

RESEARCH OF SUGAR BEET HAULM CUTTING PROCESS

I. Tsiz*, S. Khomych, A. Vakulyuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Sugar beet is an important technical crop for Ukraine. Sugar beet is grown on an area of about 1 million hectares in Ukraine. In today's economic conditions, large agricultural enterprises use high-performance automotive harvesters to harvest sugar beet roots. For the needs of small and medium-sized farms, there is almost no supply of new equipment for harvesting this crop. Analysis of well-known research scientists in the field of sugar beet harvesting indicates that their main focus is to find ways to resolve the technical contradiction, which is to copy the height of the sugar beet roots above the field surface in sugar beet haulm toppers that cut the sugar beet haulms with a solid horizontal rotor at least 4 rows. At the same time, there are no technical and theoretical justifications that would radically resolve such a contradiction. During the analysis of technological operations of sugar beet harvesting, in particular sugar beet haulm cutting, a number of parameters were identified, the impact of which on the energy of the cutting process requires research. The article presents a functional scheme of a trailed beet harvester that does not require copying the height of the root heads above the field surface for quality cutting of the sugar beet haulms. In order to verify the operability of the proposed scheme, a laboratory installation was made to study the cutting process of the sugar beet haulms. A method for studying the torque spent on the cutting process has been developed. This technique is based on the use of mathematical method of experiment planning. Based on the results of the experiment, a regression equation was obtained that reveals the effect on the dimension of the cutting torque the maximum diameter of sugar beets, the angle of the beet axis and the gap between the plane of the knife and the lower edge of the pulley. Response surfaces were constructed to analyze the regression equation of cutting process. As a result of generalization, recommendations are given.

Key words:

sugar beet haulm,
sugar beet haulm cutting process,
sugar beet haulm topper,
sugar beet diameter,
torque of cutting

Article history:

Received 10.11.2021
Accepted 12.12.2021

***Corresponding author:**

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.653

To cite this article:

Tsiz, I., Khomych, S., & Vakulyuk, A. (2021). Research of sugar beet haulm cutting process. *Agricultural Machines*, 47, 87-94. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.653>

УДК 631.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗРІЗУВАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКА

І.Є. Цизь*, С.М. Хомич, А.Т. Вакулюк

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

АНОТАЦІЯ

Цукрові буряки є важливою для України технічною культурою. В Україні цукровий буряк вирощується на площах близько 1 млн га. У сьогоднішніх умовах господарювання великі аграрні підприємства використовують для збирання коренеплодів цукрового буряка високопродуктивні самохідні комбайни. Для потреб невеликих та середніх фермерських господарств практично відсутня пропозиція нової техніки для збирання цієї культури. Аналіз відомих досліджень вчених у галузі збирання цукрових буряків вказує, що основним їх спрямуванням є пошук шляхів вирішення технічного протиріччя, яке полягає у необхідності копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля у машинах, які здійснюють зрізування гички суцільним горизонтальним ротором, мінімум над 4-ма рядками. Разом із тим, відсутні технічні та теоретичні обґрунтування, які б дозволяли кардинально розв'язати це протиріччя. Під час аналізу технологічних операцій збирання цукрового буряка, зокрема зрізування гички, було виокремлено низку параметрів, вплив яких на енергетику процесу зрізування вимагає дослідження. У статті представлено функціональну схему причіпного бурякозбирального комбайна, який не вимагає копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля для якісного зрізування гички. З метою перевірки роботоздатності запропонованої схеми комбайна виготовлено лабораторну установку для дослідження процесу зрізування гички з коренеплодів. Розроблено методика дослідження крутного моменту, що необхідний для процесу зрізування. Методика базується на математичному методі планування експерименту. На основі результатів експерименту отримано рівняння регресії, яке розкриває вплив на величину крутного моменту зрізування максимального діаметру коренеплодів, кута нахилу осі коренеплодів та зазору між площиною ножа і нижньою кромкою брального шківів. За результатами дослідження запропоновані рекомендації.

Ключові слова:

гичка цукрового буряка,
процес зрізування гички,
гичкозрізувач,
діаметр цукрового буряка,
крутний момент зрізування

Історія публікації:

Отримано 10.11.2021

Затверджено 12.12.2021

*Автор для листування:

tsizigor@lutsk-ntu.com.ua

DOI: 10.36910/acm.vi47.653

Цитувати цю статтю:

Цизь, І. Є., Хомич, С. М., & Вакулюк, А. Т. (2021). Дослідження процесу зрізування гички коренеплодів цукрового буряка. *Сільськогосподарські машини*, 47, 87-94. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.653>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Цукрові буряки є основною сировиною в Україні для виробництва цукру, тому віднесені до групи технічних культур. Останніми роками в Україні цукровий буряк вирощується на площах близько 1 млн га.

У сьогодишніх умовах господарювання великі аграрні підприємства використовують для викопування коренеплодів цукрового буряка самохідні комбайни із шириною захвату 6 і 12 рядків. Найбільш поширеними є високопродуктивні комбайни Hollmer Terra Dos, Matrot M 41, Grimme Maxtron 6-20, Vervaet Beet Eater, Moreau Voltra 6-24, ROPA Tiger 6. Проте, для потреб невеликих та середніх фермерських господарств на сьогодні майже відсутні пропозиції нової техніки для викопування коренеплодів цукрового буряка. Тому у багатьох господарствах застосовується ручне збирання або бувша у використанні закордонна техніка.

Українськими вченими постійно ведуться дослідження процесів збирання цукрового буряка, зокрема зрізування гички. Значний внесок у теоретичні та експериментальні дослідження зробили науковці Погорілий Л.В., Татянюк Н.В., Хелемендик М.М., Булгаков В.М., Гевко Р.Б., Мартиненко В.Я., Барановський В.М. та інші (Барановський та ін., 2014; Булгаков, 2009; Гевко, 1999; Мартиненко, 2000; Погорілий та ін., 1983; Хелемендик, 2001).

В останнє десятиріччя з'явилася низка нових досліджень збирання цукрових буряків. Ігнат'єв (2016) зазначає, що при здійсненні зрізування гички з головок цукрового буряка з індивідуальним копіюванням та збиранням зрізаної маси з кожної головки коренеплоду істотно знижується продуктивність роботи гичкозбиральної машини та ускладнюється конструкція гичкозрізувального апарату, також зростають експлуатаційні витрати. Науковцем отримано графічну залежність, яка дозволяє провести оцінювання втрат цукросировини за різної висоти встановлення пристрою для безкопійного зрізування. З її аналізу можна зробити висновок, що за висоти 40–45 мм втрати цукросировини прямують до нуля, але разом із коренеплодами збирається до 4 т/га гички, що забруднює сировину.

Результати експериментальних досліджень гичкозбирального агрегату, що представлені у науковій праці (Булгаков & Ігнат'єв, 2018),

дозволили отримати емпіричну модель процесу зрізування гички у вигляді рівняння регресії. На основі аналізу цієї моделі авторами встановлено, що найбільший вплив на масу залишків гички на коренеплоді має висота зрізування, а найменший – швидкість обертання ротора. Крім того, встановлено діапазони раціональних значень висоти зрізування, швидкості руху машини та ротора.

Важливу роль в якісному зрізуванні гички відіграє закономірність розподілу висоти голівок коренеплодів над поверхнею поля. Дослідження цього розподілу представлено у праці (Адамчук та ін., 2019). Вченими встановлено відповідність цього природного процесу нормальному закону розподілу. Також встановлено, що у цьому випадку математичне сподівання становить 40–60 мм, а середньо-квадратичне відхилення – 20–30 мм. Крім того, автори зазначають, що ці польові дослідження створили передумови для розроблення нової системи автоматичного копіювання висоти зрізування гички, яка мінімізує втрати цукрової сировини.

На основі проаналізованих досліджень можна зробити висновок, що основним їх спрямуванням є пошук шляхів вирішення технічного протиріччя, яке полягає в необхідності копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею поля у машинах, котрі здійснюють зрізування гички суцільним горизонтальним ротором, мінімум над 4-ма рядками. Разом із тим, відсутні технічні та теоретичні обґрунтування, які б дозволяли розв'язати це протиріччя.

Для вирішення зазначеного технічного протиріччя пропонується нова конструкція причіпного бурякозбирального комбайна із пристроєм для виймання (брання за гичку) підкопаних коренеплодів та зрізування гички. Цей комбайн обладнується вібруючими лівим та правим полицевими копаками, завдяки дії яких відбувається звільнення коренеплодів від утримуючої дії ґрунту та підіймання над його поверхнею (рис. 1). Далі здійснюється брання коренеплодів за гичку шляхом їх затискання у зазорі між бральним пасом та бральним шківом. На наступному етапі відбувається зрізування гички із мінімальною кількістю коренеплоду та її вкладання у валок за ходом комбайна. Паралельно із цим коренеплоди буряка без гички очищуються від ґрунту та завантажуються у бункер.

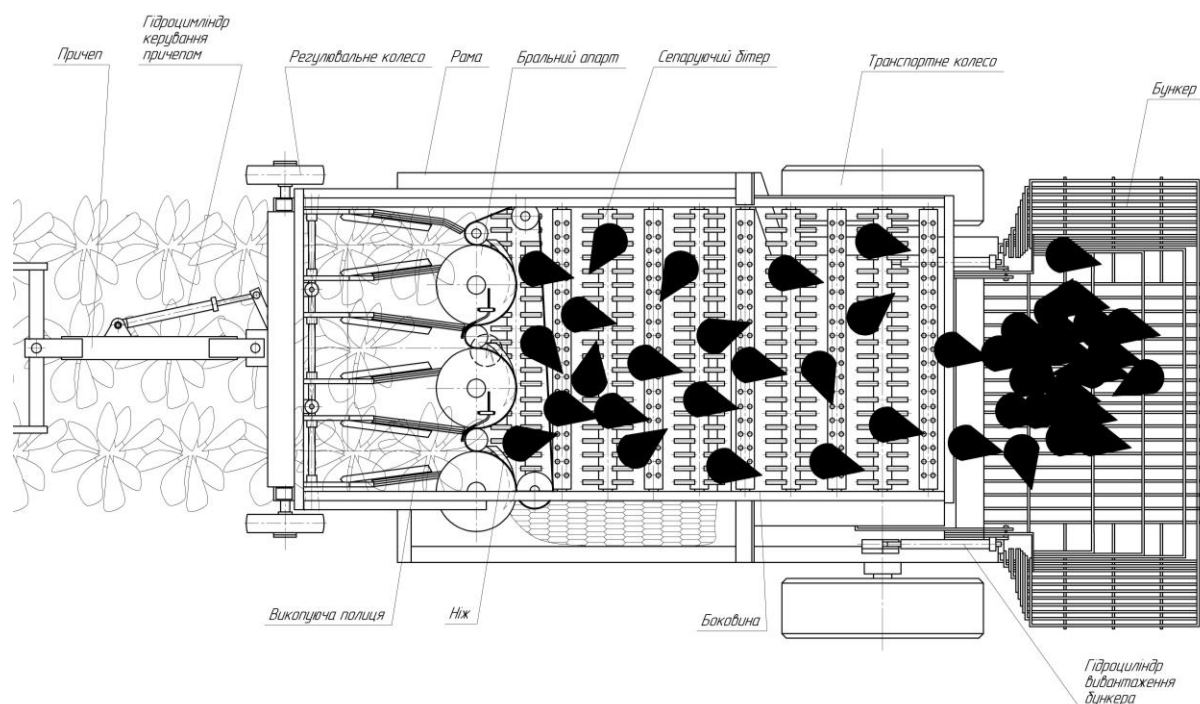


Рис. 1 – Функціональна схема причіпного бурякозбирального комбайна

Мета дослідження – дослідження зусилля зрізування гички із коренеплодів цукрового буряка пристроєм, який не вимагає копіювання висоти розташування головок коренеплодів над поверхнею ґрунту.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Із метою перевірки роботоздатності схеми запропонованого бурякозбирального комбайна було виготовлено лабораторну установку для дослідження процесу зрізування гички на коренеплодах (рис. 2). Установка містить зварену раму, на якій болтовим з'єднанням закріплено пасивний ніж. До рами також прикріплено обертову вісь, де розташовано бральний шків. На шківі закріплено відрізок брального паса, до якого, у свою чергу, теж болтовим з'єднанням прикріплено другий відрізок паса. До центральної частини шківів прикріплена тяга, яка, у свою чергу, з'єднана із динамометром. Завдяки відкручуванню гайок болтового з'єднання є можливість швидкого демонтажу правої частини відрізка брального паса. В отриманому зазорі розташовувалася гичка коренеплоду буряка та проводилося її защемлення пасом. Для прикладання до брального шківів крутного моменту на нього намотується гнучка тяга, яка з'єднана із динамометром. Зміна робочого зазору між бральними пасами здійснювалася шляхом

переставляння одного із пасів за допомогою виконаних у ньому отворів. Необхідність змінювання робочого зазору між бральними пасами була обумовлена проведенням досліджень із коренеплодами різного діаметру.

Під час аналізу технологічних операцій збирання буряка, зокрема зрізування гички, було виокремлено низку параметрів, вплив яких на енергетику процесу зрізування вимагає дослідження. Відповідно до представлених міркувань була складена програма досліджень, якою передбачено визначити вплив на зусилля зрізування гички трьох факторів: середнього діаметра коренеплоду; зазору між ножем та нижньою кромкою брального шківів; кута нахилу осі коренеплоду відносно осі брального шківів. В якості характеристики зусилля визначався крутний момент, що необхідний для зрізування гички.

Із метою зміни зазору між нижньою кромкою брального шківів, а отже і нижньою точкою затискання гички у бральних пасах, та площиною пасивного ножа в розробленій установці передбачена можливість вкладання регульовальних шайб між пасивним ножем та рамою установки. Положення пасивного ножа за максимального зазору продемонстровано на рис. 2, б. Величину зазору між бральним шківом та ножем контролювали за допомогою штангенциркуля ШЦ-1-200.

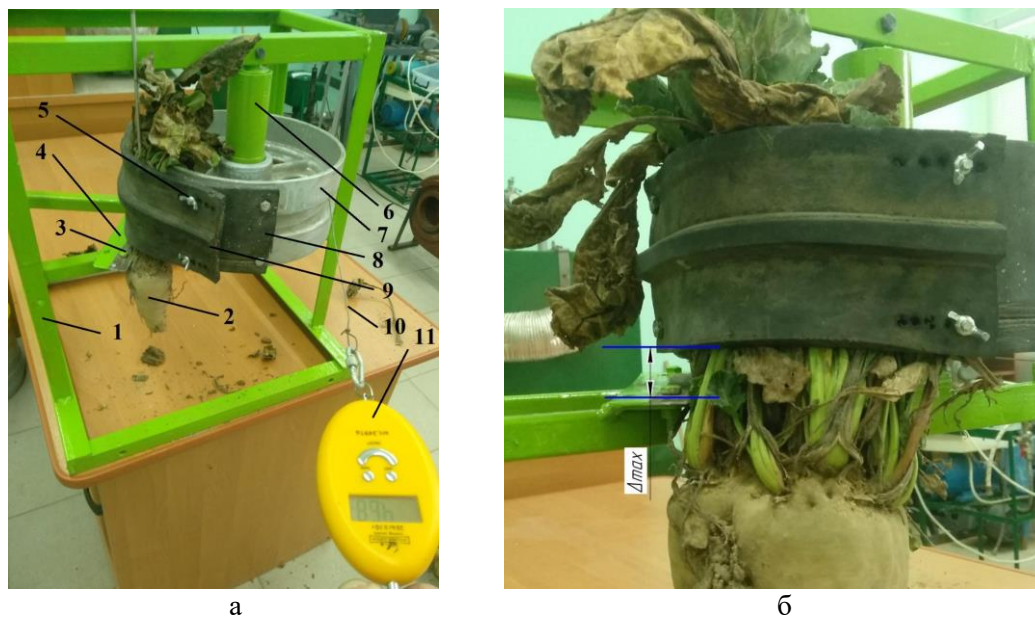


Рис. 2 – Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження процесу зрізування гички з коренеплідів цукрового буряка (а) та зображення встановлення зазору між площиною ножа і нижньою кромкою брального шківів (б):

1 – рама; 2 – коренеплід; 3 – болт регульовальний; 4 – пасивний ніж; 5 – гайка притискна, 6 – вісь; 7 – бральний шків; 8, 9 – бральний пас; 10 – тяга; 11 – електронний динамометр

З метою встановлення коренеплоду на заданий кут відхилення його осі від осі бральних шківів використовувалися металевий стержень, що слугував продовженням умовної осі коренеплоду, та додатково виготовлені кутові шаблони (рис. 3).

Відповідно до методики одним із досліджуваних факторів, вплив якого на зусилля зрізування гички досліджувався на установці, був діаметр коренеплідів буряка. Не зважаючи на високу ступінь однорідності розмірів коренеплідів цукрового буряка сучасних сортів, все ж на різних полях та за різної агротехніки вирощування наявні окремі розмірні групи коренеплідів.

Саме тому було вирішено зупинитися на розмірних групах із середніми значеннями максимального діаметру коренеплідів: 80 мм; 120 мм; 160 мм (рис. 4). Оскільки в природних умовах коренеплоди не формуються із точно заданими розмірами, тому до цих груп під час дослідження включалися коренеплоди із відхиленням від середнього значення ± 5 мм.

Діаметр коренеплоду буряка визначали за максимальним розміром перерізу. Спочатку цей переріз визначався візуально, а потім проводилися вимірювання із використанням штангенциркуля ШЦ-1-200 до отримання

максимального із можливих значень, за яким і робили висновок щодо належності буряка до певної розмірної групи.

Коренеплід встановлювали в установці шляхом розташування його гички у зазорі між бральними пасами та здійснювали попереднє загвинчування гайок болтового з'єднання. Із використанням зроблених шаблонів (рис. 3, б) встановлювали кут нахилу осі коренеплоду (шляхом суміщення із шаблоном металевого стержня) та остаточно затягували гайки і перевіряли надійність затискування коренеплоду.

За допомогою динамометра через тягу переміщували коренеплід у зону дії ножа та за рахунок збільшення прикладеного до динамометра зусилля досягали зрізування гички з коренеплоду (рис. 2). У процесі зрізування фіксували максимальне значення досягнутого зусилля зрізування. За отриманим значенням максимального зусилля зрізування розраховували максимальний крутний момент зрізування гички:

$$M_{кр} = \frac{P_{\max} D_{ш}}{2g}; \quad (1)$$

де P_{\max} – максимальне зафіксоване за показами динамометра зусилля зрізування гички, кГс;

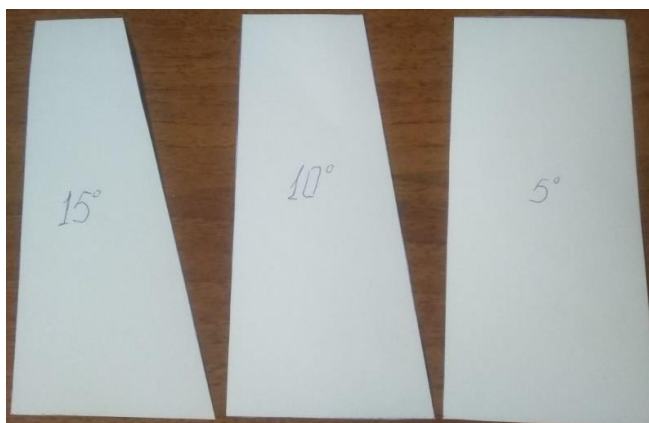
$D_{ш}$ – діаметр брального шківa у місці кріплення тяги ($D_{ш} = 0,34$ м), м; g – прискорення вільного падіння, m/s^2 .

Із використанням описаного обладнання і методики проведено дослідження крутного моменту, що необхідний для зрізування гички із коренеплодів. Дослідження реалізоване на основі математичного методу планування

експерименту із використанням плану експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку (Мельников та ін., 1980; Новик & Арсов, 1980). При формуванні таблиці факторів (таблиця) та встановленні рівнів їх варіювання були враховані результати пошукових досліджень, а також результати досліджень машин для збирання цукрового буряка.



а



б

Рис. 3 – Пристосування для встановлення коренеплоду цукрового буряка на заданий кут відхилення його осі від осі брального шківa:
а – металева вісь; б – кутові шаблони



Рис. 4 – Фото розмірних груп коренеплодів, що досліджувалися

Таблиця – Фактори і рівні варіювання

Рівні та інтервал варіювання факторів	Фактори		
	Максимальний діаметр коренеплоду D , мм	Зазор між ножем та нижньою кромкою брального шківa h , мм	Кут нахилу осі коренеплоду α , град
	x_1	x_2	x_3
Верхній (+1)	160	20	15
Основний (0)	120	15	10
Нижній (-1)	80	10	5
Інтервал варіювання	40	5	5

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Оброблення експериментальних даних здійснено на ПК у середовищі MathCAD. Однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки виконується умова $G^{розр.} = 0,171 < G^{табл.}(0,05;15;2) = 0,335$, то процес відтворюється. Для встановлення довірчого інтервалу коефіцієнтів рівняння регресії використовували критерій Стюдента, табличне значення якого для випадку 5%-рівня значущості і числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1 = 2$ становить $t = 4,3$ (Новик & Арсов, 1980). На основі встановлених довірчих інтервалів та коваріацій здійснювали перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Незначущим виявився лише коефіцієнт парної взаємодії між другим та третім факторами, тобто зазором між ножем і нижньою кромкою браального шківів та кутом нахилу осі коренеплоду відносно осі браального шківів. Із урахуванням зазначеного, отримаємо:

$$y = 9,367 + 8,254x_1 + 4,517x_2 + 3,879x_3 + 2,417x_1x_3 + 4,192x_1^2 + 2,483x_2^2 - 1,092x_3^2. \quad (2)$$

Перевірку гіпотези щодо адекватності рівняння регресії (2) проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію становило $F^{розр.} = 14,834$, а табличне значення критерію за прийнятого рівня значущості (Новик & Арсов, 1980):

$$F^{табл.}(0,05;f_2;f_1) = 19,33; \quad (3)$$

де f_2 – число ступенів вільності дисперсії неадекватності; f_1 – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки для критерію виконується умова $F^{розр.} = 14,834 < F^{табл.}(0,05;f_2;f_1) = 19,33$, то гіпотеза адекватності отриманого рівняння регресії підтверджується.

Тоді рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді матиме вигляд:

$$M = 68,677 - 0,8364D - 4,421h + 0,1992\alpha + 0,01954Dh + 0,012085D\alpha + 0,00262D^2 + 0,09932h^2 - 0,04368\alpha^2. \quad (4)$$

За рівнянням регресії (4) були побудовані поверхні відгибу, що представлені на **рис. 5**, які дозволяють провести оцінювання впливу досліджуваних факторів на максимальний крутний момент зрізування гички цукрового буряка.

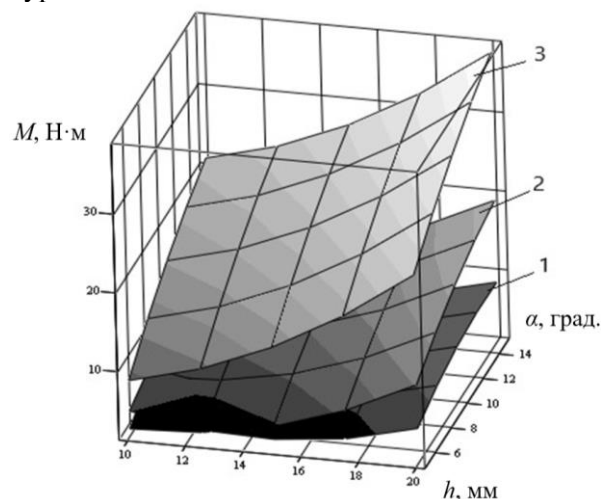


Рис. 5 – Поверхні відгибу $M = f(h, \alpha)$ за різних максимальних діаметрів коренеплодів цукрового буряка:
1 – $D = 80$ мм; 2 – $D = 120$ мм; 3 – $D = 160$ мм

ВИСНОВКИ

Аналіз рівняння регресії у кодованих факторах (2) та поверхні відгибу (**рис. 5**) дозволяє зробити висновок про те, що усі вибрані фактори є значущими та їх збільшення призводить до зростання крутного моменту, необхідного для зрізування гички. Зважаючи на те, що зменшення максимального діаметру коренеплоду буряка обмежене природними факторами та прагненням до максимальної урожайності, то мінімізувати енергетичні затрати можна шляхом зменшення зазору між площиною ножа та нижньою площиною браального шківів до 10–15 мм, а також прийняттям кута встановлення браального апарату, який пов'язаний із кутом між віссю коренеплоду та віссю браального шківів, у межах 5–10 град. Необхідно зазначити, що зменшення зазору між площиною ножа та нижньою кромкою браального шківів призведе до зростання довжини залишків гички на коренеплоді і, особливо, бічних листків гички на коренеплодах діаметром понад 120 мм. Недолік може бути усунутий встановленням додаткового ножа із більшим зазором і дією лише на бічні листки гички.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Адамчук, В. В., Булгаков, В. М., Головач, І. В., Ігнат'єв, Є. І., & Борис, А. М. (2019). Дослідження розподілення висоти виступання головок коренеплодів буряків цукрових над поверхнею ґрунту (*Experimental study of the statistical distribution of height of protrusion of beetroot heads above the soil surface*). *Вісник аграрної науки*, 12, 48-53. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-07>
- Барановський, В. М., Підгурський, М. І., Паньків, М. Р. та ін. (2014). *Основи розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин (Foundations of development of adapted transport and technological systems of root-harvesting machines)*. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя.
- Булгаков, В. М., & Ігнат'єв, Є. І. (2018). Результати експериментальних досліджень показників роботи гичкозбиральної машини для суцільного зрізу гички (*Results of experimental studies of operation indicators of beet tops harvesting machine for continuous cutting*). *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 8, 105-113.
- Булгаков, В. М. (2009). *Теорія свеклоуборочних машин (Theory of beet harvesters)*. Кировоград: «КОД».
- Гевко, Р. Б. (1999). *Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин (Substantiation of constructive-technological parameters of working bodies of beet harvesters)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. Національний аграрний університет, Київ.
- Ігнат'єв, Є. І. (2016). *Науково-технічне обґрунтування способів збирання гички цукрових буряків в сучасних умовах (Scientific and technical substantiation of harvesting sugar beet tops under modern conditions)*. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 3, 82-90.
- Мартиненко, В. Я. (2000). *Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин (Mechanical and technological bases of increase of efficiency of working bodies of tops-harvesting machines)* [Дисертація д-ра техн. наук]. ВАТ «Тернопільський комбайновий завод», Тернопіль.
- Мельников, С. В. и др. (1980). *Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов (Experiment planning in agricultural process research)*. Ленинград: Колос.
- Новик, Ф. С. & Арсов, Я. Б. (1980). *Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов (Optimization of metal technology processes by methods of planning experiments)*. Москва: Машиностроение; София: Техника.
- Погорелый, Л. В. и др. (1983). *Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет (Beet harvesters. Construction and calculation)*. Київ: Техніка.
- Хелемендик, М. М. (2001). *Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин (Directions and methods of development of working bodies of agricultural machines)*. Київ: Аграрна наука.