

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

УДК 532.135: [635.1/8:641.51.06]

*Шейна А. В.*¹,
Омельченко О. В., канд. техн. наук, доцент¹
Мельник О. Є., канд. техн. наук, доцент¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: sheyina@donnuet.edu.ua

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОВОЧІВ ВІД ФАКТОРА ШВИДКОСТІ

UDC 532.135: [635.1/8:641.51.06]

*Sheyina A. V.*¹,
Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹
Melnyk O. E., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rig, Ukraine, e-mail: sheyina@donnuet.edu.ua

DEPENDENCE OF VEGETABLE STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES ON SPEED FACTOR

Мета. Встановлення інтервалів швидкостей різання, які використовують в сучасному овочерізальному обладнанні підприємств харчової промисловості. Встановлення впливу фактора швидкості на структурно-механічні властивості овочів при деформуванні та подрібненні. Отримання розрахункових величин модуля пружності та коефіцієнтів тертя для деяких овочів.

Методи. Дослідження реологічних характеристик овочів здійснювалося за стандартною методикою шляхом стиснення сировини між двома плоскопаралельними пластинами. Дослідження коефіцієнтів тертя здійснювалося на експериментальній установці дискового типу, яка дозволяє максимально відтворити реальний процес тертя сировини об поверхню ножа, що обертається. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалася методами математичної статистики.

Результати. В статті виконано аналіз техніко-експлуатаційних характеристик сучасного овочерізного обладнання дискового типу. Встановлено, що інтервал швидкостей різання, які використовуються в харчовій промисловості, становить від 225 до 475хв⁻¹. У визначеному інтервалі проведено дослідження впливу фактора швидкості на структурно-механічні властивості овочів. Аналітичним шляхом доведено, що збільшення фактора швидкості спричиняє зменшення в'язкості сировини та сприяє зменшенню прояву пружних властивостей овочів. Результати аналітичних досліджень підтверджено експериментально. Встановлено, що збільшення швидкості деформування зразка сировини у зазначеному інтервалі призводить до зменшення модуля пружності в 1,2 рази. Встановлено, що зі збільшенням швидкості коефіцієнт тертя овочів по сталевій поверхні ножа у зазначеному інтервалі зменшується в 1,2–1,5 рази. Згідно отриманих результатів рекомендовано використовувати більш високі швидкості різання для зменшення енергетичної складової процесу, оскільки відомою є залежність потужності, що витрачається на розрізання сировини, від її структурно-механічних характеристик. Експериментально отримано розрахункові значення коефіцієнтів тертя та модуля пружності для деяких овочів, які можна використовувати при розрахунках овочерізного устаткування.

Надійшла до редакції 28.05.2018 р. © А. В. Шейна, О. В. Омельченко, О. Є. Мельник, 2018

Ключові слова: швидкість різання, деформування, коефіцієнт тертя, в'язкість, модуль пружності, овочі.

Постановка проблеми. Одним з найбільш поширених на підприємствах ресторанного господарства механізованих способів обробки овочів є різання. Найбільшого поширення набули овочерізальні машини дискового типу продуктивністю 200–350 кг/год. Ці машини комплектуються змінними ріжучими блоками та дозволяють виконувати до 40 різних видів різання, в тому числі подрібнення варених та сирих овочів, деяких фруктів, зелені, грибів, сиру, цитрусових. Овочерізальні машини дискового типу є універсальними і, зазвичай, мають не більше двох режимів швидкості різання. Здебільшого, ці режими відповідають подрібненню сирих та варених овочів [1].

Характерною особливістю рослинної сировини є здатність проявляти свої властивості, залежно від умов її навантаження. Під час різання відбувається дія леза ножа на сировину, причому процесу безпосереднього проникнення леза в шар продукту передують його попереднє стиснення тим самим лезом. Отже, енергія, що витрачається на процес різання буде складатися з енергії, яка витрачається на стиснення сировини лезом та енергії, що витрачається безпосередньо на розрізання [1, 3].

Є доведеним фактом вплив режиму різання на енергетичні показники цього процесу [3, 6]. Оскільки потужність різання залежить, в тому числі, і від структурно-механічних характеристик сировини, що обробляється, то розуміння прояву цих характеристик при різних швидкостях взаємодії продукту та ножа є визначним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим показником процесу подрібнення рослинної сировини є енерговитрати при різанні, які залежать від геометричних параметрів леза, швидкості різання та структурно-механічних властивостей подрібнюваної сировини [1, 3, 4]. Вплив геометрії леза на процес різання всебічно досліджений та відомі залежності представлені в багатьох наукових роботах [1, 6, 12]. Структурно-механічні характеристики сировини залежать від швидкості навантаження [1, 7–9], що також є доведеним фактом, але данні щодо цих залежностей саме для сегменту харчової промисловості розрізненні внаслідок відмінностей в методиках досліджень та поставлених задач, неможливо систематизувати їх для обраної групи овочів.

Серед структурно-механічних характеристик, що розглядаються в цій роботі, є модуль пружності, в'язкість, коефіцієнт тертя сировини по поверхні леза.

Більшість рослинних матеріалів, згідно [1, 5], мають в'язко-пружні властивості та описуються моделлю Максвелла. Вони можуть бути представлені як конгломерат, що складається з твердої (пружної) і рідкої або газоподібної речовини, яка заповнює проміжки між твердими елементами.

Реологічне рівняння Максвелла має вигляд [1, 5, 10]:

$$\frac{d\sigma}{dt} = E \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} - \left(\frac{E}{\eta} \right) \cdot \sigma, \quad (1)$$

де E — пружна характеристика системи (модуль пружності), Н/м²; η — в'язка характеристика системи (в'язкість); σ — рушійна сила (напряга стиснення або розтягування), Н/м²; $\dot{\varepsilon}$ — швидкість деформування системи, м/с,

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt};$$

$\dot{\sigma}$ — швидкість навантаження системи, м/с;

$$\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}.$$

Більшістю рослинних матеріалів є тканини, утворені просторовою волокнистою системою, в порожнинах якої знаходяться рідини або гази. При деформуванні волокна такого матеріалу впливають на рідке або газоподібне середовище, примушуючи його рухатися в менш напружені ділянки. Відповідно до законів гідродинаміки, опір середовища, при

такому переміщенні, залежить від швидкості її руху [2, 3, 5]. Таким чином, можна зробити висновок, що структурно-механічні характеристики овочевої сировини залежать від швидкості дії на неї робочих органів технологічного устаткування.

Модуль пружності E і в'язкість η є основним джерелом інформації про в'язко-пружні властивості овочів. Вони дають можливість детально проаналізувати поведінку сировини при навантаженні [5, 10, 11].

На фрикційні властивості рослинної сировини при подрібненні в овочерізальних машинах здійснюватимуть вплив: швидкість відносного переміщення продукту і ножа, тиск на продукт, вологість поверхні зразка, температура продукту, площа контакту, тривалість попереднього контакту продукту з поверхнею, стан поверхонь, що труться, тощо.

Питаннями впливу фрикційних властивостей рослинної сировини на хід різних технологічних процесів присвячено роботи [3, 8, 9], в яких відмічається значний вплив коефіцієнта тертя на енергетичну складову процесу різання. Але, слід зазначити, що є багато факторів, які дозволяють впливати на величину коефіцієнта тертя, в тому числі, фактор швидкості. Дані щодо впливу швидкості взаємного руху обраних пар тертя саме у визначеному інтервалі відсутні, що обумовило необхідність проведення незалежних досліджень. Проведення дослідів з різними видами овочевої сировини в рамках одного експерименту дозволить визначити вплив самої структури продукту (наприклад, волокнистості, вологості, неоднорідності в шарі) на його фрикційні властивості.

Мета статті. Метою статті є аналіз техніко-експлуатаційних характеристик овочерізального обладнання дискового типу продуктивністю 200–350 кг/год та встановлення інтервалів швидкостей різання, які використовують при розробці сучасного обладнання. Аналіз результатів аналітичних та експериментальних досліджень з визначення впливу фактора швидкості на в'язкість досліджуваної сировини, модуль пружності та коефіцієнт тертя. Отримання розрахункових величин модуля пружності та коефіцієнтів тертя для деяких овочів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для аналізу техніко-експлуатаційних характеристик обладнання для нарізання овочів було відібрано моделі овочерізальних машин, які випускаються сучасною світовою промисловістю [1]. Встановлено, що в устаткуванні різних виробників різання продукції здійснюється з різними швидкостями, при цьому інтервал швидкостей різання коливається в межах від 225 до 475 хв^{-1} . На рис. 1 приведена гістограма зміни швидкостей обертання ножів овочерізального обладнання дискового типу, яке використовується підприємствами ресторанного господарства із зазначенням продуктивності обраних моделей. Менші значення швидкостей різання здебільшого використовують в спеціалізованому обладнанні для подрібнення варених овочів, більші — в промислових овочерізках, продуктивність яких складає більше 1000 кг/год.

Зусилля різання в овочерізальних машинах дискового типу залежить від геометричних параметрів ріжучого інструменту, швидкості різання та структурно-механічних властивостей продукту, що подрібнюється, а саме — коефіцієнта тертя продукту об поверхню ріжучої кромки ножа, в'язкості та модуля пружності.

Тертя розвивається в мікрооб'ємах, що виникають в зонах торкання двох твердих тіл і має подвійну молекулярно-механічну природу. Воно обумовлене подоланням адгезійного зв'язку між двома поверхнями, або між плівками, якими покриті тверді тіла, і об'ємною деформацією матеріалу. Слід зазначити, що овочі — це соковита сировина, вологість якої може досягати 95–98 % (огірки, кабачки). При розрізанні овочів відбувається виділення значної кількості вологи з міжклітинного простору, яка утворює граничну плівку в зоні контакту продукту з поверхнею ножа. При різанні овочів в овочерізальній машині можна відмітити постійне зволоження поверхні ножа соком продукту, що розрізається, що сприяє зниженню значення коефіцієнта тертя.

Задачею поставлених досліджень стало визначення характеру зміни коефіцієнтів тертя групи овочів в інтервалі швидкостей, які використовуються в сучасному овочерізальному обладнанні (рис. 1). Мета таких досліджень — визначення та обґрунтування раціонального швидкісного режиму при різанні.

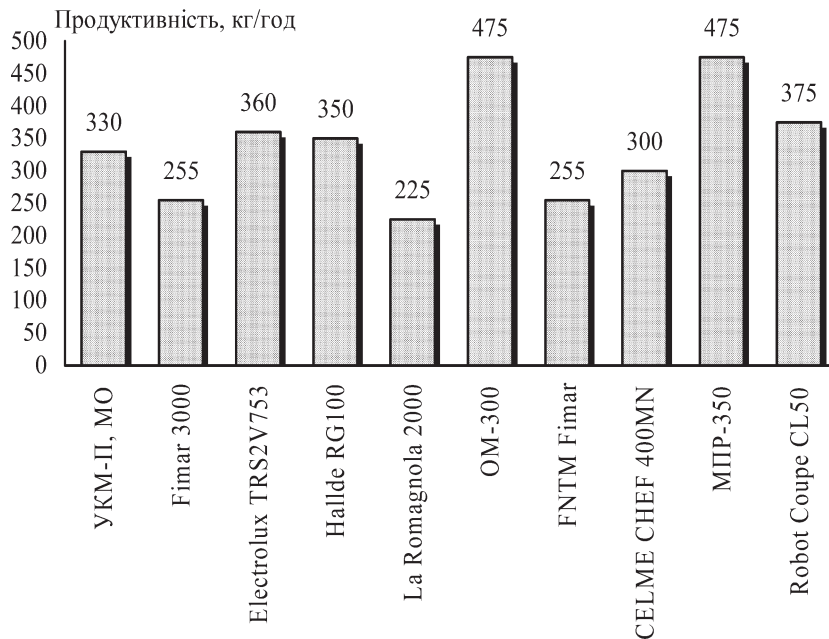


Рисунок 1 — Швидкості обертання ножів в сучасному овочерізальному обладнанні

Для дослідження впливу швидкості ковзання на коефіцієнт тертя овочів по сталевій поверхні використовувалася експериментальна установка дискового типу [1]. Установка складається з опорного диску, який обертається у горизонтальній площині, та дозволяє встановлювати змінні поверхні контакту. Частота обертів опорного диску може плавно змінюватися за допомогою частотного перетворювача, забезпечуючи окружну швидкість у зоні торкання продукту від 0,425 до 2,66 м/с. Експериментальна установка є фізичною моделлю реального овочерізного устаткування та дозволяє проводити дослідження в умовах, максимально наближених до реального процесу різання. Результати експерименту представлені на рис. 2 у вигляді графічних та в табл. 1 у вигляді емпіричних залежностей.

Встановлено, що коефіцієнт тертя змінюється із зростанням швидкості ковзання за лінійною залежністю в заданому інтервалі швидкостей. При збільшенні швидкості ковзання від 0,75 до 2,66 м/с спостерігається зменшення коефіцієнта тертя овочів по сталі в середньому в 1,2...1,5 рази.

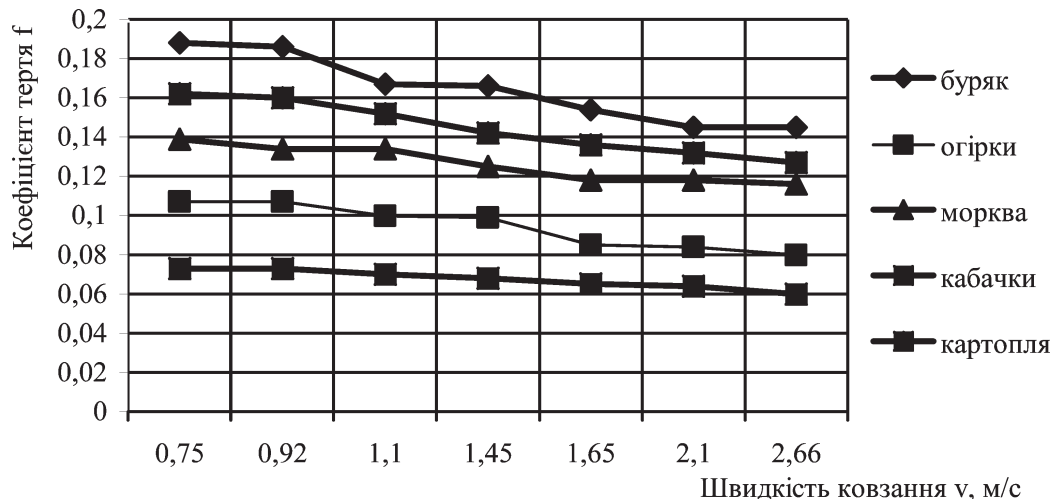


Рисунок 2 — Вплив швидкості ковзання на коефіцієнти тертя овочів

Зниження величини коефіцієнтів тертя при збільшенні швидкості ковзання можна пояснити тим, що із збільшенням швидкості відбувається зміна шорсткості контактуючих поверхонь. Дискретний характер контакту, що має місце при зіткненні двох твердих тіл, обумовлює при терті постійну зміну окремих елементарних точок контакту. В такому випадку, кожен елементарний контакт має три етапи еволюції: взаємодія, зміна, руйну-

Таблиця 1 — Рівняння кривої, що описують залежність коефіцієнтів тертя від швидкості ковзання

Продукт	Рівняння кривої	Достовірність апроксимації R^2
Морква	$-0,005 v + 0,115$	0,931
Кабачки	$-0,002 v + 0,176$	0,969
Картопля	$-0,006 v + 0,170$	0,978
Огірки	$-0,006 v + 0,169$	0,978
Буряк	$-0,008 v + 0,196$	0,946
Загальний вигляд рівняння кривої	$f = k \cdot v + C$	0,93...0,97

вання. Тривалість існування елементарного контакту залежить не лише від швидкості відносного руху пар тертя, але й від структурно-механічних властивостей дотичних матеріалів і стану поверхонь, що труться.

Коефіцієнти тертя для деяких овочів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 — Розрахункові коефіцієнти тертя

Продукт	Коефіцієнт тертя f	Продукт	Коефіцієнт тертя f
Морква	0,139	Картопля	0,162
Кабачки	0,073	Баклажани	0,212
Огірки	0,119	Буряк столовий	0,188

Для дослідження залежності модуля пружності від швидкості навантаження використовувалася експериментальна установка, яка дозволяє здійснювати навантаження зразка продукту із заданою постійною швидкістю в умовах одноосового стиснення [1]. 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 фіксується зусилля стиснення.

Задачею дослідження поведінки м'якоти овочевої сировини при одноосовому стисненні є визначення залежності між напругою і деформацією та впливу швидкості деформування на в'язкість та модуль пружності.

Для аналізу впливу швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ на модуль пружності E рівняння (1) має бути диференційоване по обидві сторони по відношенню до E і ϵ :

$$\frac{1}{\eta} \sigma \cdot dE = \dot{\epsilon} \cdot dE + E d\dot{\epsilon}, \quad (2)$$

де dE — диференційний модуль пружності; $d\dot{\epsilon}$ — диференційна швидкість деформації.

З урахуванням (2) отримуємо співвідношення:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\dot{\sigma}}{\left(\dot{\epsilon} - \frac{\sigma}{\eta}\right)^2}, \quad (3)$$

На першому етапі релаксаційного випробування напруга збільшується з часом, тобто $\sigma > 0$ і, згідно з рівнянням (3), робимо висновок, що

$$\frac{dE}{d\dot{\epsilon}} < 0.$$

Це означає, що модуль пружності E зменшується із зростанням швидкості деформації $\dot{\epsilon}$. З урахуванням (1), якщо $\dot{\sigma} > 0$, то й вираз

$$\left(\dot{\epsilon} - \frac{\sigma}{\eta}\right) > 0,$$

тоді, згідно з формулою (3), можна відзначити, що вплив швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ на модуль пружності E знижується зі зростанням швидкості.

Для вивчення впливу швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ на в'язкість η використовуємо рівняння (4), безпосередньо пов'язане з рівнянням (1):

$$\frac{1}{E}\dot{\sigma} + \sigma = \eta\dot{\epsilon}. \quad (4)$$

Диференціюючи рівняння (4) по обидві сторони відносно η і $\dot{\epsilon}$, отримаємо:

$$\frac{1}{E}\dot{\sigma}d\eta = \eta d\dot{\epsilon} + \dot{\epsilon}d\eta, \quad (5)$$

де $d\eta$ — диференціал коефіцієнта в'язкості.

Тоді похідна $\frac{d\eta}{d\dot{\epsilon}}$ може бути записана:

$$\frac{d\eta}{d\dot{\epsilon}} = \frac{\eta}{\left(\frac{\dot{\sigma}}{E} - \dot{\epsilon}\right)}. \quad (6)$$

З урахуванням (1), отримуємо:

$$\frac{d\eta}{d\dot{\epsilon}} = \frac{-\sigma}{\left(\dot{\epsilon} - \frac{\dot{\sigma}}{E}\right)^2}. \quad (7)$$

Оскільки $\sigma > 0$, то, з урахуванням (7), похідна $\frac{d\eta}{d\dot{\epsilon}} < 0$.

Таким чином, в'язкість так само зменшується зі збільшенням швидкості деформації $\dot{\epsilon}$.

З урахуванням рівняння (4) нерівність

$$\left(\dot{\epsilon} - \frac{\dot{\sigma}}{E}\right) > 0.$$

Звідси, на підставі рівняння (7), так само можна стверджувати, що вплив швидкості деформації на в'язкість знижується із зростанням швидкості.

Модуль пружності є однією з реологічних характеристик, які здійснюють вагомий вплив на процес різання. Згідно з проведеними дослідями та літературним аналізом, для більшості овочів межа міцності настає при деформуванні продукту на 10–15 % при стисненні, та менш ніж 10 % при різанні. Саме тому, при дослідженні впливу швидкості деформування на пружні властивості м'якоті зразка продукту відносна деформація не перевищувала 20 %.

На рис. 3 наведені графічні залежності модуля пружності деяких овочів від швидкості деформування при стисканні зразка на 20 %.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що зі збільшенням швидкості деформації чисельне значення модуля пружності знижується за статечним законом.

Аналізуючи графіки, відмітимо, що при малих швидкостях модуль пружності більшою мірою залежить від швидкості деформації і його значення стрімко знижується в інтервалі від 0,003 до 0,1 м/с. При збільшенні швидкості деформації зразка понад 0,1 м/с її вплив на модуль пружності помітно знижується.

Згідно з рис. 3, в інтервалі швидкостей деформування від 0,0034 до 2,5 м/с модуль пружності моркви зменшується від $42,5 \times 10^5$ Н/м² до $27,55 \times 10^5$ Н/м², цибулі ріпчастої — від 18×10^5 Н/м² до $7,25 \times 10^5$ Н/м², картоплі — від 54×10^5 Н/м² до $33,75 \times 10^5$ Н/м², кабачків від 38×10^5 Н/м² до $14,5 \times 10^5$ Н/м², огірків — від 35×10^5 Н/м² до $12,5 \times 10^5$ Н/м², баклажанів — від 42×10^5 Н/м² до 14×10^5 Н/м².

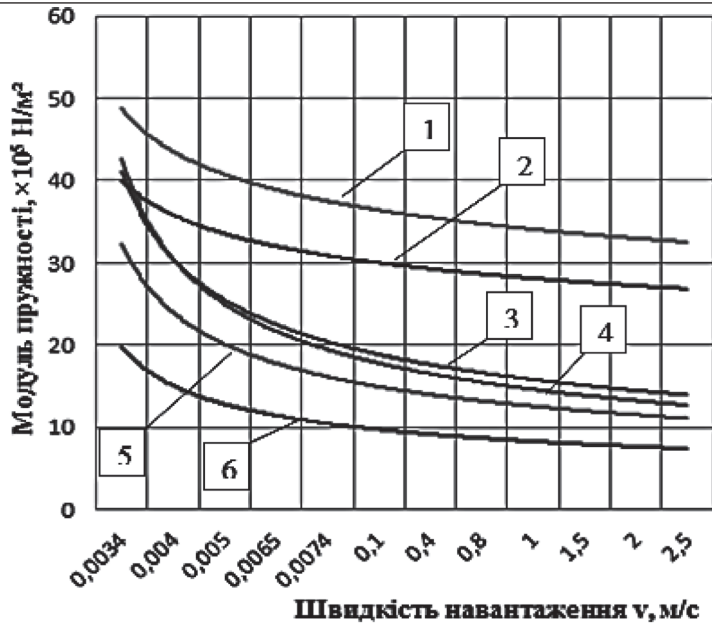


Рисунок 3 — Вплив швидкості деформування на модуль пружності овочів:
 1 — картопля, 2 — морква, 3 — кабачки, 4 — баклажани,
 5 — огірки, 6 — цибуля ріпчаста

Таблиця 3 — Залежність модулів пружності рослинної сировини від швидкості деформування

Продукт	Формула	k_1	n	Достовірність апроксимації функції R^2
Морква	$E = k_1 \cdot e^n$	40,023	-0,161	0,937
Цибуля ріпчаста		19,8	-0,399	0,958
Картопля		48,746	-0,163	0,846
Огірки		32,228	-0,431	0,966
Баклажани		42,715	-0,489	0,946
Кабачки		41,169	-0,437	0,958

Отже, зниження пружних властивостей м'якоті досліджуваної овочевої сировини, насамперед, пов'язано зі швидкістю розповсюдження уповільненої пружної деформації. Для різних видів овочів, згідно з рис. 3, зменшення модуля пружності від швидкості деформування носитиме різну динаміку, адже пружні властивості сировини залежать також від її структурних відмінностей, змісту вологи, проявів в'янення, неоднорідності шару, тощо.

Відмітимо, що при проведенні експериментальних досліджень використовувалася сировина, яка відповідає державним стандартам на відповідну овочеву продукцію. Попередня обробка зразків не впливала на результати досліджень, та відповідала умовам експериментів. При здійсненні дослідів, орієнтація овочів відносно рухомого диску, при визначенні коефіцієнтів тертя, та металевих пластин, при дослідженні пружних властивостей, відповідала розташуванню продукту відносно ножів в реальному овочерізальному устаткуванні.

В табл. 4 наведено модулі пружності для деяких овочів, які визначені експериментально при $\epsilon = 20\%$ і постійній швидкості вантаження.

Висновки. Проведено аналіз техніко-експлуатаційних характеристик сучасного овочерізального устаткування та визначено режими різання, які властиві галузі харчової промисловості та ресторанного господарства. Аналітично доведено вплив фактора швидкості на в'язкість та модуль пружності овочевої сировини. Експериментальним шляхом під-

Таблиця 4 — Модулі пружності овочів при $\varepsilon = 20 \%$, $\dot{\varepsilon} = 0,4 \text{ м/с}$

Продукт	Модуль пружності E , МПа	Продукт	Модуль пружності E , МПа
Картопля	3,57	Кабачок	1,72
Морква	2,90	Буряк	4,0
Цибуля	1,81	Капуста білокачанна	4
Огірок	1,32	Перець болгарський	2,1
Баклажан	1,5	Редис	3,5
Селера	3,2	Броколі	2,8
Хрін	5,1	Редька чорна	5,6
Цвітна капуста	3,5	Гарбуз	3,8

тверджено вплив фактора швидкості на в'язкість та модуль пружності овочевої сировини. Встановлено залежність коефіцієнтів тертя різних овочів від швидкості відносного тертя. Для досліджуваної сировини в діапазоні швидкостей 0,75–2,66 м/с спостерігається зниження коефіцієнту тертя в 1,2–1,5 рази, модуля пружності в 1,2 рази. Найбільший вплив на досліджувані характеристики швидкості дії матиме при малих значеннях, зі збільшенням показника швидкості, її вплив на модуль пружності і коефіцієнт тертя знижується.

Експериментальним шляхом отримано розрахункові коефіцієнти тертя та модуля пружності для обраної групи овочів, які рекомендовано використовувати при розрахунках овочерізного обладнання та самого процесу різання. Слід враховувати, що отримані залежності є дійсними тільки для обраних інтервалів швидкості. При збільшенні або зменшенні швидкості обертання ножів відносно обраних інтервалів отримані залежності можуть значно відрізнятись.

Згідно отриманих результатів досліджень зазначимо, що при розрахунках овочерізного устаткування доцільніше обирати більш високі швидкості різання, з огляду на те, що вони сприяють зниженню впливу структурно-механічних характеристик подрібнюваної овочевої сировини на процес різання.

Список літератури / References

1. Заплетников, И. Н. Измельчение растительного сырья : монография / И. Н. Заплетников, А. В. Шеина. — Харьков : Водний спектр Джи-Ем-Пи, 2016. — 205 с.
Zapletnikov, I. N., Sheyina, A. V. (2016). *Izmelchenie rastitel'nogo syrya* [Grinding plant material]. Kharkiv, Vodniy spektr J-M-P Publ., 205 p.
2. Gubenia, O., Guts, V. (2010). Modeling of cutting of food products. *EcoAgroTourism*, no. 1, pp. 67–71.
3. Sheyina, A., Goots, V. (2016). Cutting speed value during plant material grinding in food industry. *Ukrainian Journal Of Food Science*, vol. 4, iss. 1, pp. 111–119.
4. Гуць, В. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами / В. Гуць, А. Губеня // Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2. — 2010. — С. 411–416.
Guts, V., Gubenya, A. (2010). *Opredelenie usiliya rezaniya produktov s raznymi strukturno-mehaničeskimi svoystvami* [Determination effort of cutting products with different reological properties]. Nauchni trudove na UHT [Scientific Works of University of Food Technologies], vol. 57, issue 2, pp. 411–416.
5. Левіт, І. Б. Реологія харчових продуктів : монографія / І. Б. Левіт, В. О. Сукманов — Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. — 408 с.
Levit, I. B., Sukmanov, V. O. (2012). *Reolohiya harchovyh produktiv* [Reology of food products]. Donetsk, DonNUET Publ., 408 p.
6. Дейниченко, Г. В. Удосконалення комбінованих способів переробки баклажан та перцю солодкого : монографія / Г. В. Дейниченко, О. Г. Терешкін, Д. В. Горелков. — Харків, 2011. — 224 с.

Deynuchenko, H. V., Tereshkin, O. H., Horyelkov, D. V. (2011). *Udoskonalennia kombinovanykh sposobiv pererobky baklazhan ta pertsyu solodkoho* [An improvement of the combined methods of processing is an egg-plant and pepper sweet]. Kharkiv, 224 p.

7. Molenda, M., Thompson, S. A., Ross, I. J. (2011). Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surfaces. *Jagric. Engng Res.*, vol. 77 (2), pp. 209–219.

8. Bagley, E. B. (2013) Mechanical Properties of Solid Foods Deformation, Fracture and Stress Relaxation. *Physical Properties of Foods, Part 2*, pp. 345–365

9. Puchalski, C., Bruswitz, G. H., Dobrzański, B., Rybczyński, R. (2012). Relative humidity and wetting affect friction between apple and flat surfaces. *Int. Agrophysics*, no. 16, pp. 67–71.

10. Emadi, B. (2015). Mechanical properties of melon measured by compression, solar and cutting modes. *International Journal of Food Properties*, vol. 12, pp. 780–790.

11. Shirmohammadi, M., Yarlaga, P. K. D. V., Gudimetla, P., Kosse, V. (2014). Mechanical Behaviours of Pumpkin Peel under Compression Test. *Advanced Materials Research*, pp. 3–9.

12. Goots, V., Gubenia, O., Sheina, A., Omelchenko, K. (2017). Modelling of mechanical systems by the reodynamical method. *Proceedings Of University Of Ruse*, vol. 56, b. 10.1, pp. 135–139.

Цель. Установление интервалов скоростей резания, используемых в современном овощерезательном оборудовании. Установление влияния фактора скорости на структурно-механические свойства овощей при деформировании и измельчении. Получение расчетных величин модуля упругости и коэффициентов трения для некоторых овощей.

Методы. Исследование реологических характеристик овощей осуществлялось по стандартной методике сжатием образцов между двумя плоскопараллельными пластинами. Исследование коэффициентов трения осуществлялось на экспериментальной установке дискового типа, которая позволяет максимально воспроизвести реальный процесс трения сырья о поверхность вращающегося ножа. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась методами математической статистики.

Результаты. В статье выполнен анализ технико-эксплуатационных характеристик современного овощерезательного оборудования дискового типа. Установлено, что интервал скоростей резания, которые используются в пищевой промышленности, составляет от 225 до 475 об⁻¹. В установленном интервале проведено исследование влияния фактора скорости на структурно-механические свойства овощей. Аналитически доказано, что увеличение фактора скорости способствует уменьшению вязкости сырья и снижает проявления упругих свойств овощей. Результаты аналитических исследований подтверждены экспериментально. Установлено, что увеличение скорости деформирования образца сырья в отмеченном интервале приводит к уменьшению модуля упругости в 1,2 раза. Установлено, что с увеличением скорости коэффициент трения овощей по стальной поверхности ножа в установленном интервале уменьшается в 1,2–1,5 раза. Согласно полученных результатов рекомендовано использовать более высокие скорости резания для уменьшения энергетической составляющей процесса, поскольку известной является зависимость мощности, которая расходуется на разрезание сырья, от ее структурно-механических характеристик.

Экспериментально получены расчетные значения коэффициентов трения и модуля упругости для некоторых овощей, которые можно использовать при расчетах овощерезательного оборудования.

Ключевые слова: скорость резания, деформирование, коэффициент трения, вязкость, модуль упругости, овощи.

Objective. The purpose of the article is to select cutting speed used in modern vegetable equipment of food industry enterprises, to determine the influence of the speed factor on structural and mechanical properties of vegetables during deformation and chopping and to get the calculated values of the firmness modulus and friction coefficients for some vegetables.

Methods. The author has carried out the research of vegetables' rheological characteristics according to the standard method by compressing the raw material between two planar-parallel plates. The study of friction coefficients was carried out on an experimental disk-type facility, which allows replicating fully the actual process of raw material friction against the surface of the rotating knife. The author has carried out the elaboration of the results of experimental studies with the help of mathematical statistics methods.

Results. The article analyzes the technical and operational characteristics of modern vegetable cutting equipment of a disk type. Cutting speed range used in the food industry is defined to be from 225 to 475 min^{-1} . The influence research of the speed factor on the structural and mechanical properties of vegetables has been conducted in a definite interval. Analytically, the author has proved that the increase in the speed factor causes the decrease of the viscosity of vegetables and reduces the display of the elastic properties of vegetables. The results of analytical studies have been confirmed experimentally. The author has found that an increase in the rate of deformation of a raw material sample in a given interval leads to a 1.2 time decrease in the turgidity modulus; moreover, with increasing speed, the coefficient of vegetable friction against a steel surface of a knife in the specified interval decreases in 1,2–1,5 times. According to the results, it is recommended to use higher cutting speeds to reduce the energy component of the process, since the known dependence of the power, spent on the cutting of raw materials, upon its structural and mechanical characteristics.

The author has experimentally obtained the calculated values of friction coefficients and firmness modulus for some vegetables that can be used in calculations of vegetable equipment.

Key words: cutting speed, deformation, coefficient of friction, viscosity, firmness modulus, vegetables.