



Механізація, електрифікація

УДК 631.356.02

© 2019

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОТИ ВИСТУПАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ БУРЯКІВ НАД ПОВЕРХНЕЮ ҐРУНТУ ПРИ ЇХ ЗБИРАННІ

В.М. Булгаков¹, І.В. Головач²,
Є.І. Ігнат'єв³, А.М. Борис⁴, З.В. Ружило⁵

¹доктор технічних наук, професор, академік НААН

²доктор технічних наук, професор

^{3–5}кандидати технічних наук

^{1, 2, 5}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

³Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72300, Україна

⁴ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл., 08631, Україна
e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com,

³yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, ⁴aborys@ukr.net, ⁵ruzhylo@nubip.edu.ua

Надійшла 21.10.2019

Мета. Мінімізувати втрати цукроносної маси після проведення суцільного безкопірного зрізу гички з головок буряків цукрових через теоретичне обґрунтування висоти зрізу. **Методи.** При виконанні цього дослідження використано методи вищої математики, зокрема геометричного моделювання і математичної статистики, а також здійснено аналіз отриманих моделей. **Результати.** Згідно з результатами проведених нещодавно експериментальних досліджень та експлуатаційних випробувань процесу збирання цукрових буряків виявлено, що новітні моделі бурякозбиральних комбайнів, вироблених у Європі та Америці, спричиняють значні втрати цукроносної маси. Джерелом цих втрат загалом є незадовільна обрізка головок коренеплодів цукрових буряків, а точніше — надмірно низька точка, в якій відрізаються верхівки, що призводить до прямої втрати цукроносної маси. Так виникає потреба у пошуку інженерних рішень, що дають можливість уникнути як втрат цукроносної маси, так і налипання залишків гички на коренеплоди. **Результатом** дослідження з розподілу висот виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту є підтвердження гіпотези про те, що він відповідає нормальному закону розподілу. **Висновки.** На підставі отриманих результатів встановлено, що нормальний розподіл має такі статистичні параметри: середнє відхилення $\sigma = 20...30$ мм, математичне

очікування $m = 40 \dots 60$ мм. Також отримано залежність втрат цукроносної маси від висоти безкопінного зрізу гички з головок коренеплодів цукрового буряку.

Ключові слова: буряк цукровий, гичка, втрати, цукроносна маса, нормальний розподіл.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-09>

Вирощування буряків цукрових є стратегічною галуззю сільського господарства провідних аграрних країн Європи, Америки та Китаю [1–3]. Збирання врожаю — одна з критично важливих операцій у виробництві буряків цукрових, оскільки на цьому етапі значна його частина може бути безповоротно втрачена [4, 5].

З огляду на той факт, що збирання коренеплодів включає операції з обрізання головок коренеплодів, їх викопування та очищення, втрати зібраного врожаю визначаються низкою факторів [6–8]. Тому акцент слід зробити на найбільш значному з них, а саме — втратах унаслідок незадовільних показників роботи бурякозбиральних комбайнів на етапах обрізання головок коренеплодів на корені та подальшого викопування їх із ґрунту [5, 7, 9]. Підвищення забрудненості вороху коренеплодів буряків цукрових зеленою масою усього на 1% від установлені норми знижує вихід цукру на 0,1%, а зберігання у кагатах з умістом гички близько 4% призводить до щоденних втрат цукру в середньому на 0,02% [8, 12]. Сучасні бурякозбиральні машини, що випускаються в Європі та Америці, спричиняють значні втрати, зумовлені заниженим зрізом головок коренеплодів, а відповідно і втрату цукроносної маси. Тому актуальною задачею цього дослідження є пошук способів зменшення таких втрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато типів обладнання, призначеного для виявлення поверхні головки коренеплоду, але бурякозбиральні комбайни з безкопінним зрізом стали найпоширенішими [13]. Сучасні комбайни для збирання цукрових буряків використовують в основному роторні агрегати, що зрізають головки коренеплодів на однаковій висоті щодо поверхні ґрунту. Вибір висоти зрізу головок проводиться за загальноприйнятими рекомендаціями, але на практиці їх часто важко дотримуватися з огляду на імовірнісний характер розподілу висот розміщення головок коренеплодів буряків над рівнем ґрунту [5].

Користувачі обладнання для збирання буряків цукрових завжди стикаються з проблемою визначення висоти розміщення головок коренеплодів за конкретних експлуатаційних умов. У більшості випадків проблему розв'язують застосуванням методу верхніх пальців (включаючи візуальну оцінку працездатності дефоліатора після кількох пробних циклів). Ця операція повторюється кілька разів, що є марною витратою робочого часу, а отже, знижує продуктивність збирання і не гарантує високого рівня точності роботи на всій ділянці. Крім того, при такому підході можна вибрати неправильну висоту зрізу, що призведе до значних втрат цукроносної маси. Тому доцільно розробити автоматизований контролер, який забезпечив би розв'язання проблеми вибору висоти зрізу та автоматичного її налаштування у процесі експлуатації гичкозбиральної машини. Для проєктування такого пристрою спершу треба з'ясувати тип статистичного розподілу, який описує висоти виступання головок коренеплодів буряка над поверхню ґрунту. Цією проблемою уже багато років займається чимало дослідників [7, 11, 12, 14], і їхні результати переважно свідчать про нормальний закон розподілу. Але надійність їх висновків є сумнівною через неможливість отримати достатньо великі об'єми зразків шляхом відбору проб і ручним вимірюванням. Спроби вирішити ці питання проводили у роботах [9, 12], але їх результати і методика є недостатньо перевіреними і підлягають уточненню.

Мета досліджень — мінімізувати втрати цукроносної маси після проведення суцільного безкопінного зрізу гички з головок буряків цукрових через теоретичне обґрунтування висоти зрізу.

Методи досліджень. Використано методи вищої математики, зокрема геометричного моделювання і математичної статистики, а також здійснено аналіз отриманих моделей.

Результати досліджень. Для моделювання процесу дефоліації головки коренеплоду було використано геометричну

модель, розроблену в роботі [11]. Суть моделі полягала у визначенні об'єму та маси головки одного коренеплоду із застосуванням геометричних співвідношень, представлених на рис. 1, 2, 3. У разі відомого розподілу висот виступання головок коренеплодів втрачену масу та залишки гички щодо висоти зрізу можна прогнозувати за методикою [12]. З метою переходу від одного коренеплоду до цілого зразка коренеплодів відповідно до цієї методики укрупнення здійснювали по всьому діапазону висот виступання головок з урахуванням ймовірності появи кожного значення. Алгоритм визначення втрат цукроносної маси та залишків гички на коренеплодах залежно від їх положення щодо поверхні ґрунту та площини зрізу був реалізований у вигляді комп'ютерної програми для середовища MatLab.

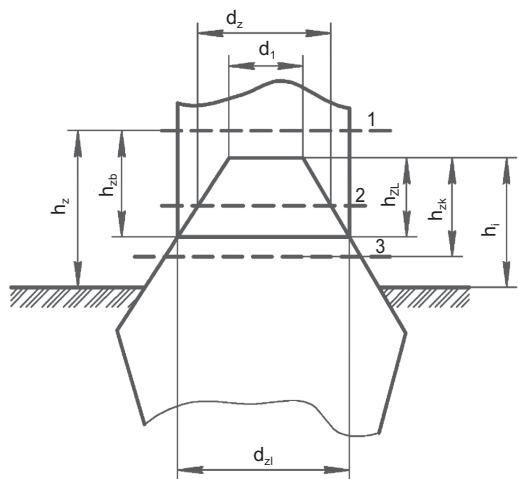


Рис. 1. Геометрична модель головки коренеплоду цукрових буряків, у якого нижня лінія черешків розміщена вище поверхні ґрунту: h_i — висота виступання коренеплоду, мм; h_{zl} — відстань від верхівки головки коренеплоду до нижньої лінії гички, мм; h_z — висота безкопінного зрізу гички, мм; h_{zk} — відстань від верхівки головки коренеплоду до площини безкопінного зрізу гички, мм; h_{zb} — відстань від площини безкопінного зрізу гички до нижньої лінії гички, мм; d_1 — діаметр верхньої частини головки коренеплоду, мм; d_z — діаметр головки коренеплоду в площині безкопінного зрізу гички, мм; d_{zl} — діаметр головки коренеплоду в площині нижньої лінії гички, мм

Площина обрізання 1 знаходиться вище головки коренеплоду, в цьому разі втрат цукроносної маси немає, але на головці коренеплоду є залишки гички:

$$h_{zk} = 0. \quad (1)$$

$$h_{zb} = h_{zl} - h_{zk} + h_z. \quad (2)$$

$$B = 0, \quad (3)$$

$$G = \frac{\pi \cdot h_{zk} \cdot \rho_b \cdot d_{z1}^2}{4} - \frac{\pi \cdot \rho_b \cdot h_{zl} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}, \quad (4)$$

де G — залишки гички на коренеплоді, кг; B — втрати цукроносної маси, кг; ρ_b та ρ_k — густина відповідно гички і коренеплоду, кг·м⁻³.

Площина обрізання 2 знаходиться нижче вершин головок коренеплодів:

$$h_{zk} = h_i - h_z. \quad (5)$$

$$h_{zb} = h_{zl} - h_i + h_z. \quad (6)$$

$$B = \frac{\pi \cdot h_{zk} \cdot \rho_k (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (7)$$

$$G = \frac{\pi \cdot h_{zb} \cdot \rho_b \cdot d_{z1}^2}{4} - \frac{\pi (h_{zl} - h_{zk}) (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (8)$$

Площина обрізання головок коренеплодів 3 знаходиться нижче рівня черешків гички:

$$h_{zk} = h_i - h_z. \quad (9)$$

$$h_{zb} = 0. \quad (10)$$

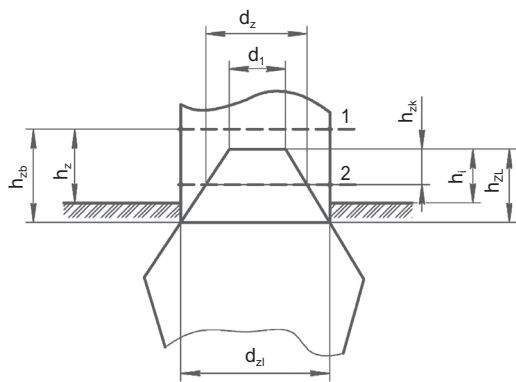


Рис. 2. Геометрична модель головки коренеплоду буряків цукрових, у якого нижня лінія черешків розміщена нижче поверхні ґрунту

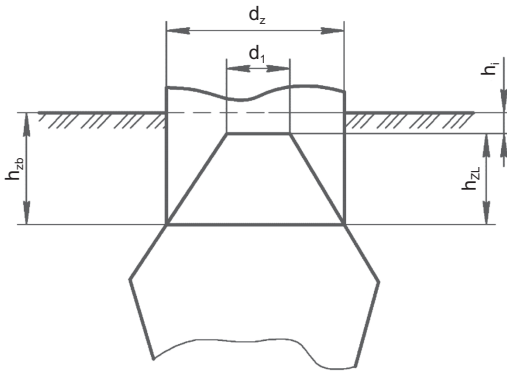


Рис. 3. Геометрична модель головки коренеплоду буряків цукрових, розміщеної нижче поверхні ґрунту

$$B = \frac{\pi \cdot h_{zk} \cdot \rho_k (d_{z1}^2 + d_z \cdot d_{z1} + d_z^2)}{12}. \quad (11)$$

$$G = 0. \quad (12)$$

Площина обрізання головок коренеплодів 1:

$$h_{zk} = 0. \quad (13)$$

$$h_{zb} = h_{zL} - h_{zk} + h_z \quad (14)$$

$$B = 0. \quad (15)$$

$$G = \frac{\pi \cdot h_{zb} \cdot \rho_b \cdot d_{z1}^2}{4} - \frac{\pi \cdot \rho_b \cdot h_{zL} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (16)$$

Площина обрізання головок коренеплодів 2:

$$h_{zk} = h_i - h_z. \quad (17)$$

$$h_{zb} = h_{zL} - h_i + h_z. \quad (18)$$

$$B = \frac{\pi \cdot h_{zk} \cdot \rho_k (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (19)$$

$$G = \frac{\pi \cdot h_{zb} \cdot \rho_b \cdot d_{z1}^2}{4} - \frac{\pi (h_{zL} - h_{zk}) \cdot (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (20)$$

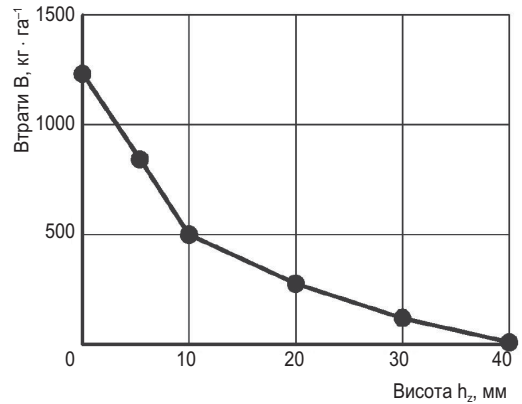


Рис. 4. Залежність між втратами цукронової маси B та висотою h_z безкопінного зрізу гички з головок коренеплодів

Площина обрізання головок коренеплодів 1:

$$h_{zk} = 0. \quad (21)$$

$$h_{zb} = h_{zL} - h_{zk} + h_z. \quad (22)$$

$$B = 0. \quad (23)$$

$$G = \frac{\pi \cdot h_{zb} \cdot \rho_b \cdot d_{z1}^2}{4} - \frac{\pi \cdot \rho_b \cdot h_{zL} (d_1^2 + d_1 \cdot d_{z1} + d_{z1}^2)}{12}. \quad (24)$$

Результати розрахунку на ПК втрат цукронової маси на основі отриманих геометричних моделей показано на рис. 4.

На графіку, наведеному на рис. 4, показано залежність втрат цукронової маси буряків у конкретних умовах після визначення статистичних параметрів розподілу (m , σ), використовуючи математичну модель [12]. Це дає можливість створити автоматизовану систему оцінювання параметрів коренеплодів цукрових буряків для оперативного налаштування висоти зрізання гички з метою зниження втрат цукронової маси.

Висновки

Результати дослідження розподілу висот виступання головок коренеплодів цукрових буряків над поверхнею ґрунту

підтверджують гіпотезу про їх розподіл за нормальним законом.

На підставі отриманих результатів

встановлено, що цей розподіл має такі статистичні параметри: середнє відхилення $\sigma=20\ldots 30$ мм, математичне очікування $m=40\ldots 60$ мм.

Булгakov В.М.¹, Головач І.В.², Ігнат'єв Е.І.³, Борис А.Н.⁴, Ружи́ло З.В.⁵.

^{1, 2, 5}Національний університет біоресурсів і природопольовання України, ул. Героїв Оборони, 15, г. Київ, 03041, Україна, ³Таври́чеський державний агротехнологічний університет імені Дмитрия Моторного, просп. Б. Хмельницького, 18, г. Мелітополь Запорізької обл., 72300, Україна, ⁴ІНЦ «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства», ул. Вокзальна, 11, пгт Глеваха Васильківського р-на Київської обл., 08631, Україна; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com, ³yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, ⁴aborys@ukr.net, ⁵ruzhylo@nubip.edu.ua

Теоретическое исследование высоты выступления головок коренеплодов свеклы над поверхностью почвы при их уборке

Цель. Минимизировать потери сахаросодержащей массы после проведения сплошного бескорневого среза ботвы с головок сахарной свеклы путем теоретического обоснования высоты среза. **Методы.** При выполнении данного исследования использованы методы высшей математики, в частности геометрического моделирования и математической статистики, а также анализа полученных моделей. **Результаты.** Согласно результатам проведенных недавно экспериментальных исследований и эксплуатационных испытаний процесса уборки сахарной свеклы обнаружено, что новейшие модели свеклоуборочных комбайнов, произведенных в Европе и Америке, служат причиной значительных потерь сахаросодержащей массы. Источником этих потерь является в основном плохая обрезка головок коренеплодов сахарной свеклы, а точнее — чрезмерно низкая точка, в которой отрезаются верхушки, что приводит к прямой потере сахаросодержащей массы. Таким образом, возникает потребность в поиске инженерных решений, которые позволят избежать как потерь сахаросодержащей массы, так и налипания остатков ботвы на коренеплоды. Результатом исследования по распределению высот выступления головок коренеплодов над поверхностью почвы является подтверждение гипотезы о том, что он отвечает нормальному закону распределения. **Выводы.** На основании полученных результатов установлено, что нормальное распределение имеет такие статистические параметры: среднее отклонение

Отримано залежність втрат цукроносної маси від висоти безкопінного зрізу гички з головок коренеплоду.

$\sigma=20\ldots 30$ мм, математическое ожидание $m=40\ldots 60$ мм. Также получена зависимость потерь сахаросодержащей массы от высоты среза ботвы с головки коренеплода сахарной свеклы.

Ключевые слова: сахарная свекла, ботва, потери, сахаросодержащая масса, нормальное распределение.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201911-09>

Bulgakov V.¹, Holovach I.², Ihnatiev Ye.³, Borys A.⁴, Ruzhylo Z.⁵

^{1, 2, 5}National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, ³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18 Khmelnytskoho B. Ave., Melitopol, Zaporizka oblast, 72300, Ukraine, ⁴National Scientific Centre Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, 11 Vokzalna Str., Hlevakha township, Vasylkivskiy district, Kyiv oblast, 08631, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com, ³yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua, ⁴aborys@ukr.net, ⁵ruzhylo@nubip.edu.ua

Theoretical study of altitude of coming out heads of root crops of beet above the surface of soil at their harvesting

The purpose. To minimize losses of sacchariferous mass after continuous sensorless cutting off of haulm from heads of sugar-beet by theoretical justification of height of cutting off. **Methods.** Methods of higher mathematics, in particular geometrical simulation and mathematical statistics, and also analysis of the gained models. **Results.** According to results of experimental researches and service tests of process of harvesting of sugar-beet it is revealed that the newest models of beet combines, manufactured in Europe and America, cause significant losses of sacchariferous mass. A source of these losses is in the core the bad cutting of heads of root crops of sugar-beet, to be exact — excessively low point in which cops are sawed. That leads to straight loss of sacchariferous mass. Thus, there is a necessity of searching engineering decisions which will allow to avoid both losses of sacchariferous mass, and sticking of residues of haulm to root crops. Results of research in distribution of heights that root crowns protrude above the soil surface confirmed the hypothesis that it follows the normal distribution. **Conclusions.** On the basis of the gained results it is established that normal allocation has such statistical parameters: mean deviation $\sigma=20\ldots 30$ mm, expectation $m=40\ldots 60$ mm. Also dependence of

losses of sacchariferous mass on height of cutting of haulm from head of root crop of sugar-beet is gained.

Keywords: sugar-beet, haulm, losses, sacchariferous mass, normal allocation.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-09>

Бібліографія

1. Spiess E., Diserens E. Zuckerrüben: Ernte-technik und Bodenschutz. Vielseitige Wechselwirkungen zwischen Technik, Erntequalität und Ökologie. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), FAT-Berichte Nr. 567, Tanikon TG: Ettenhausen.
2. Jansen R., Stibbe G. Impact of plant breeding on the profitability of sugar beet production. *International Sugar J.* 2007. V. 109 (1300). P. 227–233.
3. Wu H., Hu Z., Peng B., Wang H., Wang B. Development of auto-follow row system employed in pull-type beet combine harvester. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2013. V. 29 (12). P. 17–24.
4. Lammers P.S., Schmittmann O. Testing of sugar beet harvesters in Germany 2012. *International Sugar J.* V. 115 (1370). P. 100–106.
5. 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. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2013.18.004>
6. 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. <https://doi.org/10.13031/2013.5828>
7. Bulgakov V.M., Adamchuk V., Nozdrovicky L., Boris M.M., Ihnatiev Ye.I. Properties of the sugar beet tops during the harvest. *Trends in Agricultural Engineering 2016*, Prague, Czech Republic. P. 102–108.
8. Bulgakov V., Adamchuk V., Ivanovs S., Ihnatiev Y. Theoretical investigation of aggregation of top removal machine frontally mounted on wheeled tractor. *Engineering for rural development*. Jelgava. 2017. V. 16. P. 273–280. <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n053>
9. Адамчук В.В., Борис А.М., Булгаков В.М., Борис М.М. Механіко-технологічні передумови зменшення втрат маси коренеплодів в процесі їх збирання. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький: КНТУ. 2015. Вип. 45, Ч. 1. С. 3–10.
10. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Ігнат'єв Є.І. Теорія вертикальних коливань фронтально навішеної гичкозбиральної машини. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 2. С. 36–42.
11. Bulgakov V., Boris M., Boris A. Theoretical investigations of leaf stripper heads of roots. *Zemes ukio inženeriia, mokslo darbais/Agricultural Engineering, Research Papers*. 2013. V. 45 (2). P. 46–53.
12. Булгаков В.М., Борис А.М., Борис М.М. Дослідження розподілення висоти виступання головок коренеплодів буряків цукрових над поверхнею ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 5. С. 41–44.
13. 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. <https://doi.org/10.15159/AR.19.132>
14. Ihnatiev Ye. Theoretical substantiation of topping parameters without sugar beet head copying. *IV International scientific Congress «Agricultural machinery»*. Varna. 2016. Is. 18 (181). V. 1. P. 55–58.