровий, збирання, втрати, цукроносна маса, контроль висоти.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-07>

Однією з найвідповідальніших операцій у технології вирощування буряків цукрових є їх збирання, оскільки саме на цьому етапі значна частина врожаю може бути втрачена [1, 2]. Зокрема, вагомі втрати врожаю можливі при обрізанні головок коренеплодів на корені перед їх викопуванням. Причому ці втрати визначаються низкою різних факторів [3]. Тому слід звернути увагу на незадовільну роботу бурякозбиральних комбайнів на етапах обрізання головок коренеплодів на корені та подальшого їх викопування з ґрунту [2]. Слід відзначити, що негативно впливає на отримання необхідної кількості цукру як занадто високий, так і занадто низький зріз головок коренеплодів. Як показують результати наукових праць [5, 9], підвищення забрудненості бороху коренеплодів буряків цукрових зеленою масою усього на 1% від установленної норми знижує вихід цукру на 0,1%, а при зберіганні в кагатах з умістом гички близько 4% спричиняє щоденні втрати цукру в середньому на 0,02%. Водночас сучасні бурякозбиральні машини, що випускаються у провідних бурякозбиральних країнах світу, спричиняють значні втрати цукроносної маси, зумовлені заниженням зрізом головок коренеплодів на корені. Пошук способів зменшення таких втрат є актуальним завданням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Насамперед слід зазначити, що найбільш поширеного використання набули бурякозбиральні комбайни, які виконують безкопирний зріз [11, 12]. При цьому найчастіше використовуються роторні обрізувачі, що зрізають головки коренеплодів на однаковій висоті щодо поверхні ґрунту.

У високо розташованих над поверхнею ґрунту коренеплодах обрізається значна частина цукроносної маси, а в низько розташованих є істотні залишки гички на головці. Це пояснюється ймовірнісним характером розподілу висот розміщення головок коренеплодів буряків над поверхнею ґрунту [4]. Отже, при збиранні цукрових буряків порушується проблема визначення висоти розміщення головок коренеплодів для конкретних експлуатаційних умов. Тому доцільно розробити автоматизований контролер, який забезпечив би автоматичне налаштування висоти зрізу в процесі експлуатації гичкозбиральної машини. Але для такої розробки треба з'ясувати тип статистичного розподілу висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Результати робіт [4, 5] свідчать про нормальний закон розподілу. Але надійність їх результатів є сумнівною через недостатній об'єм статистичних вибірок і ручного вимірювання.

**Мета досліджень** — експериментально обґрунтувати статистичний розподіл висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту та висоту зрізу для досягнення зменшення втрат цукроносної маси та кількості залишків гички після її суцільного безкопирного зрізу з головок коренеплодів цукрових буряків на корені.

**Методи досліджень.** Дослідження здійснено з використанням методики проведення польових експериментальних досліджень і статистичної обробки отриманих результатів на ПК.

**Результати досліджень.** Для достовірної оцінки розподілу висоти виступання

головок буряків цукрових на полі (розподіл рослин у ряду, розподіл висоти виступання головок коренеплодів над ґрунтом і втрат під час збирання врожаю) було спроектовано та виготовлено спеціальну лабораторно-польову установку для дослідження процесу в реальних умовах. Розрахунок і проектування основних вузлів лабораторної установки виконано з урахуванням [8]. Пристрій використано в цьому дослідженні для пошуку шляхів зменшення втрат цукронової маси, що виникають у процесі обрізання головок коренеплодів буряків цукрових, а також розробки теоретичних передумов створення системи автоматизованої корекції висоти обрізання.

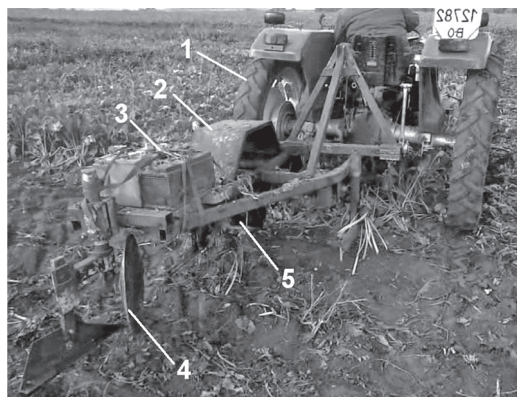
Результати проведених вимірювань обробляли із застосуванням статистичних методів на ПК. Основна мета статистичної обробки — з'ясувати залежності розподілу висот виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту та його статистичні характеристики: математичного очікування  $m$  і стандартного квадратичного відхилення  $\sigma$ . Після цього, за встановленими залежностями, можна скласти прогноз втрат цукристої маси та кількості залишків гички на коренеплодах щодо висоти безкопінного обрізання гички. Вхідні параметри моделі були пов'язані з характеристиками коренеплодів, станом ділянки під час операцій збирання. До основних параметрів належать діаметр верхньої частини головки коренеплодів  $d_1$  та висота виступання головки коренеплодів над поверхнею ґрунту  $h_1$ . Інші параметри були залежними і їх можна обчислити, використовуючи закономірності, наведені в працях [4, 12]. До основних параметрів поля належать:  $m$  та  $\sigma$  — відповідно математичне очікування та стандартне квадратичне відхилення висот виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту (у випадку, якщо цей розподіл відповідає нормальному закону);  $Q$  — врожайність коренеплодів на одиницю площі ( $t \cdot ga^{-1}$ );  $N$  — кількість коренеплодів на одному гектарі, шт. До параметрів процесу належить і висота безкопінного зрізання  $h_z$ . Вихідними параметрами в моделі були прямі параметри робочого процесу: втрати цукронової маси  $B$  і кількість залишків гички на коренеплодах  $G$  або їх значення у відсотках

від загальної маси коренеплодів. Для моделювання процесу дефоліації головки коренеплоду було використано геометричну модель, розроблену в роботі [13].

Як перший крок розроблено функціональну структуру експериментального блоку з використанням схематичної моделі вимірювання, що включає модулі введення та виведення даних, вимірювальний блок, модуль керування, модуль перетворювача для реєстрації параметрів розміщення коренеплодів цукрових буряків у рядку. Далі було розроблено оригінальний алгоритм для контролю процесу вимірювання висоти розміщення головок коренеплодів над рівнем ґрунту.

Структурна схема розробленого лабораторного блоку для проведення польових експериментів включає систему гіроскопів та акселерометрів, установлених для дослідження впливу коливань бурякозбиральних комбайнів на стабільність роботи збиральних модулів коренезрізальних машин.

Автори також розробили структурну схему лабораторної установки та виготовили електронний модуль для контролю за процесом вимірювання положення головки коренеплоду цукрових буряків над рівнем поверхні ґрунту. Вимірювальний прилад включав пристрої виявлення коренеплодів цукрових буряків та інших давачів, які визначають положення колісної бази машини та висоти виступання головки коренеплодів цукрових буряків над поверхнею ґрунту. Висота виступання головки коренеплоду над поверхнею ґрунту вимірюється копіром (рис. 1), який відхиляється на кут  $\alpha$  під час взаємодії з коренеплодом, що виступає на висоту  $h_1$ . Кут відхилення копіра реєструвався енкодером, що містить магнітний диск і два датчики Холла А3144. У момент проходження магніту через зону дії датчика генеруються цифрові імпульси, кількість яких пропорційна куту відхилення копіра. Сигнали з енкодера передавалися до модуля Е-14-440 цифрової плати вводу-виводу інформації виробництва LCard. Модуль Е-14-440 під'єднувався за допомогою USB-з'єднання до ПК та оброблявся програмним забезпеченням LGraf. У процесі вимірювання програма згенерувала файл із даними

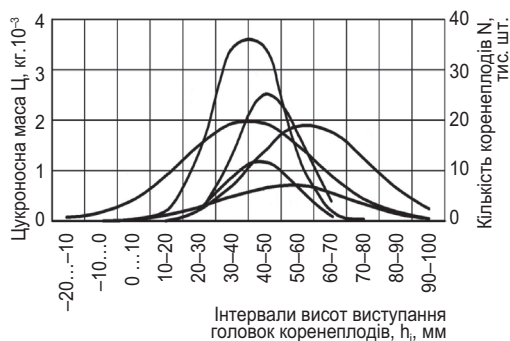


**Рис. 1.** Польова експериментальна установка з вимірювання висот виступання головок коренеплодів буряків цукрових над поверхнею ґрунту: 1 — енергетичний засіб; 2 — експериментальна установка; 3 — блок керування і реєстрації даних; 4 — датчик визначення наявності коренеплоду та його положення в рядку; 5 — копір для вимірювання висоти виступання

про виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Після отримання достатньої кількості вимірів (понад 50 тис.) дані експортовано до програмного забезпечення Octave 4.0 та отримано залежності втрат цукроносної маси та залишків гички на головках коренеплодів від встановленої висоти безкопінного зрізу. Польові дослідження здійснено на лабораторно-польовій експериментальній установці, приєднаній до колісного трактора для приведення у поступальний рух і забезпечення живлення (рис. 1).

Дослідження проводили на кількох бурякових ділянках із різною біологічною врожайністю коренеплодів і столових буряків, різною геометрією поверхні поля, механічними та фізичними властивостями ґрунту. Обробка результатів експериментальних досліджень проведена з використанням основних положень [9, 10] за розробленою програмою з використанням ПК. При цьому були побудовані графіки за результатами обробки на ПК великої вибірки (50 тис. вимірювань) з використанням спеціалізованого пакета MatLab.

Результати дослідження параметрів коренеплодів залежно від висоти виступання головок коренеплодів буряка цукрового над поверхнею ґрунту представлено на рис. 2.



**Рис. 2.** Параметри головок коренеплодів залежно від їх висот виступання над рівнем ґрунту при  $m = 40$  мм: 1 — кількість коренеплодів  $N$  при  $\sigma = 10$  мм; 2 — кількість коренеплодів  $N$  при  $\sigma = 20$  мм; 3 — цукроносна маса над рівнем ґрунту  $C_3$  при  $\sigma = 10$  мм; 4 — цукроносна маса над рівнем ґрунту  $C_3$  при  $\sigma = 20$  мм; 5 — цукроносна маса над ґрунтом, що має залишки гички  $C_g$  при  $\sigma = 10$  мм; 6 — цукроносна маса над ґрунтом, що має залишки гички  $C_g$  при  $\sigma = 20$  мм

Ці графіки відображають високий ступінь залежності один від одного та показують розподіл параметрів головок коренеплодів цукрового буряка залежно від висот їх виступання над поверхнею ґрунту  $h_i$ , вказаних на осі  $x$ . Також на рис. 2 показано кількість цукроносної маси, розміщеної над рівнем ґрунту (криві 3, 4), і кількість цукроносної маси, що містить залишки гички, яку потрібно обов'язково видалити (криві 5, 6). Далі, ґрунтуючись на даних, представлених на рис. 2, та використовуючи отримані математичні залежності [13], було отримано взаємозв'язок між втратами цукроносної маси та висотою безкопінного зрізу гички цукрових буряків. В роботі також представлено приклад розрахунку (для одного конкретного випадку) за такими параметрами розподілу:  $m = 40$  мм і  $\sigma = 20$  мм. Слід зазначити, що ці параметри змінюються у межах, визначених на залежностях, показаних на рис. 2. Отже, можна дійти висновку, що статистичні параметри розподілу висот виступання головок коренеплодів слід контролювати та відслідковувати у динаміці.

Адже при зміні цього параметра втрачається цукроносна маса, а також оптимальне значення  $h_z$  висоти безкопінного зрізу гички відповідно також змінюється.



На підставі зазначеного розрахунку отримано залежність втрати цукроносної маси буряків у конкретних умовах після визначення статистичних параметрів розподілу ( $m$ ,  $\sigma$ ), використовуючи математичну модель [13].

Це дає можливість створити автоматизовану систему оцінювання параметрів коренеплодів буряків цукрових для оперативного налаштування висоти зрізання гички з метою зниження втрат цукроносної маси.

## Висновки

Проведені експериментальні дослідження розподілу висот виступання головок коренеплодів цукрових буряків над поверхню ґрунту підтверджують гіпотезу про їх розподіл за нормальним законом.

На підставі результатів експериментальних досліджень та їх статистичної обробки встановлено, що цей розподіл має такі статистичні параметри: стандартне квадратичне відхилення

$\sigma = 20 \dots 30$  мм, математичне очікування  $m = 40 \dots 60$  мм.

Експериментальні дослідження, проведені на розробленій польовій лабораторній установці, створили передумови для проєктування системи автоматичного встановлення висоти відділення гички від головок коренеплодів у сучасних корене-збиральних машинах та комбайнах.

Адамчук В.В.<sup>1</sup>, Булгаков В.М.<sup>2</sup>, Головач І.В.<sup>3</sup>,  
Игнатьев Е.И.<sup>4</sup>, Борис А.Н.<sup>5</sup>

<sup>1, 5</sup> ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», ул. Вокзальная, 11, пгт Глеваха Васильковского р-на Киевской обл., 08631, Украина; <sup>2, 3</sup> Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина; <sup>4</sup> Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, просп. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь Запорожской обл., 72300, Украина; e-mail: <sup>1</sup>vadamchuk@gmail.com, <sup>2</sup>vbulgakov@meta.ua, <sup>3</sup>holovach.iv@gmail.com, <sup>4</sup>yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, <sup>5</sup>aboris@ukr.net

**Експериментальное исследование статистического распределения высоты выступления головок корнеплодов свеклы над поверхностью почвы**

**Цель.** Экспериментально обосновать статистическое распределение высоты выступления головок корнеплодов над поверхностью почвы и высоту среза для достижения уменьшения потерь сахарной массы и количества остатков ботвы после ее сплошного бескопирного среза с головок корнеплодов сахарной свеклы на корню. **Методы.** Полевые экспериментальные исследования и статистическая обработка полученных результатов на ПК. **Результаты.** Экспериментальные исследования и эксплуатационные испытания новейших моделей свеклоуборочных комбайнов Европы и Америки, результаты которых освещены во многих научных трудах отечественных и зарубежных ученых, свидетельствуют о значительных потерях

сахаросодержащей массы в процессе уборки сахарной свеклы. Причем главным источником этих потерь является неудовлетворительное обрезание головок корнеплодов на корню. И так возникает потребность в проведении научных исследований для обоснования необходимых инженерных решений, которые позволят уменьшить потери сахаросодержащей массы и наличие остатков ботвы на головках корнеплодов. Результатом исследований работы является экспериментальное подтверждение гипотезы о нормальном распределении высоты выступления головок корнеплодов над поверхностью почвы. **Выводы.** Определены статистические параметры указанного нормального распределения: математическое ожидание  $m = 40 \dots 60$  мм, стандартное квадратическое отклонение  $\sigma = 20 \dots 30$  мм. Проведенные с помощью лабораторной установки эксперименты и полевые исследования создали достаточные предпосылки для разработки новой системы автоматического регулирования высоты обрезки головок корнеплодов на современных свеклоуборочных комбайнах, что обеспечит минимальные потери сахаросодержащей массы.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, уборка, потери, сахаросодержащая масса, контроль высоты.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-07>

Adamchuk V. <sup>1</sup>, Bulgakov V. <sup>2</sup>, Holovach I. <sup>3</sup>,  
Ihnatiev Y. <sup>4</sup>, Borys A. <sup>5</sup>

<sup>1, 5</sup> National Scientific Centre «Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture», 11 Vokzalna Str., Hlevakha township, Vasykivskiy

district, Kyiv oblast, 08631, Ukraine <sup>2,3</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine; <sup>4</sup>Dmytro Motornyi Tavria State agrotechnological university, 18 B. Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>vvadamchuk@gmail.com, <sup>2</sup>vbulgakov@meta.ua, <sup>3</sup>holovach.iv@gmail.com, <sup>4</sup>yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, <sup>5</sup>aborys@ukr.net

### **Experimental investigation of the statistical distribution of the height of the prediction of beef root heads above the soil surface**

**The purpose.** Reduction of losses of sugarcane mass and amount of residues of the hives after carrying out a continuous copyless cut of the hives from the heads of the root crops of sugar beets on the root by experimental justification of the statistical distribution of the height of the projection of the heads of the roots above the soil surface and the height of the cut. **Methods.** The researches were carried out using the methods of conducting field experimental researches and statistical processing of the obtained results on PC. **Results.** Experimental studies and operational tests of the latest models of beet harvesters in Europe and America, the results of which are covered in

many scientific papers by domestic and foreign scientists, indicate a significant loss of sugar mass in the process of sugar beet harvesting. Moreover, the main source of these losses is the unsatisfactory pruning of the root heads on the root. Therefore, there is a need for scientific research to substantiate the necessary engineering solutions that will reduce the loss of sugar mass and the presence of residues of hives on the heads of roots. The result of the studies of this work is an experimental confirmation of the hypothesis about the normal height distribution of the heads of the roots above the soil surface. **Conclusions.** The statistical parameters of the specified normal distribution were determined: mathematical expectation  $m = 40...60$  mm, standard deviation  $\sigma = 20...30$  mm. The laboratory facility for conducting experiments and the field studies conducted with its help have created sufficient prerequisites for the development of a new system for automatic control of the cutting height of the heads of root crops on modern beet harvesters, which will ensure minimal losses of sugarcane mass.

**Key words:** sugar beet, harvesting, losses, sugar mass, height control.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-07>

## **Бібліографія**

1. Lammers P.S., Schmittmann O. Testing of sugar beet harvesters in Germany. 2012. *International Sugar J.* V. 115 (1370). P. 100–106.
2. Zang G., Xu W., Fan S. Analysis and parameter optimization of adjustable beet top cutting mechanism. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2013. V. 29 (18). P. 26–33. doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.18.004
3. Smith J.A., Yonts C.D., Palm K.L. Field loss from sugar beet harvest operations. *Applied Engineering in Agriculture*. 2013. V. 15 (6). P. 627–631. doi: 10.13031/2013.5828
4. Bulgakov V., Pascuzzi S., Arak M., Santoro M., Anifantis F., Ihnatiev Y., Olt J. An experimental investigation of performance levels in a new root crown cleaner. *Agronomy Research*. 2019. V. 17 (2). P. 358–370. doi: 10.15159/AR.19.132
5. Ihnatiev Ye. Theoretical substantiation of topping parameters without sugar beet head copying. *IV International scientific Congress «Agricultural machinery»*. Varna. Is. 18 (181). V. 1. P. 55–58.
6. Веденяпин С.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. Москва: Колос, 1967. 159 с.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Босой Е.С. и др. Теория, конструирование и расчет сельскохозяйственных машин. Москва: Машиностроение, 1978. 567 с.
9. Завалишин Ф.С., Манцев И.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. Москва: Колос, 1982. 228 с.
10. Калоша В.К., Лобко С.И., Чикова Т.С. Математическая обработка результатов эксперимента. Минск: Вышэйшая школа, 1982. 105 с.
11. Гурченко О.П. Обґрунтування основних параметрів лопатевого очисника головок буряків від залишків гички. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових праць*. Луцьк, 1997. Вип. 3. С. 30–37.
12. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В., Брей В.В., Кравченко А.С., Покуса А.А., Карпов В.Г. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техніка, 1983. 168 с.
13. Булгаков В.М., Головач І.В., Ігнат'єв Є.І., Борис А.М., Ружи́ло З.В. Теоретичне дослідження виступання головок коренеплодів буряків над поверхню ґрунту при їх збиранні. *Вісник аграрної науки*. 2019. №11. С. 61–66.