

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**ШЕЇНА АЛІНА ВІКТОРІВНА**



УДК 631.361.8-047.58(043)

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ РОСЛИННОЇ  
СИРОВИНИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ  
ОВОЧЕРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донецькому національному університеті економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гуць Віктор Степанович,**  
Київський національний університет культури і мистецтв, професор кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Сухенко Юрій Григорович,**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України, завідувач кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК

кандидат технічних наук, доцент  
**Батраченко Олександр Вікторович,**  
Черкаський державний технологічний університет, доцент кафедри проектування харчових виробництв та верстатів нового покоління

Захист відбудеться «20» березня 2019 р. об 10<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.058.02 Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «14» лютого 2019 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д.26.058.02,  
к.т.н., доцент



С.І. Літвинчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Різання, як один з технологічних процесів обробки харчових продуктів, широко застосовується в різних галузях промисловості: харчовій, овочепереробній, консервній та ін. Аналіз інформаційних джерел з теорії і практики різання рослинної сировини виявив багато розбіжностей та неточностей щодо вибору розрахункових величин та раціональних параметрів процесу, відсутність загальної теорії, яка пояснює якісні і кількісні закономірності різання рослинних матеріалів, охоплює, в повному об'ємі, всі фактори впливу, необхідні для повномірної і адекватної оцінки процесу.

Виконаний аналіз технічного рівня і якості сучасного овочерізального устаткування дозволив встановити інтервали робочих швидкостей різання, які застосовуються в овочерізках продуктивністю до 900 кг/год, призначених для експлуатації підприємствами ресторанного господарства і харчової промисловості, але встановлено, що в зазначеному інтервалі 0,4 м/с – 1,25 м/с відсутні дані щодо структурно-механічних властивостей овочевої сировини, які, в свою чергу, залежать від фактору швидкості та здійснюють вагомий вплив на енерговитрати при різанні. Це обумовило потребу в проведенні комплексних досліджень різання рослинної сировини з урахуванням факторів впливу.

Відсутність методики визначення якісних показників подрібненого продукту обумовила необхідність її розробки та всебічного аналізу факторів, які впливають на якість нарізки.

Одними із шляхів удосконалення овочерізального обладнання є підвищення його продуктивності та функціональності, зниження собівартості за рахунок розробки нових конструкцій ріжучих пристроїв, з урахуванням рекомендацій щодо розрахунку, конструювання та обрання раціональних параметрів різання, що обумовлює напрям цієї наукової роботи, обґрунтовуючи її актуальність та перспективи впровадження.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського за держбюджетними темами: Д-2002-4 «Інтенсифікація робочих процесів та поліпшення експлуатаційних характеристик обладнання харчових виробництв і громадського харчування» (держреєстрація № 0106U012557), Д-2009-3 «Науково-технічні засоби удосконалення характеристик обладнання» (держреєстрація №0108U011130), Д-2011-3 "Розробка науково-технічних основ створення та удосконалення конструкції технологічного обладнання підприємств харчування" (держреєстрація № 0110U006773).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є наукове обґрунтування вибору ефективних параметрів різання овочевої сировини на основі моделювання її реологічних властивостей, встановлення закономірностей процесу різання в'язко-пружних дисперсних систем

пластинчастим ножом, розробка і удосконалення конструкцій ріжучих пристроїв.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- виконати аналіз технічного рівня та якості сучасного овочерізального устаткування з метою виявлення недоліків і пошуку нових конструктивних рішень;

- розробити методики проведення досліджень і створити експериментальні установки для їх здійснення;

- провести дослідження різання рослинної сировини, її структурно-механічних властивостей, визначити фактори впливу на них режимів деформування;

- виконати комплексне дослідження процесу різання овочевої сировини з урахуванням різних груп факторів впливу, отримати багатфакторні моделі та визначити енергетичні параметри деформування в'язко – пружних реологічних систем;

- розробити методику визначення якості нарізки та провести відповідні дослідження;

- надати практичні рекомендації щодо вибору раціональних параметрів процесу та розрахункових величин модулів пружності, коефіцієнтів тертя та питомих зусиль різання з урахуванням фактору швидкості та показників якості нарізки;

- надати нові технічні рішення з удосконалення овочерізального обладнання, здійснити впровадження результатів досліджень на підприємствах харчової промисловості.

*Об'єкт дослідження* – процес різання овочевої сировини пластинчастим ножом.

*Предмет дослідження* – структурно-механічні властивості рослинної сировини, параметри процесу різання овочів, овочерізальне устаткування харчових виробництв.

**Методи дослідження.** Поставлені завдання вирішувалися з використанням математичного і фізичного моделювання. Експериментальні дослідження проводилися за розробленими методиками на створених експериментальних установках, які дозволяють моделювати процеси, що відбуваються в реальних овочерізальних машинах. Обробка експериментальних даних здійснювалася за допомогою методів математичної статистики із використанням професійного програмного забезпечення.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- виконано математичне моделювання різання рослинної сировини з урахуванням енерговитрат на деформування шару продукту при різних швидкостях, умовах різання, структурно-механічних властивостях сировини (пружність, в'язкість);

- визначено вплив швидкості руху леза на енерговитрати при різанні овочевої сировини в інтервалі швидкостей  $0,4 \leq v \leq 1,25$  м/с, який характерний для овочерізального обладнання;

- отримано багатофакторні моделі визначення питомих зусиль різання овочів та енерговитрат для різних умов взаємодії леза і сировини;
- отримала подальший розвиток теорія реології в'язко-пружних харчових структурованих дисперсних систем.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що:

- визначено розрахункові значення модулів пружності, коефіцієнтів тертя та питомих зусиль при різних швидкостях різання овочів;
- отримано та обґрунтовано інтервали швидкостей різання для овочів, відповідно до вимог якості нарізки;
- встановлено вплив терміну зберігання овочів та температурного режиму на модулі пружності та коефіцієнти тертя;
- розроблено методику оцінки якості різання, обґрунтовані показники якості;
- запропоновано нові конструкції різальних пристроїв для нарізки овочів скибочками з регульованою товщиною різання;
- розроблено конструкцію змінного пристрою для шаткування капусти, новизна технічного рішення захищена деклараційним патентом на корисну модель № 81215;
- результати досліджень апробовано та впроваджено на підприємствах: СООО "КРАСА", ТОВ "Агро-Капітал", "Геліос-1".

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці методики експериментальних досліджень і установки для вивчення фрикційних властивостей овочевої сировини тензометричним методом; розробці методики і удосконаленні експериментального стенда для дослідження реологічних властивостей в'язко-пружних матеріалів; проведенні експериментальних досліджень; узагальненні і статистичній обробці отриманих результатів та здійсненні заходів щодо їх впровадження.

Разом з науковим керівником було реалізовано постановку задач, виконано теоретичні дослідження та узагальнено їх результати, отримано математичні моделі, підготовлено матеріали для публікації наукових статей.

**Апробація дисертаційної роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися на: щорічних науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу ДонНУЕТ в 2010-2013 роках; всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі» (м. Харків, 2013р.); міжнародних науково-практичних конференціях: "Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у 21 столітті" (м. Київ, 2018р.), «Якість і безпека харчових продуктів» (м. Київ, 2017р.), «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності» (м. Київ, 2017р.), «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі» (м. Київ, 2017р.), «Актуальні питання сучасної аграрної науки» (м. Умань, 2017р.), «Проблеми та перспективи розвитку української науки» (м. Вінниця, 2017р.); «Прогресивна техніка та технології

харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі» (м. Харків, 2012р.), Міжнародних науково-технічних конференціях «Техника и технология пищевых производств» (м. Могильов, Білорусь, 2011р., 2017р., 2018р.), «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (м. Мінськ, Білорусь, 2013р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 24 наукових працях, в тому числі: 8 наукових статей у фахових виданнях України, 3 статті в іноземних наукових виданнях, 12 тез доповідей на наукових конференціях, отримано 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури зі 199 найменуваннями, у тому числі 43 іноземних джерела і 7 додатків. Дисертація викладена на 230 сторінках: основна частина складає 157 сторінок, містить 50 рисунків і 19 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, наукову новизну, практичну цінність, зв'язок з науковими програмами, наведено відомості щодо апробації та практичної реалізації одержаних результатів.

У **першому розділі** проаналізовано основні закономірності механіки руйнування продукту, визначено характеристики рослинної сировини у якості об'єкту подрібнення, особливості конструктивного виконання сучасного овочерізального устаткування та робочих органів, проаналізовано основні фактори впливу на процес різання при подрібненні рослинної сировини.

Проаналізовано роботи з теорії реології та різання харчової сировини В.П. Горячкіна, П. О. Ребіндера, Ю. А. Мачихіна, Н. Є. Резніка, Б. А. Ніколаєва, А. Д. Паніна, Е. В. Островського, В. С. Горюшинського, В. І. Курдюмова, Ю.Г. Сухенка, В.С. Гуця, О.О. Губені, О.В. Батраченка, та ін. вчених.

На основі аналізу наукових досліджень зроблено висновок, що на енерговитрати при різанні здійснюють вагомий вплив фактор швидкості різання, структурно-механічні властивості сировини та конструкція леза, які, в свою чергу, здійснюють взаємовплив. Виявлено неузгодженість і протиріччя в теоретичних і експериментальних дослідженнях різних науковців відносно впливу структурно-механічних властивостей рослинної сировини та швидкості різання на енерговитрати при різанні, що обумовлене відмінністю завдань, методик, підходів і умов проведення досліджень та не дає можливості систематизувати ці данні відносно окремої групи овочів.

На основі аналізу технічного рівня і якості сучасного овочерізального обладнання встановлено інтервал швидкостей різання (від 0,4 м/с до 1,25м/с), який рекомендовано використовувати при проектуванні устаткування для

підприємств ресторанного господарства та харчової промисловості. Встановлено відсутність систематизованих даних щодо розрахункових величин структурно-механічних характеристик овочевої сировини у зазначеному інтервалі, що обумовлює необхідність комплексних досліджень різання овочевої сировини в умовах, наближених до реального технологічного процесу.

У другому розділі наведено методики та експериментальні установки для дослідження реологічних та фрикційних властивостей рослинної сировини, питомих зусиль та якості різання.

Розроблено методику дослідження реологічної поведінки зразків рослинної сировини та створено експериментальну установку, яка дозволяє здійснювати навантаження зразка продукту із заданою постійною швидкістю в умовах одноосьового стиснення (рис.1).

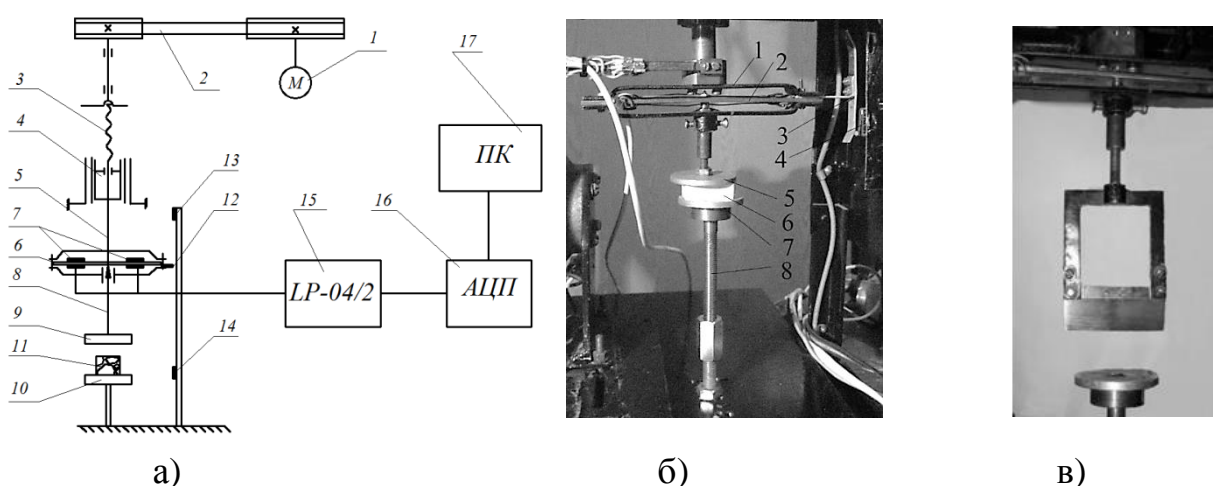


Рис. 1. Експериментальна установка для дослідження різання рослинної сировини: а) принципова схема (1 – електродвигун, 2 – пасова передача, 3 – гвинтова передача, 4 – стакан, 5 – вал, 6 – балка, 7 – тензодатчики, 8 – шток, 9 – рухома пластина, 10 – опора (нерухома пластина), 11 – продукт, 12 – важіль, 13,14 – кінцеві вимикачі, 15 – підсилювач, 16 – аналого-цифровий перетворювач, 17 – персональний комп'ютер; б) вузол стиснення (1 – корпус, 2 – тензобалка, 3 – важіль, 4 – нижній кінцевий вимикач, 5, 7 – пластини, 6 – зразок продукту, 8 – гвинт); в) вузол різання

Основними елементами установки є дві металеві пластини, горизонтальні поверхні яких розташовані паралельно одна одній. Одна з пластин (нижня) є опорною поверхнею, на якій розміщується досліджуваний продукт. За допомогою другої пластини (верхньої), виконаної у вигляді металевого поршня, що рухається у вертикальній площині, здійснюється стиснення зразка продукту. Під час експерименту тензометричними датчиками фіксується зусилля стиснення. Задачею дослідження є визначення залежності між напруженням і деформацією, зв'язку швидкості деформування з в'язкістю та модулем пружності, визначення модулів

пружності овочів з урахуванням факторів впливу: швидкості навантаження, величини відносної деформації, терміну зберігання сировини.

Розроблено методику дослідження фрикційних властивостей рослинної сировини з урахуванням факторів впливу: швидкості взаємного руху пар тертя, тривалості контакту пар тертя, температури та терміну зберігання сировини.

Створено експериментальну установку дискового типу для визначення коефіцієнтів тертя овочів (рис. 2).

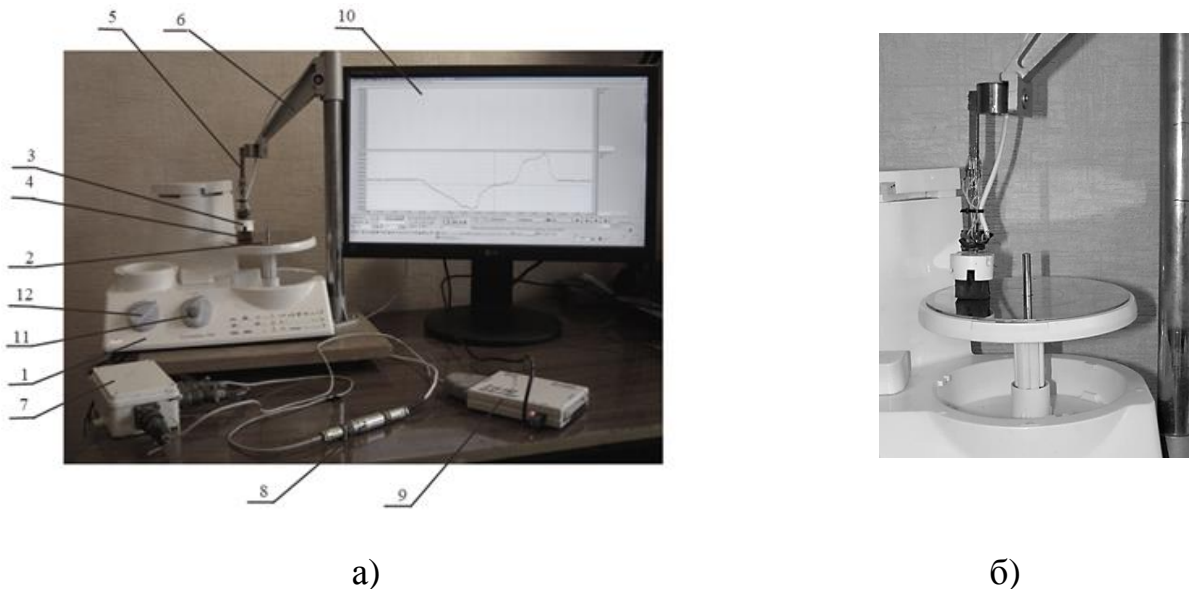


Рис. 2. Установка для дослідження фрикційних властивостей сировини: а) загальний вигляд (1 корпус, 2 – диск, 3 – утримувач продукту, 4 – зразок продукту, 5 – тензобалка, 6 – штатив, 7 – розподільна коробка, 8 – підсилювач, 9 – АЦП, 10 – монітор ПК, 11 – пусковий перемикач, 12 – перемикач швидкостей); б) вузол тертя

Основною частиною установки є опорний диск, що обертається, з розташованою на ньому сталеву контактну поверхню. Частота обертання опорного диска змінюється електронним варіатором, що забезпечує лінійну швидкість в зоні контакту від 0,4 до 3,25 м/с. На поверхні сталевого диска розташовується досліджуваний зразок продукту, який фіксується спеціальним утримувачем, жорстко сполученим з тензометричною балкою. Під час руху опорного диска зразок захоплюється силою тертя і згинає вимірювальну балку, викликаючи зміну сигналу тензорезисторів, який через підсилювач LP-04/2 поступає до аналого-цифрового перетворювача Е14-140, реєструється і обробляється за допомогою програмного забезпечення LGraph. Приладами фіксується величина зусилля тертя, що відображається на моніторі ПК у вигляді осцилограми в режимі реального часу.

Розроблено методику визначення питомих зусиль різання рослинної сировини в залежності від швидкості руху ножів, кута різання, терміну зберігання сировини. Для проведення досліджень металевий поршень експериментальної установки (рис.1б) замінювався рамою із закріпленням на



ній пластинчастим ножом (рис. 1в). Запропоноване конструктивне виконання вузла різання дозволило змінювати кут нахилу різальної кромки ножа відносно досліджуваного продукту.

Для кількісної оцінки впливу на питомі зусилля різання геометричних параметрів різального інструменту, режиму різання і структурно-механічних властивостей рослинної сировини, а також пошуку раціональних параметрів процесу різання, реалізовано повний факторний експеримент  $2^3$ . За цільову функцію приймалося питоме зусилля різання. Варійованими факторами обрано швидкість різання  $v$ , кут різання  $\beta$  і модуль пружності продукту  $E$ .

Розроблено методику визначення якості нарізки овочевої сировини за п'ятьма показниками: чистота поверхні зрізу, вміст сколов і тріщин на периферії скибочки, кількість бракеражу, відповідність товщини і форми нарізки завданням, кількість виділеного при різанні соку. Кожен показник якості оцінювався за окремою трибальною шкалою. Якість нарізки визначалася при частоті обертання ножів  $280 \leq n \leq 2000 \text{ хв}^{-1}$ , що відповідає інтервалу швидкості різання  $0,4 \leq v \leq 3,3 \text{ м/с}$ .

Для проведення, обробки і аналізу досліджень використовувалися сучасні методики, комп'ютерні технології і програмне забезпечення, які дозволяють максимально точно отримати, обробити та проаналізувати результати теоретичних і експериментальних досліджень.

**В третьому розділі** проведено теоретичні та експериментальні дослідження реологічної поведінки овочевої сировини, результати яких дозволяють підтвердити її належність до в'язко-пружних дисперсних систем.

Деформаційну поведінку в'язко-пружних систем імітують модель тіла Максвелла (рис. 3а) та модель тіла Кельвіна (рис. 3б). Модель тіла Максвелла у першому наближенні описує миттєву релаксацію напруження в'язко-пружного тіла, а модель Кельвіна – повзучість. Обидві ці моделі мають межі використання.

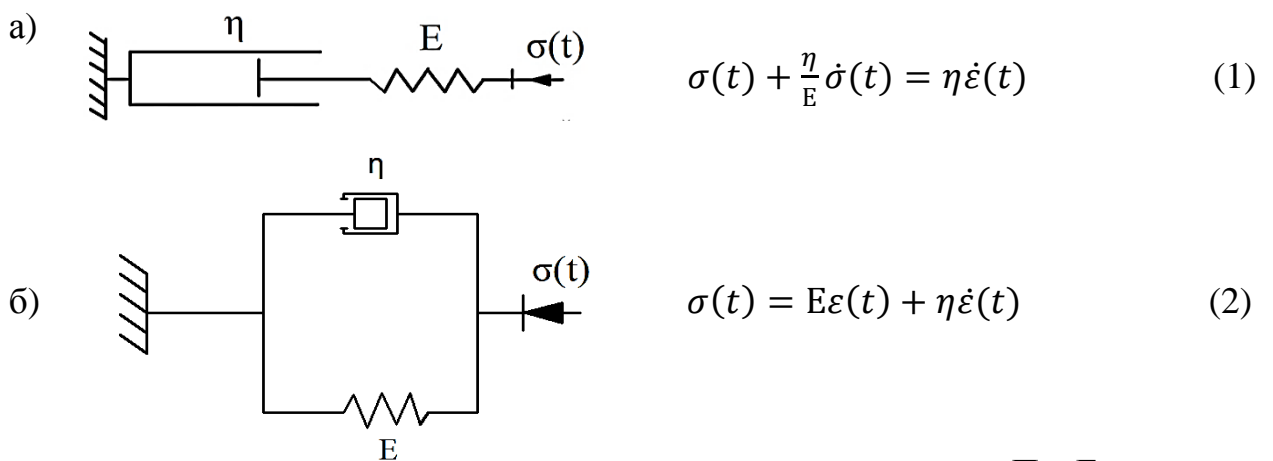


Рис.3. Механічні моделі тіла Максвелла (а), тіла Кельвіна (б) та рівняння, які їх описують

де  $\sigma$  – напруження, Па;  $E$  – пружна складова, Па;  $\eta$  – в'язка складова, Па×с;  $\varepsilon$  – відносна деформація,  $\dot{\varepsilon}$  – швидкість деформування,  $1/с$ ,  $t$  – час, с

Для процесів швидкісного різання за умови  $0,4 \leq v \leq 1,25$  м/с, при якому діє припущення щодо лінійної залежності між напруженням та деформацією, реологічну поведінку в'язко-пружних систем доцільно описувати реологічною моделлю Максвелла (1). За таких умов під час навантаження зразка майже миттєво спрацьовує пружна складова, а дія в'язкої складової практично не проявляється. За умови повільного навантаження на деформаційну поведінку сировини здійснюють суттєвий вплив обидві складові реологічної системи – в такому випадку деформаційну поведінку доцільно описувати моделлю тіла Кельвіна (2).

Для досліджень реологічних властивостей обрано групу овочів (картопля сорту «Невський», морква сорту «Шаєтене», буряк столовий, огірки сорту «Анніка», баклажани сорту «Алмаз», капуста сорту «Червнева», кабачки сорту «Садко»), які, умовно, мають суцільне внутрішнє середовище з безперервним розподілом дисперсної фази.

Згідно аналізу отриманих під час досліджень кривих кінетики деформації (рис. 4а), розглянемо навантажений стан рослинної сировини за допомогою узагальненої кривої (рис. 4б).

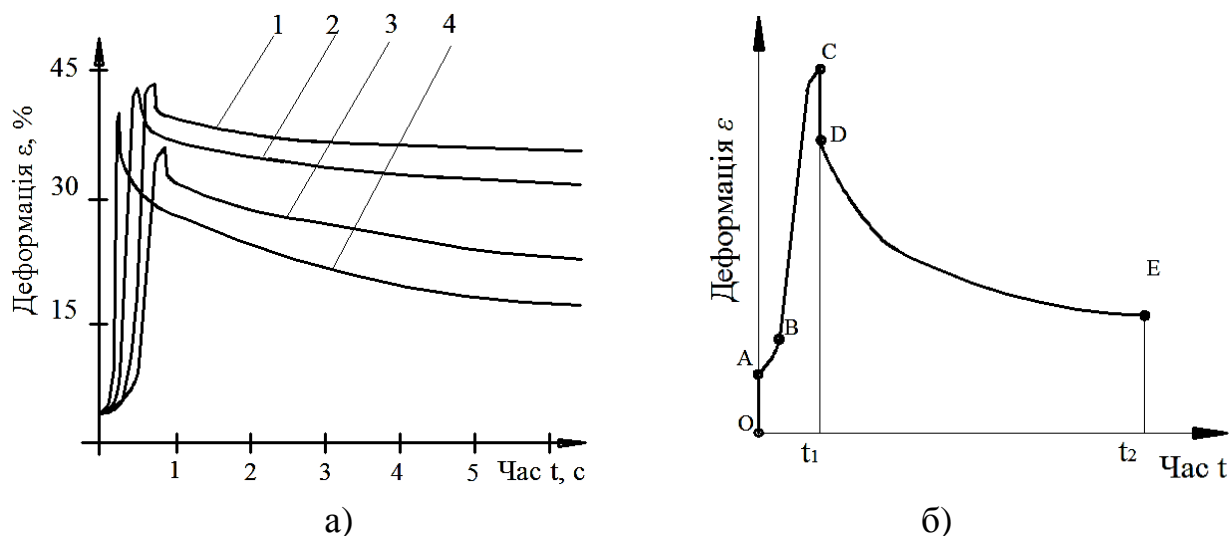


Рис. 4. Криві кінетики деформування овочів при одноосьовому стисненні:

а) 1 – картопля, 2 – баклажани, 3 – морква, 4 – кабачки;

б) узагальнена крива

На першому етапі деформування в зразку розвивається миттєва пружна деформація. Швидкість поширення цієї деформації дуже велика, тому, теоретично, період її утворення прийнято вважати рівним нулю. На рис.4б миттєва пружна деформація відмічена ділянкою ОА. Другий етап (ділянка АВ) характеризується ущільненням шарів продукту при подальшому навантаженні матеріалу. На цій ділянці спостерігається розвиток уповільненої пружної деформації. Третій етап ВС характеризується початком стрімкого ущільнення і руйнування структури внаслідок досягнення межі плинності – це зона прояву в'язкісних властивостей системи. Вершина С – точка зняття навантаження. Ділянка CD – пружна

післядія, яка виникає при знятті навантаження внаслідок миттєвого пружного розтискання системи. Ділянка DE – зона течії з постійною в'язкістю частково зруйнованої структури.

Встановлено, що стиснення зразків досліджуваних овочів на величину відносної деформації понад 15% призводить до розвитку незворотних деформацій з-за руйнування структури, що показано на рис.5 на прикладі дослідження моркви.

Встановлено нелінійну залежність величини відносної деформації  $\varepsilon$  від напруження стиснення  $\sigma_{ст}$  для овочів при одноосьовому навантаженні за умови  $v=const$  (рис. 6).

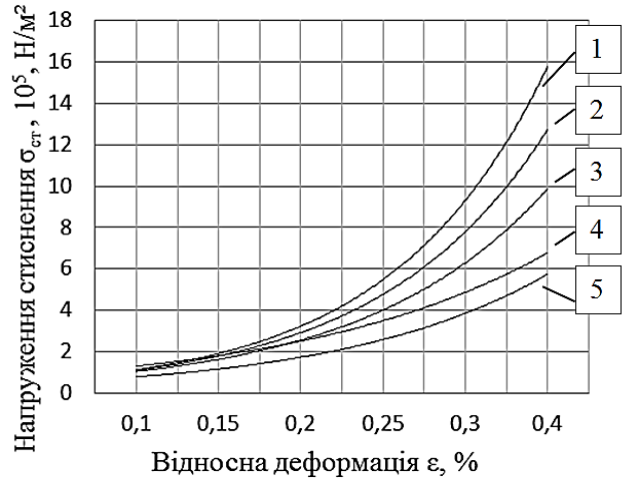
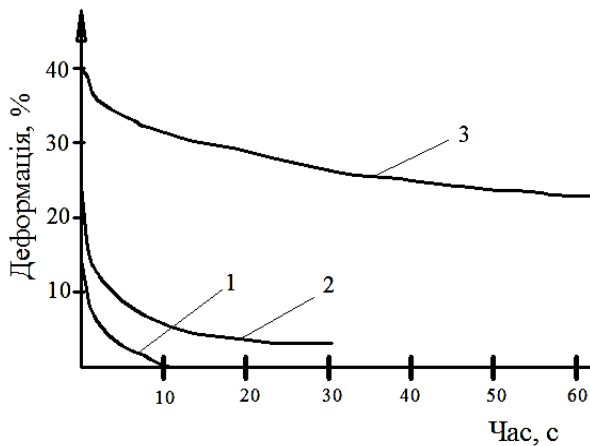


Рис. 5. Криві релаксації напруження на прикладі зразка моркви: 1 – деформації м'якоті овочів від зворотна деформація, 2, 3 – напруження стиснення: 1 – капуста, 2 – незворотні деформації

Рис. 6. Залежність величини відносної деформації м'якоті овочів від напруження стиснення: 1 – капуста, 2 – картопля, 3 – баклажани, 4 – морква, 5 – огірки

В зоні дії пружних деформацій при  $\varepsilon \leq 15\%$  залежність між напруженням стиснення  $\sigma$  і відносною деформацією  $\varepsilon$  з високим ступенем достовірності можна описати лінійною функцією, що відповідає теорії класичної реології і підтверджено експериментально. При  $\varepsilon \geq 15\%$  напруження стиснення для овочевої сировини визначатиметься за формулою:

$$\sigma_{ст} = ke^{i\varepsilon}, \quad (3)$$

де  $k$ ,  $i$  – довідкові коефіцієнти.

При різанні овочів відбувається практично миттєва деформація зразка лезом. На рис.7 показано осцилограми деформування моркви та картоплі при швидкості навантаження  $v = 0,4$  м/с.

Результати проведених досліджень дозволяють вважати належність овочевої сировини до в'язко-пружних матеріалів, деформаційну поведінку яких при різанні доцільно описувати моделлю Максвела.

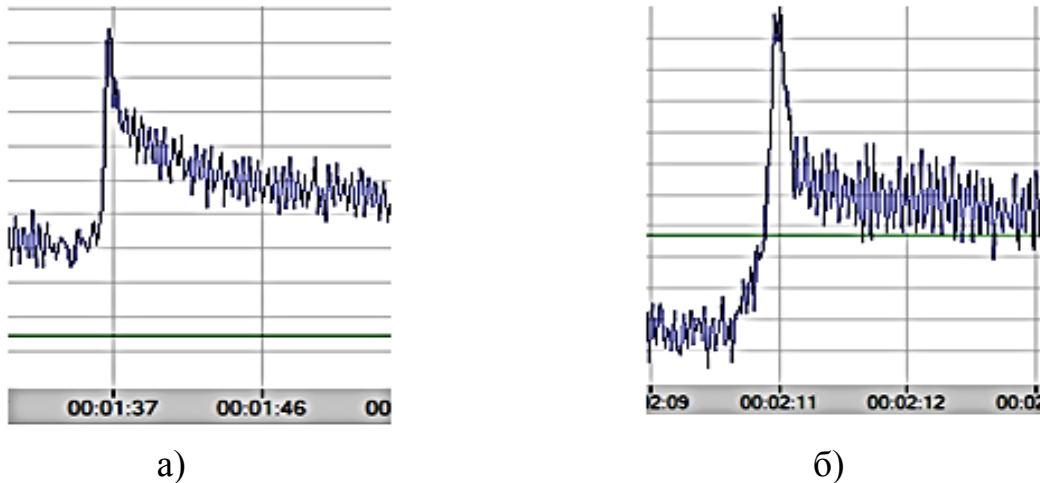


Рис. 7. Осцилограми стиснення моркви (а) та картоплі (б) до  $\varepsilon = 20\%$

Процес різання умовно поділяється на два етапи: попереднє стискання сировини ріжучою кромкою леза (деформування) та розрізання зразка (руйнування).

З метою визначення енергетичних параметрів деформування в'язко-пружної системи, відповідно до її реологічної моделі Максвела, роботу деформування запропоновано описувати у вигляді суми робіт на деформування пружної  $A_n$  і в'язкої складової  $A_d$ :

$$A = A_d + A_n. \quad (4)$$

За умови  $\sigma(t) = \text{const}$  повна питома робота на деформування системи визначатиметься за формулою:

$$A = \frac{\sigma^2 t}{\eta} + \frac{1}{2} E \varepsilon^2. \quad (5)$$

Витрати енергії на деформування системи при  $\sigma(t) = \text{const}$  визначатимуться за формулою:

$$N = \frac{\sigma^2}{\eta} + \frac{1}{2} \frac{E \sigma^2}{t}. \quad (6)$$

В дисертаційній роботі, враховуючи особливості процесу різання, розглянуто стани в'язко-пружної системи за умови, коли напруження деформування змінюється за лінійним законом  $\sigma(t) = kt$  та  $\sigma(t) = \sigma_1 + kt$  і визначено енерговитрати на деформування:

за умови  $\sigma(t) = kt$ , робота на деформування та витрати енергії складатимуть:

$$A = k^2 t^2 \left( \frac{t}{3\eta} + \frac{1}{2E} \right), \quad N = k^2 t \left( \frac{t}{\eta} + \frac{1}{E} \right); \quad (7)$$

за умови  $\sigma(t) = \sigma_1 + kt$  робота деформування та витрати енергії:

$$A = \int_0^t \sigma(t) d\varepsilon(t) = \frac{k^2 t^3}{3\eta} + \frac{kt^2}{2} \left( 2 \frac{\sigma_1}{\eta} + \frac{k}{E} \right) + \sigma_1 t \left( \frac{\sigma_1}{\eta} + \frac{k}{E} \right), \quad (8)$$

$$N = \frac{k^2 t}{\eta} + kt \left( 2 \frac{\sigma_1}{\eta} + \frac{k}{E} \right) + \sigma_1 \left( \frac{\sigma_1}{\eta} + \frac{k}{E} \right). \quad (9)$$

Отримані математичні моделі рекомендовано використовувати при розрахунках різання овочевої сировини та при проектуванні технологічного обладнання.

В четвертому розділі обґрунтовано вибір раціональних параметрів різання рослинної сировини з урахуванням факторів впливу: структурно-механічних та фрикційних властивостей овочів, швидкості подрібнення та кута різання.

Отримано функціональну залежність модуля пружності овочів від швидкості деформування (рис. 7). Встановлено, що збільшення швидкості призводить до зниження прояву пружних властивостей сировини. В інтервалі швидкостей навантаження зразків  $0,005 \leq v \leq 2,5$  м/с величина модуля пружності моркви зменшується від  $42,5 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $27,55 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, картоплі – від  $54 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $33,75 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, кабачків – від  $38 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $14,5 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, капусти – від  $56 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $34 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, огірків – від  $35 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $12,5 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, баклажан – від  $42 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $14 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

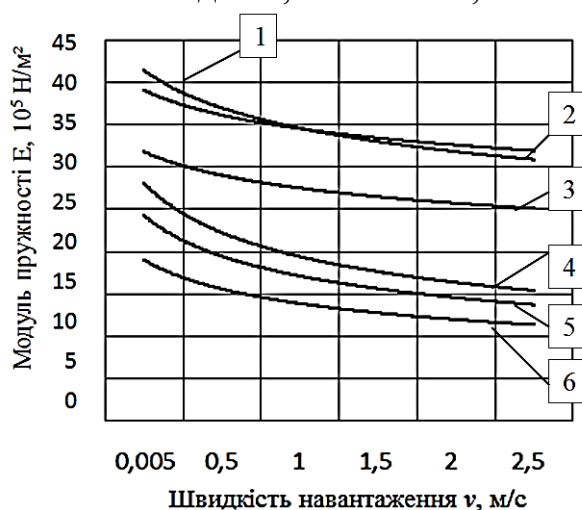


Рис. 7. Залежність модуля пружності від швидкості деформування: 1 – капуста, 2 – картопля, 3 – морква, 4 – баклажани, 5 – кабачки, 6 – огірки

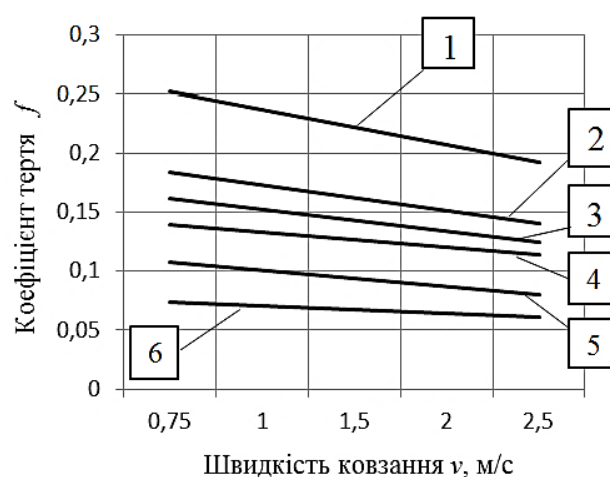


Рис.8. Вплив швидкості ковзання на коефіцієнти тертя овочів: 1 – капуста, 2 – буряк, 3 – картопля, 4 – морква, 5 – огірки, 6 – кабачки

Отримано функціональну залежність між динамічним коефіцієнтом тертя овочів і швидкістю ковзання в інтервалі  $0,75 \leq v \leq 2,66$  м/с (рис. 8). Встановлено, що зі зменшенням швидкості ковзання в зазначеному інтервалі спостерігається зниження коефіцієнту тертя по сталі для капусти від 0,25 до 0,19, для картоплі від 0,16 до 0,13, для огірків від 0,11 до 0,08, для буряка від 0,19 до 0,15, для кабачків від 0,07 до 0,06.

Експериментально доведено залежність коефіцієнтів тертя овочів від тривалості і умов зберігання (рис. 9,а) та температури сировини під час подрібнення (рис.9,б). Ці залежності індивідуальні для кожного окремо взятого виду продукції і не підлягають загальному систематизованому аналізу, оскільки нормативні терміни зберігання та температурні режими досліджуваної сировини відрізняються.

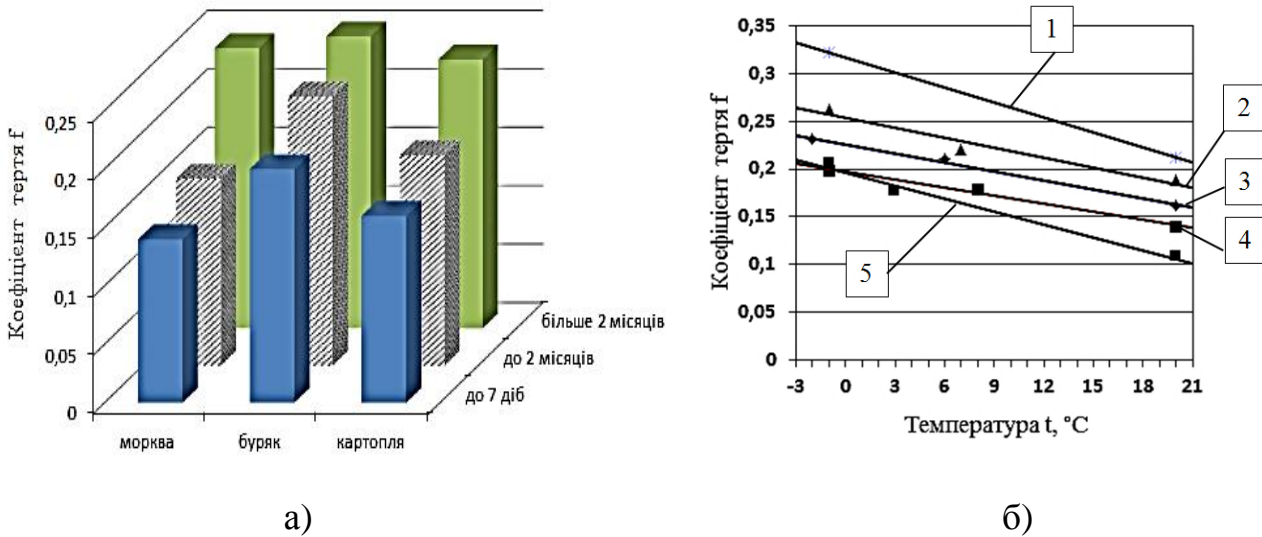


Рис.9. Вплив терміну зберігання сировини (а) та температури (б) на її фрикційні властивості: 1 – баклажани, 2 – морква, 3 – картопля, 4 – огірки, 5 – кабачки

Дотримання нормативних умов зберігання овочів призводить до зростання коефіцієнту тертя при довготривалому зберіганні не більше ніж в 1,2 рази. Подрібнення сировини при температурах, близьких до криоскопічної, призведе до збільшення енерговитрат за рахунок зростання фрикційних властивостей.

Експериментально встановлено залежність питомих зусиль різання овочів від швидкості різання, яка в інтервалі від 0,005 м/с до 1,25 м/с описується степеневою функцією (рис. 10). Збільшення швидкості різання від 0,005 м/с до 1,25 м/с призводить до зниження питомих зусиль різання кабачків в 1,44 рази, капусти – в 1,5 рази, картоплі – в 1,52 рази, моркви – в

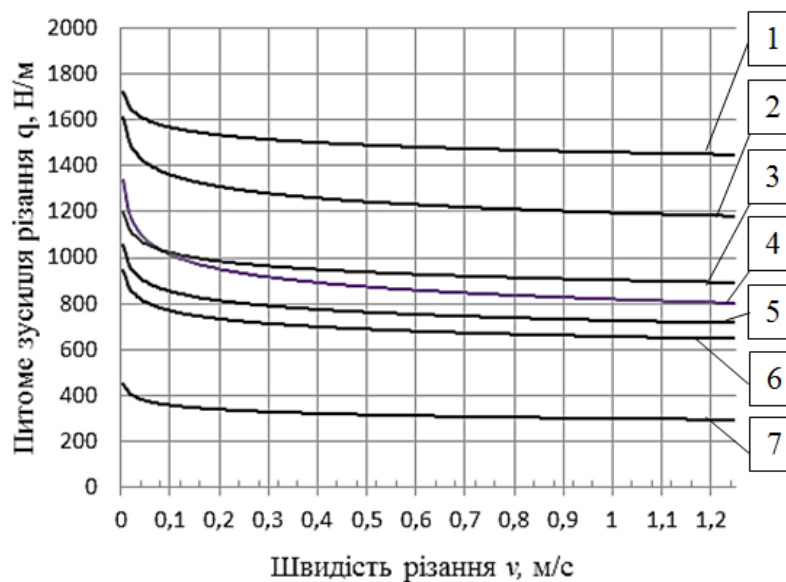


Рис. 10. Залежність питомих зусиль різання овочів від швидкості руху ножа: 1 – баклажани зі шкіркою, 2 – капуста, 3 – буряк, 4 – баклажани м'якоть, 5 – картопля, 6 – морква, 7 – кабачки

1,7 рази, капусти – в 1,75 рази, буряка столового – в 1,37 рази, баклажан – в 1,73 рази.

На основі аналізу результатів багатофакторного експериментального дослідження процесу різання було отримано цільову функцію питомих зусиль різання для овочевої сировини. Рівняння регресії питомого зусилля різання в натуральних величинах від швидкості різання  $v$ , кута різання  $\beta$ , модуля пружності  $E$  має вигляд:

$$q_{\text{п}} = 812,965 + 14,784v - 7,759\beta + 93,947E - 1,046v\beta - 32,157vE + 0,866\beta E. \quad (10)$$

На рис. 11 наведено графічні зображення рівняння (10)

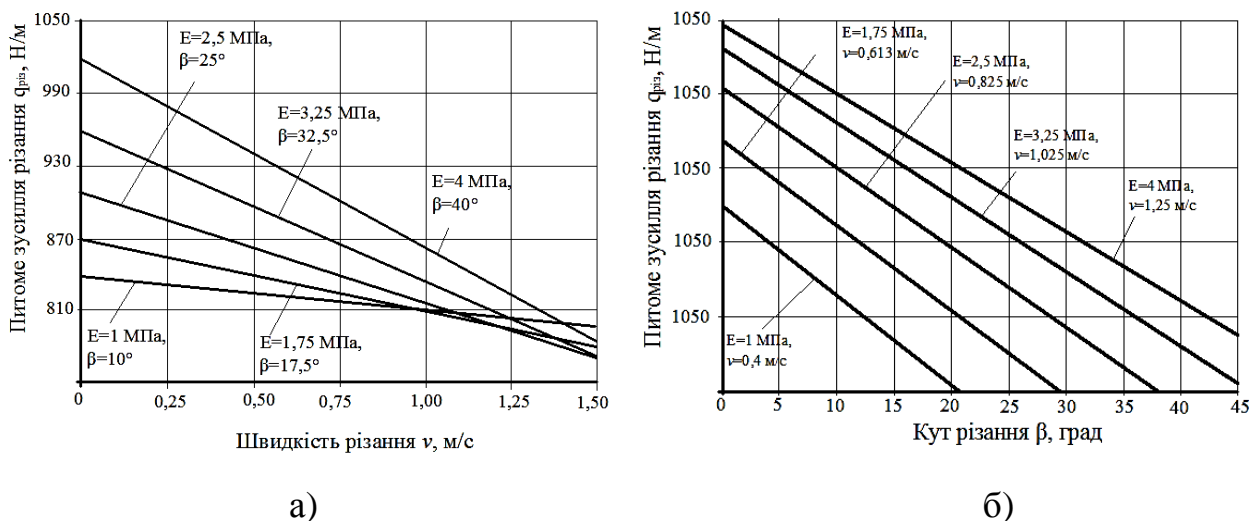


Рис. 11. Вплив швидкості різання (а) і кута різання (б) на питомі зусилля

Встановлено, що найбільший вплив на питомі зусилля різання здійснює модуль пружності продукту. На характері впливу модуля пружності позначається величина швидкості різання: чим нижче показник модуля пружності, тим менше проявляється вплив швидкості різання і навпаки – чим

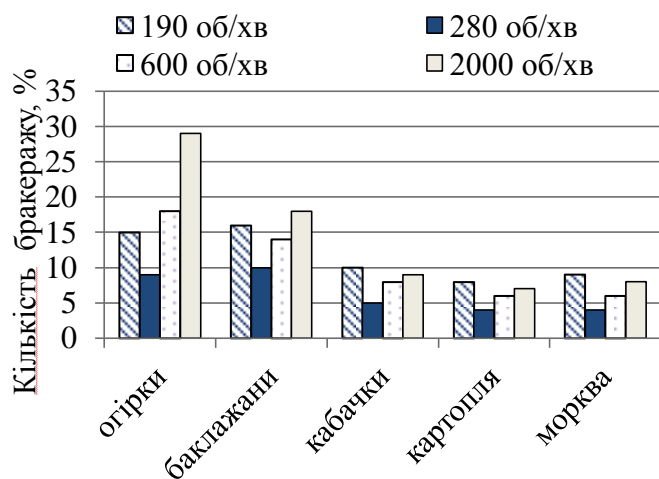


Рис. 12. Залежність кількості бракеражу від частоти обертання ножів

більшу пружність має структура продукту, тим ефективнішим стає зниження питомих зусиль різання за рахунок регулювання швидкості процесу.

Встановлено залежність кількості бракеражу при нарізці овочів скибочками від частоти обертання ножів (рис.12) та товщини нарізки. Збільшення товщини нарізки від 1 мм до 4 мм призводить до зниження кількості бракеражу в 2-4 рази. Зі збільшенням частоти

обертання відбувається зростання кількості некондиційних часток в загальній масі подрібненого продукту. Нарізку овочів скибочками товщиною  $h \leq 2$  мм рекомендовано здійснювати при частоті обертання ножів  $n \leq 300 \text{ хв}^{-1}$  ( $v \leq 0,45 \text{ м/с}$ ). При товщині нарізки  $h \geq 4$  мм збільшення кількості обертів понад  $600 \text{ хв}^{-1}$  ( $v = 1 \text{ м/с}$ ) не призводить до зниження якості. Рекомендованим для досліджуваного асортименту овочів є інтервал  $300 \leq n \leq 600 \text{ хв}^{-1}$  ( $0,4 \leq v \leq 1 \text{ м/с}$ ).

Результатом експериментальних досліджень різання рослинної сировини є отримання розрахункових величин модулів пружності  $E$ , коефіцієнтів тертя  $f$  та питомих зусиль різання  $q_{\text{різ}}$  при різних частотах обертання ножів (швидкостях різання).

Зведена таблиця розрахункових величин модулів пружності  $E$ , коефіцієнтів тертя  $f$  та питомих зусиль різання  $q_{\text{різ}}$  для різних частот обертання ножів (швидкостей різання)

Сировина	Частота обертання ножів $n$ , $\text{хв}^{-1}$ / (швидкість різання $v$ , $\text{м/с}$ )											
	250 / (0,4)			400 / (0,7)			600 / (1,0)			1200 / (1,86)		
	$E$ , $\times 10^5$ $\text{Н/м}^2$	$f$	$q_{\text{різ}}$ , $\text{Н/м}$	$E$ , $\times 10^5$ $\text{Н/м}^2$	$f$	$q_{\text{різ}}$ , $\text{Н/м}$	$E$ , $\times 10^5$ $\text{Н/м}^2$	$f$	$q_{\text{різ}}$ , $\text{Н/м}$	$E$ , $\times 10^5$ $\text{Н/м}^2$	$f$	$q_{\text{різ}}$ , $\text{Н/м}$
Морква	29,2	0,140	712	29,1	0,138	650	29,1	0,134	624	28,8	0,122	610
Картопля	35,5	0,165	738	35,0	0,162	725	34,5	0,150	720	34,1	0,131	719
Капуста	38,5	0,275	1328	35,2	0,250	1255	34,0	0,235	1200	32,0	0,220	1180
Баклажани	15,0	0,210	1490	14,8	0,190	1462	14,5	0,158	1452	14,1	0,152	1450
Кабачки	17,2	0,075	333	16,9	0,073	305	15,2	0,070	284	15,0	0,071	280
Огірки	13,2	0,118	335	13,2	0,107	307	13,0	0,104	286	12,0	0,085	280
Буряк цукровий	-	0,167	-	-	0,162	-	-	0,151	-	-	0,130	-
Цибуля ріпчаста	9,0	-	-	8,6	-	-	8,0	-	-	7,6	-	-

У п'ятому розділі на підставі проведеного аналізу технічного рівня та якості сучасного овочерізального устаткування, його функціональності надано рекомендації щодо удосконалення конструкцій обладнання для нарізки овочевої сировини скибочками та шаткування капусти.

Запропоновані конструкції ножових блоків для овочерізальної машини дискового типу дозволяють змінювати нарізку овочів за допомогою використання одного різального пристрою. Це значно спрощує умови роботи з устаткуванням, скорочує час на зміну різальних блоків, що сприяє збільшенню продуктивності машини, збільшує її функціональність і знижує вартість ножів.

Запропоноване конструктивне виконання змінного механізму для шаткування капусти на базі овочерізальної машини дискового типу дозволяє здійснювати нарізку цілих качанів капусти, тим самим усуваючи необхідність попередньої обробки сировини перед різанням, покращує якісні



показники нарізки, сприяє підвищенню продуктивності машини, поліпшенню умов праці.

Представлені розробки пройшли апробацію на підприємствах харчової промисловості і впроваджені у виробництво на СООО "Краса" (с. Роздольне), ТОВ "Геліос-1" (м. Каховка), ТОВ "Агро-Капітал" (м. Кривий Ріг).

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі комплексно досліджено процес різання овочевої сировини з урахуванням різних, в тому числі малодосліджених, факторів впливу, та удосконалено конструкції овочерізального обладнання на основі всебічного аналізу відповідності сучасного устаткування потребам споживача:

1. Досліджено механізм деформування в'язко-пружних структурованих дисперсних систем при постійному і змінних режимах стискання, встановлено зв'язок їх реологічних та структурно-механічних властивостей з силовими та енергетичними характеристиками процесу різання.

2. Обґрунтовано вибір механічної та реологічної моделей овочевої сировини. Отримано диференціальні рівняння деформування в'язко-пружних дисперсних систем та аналітичні залежності, які використано для визначення раціональних режимів різання.

3. Розроблено нові та удосконалено існуючі експериментальні установки для дослідження пружних і фрикційних характеристик та реологічної поведінки рослинної сировини.

4. Виконано моделювання різання рослинної сировини з урахуванням енерговитрат на деформування шару продукту при різних швидкостях, умовах різання та різних структурно-механічних властивостях сировини (пружність, в'язкість, тертя). Багатофакторну математичну модель використано для визначення питомих зусиль різання овочів за різних умов взаємодії леза і сировини.

5. Експериментально встановлено, що в інтервалі швидкостей навантаження  $0,4 \leq v \leq 2,5$  м/с модуль пружності моркви зменшується від  $42,5 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $27,55 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, капусти – від  $56 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $34 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, баклажанів – від  $42 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup> до  $14 \times 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Встановлено, що зі збільшенням швидкості ковзання в інтервалі  $0,75 \leq v \leq 2,5$  м/с коефіцієнт тертя по сталі зменшується: для картоплі від 0,16 до 0,13, для капусти від 0,25 до 0,19, для огірків від 0,11 до 0,08, для буряка від 0,19 до 0,15, для кабачків від 0,07 до 0,06.

6. Запропоновано методику оцінки якості нарізки овочевої сировини. Встановлено залежність кількості бракеражу від частоти обертання ножів та товщини нарізки. При використанні малогабаритного різального обладнання рекомендовано для досліджуваного асортименту овочів використовувати інтервал частоти обертання ножів  $300 \leq n \leq 600$  хв<sup>-1</sup>, який забезпечує оптимальне співвідношення показників "якість зрізу – бракераж".

7. Експериментально доведено збільшення прояву пружних та фрикційних властивостей сировини при зберіганні та зниженні температури до криоскопічної, що призводить до підвищення енерговитрат на різання.

8. Отримано розрахункові значення модулів пружності, коефіцієнтів тертя та питомих зусиль різання для різних овочів при частоті обертання ножів  $250 \text{ хв}^{-1}$ ,  $400 \text{ хв}^{-1}$ ,  $600 \text{ хв}^{-1}$  та  $1200 \text{ хв}^{-1}$ .

9. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано конструктивне виконання ножових блоків для овочерізальної машини дискового типу, призначених для нарізки овочів скибочками, застосування яких дозволяє змінювати нарізку овочів за допомогою одного різального пристрою, що сприяє збільшенню продуктивності машини, її функціональності і знижує вартість комплектації. Запропоновано конструктивне виконання змінного механізму для шаткування капусти, який дозволяє здійснювати нарізку цілих качанів капусти без попередньої обробки, що сприяє збільшенню продуктивності машини.

10. Запропоновані інженерні рішення пройшли апробацію на підприємствах харчової промисловості України і впроваджені у виробництво на СООО "Краса" (с. Роздольне), ТОВ "Геліос-1" (м. Каховка), ТОВ "Агро-Капітал" (м. Кривий Ріг).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях:*

1. Шеїна, А.В. Методика дослідження якості нарізки овочевої сировини та визначення факторів впливу/А.В. Шеїна, В.П. Хорольський // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. – Харків: ХДУХТ, 2018. – Вип. 1 (27), 2018. – С.243-254(*стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Index Copernicus, Academic resource index ResearchBib, Directory of Open Access scholarly Resources*).

*Внесок здобувача: розробка методики визначення якості нарізки.*

2. Goots, V. Modelling of mechanical systems be the reodynamical method / V. Goots, O. Gubenia, A. Sheina, K. Omelchenko// Proceedings Of University Of Ruse, Vol. 56, b. 10.1, 2017. – pp. 135-139 (*стаття у закордонному виданні*).

*Внесок здобувача: обґрунтування реологічної моделі та аналіз досліджень.*

3. Sheyina, A. Cutting speed value during plant material grinding in food industry/ A. Sheyina, V. Goots// Ukrainian Journal Of Food Science, Vol.4, Is. 1, NUFT, Kyiv, 2016. – pp.111-119 (*стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Index Copernicus, DRJI, Universal Impact Factor, EBSCO*).

*Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень.*

4. Заплетников, И.Н. Экспериментальные исследования процесса резания растительных материалов / И.Н. Заплетников, А.В. Шеина, А.В. Гордиенко // Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, Вып. 33, 2014. – С. 52-62 (*стаття у закордонному виданні*).

*Внесок здобувача: розробка експериментальної установки та методик.*

5. Шеина, А. В. Исследование процесса резания растительных материалов в статическом и динамическом режимах/А.В. Шеина//Приволжский научный вестник. – Ижевск, № 12, 2013. – С.45-49 (*стаття у закордонному виданні*).

*Внесок здобувача: розробка експериментальних установок та методик.*

6. Заплетников, И. М. Залежність реологічних характеристик овочів від швидкості різання в овочерізальному устаткуванні / И. М. Заплетников, А. В. Шеїна. – Донецьк: Вісник ДонНУЕТ, 2013. – С. 82-87 (*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: обґрунтування реологічної моделі, аналіз досліджень.*

7. Заплетников, И. Н. Оценка качества овощерезательного оборудования, представленного на рынке Украины / И. Н. Заплетников, А.В. Шеина // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2011. – Вип.119. – С. 156-160 (*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень.*

8. Заплетников, И. Н. Квалиметрическая оценка технического уровня овощерезательного оборудования ресторанного хозяйства/ И. Н. Заплетников, А.В. Шеина// Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – №12 (183), Ч.1. – С.128-133(*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: аналіз техніко-експлуатаційних характеристик устаткування, проведення аналітичних досліджень.*

9. Заплетников, И. Н. Исследование факторов, влияющих на фрикционные свойства овощей/ И. Н. Заплетников, А.В. Шеина// Рибне господарство України. – Керч, 2012. – Вип. 7. С. 14 - 17 (*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: обробка результатів експерименту.*

10. Шеїна, А. В. Вплив швидкості деформації на пружні властивості овочів / А.В. Шеїна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2012. – Вип. 12, Т.4 – С. 200-205 (*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: аналіз результатів досліджень.*

11. Заплетников, И. М. Дослідження коефіцієнтів тертя овочів по сталі/ И. М. Заплетников, В. О. Кіріченко, А. В. Шеїна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2011. – Вип. 11, Т.6. – С. 11-16 (*стаття у фаховому виданні України*).

*Внесок здобувача: розробка методики та постановка дослідів.*

***Патенти на винаходи та корисні моделі України:***

1. Пат. 81215 Україна, МПК А23N 15/00. Пристрій змінний для шаткування капусти/ Шеїна А. В. Заплетников І. М. (Україна). – №u201214783, заявлено 24.12.2012; опуб. 25.06.2013; бюл. №12. – 4с.

*Внесок здобувача: патентний пошук, розробка конструкції обладнання, підготовка матеріалів до патентування).*

***Матеріали та тези наукових конференцій:***

1. Sheyina, A. Influence of cutting speed on the ground product quality/ A. Sheyina, A. Voznyak, O. Ostrovchuk // 84 International scientific conference of young scientist and students «Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution», April 23-24. – Kyiv, NUFT, Part 2, 2018. – P.24.

2. Шеїна, А.В. Анализ значения скорости резания при измельчении вязко-упругих растительных материалов / А.В. Шеїна, В.С. Гуць, А.А. Губеня// Тези доп. XII Міжнарод. науч.-техн. конф. «Техника и технология пищевых производств». – Могилев, МГУП, Т.2, 2018. – С.108-109.

3. Гуць, В.С. Определение энергозатрат на деформацию продукта при резании / В.С. Гуць, О.О. Губеня, А.В. Шеїна // Тез. докл. XI Міжнарод. науч.-техн. конф. «Техника и технология пищевых производств». – Могилев, МГУП, 2017. – С. 255.

4. Гуць, В.С. Удосконалення процесу та обладнання для нарізання овочевої сировини / В. С. Гуць, А. В. Шеїна, О.О. Губеня // Матеріали VI Міжнародної спеціалізованої наук.-практ. конф. «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності». – Київ, НУХТ, 2017. – С.45-48.

5. Гуць, В. С. Моделювання різання харчових продуктів / В.С. Гуць, О.О. Губеня, А.В. Шеїна // Тези доп. всеукр. наук-практ. конф. «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі». – Київ, НУХТ, 2017.–С.159-160.

6. Омельченко, О. В. Визначення якості різання при подрібненні овочевої сировини / О. В. Омельченко, А. В. Шеїна // Тези доп. III міжнар. наук.-практ. конференції «Якість і безпека харчових продуктів». – Київ, НУХТ, 2017. – С. 64-65.

7. Шеїна, А. В. Способи підвищення функціональності сучасного овочерізального устаткування / А. В. Шеїна // Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні питання сучасної аграрної науки». – Київ, УНУС, Видавництво «Основа», 2017. – С. 344-346.

8. Шеїна, А.В. Особливості шаткування капусти на підприємствах харчової промисловості і ресторанного господарства / А.В. Шеїна, Ю.П. Самойлова // Тези доп. XIII Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. «Проблеми та перспективи розвитку української науки». – Вінниця, Ч.2, 2017. –С. 44-48.

9. Заплетников, И. Н. Исследование реологического поведения овощей в условиях одноосного сжатия / И. Н. Заплетников, А. В. Шеїна // Доклады междунар. научн.-практ. конф. «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции». – Минск, БГАТУ, 2013. – С. 453.

10. Шеїна, А. В. Дослідження пружних властивостей сировини рослинного походження / А. В. Шеїна, О. М. Іваницький // Тези доп. всеукр. наук-практ. конф. молодих вчених і студ. «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі». – Харків, ХДУХТ, Ч.1, 2013. – С. 280.

11. Заплетніков, І. М. Методика дослідження реологічних характеристик овочевої сировини методом стиснення / І. М. Заплетніков, А. В. Шеїна // Тези доп. міжнар. наук-практичн. конф. «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі». – Харків, ХДУХТ, Ч.1, 2012. – С.110.

12. Заплетников, И. Н. Исследование прочностных характеристик клубнеплодов в условиях одноосного сжатия / И. Н. Заплетников, А. В. Шеина // Тез. докл. 8-й Междунар. научн.-техн. конф. «Техника и технология пищевых производств». – Могилев, МГУП, 2011. – С. 102.

## АНОТАЦІЯ

**Шеїна А. В. Наукове обґрунтування параметрів різання рослинної сировини та удосконалення конструкцій овочерізального обладнання. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Національний університет харчових технологій, м. Київ, 2019 р.

Дисертацію присвячено встановленню закономірностей різання овочевої сировини пластинчастим ножом, комплексному дослідженню впливу на процес структурно-механічних характеристик сировини, геометрії леза ножа та режиму різання та удосконаленню конструкцій овочерізального обладнання.

Експериментально встановлено вплив швидкості руху леза на енерговитрати при різанні овочевої сировини в інтервалі швидкостей  $0,4 \leq v \leq 1,25$  м/с. Отримано математичні залежності енерговитрат на деформування в'язко-пружної системи за різних умов навантаження.

Встановлено вплив швидкості різання на пружні та фрикційні властивості сировини та отримано математичний опис цих процесів. Отримано розрахункові величини модулів пружності, коефіцієнтів тертя овочів та питомих зусиль різання при частоті обертання ножів  $250 \text{ хв}^{-1}$ ,  $400 \text{ хв}^{-1}$ ,  $600 \text{ хв}^{-1}$  та  $1200 \text{ хв}^{-1}$ .

Запропоновано методику визначення якості нарізки овочів. Встановлено залежність якості нарізки від частоти обертання ножів та товщини нарізки.

Запропоновано конструкції ножових блоків для овочерізальної машини дискового типу, які дозволяють змінювати товщину нарізки овочів від 1 мм до 10 мм за допомогою одного різального пристрою. Запропоновано змінний

пристрій для шаткування капусти, який дозволяє подрібнювати сировину без її попередньої обробки. Нові розробки пройшли апробацію на підприємствах харчової промисловості України і впроваджені у виробництво.

**Ключові слова:** різання, овочі, реологія, лінійний ніж, режим різання, овочерізка.

## ANNOTATION

**Sheyina A. V. Scientific substantiation parameters of plant raw material cutting and improving the construction of vegetable cutting equipment. – Manuscript.**

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.18.12 “Processes and equipment in food, microbiological and pharmaceutical production”. – Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, National University of Food Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation paper brings up an issue of establishing the basic regularities of cutting the plant raw material with a segmented knife and a complex study of the impact on the process of structural and mechanical characteristics of the raw material, the geometry of the knife blade and cutting mode.

The aim of the paper is to obtain mathematical dependencies and estimated values for the process description and the determination of rational parameters of vegetable raw material cutting; the development and improvement of the structures of cutting tools in vegetable cutting equipment and the improvement of the process quality.

It has been experimentally established that the blade speed has impact on energy consumption when cutting vegetable raw material in the velocity range used in vegetable cutting equipment in food industry.

The impact of cutting speed on the elastic and frictional properties of raw materials has been established and the mathematical description of these processes has been obtained. An increase of the cutting speed leads to a decrease of the elastic properties of vegetables and a decrease of frictional force in the velocity range from  $3.4 \times 10^{-3}$  m/s to 2.5 m/s.

Cutting speed also affects the specific cutting force of vegetable raw material, but this factor depends on the velocity range under study. At cutting speeds from  $5 \times 10^{-3}$  m/s to 1.25 m/s, this dependence is described by the power function. There is a decrease of specific cutting force with the speed increase. The paper has determined the vegetables cutting force at cutting speeds of 250, 400, 600  $\text{min}^{-1}$  and 1200, which correspond to the knives rotation modes in modern vegetable cutting equipment.

The impact on the elastic properties of the geometric sizes of the raw material being cut and its orientation towards the blade during cutting is investigated and analyzed. It has been proved that the increase of raw material size leads to the increase in the modulus of elasticity by linear dependence.

A multi-factor model to determine the specific force of vegetables cutting and energy consumption for different conditions of the blade and the product interaction was developed for the first time. It has been established that the elasticity modulus of the product has the greatest influence on the specific cutting force of plant materials with a linear knife. The value of the cutting speed has an impact on the nature of the elasticity modulus influence.

The dissertation paper investigates the influence of cutting speed, thickness of cutting and physical properties of vegetables on the cutting quality. Thus, cutting vegetables in slices of 1-2 mm thick is recommended to perform at cutting speeds not higher than  $300 \text{ min}^{-1}$ . When cutting vegetables of 4 mm thick and more it is possible to use cutting speeds over  $600 \text{ min}^{-1}$ . If these conditions are met, the quality parameters will remain optimal.

Theoretical and experimental research carried out in this paper allowed to analyze the technical and the qualitative level of modern vegetable cutting equipment, to identify the main drawbacks of the constructions and the direction to search ideas for their improvement. New cutting equipment for cutting vegetables in slices, suggested in this paper, is aimed at improving the working conditions with the equipment, reducing the service time, and increasing the productivity of vegetables cutting machines. The specific feature of new constructions is the ability to smoothly adjust the cutting thickness, provided that only one cutting unit is used. This allows increasing the functionality of vegetable cutting machine and reducing its cost.

The constructive execution of an exchangeable mechanism for cabbage shredding. The use of the equipment allows cutting the entire cabbage heads, avoids the need for pre-processing the raw material, improves the quality parameters of cutting, increases the productivity of the machine, improves the working conditions.

The suggested developments have been tested at the food industry enterprises of Ukraine and introduced in production.

**Key words:** cutting, vegetables, rheology, linear knife, cutting mode, modeling, cutting machine.

Підп. до друку 13.02.2019. Наклад 100 пр. Зам. № 53

---

НУХТ. 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.