

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

УДК 640.511

Кваліфікаційна робота на правах  
рукопису

**МОЛІТВІН Іван Андрійович**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ  
ОЧИЩЕННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

---

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
к.т.н., Медведський О. В.

Житомир – 2021

## АНОТАЦІЯ

Молитвін І. А. **Обґрунтування параметрів конструкції обладнання для очищення плодоовочевої сировини.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021 р.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано конструкційно-технологічні рішення серійного обладнання для очищення плодів овочів, отримано знання щодо можливих шляхів покращення та запропоновано удосконалену конструкцію робочого органу очисника болгарського перцю.

Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення наукової та виробничої проблематики збільшення ефективності очистки плодів овочів, зокрема болгарського перця, отримано математичні залежності, які пов'язують фізико-механічні властивості плодів із конструкційними параметрами робочих органів.

У кваліфікаційній роботі доведено ефективність запропонованого удосконаленого робочого органу, встановлено вплив основних конструкційних параметрів та технологічних режимів роботи на енергетичну ефективність очисної машини.

**Ключові слова:** очищення овочів, форма плодів, сили взаємодії, кінематичні параметри, енергетика очистки

## ANNOTATION

Molitivin I. A. **Substantiation of Design Parameters of Equipment for Cleaning Fruit and Vegetable Raw Materials.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

The qualification work analyzes the design and technological solutions of serial equipment for cleaning fruits and vegetables, gained knowledge about possible ways to improve and proposed an improved design of the working body of the bell pepper cleaner.

Qualification work is aimed at solving scientific and industrial problems of increasing the efficiency of cleaning fruits of vegetables, including bell peppers, obtained mathematical dependences that link the physical and mechanical properties of fruits with the design parameters of the working bodies.

The qualification work proves the efficiency of the proposed improved working body, the influence of the main design parameters and technological modes of operation on the energy efficiency of the treatment machine.

**Key words:** cleaning of vegetables, shape of fruits, forces of interaction, kinematic parameters, energy of cleaning

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПЛОДІВ ОВОЧІВ .....	7
1.1. Аналіз технічних засобів для очищення плодовоовочевої продукції .....	7
1.2. Оцінка конструкційних особливостей робочих органів очисного обладнання .....	10
1.3. Висновки до розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ОЧИСНОЇ МАШИНИ .....	14
2.1. Встановлення геометричних параметрів різального робочого органу очисної машини .....	14
2.2. Дослідження взаємозв'язку форми плодів та геометрії робочого органу .....	16
2.3. Висновки до розділу 2 .....	21
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧОГО ОРГАНУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ .....	22
3.1. Встановлення впливу фізико-механічних властивостей перця на енергетичні параметри процесу очищення .....	22
3.2. Встановлення впливу конструкційно-геометричних параметрів робочого органу на ефективність очисного обладнання .....	24
3.3. Висновки до розділу 3 .....	26
ВИСНОВКИ .....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	29

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Перець солодкий, інша назва якого – болгарський перець на сьогодні займає чільне місце у раціоні людини. Особливістю даного продукту є можливість споживання як у свіжому так і у консервованому вигляді. Окрім цього, переробна галузь пропонує способи переробки солодкого перцю у висушеному або замороженому вигляді, широко використовуються напівфабрикати для закладів швидкого приготування їжі. Тому, перероблення перцю болгарського у великих масштабах для задоволення потреб споживачів є актуальним питанням.

Промислове перероблення перцю вимагає використання комплексних технологічних ліній, які реалізують наступні виробничі процеси: приймання сировини, проведення зовнішнього миття з наступним калібруванням, очищення від серцевини та хвостика, розрізання на частини та транспортування до систем подальшої обробки. Основним серед перерішених операцій, на нашу думку, є видалення плодоніжки та очищення від насіння. З цією метою промисловість, як вітчизняна так і закордонна, пропонує серійне технологічне обладнання різних типорозмірів.

Основним конструкційно-технологічним рішенням технічних засобів для очищення є використання обладнання карусельного типу. Принцип роботи полягає в тому, що за допомогою використання ручної праці кожен плід вкладається в окрему комірку, де фіксується. Комірки можуть бути вмонтовані у горизонтальному барабані, у столі який обертається навколо своєї осі або у поздовжньому транспортері. Далі йде операція розрізання плоду за допомогою ножів. Під час цієї операції відрізається плодоніжка з верхньою частиною плоду та видаляється насіння. Основним недоліком використання такого обладнання полягає у недостатній якості очищення від насіння, та принципові втрати сировини із-за значних обсягів відрізання стінки плодів. Окрім цього, неможливо отримати цілий очищений плід для виробництва популярного напівфабрикату – перець фарширований. Тому, пошук технічних рішень

підвищення ефективності очисного обладнання для отримання якісної сировини для виробництва напівфабрикатів є важливим науково-технічним та виробничим завданням.

**Мета і задачі досліджень.** Метою дослідження є підвищення ефективності обладнання для очистки болгарського перця за рахунок удосконалення різального пристрою.

Для досягнення поставленої мети підлягають вирішенню такі завдання:

- виконати аналіз функціонально-технологічних схем серійних машин для очистки перця болгарського;
- встановити основні напрямки покращення та удосконалення технології очистки болгарського перця від хвостика плодового та насіння;
- дослідити взаємозв'язок між параметрами геометричної форми перця болгарського з геометрією робочого органу та енергетикою процесу;
- дослідити параметри та встановити технологічну ефективність розробленого робочого органу пристрою для очистки перця болгарського.

**Об'єкт дослідження** – робочий орган пристрою для очистки перця болгарського.

**Предмет дослідження** – вплив конструкційних та кінематичних параметрів розробленого робочого органу на ефективність очистки.

**Методи досліджень.** Під час вирішення поставлених завдань на кваліфікаційну роботу було використано деякі положення з теорії математичного моделювання, застосовувались основні положення з теоретичної механіки та теорії машин і механізмів. Результатом теоретичних досліджень є встановлення математичних залежностей для визначення конструкційно-кінематичних та технологічних параметрів робочого органу удосконаленої машини для очистки перця болгарського.

Обробка та аналіз результатів досліджень здійснювалась з використанням теорії ймовірності, кореляційного та регресійного аналізу, використовувався програмний продукт Microsoft Excel.

**Апробація результатів роботи.** Результати пошукових та теоретичних досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на конференціях міжвузівських та міжнародній, відображені у наступних опублікованих працях:

1. Молітвін І. А. Сучасні питання очищення плодоовочевої продукції. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 37–39.

2. Медведський О. В., Молітвін І. А. Геометрично-параметрична оцінка процесу очищення плодів перцю. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 14–15.

3. Медведський О. В., Молітвін І. А. Встановлення геометричних параметрів різального робочого органу очисної машини. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 71–73.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел (20 найменувань), викладена на 30 сторінках комп'ютерного тексту, проілюстрована 12 рисунками.

# РОЗДІЛ 1

## ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПЛОДІВ ОВОЧІВ

### 1.1. Аналіз технічних засобів для очищення плодоовочевої продукції

Машина типу DSP-2P фірми TECNOCEAM (Італія) призначена для вирізання серцевини перця болгарського з одночасним видаленням хвостика та насіння (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Загальний вигляд машини та спосіб очищення перця болгарського машиною DSP-2P фірми TECNOCEAM (Італія) [1].

Принци роботи обладнання поданого на рис. 1.1. наступний. Перець завантажується вручну у спеціальний захватний пристрій, таким чином щоб корінчик був орієнтований донизу. Захватні пристосування можуть бути у вигляді пластикових стаканчиків, отримують рух від металевого модульного конвеєра, на якому вони розміщені.

Потім послідовно виконуються наступні операції:

- обертове лезо відрізає корінчик, який виступає вниз через центральний захоплюючий пристрій;
- ніж, отримуючи поступально-обертний рух, проникає всередину перця та відрізає сердечник, який падає донизу та видаляється за межі машини;
- відбувається розрізання перця на чотири частинки за допомогою поперечного ножа, що рухається зверху у низ.

Після завершення процесу в кінцевій частині модульного металевго конвеєра засувки перців знімаються із захватів за допомогою обертових щіток (див. рис. 1.1) і передаються до наступної машини на лінії. Вилучені сердечники виходять через спеціально передбачений вихідний бункер (у 2-рядній моделі) або збираються в сміттєвий шнек, розташований у нижній частині машини (у 4-рядній моделі).

Перевагами розглянутої машини, на думку виробника, є наступні:

- на 50-70 % скорочуються ручна праця;
- забезпечення точності та якості вирізання серцевини перця болгарського та видалення насіння;
- швидка заміна ріжучих компонентів та тривалий період їх експлуатації;
- операції з налаштування прості та зручні: можливість змінювати продуктивність машини з панелі керування, а також обробляти перець різного діаметру, просто розширюючи або зтягуючи плечі пластикових захватів;
- легкий доступ до внутрішніх компонентів для очищення та обслуговування.



Всі перелічені переваги дозволяють отримати досить високу продуктивність машини від 50 до 160 шт./хв., залежно від модифікації. При цьому конструкція захвату дозволяє використовувати перці із діаметром 80-100 мм з довжиною 100-180 мм [1].

Машина FTNON SPD фірми JBT FoodTech (Великобританія) призначена для видалення серцевини та насіння болгарського перця з мінімальними втратами сировини (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Загальний вигляд обладнання FTNON SPD фірми JBT FoodTech (Великобританія) [2].

Представлене (рис. 1.2) обладнання фірми JBT FoodTech відзначається високою продуктивністю (2000 шт./год) з розрахунку на одного оператора. У машині застосовується спеціальний утримуючий пристрій із автоматичним центруванням, що забезпечує надійне та точне фіксування перчини незалежно від її геометричних параметрів. Окрім цього, використовується автоматичний пристрій для визначення глибини вирізання серцевини, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність технологічного процесу [2].

Після очистки перчина може бути поділена на дві, чотири, шість або вісім частинок у поздовжньому напрямку, залежно від подальших потреб на виробництві. Маже використовуватися додаткова опція – використання чотирьох комірок в один ряд. Це дозволить удвічі підвищити продуктивність машини.

Сучасний дизайн обладнання (див. рис. 1.2) є привабливим для виробників продукції переробки перця болгарського.

Не дивлячись на високу якість отриманого кінцевого продукту розглянутому обладнанню притаманні спільні недоліки. Це, в першу чергу, використання ручної праці для вкладання перчин у комірки та необхідність їх правильної орієнтації. Іншим недоліком є недостатня продуктивність, оскільки вітчизняні виробники (АТ «КЕМЗ») пропонують обладнання із продуктивністю до 2000 кг/год [3], що значно перевищує досить дороговартісні закордонні машини.

## **1.2. Оцінка конструкційних особливостей робочих органів очисного обладнання**

Переважно в якості робочих органів обладнання для очистки плодоовочевої продукції залишаються пристосування у вигляді ножа з різним конструкційним виконанням різальної поверхні. На ефективність використання

обладнання незалежно від конструкційного виконання впливають наступні чинники [4, 5, 6, 7]:

- характер руху ножа та його спрямування;
- геометрична форма різальної поверхні;
- форма та геометрія плодів для очищення;
- фізико-механічні властивості плодоовочевої сировини.

Для збереження цілої форми, ножове обладнання для очистки плодів перця болгарського повинне мати трубчасту пряму або конічну циліндричну форму, можлива форма конічної фрези. Робочі різальні органи у вигляді конічної або прямолінійної чи трубки видаються найбільш прийнятними. Це зумовлено тим, що під час очищення перця наведена вище форма робочого органу забезпечує якісне відокремлення серцевини перчини від іншої його частини [5, 8, 9].

Робочі органи різання конічної форми, на відміну від трубчастих, забезпечують значно легше просування до середини корпусу перчини. Це можна пояснити тим, що за початком процесу надрізання перця, при наступному рухові у внутрішню порожнину ножа, конічний корпус робочого органу не тисне на стінки плоду, при цьому створюються умови його вільного вивільнення від серцевини. Використання конусної форми сприяє на початку процесу проникнення ножа забезпечити надійну взаємодію із плодом перця болгарського. Такий спосіб має широке застосування при використанні вакуумного пристосування для видалення насінника та очищення від насіння порожнини плоду перця. Ножі із конічною формою корпусної частини мають, як правило, однобічне загострення різальної кромки [5, 9, 10].

У більшості випадків використовують конічні або сферичні ножі з гладкою прямолінійною різальною кромкою. Така форма прийнятна для використання різальних операцій стосовно пластичних об'єктів. Саме така форма набула широкого використання для відокремлення частин плодоовочевої продукції котрі мають сферичну або циліндричну форму. При цьому лезо загострюють з вибором кутів діапазоні від 15 до 30 градусів. Деякі дослідники

[4, 10, 11] вказують на отримання якісного зрізу при використанні деякого оптимального співвідношення швидкості руху ножа та швидкості подачі від 30 до 50.

Незалежно від геометричної форми циліндричного корпуса робочого органу, може бути використано декілька варіантів типів ножів та виконань різальної кромки (рис. 1.3) [4, 5].

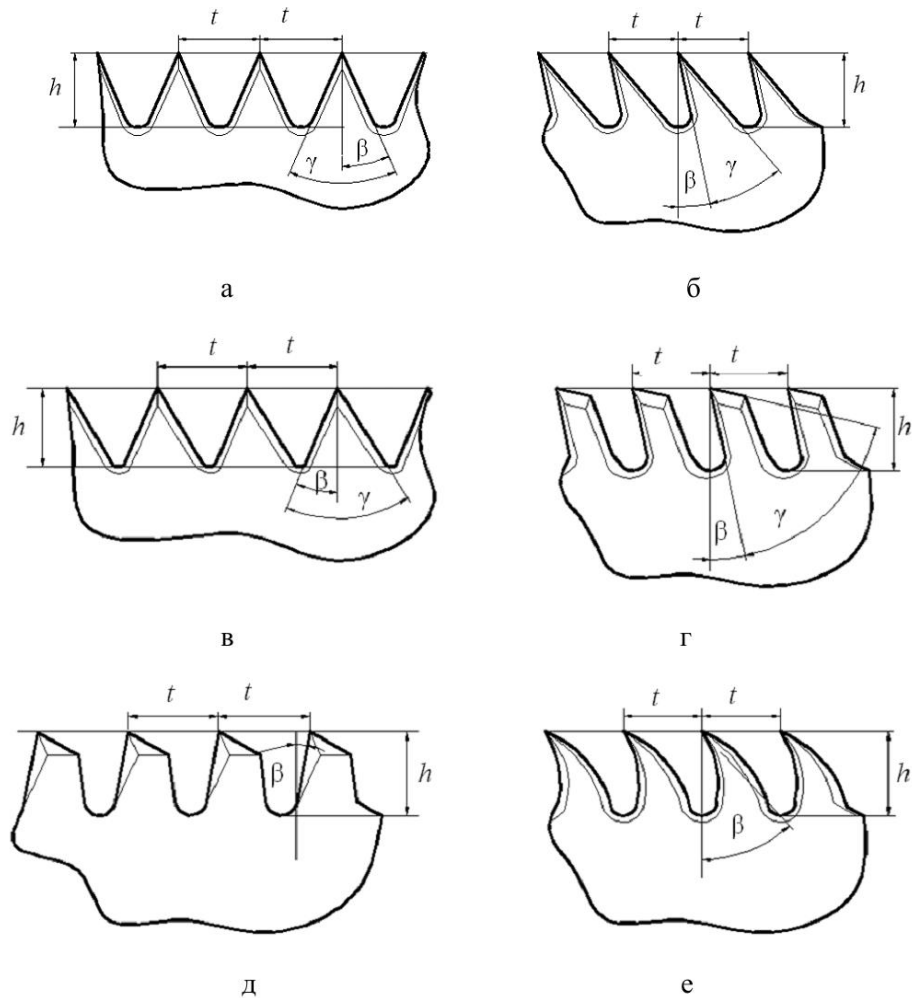


Рис. 1.3. Схеми зубів різальних кромки робочих органів очищення овочів: а – рівносторонній трикутник; б – нахилені зуби із ефектом самоврізування; в – нерівносторонній трикутник; г – призматичні зуби із похилою спинкою для забезпечення ефекту самоврізування; д – зуби із двогранною ріжучою кромкою; е – загнуті у дугу зуби із ефектом самоврізування;  $h$  – розмір за висотою,  $t$  – відстань між вершинами зубів,  $\beta$  – величина переднього кута зуба,  $\gamma$  – величина заднього кута зуба [4, 5].

Запропоновані форми ножової поверхні робочого органу муть використовуватись для очистки переважного переліку плодоовочевої продукції, зокрема для перця болгарського.

### **1.3. Висновки до розділу 1**

1. Очистка перця болгарського від серцевини та насіння є важливим технологічним процесом для подальшої переробки даного продукту. Для реалізації такого процесу машинобудівна промисловість пропонує комплексні машини, які видаляють серцевину перця разом із хвостиком та насінням шляхом розрізання перчини на частини.

2. Виконано аналіз робочих органів серійних машин для очистки перця болгарського від серцевини. Встановлено, що основним робочим органом є прямолінійний ніж лезо якого виконано у вигляді зубів різної форми. Але використання прямолінійних робочих органів не дозволяє отримати цілу перчину із видаленою серцевиною для виробництва напівфабрикату «фарширований перець». У зв'язку із чим рекомендується удосконалити технологічний процес очистки перця болгарського шляхом розробки робочого ножового органу у формі циліндра.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ОЧИСНОЇ МАШИНИ

#### 2.1. Встановлення геометричних параметрів різального робочого органу очисної машини

Робочі органи машини для очистки перця болгарського працюють при взаємодії із його поверхнею шляхом розрізання верхньої частини [12, 13, 14, 15, 16]. При цьому важливою є інформація щодо геометричних параметрів – форма, розмір та товщина стінки перця (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Параметри форми та розмірів сортів перця [12]

Сорти	Геометрична форма	Розмір, мм		Товщина стінки, мм
		висота	діаметр	
Вестерн	подовжена піраміда	140-142	81-85	5-7,5
Первісток Сибіру	піраміда	89-101	50-56	4-4,5
Жовтий дзвін	піраміда	87-97	63-68	4,5-5,5
Жовтий дощ	конусоподібна	96-109	45-51	3,5-5,5
Міраж	конусоподібна	101-111	57-62	5-6
Помаранчеве диво	конусоподібна	97-99	56-60	3,5-5
Вестерн	усічена піраміда	111-121	76-81	6,5-8
Болгарський 79	усічена піраміда	90-101	77-79	6,5-7,5
Червоне чудо	усічена піраміда	118-129	46-55	7,5-8,5
Віні-Пух	куляста	82-91	52-54	5,5-7
Колобок	куляста	66-86	58-63	4,5-5,5

Як видно із таблиці 2.1, плоди перця болгарського залежно від сорту відрізняються своїми геометричними формами та розмірами [13, 17, 18]. Відповідно до вказаних параметричних особливостей плоду перця, враховуючи рекомендації [14], об'єм поверхні стінок можна визначити наступним чином:

$$V = Z \cdot b, \quad (2.1)$$

де  $b$  – середня товщина стінок плодів перця, м;

$Z$  – відносний розмір плодів перця, м<sup>2</sup>.

$$Z = h_p \cdot d_p, \quad (2.2)$$

де  $h_p$  – висота плоду перця, м;

$d_p$  – максимальний діаметр плоду перця, м<sup>2</sup>.

Взаємозв'язок відносного розміру перця ( $Z$ ) та товщини його стінки відображено на рис. 2.1 [15].

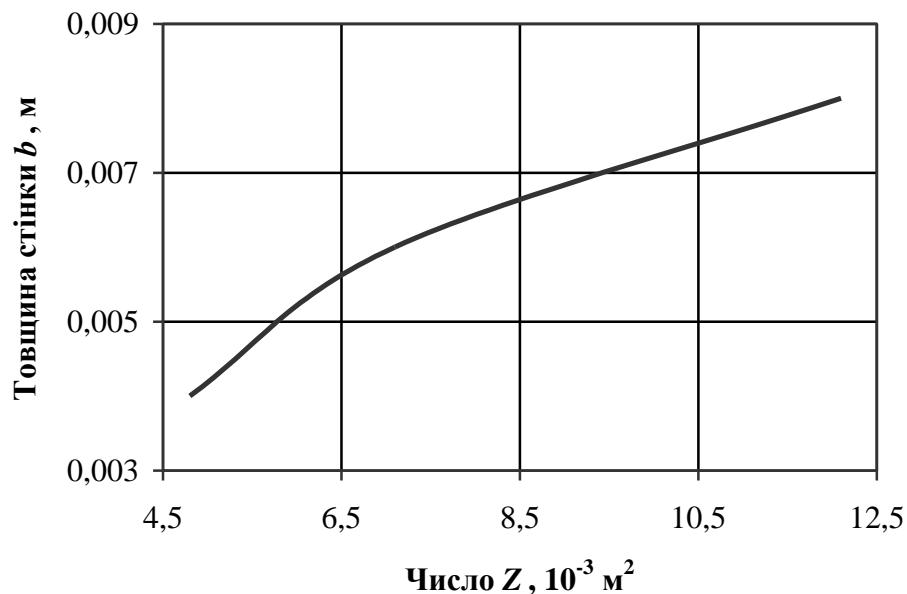


Рис. 2.1. Вплив параметра відносного розміру перця ( $Z$ ) від товщини його стінки

Кожний сорт перця відрізняється як геометричними параметрами так і формою, тому доцільно в майбутніх розрахунках користуватись поняттям відносного розміру перця ( $Z$ ). Як видно із графічної залежності на рис. 2.1, більшому відносному розміру перцю відповідає більша товщина його стінок, що є логічним. Тому даний параметр буде мати вплив на встановлення енергетичного та силового аналізу під час технологічного процесу розрізання для видалення серцевини перця.

## 2.2. Дослідження взаємозв'язку форми плодів та геометрії робочого органу

Відповідно до викладеного, геометричні параметри перця болгарського мають впливати на параметри робочого органу, наприклад, конструкційний діаметр ножа (рис. 2.2).

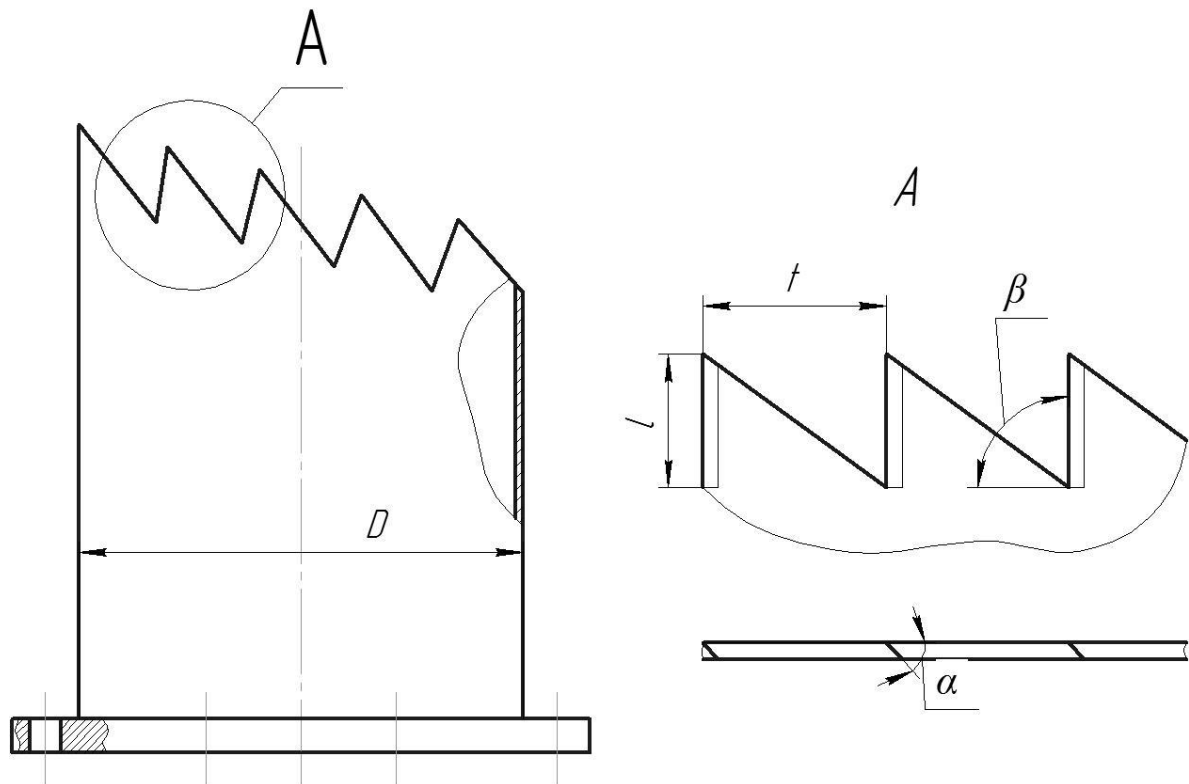


Рис. 2.2. Схема робочого органу для очистки перця болгарського



Більшість дослідників [8, 9] основними чинниками, котрі мають значний вплив на процес розрізання плодів перцю солодкого, вважають конструкційно-геометричні параметри робочого різального органу; товщину різального леза; довжину різальної частини у ножі; кількість різальних елементів та відстань між ними.

В загальному, аналогічно до відомих досліджень [8, 19, 20], математичний запис сили розрізання ( $F$ ) плоду перця болгарського за умови відомих кутів установки та загострення різальної частини робочого органу можна подати у наступному вигляді:

$$F = f( E_p, l, V, D, k_g ), \quad (2.3)$$

де  $E_p$  – модуль пружності стінок перця, Па;

$l$  – довжина різальної частини зуба ножа, м;

$V$  – об'єм порожнини плоду перця, м<sup>3</sup>;

$D$  – діаметр робочого органу (див. рис. 2.2), м;

$k_g$  – коефіцієнт геометрії перця.

Коефіцієнт геометрії перця болгарського визначається як відношення його об'єму до об'єму циліндра у який він вписаний. На даний коефіцієнт не буде впливати геометрична форма перця, тому його значення буде притаманне конкретному сорту, що значно спрощує подальші розрахунки.

Використовуючи теорію подібності можна встановити сили які визначають процес різання

$$\frac{F}{E_p D^2} = 0,012 \left( \frac{l}{D} \right)^{-1,24} \left( \frac{Z \cdot b}{D^3} \right)^{0,082} k_g^{0,53} \quad (2.4)$$

Відповідно до отриманого рівняння (2.4), найбільший вплив на силову характеристику процесу розрізання серцевини перця є його фізико-механічні параметри та геометрія робочої частини ножа (рис. 2.3).

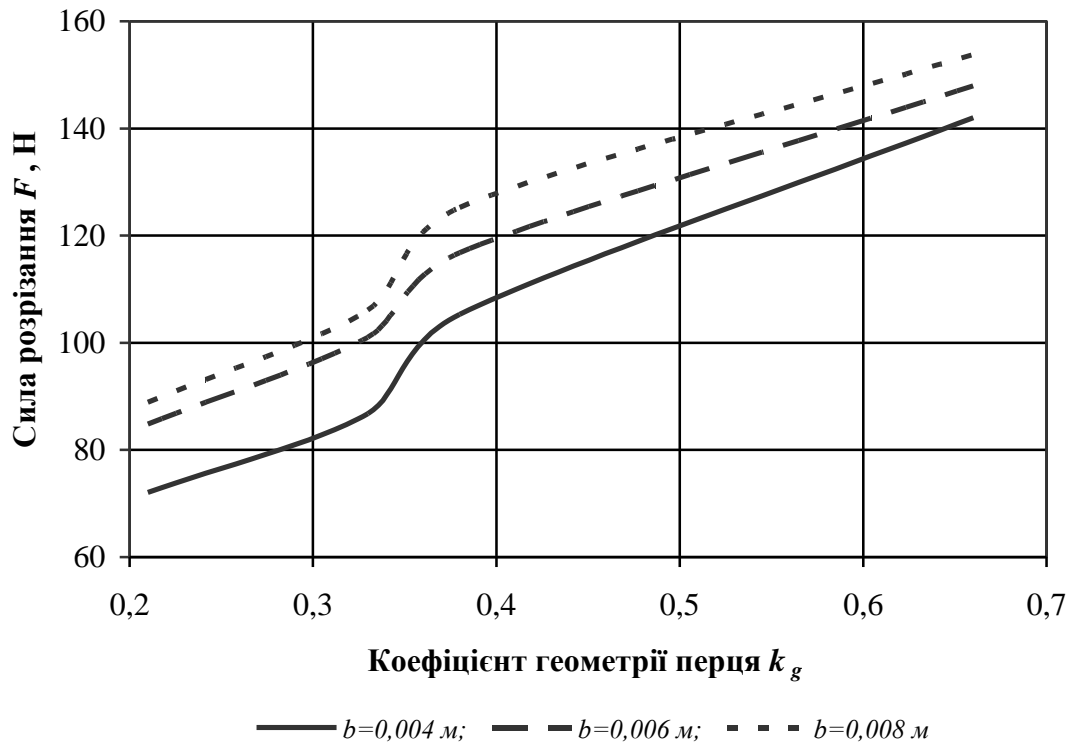


Рис. 2.3. Графічна залежність сили розрізання ( $F$ ) від коефіцієнта геометрії ( $k_g$ ) перця при відомій величині товщини його стінок ( $b$ ) за умови довжини різальної частини зуба  $l=17$  мм.

Відповідно до графічних залежностей (рис. 2.3), можна сказати, що зі збільшенням товщини перця від 4 до 8 мм зростають сили розрізання на 12–17 Н незалежно від коефіцієнта геометрії. В свою чергу, більшій товщині стінок перця відповідає більше значення відносного розміру перця ( $Z$ ), що впливає на зростання сили розрізання, відповідно до рівняння (2.4).

При збільшенні коефіцієнта геометрії перця від 0,21 до 0,66 сили розрізання серцевини також збільшуються, але нерівномірно. Так, в короткому діапазоні величин  $k_g=0,21-0,36$  сила розрізання збільшується нелінійно на 33–36 Н, а в довшому діапазоні величин  $k_g=0,36-0,66$  сила розрізання збільшується лінійно на 31–36 Н у досліджуваному діапазоні товщини стінок перця. Таким чином, для розрізання перця болгарського сферичноподібної форми ( $k_g=0,66$ ) необхідно розвивати найбільшу силу, що в кінцевому результаті впливатиме на енергетику технологічного процесу.

Гострота зуба ножа також впливає на рівень витрат енергії залежно від прикладеної сили на розрізання (рис. 2.4), тому залежність (2.4) необхідно доповнити даним параметром:

$$\frac{F}{E_p D^2} = 0,012 \left( \frac{l}{D} \right)^{-1,24} \left( \frac{Z \cdot b}{D^3} \right)^{0,082} k_g^{0,53} \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha_n} \right)^{0,26}, \quad (2.5)$$

де  $\alpha$  – гострота леза зуба робочого органу, град;

$\alpha_n$  – номінальна ефективна гострота леза зуба робочого органу, рекомендується [14] приймати  $\alpha_n = 15^\circ$ .

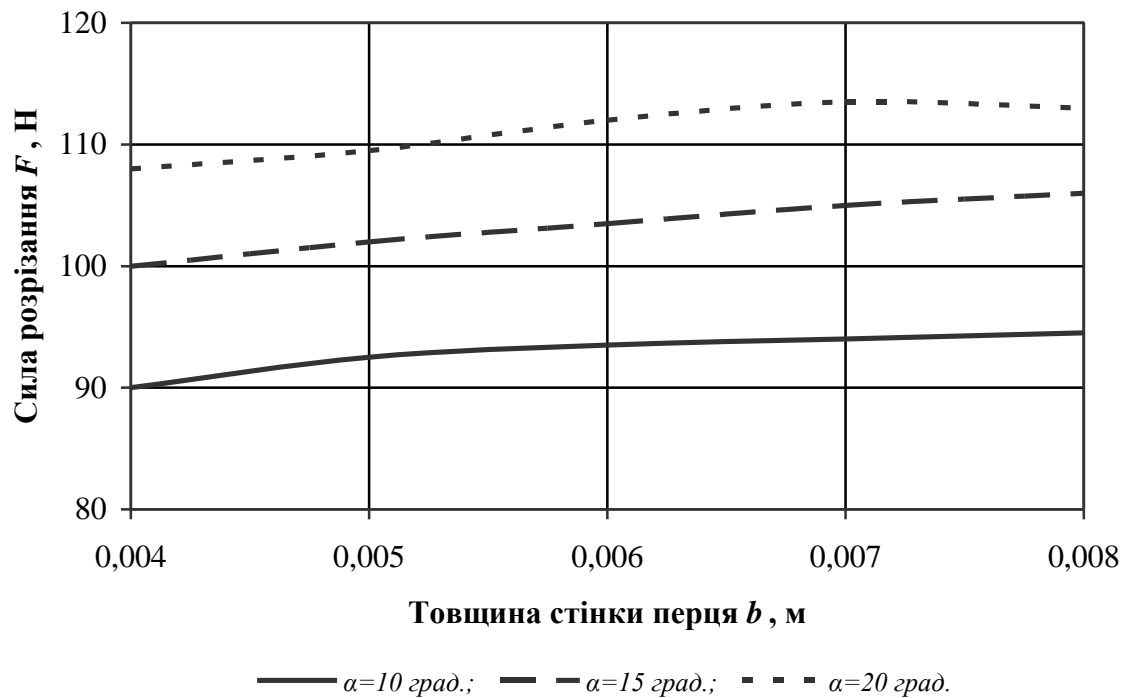


Рис. 2.4. Графічна залежність сили розрізання ( $F$ ) від товщини його стінок ( $b$ ) при коефіцієнті геометрії ( $k_g=0,40$ ) перця та відомій величині гостроти різальної частини зуба ( $\alpha$ ).

Відповідно до графічних залежностей, поданих на рис. 2.4, зі збільшенням товщини стінок перця від 4 до 8 мм сила розрізання зростає несуттєво, лише на 4,5–5 % у досліджуваному діапазоні гостроти різальної

частини зуба ( $\alpha=10-20^\circ$ ). Але, при збільшенні величини гостроти різальної частини зуба від  $10$  до  $20^\circ$  сила розрізання зростає на  $19,5-20\%$  незалежно від товщини стінок перця. Це вказує на значно суттєвіший вплив даного параметру на енергетику технологічного процесу вирізання серцевини перця болгарського.

Отримана аналітична залежність (2.5) дозволяє оцінити вплив діаметра циліндричного робочого органу на прикладені сили для видалення серцевини перця болгарського (рис. 2.5).

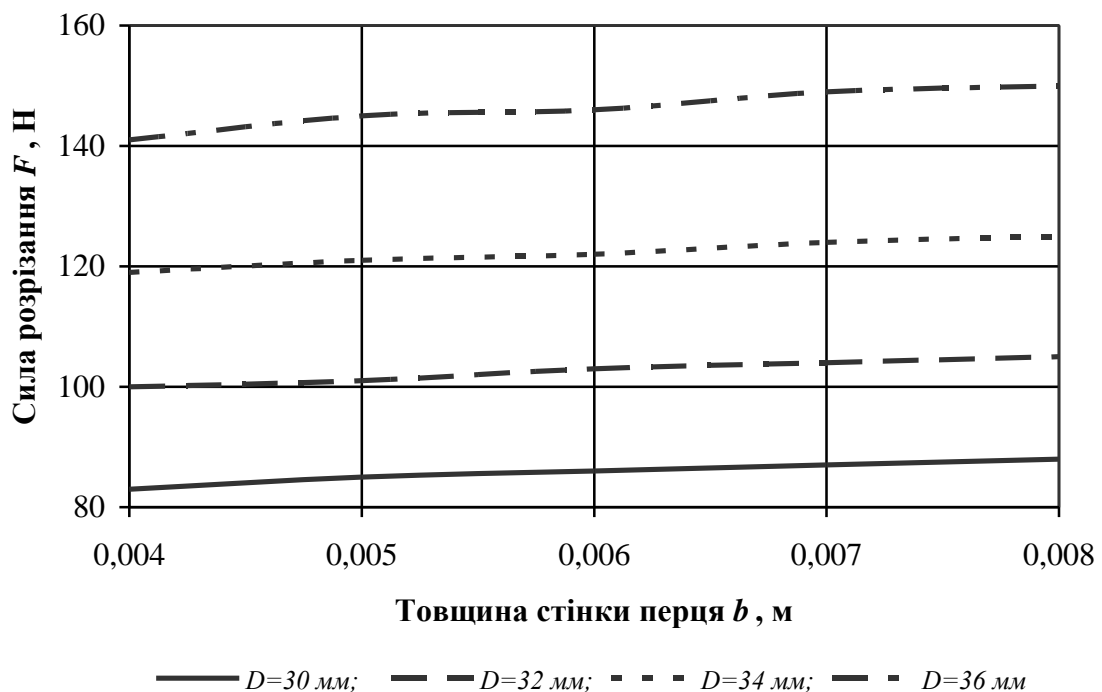


Рис. 2.5. Графічна залежність сили розрізання ( $F$ ) від товщини його стінок ( $b$ ) та геометричного діаметра робочого органу ( $D$ ).

Відповідно до отриманих графічних залежностей (рис. 2.5), на силу розрізання стінки перця болгарського суттєвий вплив має діаметр робочого органу. Так, при збільшенні діаметра від  $30$  до  $36$  мм прикладені сили для вирізання серцевини перця зростають на  $65\%$ . Збільшення товщини стінки перця від  $4$  до  $8$  мм дає несуттєвий приріст сил розрізання, лише  $6,5\%$ . Отже,

використання робочого органу з меншим діаметром більш прийнятне з точки зору енергетичної ефективності технологічного процесу.

### 2.3. Висновки до розділу 2

1. Кожний сорт перця відрізняється геометричними параметрами та зовнішньою формою, тому для майбутніх розрахунків запровадили поняття такі як відносний розмір перця ( $Z$ ) та коефіцієнті геометрії ( $k_g$ ) перця. Встановлено, що більшому відносному розміру перця відповідає більша товщина його стінок, а тому цей параметр має вплив на силову оцінку енергетики видалення серцевини перця.

2. Встановлено, що збільшення товщини перця від 4 до 8 мм вимагає збільшення сили розрізання на 12–17 Н, незалежно від коефіцієнта геометрії. Доведено, що зростання величини коефіцієнта геометрії перця від 0,21 до 0,66 призводить до збільшення сили розрізання серцевини на 33–36 Н. Визначено, що для очистки від серцевини перця болгарського сферичноподібної форми необхідно до робочого органу прикладати найбільшу силу.

3. Визначено, що при збільшенні величини гостроти різальної частини зуба робочого органу від 10 до 20° прикладена сила вирізання серцевини зростає на 19,5–20 %, незалежно від товщини стінок перця. При цьому, збільшення товщини стінок у двічі спонукає до збільшення сили розрізання лише на 5 %, що вказує на несуттєвий вплив даного параметра на енергетичну ефективність технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧОГО ОРГАНУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ

#### 3.1. Встановлення впливу фізико-механічних властивостей перця на енергетичні параметри процесу очищення

За результатами проведених досліджень отримали рівняння регресії, яке пов'язує прикладену силу для вирізання серцевини перця болгарського із його фізико-механічними властивостями та геометричними параметрами (рис. 3.1):

$$F = -28,06 + 13,02Z + 258,64k_g - 0,57Z^2 - 2,12Zk_g - 103,99k_g^2, \quad (3.1)$$

де  $Z$  – відносний розмір плодів перця,  $m^2$ ;

$k_g$  – коефіцієнт геометрії перця.

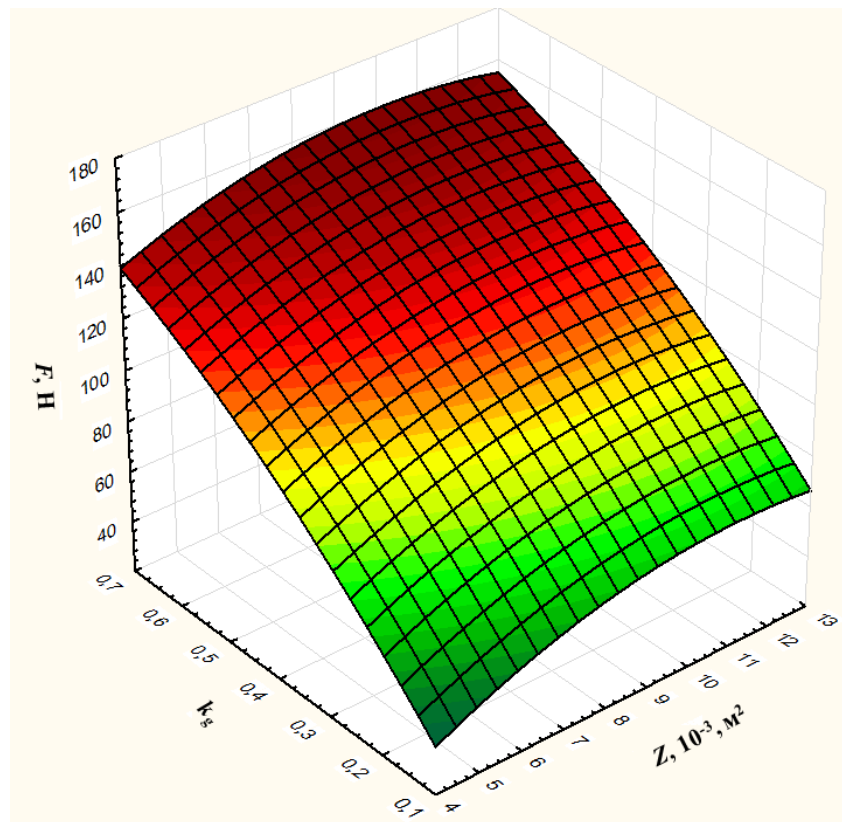


Рис. 3.1. Поверхня відгуку залежності сили розрізання ( $F$ ) від коефіцієнта геометрії ( $k_g$ ) перця та величини його відносного розміру перця ( $Z$ ).

Відповідно до отриманої поверхні (рис. 3.1), сили які витрачаються на вирізання серцевини перця болгарського суттєво зростають зі збільшення коефіцієнта геометрії перця.

В процесі досліджень встановлено рівняння регресії, яке дозволяє пов'язати необхідні для розрізання сили та геометричні параметри робочого органу (рис. 3.2):

$$F = 261,58 + 15,57Z - 19,51l - 0,504Z^2 - 0,24Zl + 0,395l^2, \quad (3.2)$$

де  $l$  – довжина різальної частини зуба ножа, м.

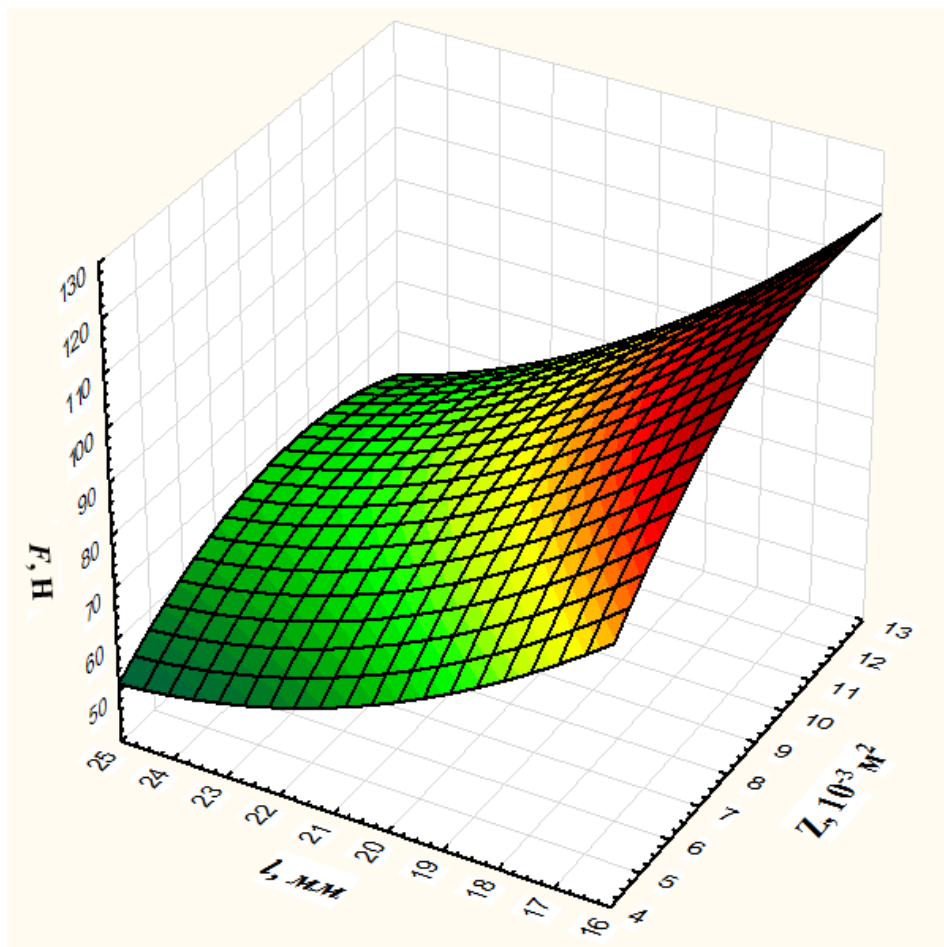


Рис. 3.2. Поверхня відгуку залежності сили розрізання ( $F$ ) від величини відносного розміру перця ( $Z$ ) та довжина різальної частини зуба ножа ( $l$ ).

Сила розрізання (рис. 3.2) серцевини за допомогою циліндричного робочого органу зростає при зменшенні довжини різальної частини зуба та збільшенні величини відносного розміру перця. Максимальна прикладена сила ( $F=118$  Н) спостерігається при максимальному із досліджуваних даних значенні відносного розміру перця ( $Z=12,5 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>).

### 3.2. Встановлення впливу конструкційно-геометричних параметрів робочого органу на ефективність очисного обладнання

Геометричні параметри запропонованого робочого органу мають суттєвий вплив на прикладену силу розрізання серцевини перця (рис. 3.3–3.4).

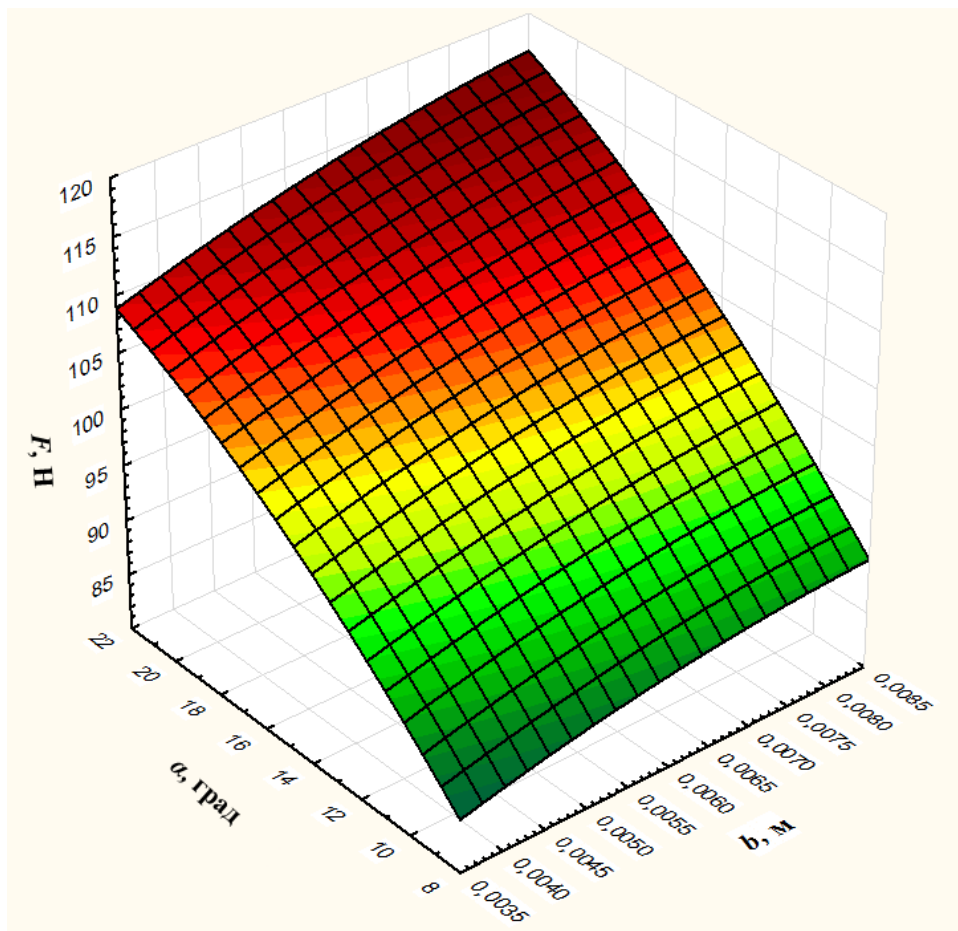


Рис. 3.3. Поверхня відгуку залежності сили розрізання ( $F$ ) від товщини стінок ( $b$ ) та відомій величині гостроти різальної частини зуба ( $\alpha$ ).



Рівняння регресії відповідно до поверхні відгуку на рис. 3.3. має вид:

$$F = 55,13 + 2700b + 3,02\alpha - 0,016b^2 + 40b\alpha - 0,048\alpha^2. \quad (3.3)$$

За умови використання робочого органу із мінімальним серед досліджуваних (див. рис. 3.3) значень гостроти різальної частини зуба ( $\alpha$ ) спостерігається найменша необхідна прикладена сила для вирізання серцевини перця болгарського. Так, при збільшенні загостреності зуба від  $\alpha=20^\circ$  до  $\alpha=10^\circ$ , сила розрізання зменшується на 12–15 %. Зменшення товщини стінок перця несуттєво впливає на зниження сили різання (5–6 %).

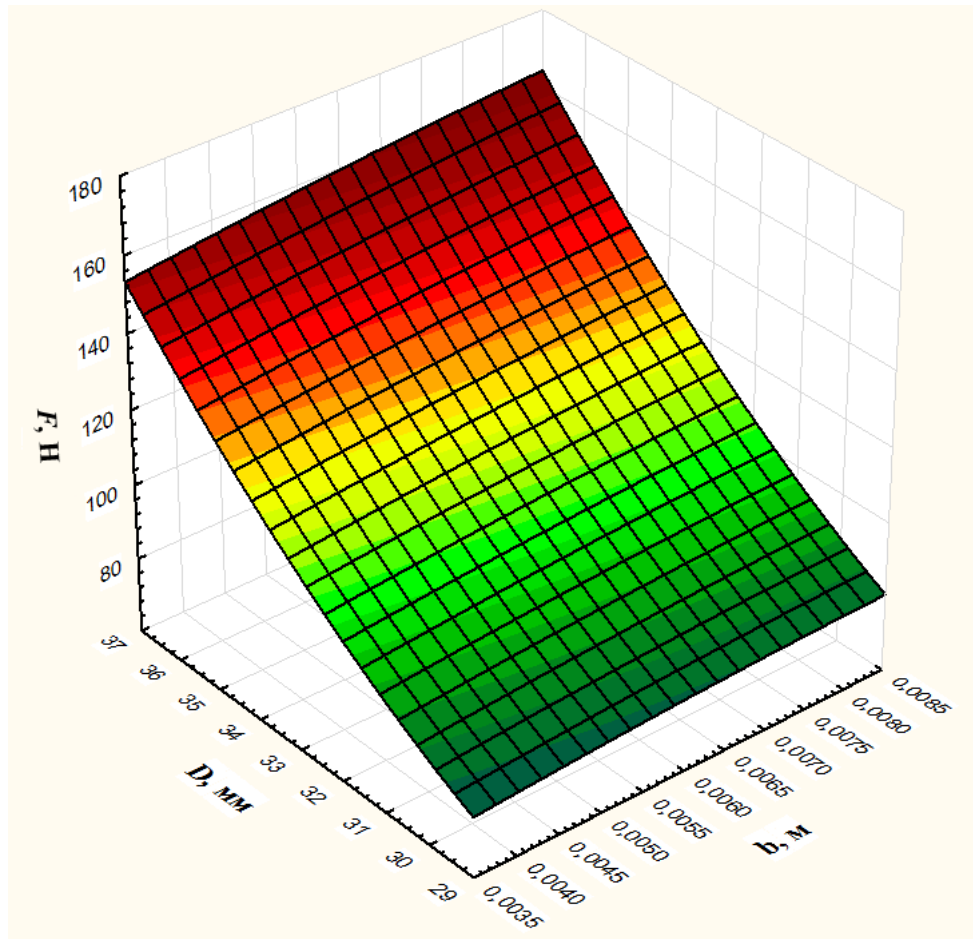


Рис. 3.4. Поверхня відгуку залежності сили розрізання ( $F$ ) від товщини стінок ( $b$ ) та геометричного діаметра циліндричного робочого органу ( $D$ ).

Аналіз поверхні відгуку на рис. 3.4. дозволив отримати рівняння регресії взаємозв'язку геометричних параметрів перця болгарського із силою розрізання:

$$F = 288,2 - 2015,71b - 20,62D - 0,0014b^2 + 160bD + 0,45D^2. \quad (3.4)$$

Відповідно до поверхні відгуку на рис. 3.4, сила розрізання перця знижується зі зменшенням діаметра робочого органу. Так, при використанні розробленого ножового циліндричного робочого органу із діаметром 30 мм прикладена сила розрізання знижується на 60–65 %, порівняно із діаметром 36 мм.

### 3.3 Висновки до розділу 3

1. Отриманні рівняння регресії дозволяють встановити взаємозв'язок між прикладеною силою вирізання серцевини перця болгарського та його фізико-механічними властивостями та геометричними параметрами. Встановлено, що величину сили вирізання серцевини перця суттєво впливає коефіцієнт геометрії перця.

2. Встановлено рівняння регресії, яке дозволяє пов'язати необхідні для розрізання сили та геометричні параметри робочого органу. Так, сила розрізання серцевини за допомогою циліндричного робочого органу зростає при зменшенні довжини різальної частини зуба та збільшенні величини відносного розміру перця. Спостерігається максимальне значення прикладеної сили розрізання при максимальному значенні відносного розміру перця.

## ВИСНОВКИ

1. Очистка перця болгарського від серцевини та насіння є важливим технологічним процесом для подальшої переробки даного продукту. Для реалізації такого процесу машинобудівна промисловість пропонує комплексні машини, які видаляють серцевину перця разом із хвостиком та насінням шляхом розрізання перчини на частини.

2. Виконано аналіз робочих органів серійних машин для очистки перця болгарського від серцевини. Встановлено, що основним робочим органом є прямолінійний ніж лезо якого виконано у вигляді зубів різної форми. Але використання прямолінійних робочих органів не дозволяє отримати цілу перчину із видаленою серцевиною для виробництва напівфабрикату «фарширований перець». У зв'язку із чим рекомендується удосконалити технологічний процес очистки перця болгарського шляхом розробки робочого ножового органу у формі циліндра.

3. Встановлено, що сорти перця відрізняється геометричними параметрами та зовнішньою формою. З цією метою для зручності розрахунків запровадили деякі поняття: відносний розмір перця ( $Z$ ); коефіцієнти геометрії ( $k_g$ ) перця. Встановлено, що більшому відносному розміру перця відповідає більша товщина його стінок, а тому цей параметр має вплив на силову оцінку енергетики видалення серцевини перця.

4. Доведено необхідність збільшувати силу розрізання на 12–17 Н при збільшенні товщини перця від 4 до 8 мм, незалежно від коефіцієнта геометрії. Збільшення величини коефіцієнта геометрії перця від 0,21 до 0,66 призводить до нелінійного збільшення сили розрізання серцевини на 33–36 Н. Визначено, що для очистки від серцевини перця болгарського сферичноподібної форми необхідно до робочого органу прикладати найбільшу силу.

5. Визначено, що при збільшенні величини гостроти різальної частини зуба робочого органу від 10 до 20° прикладена сила вирізання серцевини зростає на 19,5–20 %, незалежно від товщини стінок перця. Встановлено, що

збільшення товщини стінок у двічі спонукає до збільшення сили розрізання лише на 5 %, що вказує на несуттєвий вплив даного параметра на енергетичну ефективність технологічного процесу.

6. Отриманні рівняння регресії дозволяють встановити взаємозв'язок між прикладеною силою вирізання серцевини перця болгарського та його фізико-механічними властивостями та геометричними параметрами. Встановлено, що величину сили вирізання серцевини перця суттєво впливає коефіцієнт геометрії перця.

7. Встановлено рівняння регресії, яке дозволяє пов'язати необхідні для розрізання сили та геометричні параметри робочого органу. Так, сила розрізання серцевини за допомогою циліндричного робочого органу зростає при зменшенні довжини різальної частини зуба та збільшенні величини відносного розміру перця. Спостерігається максимальне значення прикладеної сили розрізання при максимальному значенні відносного розміру перця.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машина для вырезания сердцевин болгарского перца : веб-сайт. URL : <https://www.tecnoceam.com/>
2. Sweet Pepper Decorer : веб-сайт. URL : <https://www.jbtc.com/foodtech/products-and-solutions/products/peelers-corers-decorers/sweet-pepper-decorer/>
3. Линия по переработке салатного перца V-SN производства АО «КЭМЗ» : веб-сайт. URL : [https://kemz.com.ua/liniya\\_pererabotki\\_perza\\_v\\_sn.html](https://kemz.com.ua/liniya_pererabotki_perza_v_sn.html)
4. Гончаренко Г. М., Дуб В. В. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв : довідник. К. : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
5. Молітвін І. А. Сучасні питання очищення плодоовочевої продукції. *Наукові читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 37–39.
6. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Цьонь О. П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288 с.
7. Подпряттов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : навч. посібник. К.: Вища освіта, 2004. 272 с.
8. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підруч. / І. С. Гулий, М. М. Пушанко, А. О. Орлов та ін. ; за ред. І. С. Гулого. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
9. Зберігання і переробка продукції рослинництва. / Г. І. Подпряттов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. К.: Мета, 2002. 495 с.
10. Машини та обладнання переробних виробництв / Дацішин О. В. та ін. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.

11. Дацишин О. В. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції. К.: Мета, 2003. 288 с.
12. Характеристика сортів перцю солодкого : веб-сайт. URL : <https://u.sadfans.ru/rizne/7137-harakteristika-sortiv-percju-solodkogo.html>
13. Медведський О. В., Молітвін І. А. Встановлення геометричних параметрів різального робочого органу очисної машини. *Студентські читання–2021* : матеріали науково-практичної конференції. 15 листопада 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 71–73.
14. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. / П. С. Бернік, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук та ін. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2004. 336 с.
15. Медведський О. В., Молітвін І. А. Геометрично-параметрична оцінка процесу очищення плодів перцю. *Біоенергетичні системи* : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: Поліський національний університет, 2021. Том 3. С. 14–15.
16. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : навч. посіб / за ред. В. Г. Мирончук. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
17. Загальна технологія харчових виробництв у прикладах і задачах / Л. Л. Товажнянський, С. І. Бухкало, П. О. Капустянка, Є. І. Орлова. К.: Центр навчальної літератури, 2005. 496 с.
18. Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв: лабораторний практикум для студентів інженерних спеціальностей / І. М. Бендера, О. Я. Стрельчук, О. М. Семенов, М. М. Борис, В. В. Підлісний; за ред. І. М. Бендери. Кам'янець-Подільський: Вид-во «Абетка», 2007. 204 с.
19. Павловський М. А. Теоретична механіка. Київ : Техніка, 2002. 510 с.
20. Кіницький Я. Т., Харжевський В. О., Марченко М. В. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посіб. Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. 324 с.