

УДК 621.9:664

DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3412

ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИМОГ ДО СИРОВИНИ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

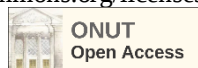
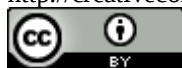
¹Резнік К.В., к.т.н., доц., ²Орлова С.С., к.т.н., доц.
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

ORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0000-7746-2930>; ²<https://orcid.org/0000-0001-6548-5166>;
E-mail: ¹rezkon1960@gmail.com, ²ss_orlova@ukr.net

Copyright © 2025 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC By).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. У статті розглянуто процес механічної різки сировини як один із найбільш енергоємних етапів технологічної обробки у закладах готельно-ресторанного господарства. Проаналізовано вплив кінематичних параметрів ріжучого інструменту, зокрема коефіцієнта ковзання, швидкостей руху ножа та подачі продукту, на силові й енергетичні характеристики процесу різання. Наведено узагальнену схему різання продуктів ножами різної форми та виконано аналіз силової взаємодії ріжучого інструменту з матеріалом. Запропоновано параметричну та математичну моделі процесу різання, які дозволяють оцінити зусилля різання, потужність приводу та питомі енергетичні витрати. Особливу увагу приділено дослідженню впливу температурного стану рослинної сировини на енерговитрати різального обладнання. На основі експериментальних даних для моркви та картоплі встановлено лінійну залежність питомої витрати енергії різання від температури сировини та отримано аналітичний вираз для визначення потужності приводу різальних машин з урахуванням температурного фактора. Отримані результати можуть бути використані при інженерному обґрунтуванні енергетичних параметрів різального обладнання та виборі раціональних режимів його роботи в умовах закладів готельно-ресторанного господарства.

Ключові слова: різання харчової сировини, енерговитрати, коефіцієнт ковзання, різальне обладнання, температура сировини, готельно-ресторанне господарство.

Механічна обробка харчової сировини є невід'ємною складовою технологічних процесів у закладах готельно-ресторанного господарства. Одним із найбільш поширених та енергоємних процесів такої обробки є різка, яка здійснюється із застосуванням спеціалізованого різального обладнання. Сучасні тенденції розвитку машин та обладнання для харчових виробництв орієнтовані на підвищення енергоефективності та зниження питомих витрат енергії без погіршення якості обробки сировини. При цьому суттєвий вплив на силові та енергетичні характеристики процесу різки мають фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, які, у свою чергу, залежать від його температурного стану. Зміна температури сировини призводить до варіювання міцнісних і деформаційних характеристик, що безпосередньо відображається на зусиллях різання та споживаній потужності обладнання.

Незважаючи на наявність наукових досліджень, присвячених механіці процесу різки харчових матеріалів, питання комплексного врахування температурного стану сировини під час інженерного обґрунтування енергетичних параметрів різального обладнання залишається недостатньо висвітленим, особливо в контексті умов експлуатації у закладах готельно-ресторанного господарства. Це зумовлює актуальність проведення досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей впливу температури сировини на енергоспоживання різального обладнання та інженерного обґрунтування енергетичних параметрів різального обладнання при процесу різки в умовах закладів готельно-ресторанного господарства.

У процесі технологічної переробки овочів, фруктів і зелени до складу лінії входить машина для нарізки. Нарізка овочів і фруктів може здійснюватися кубиками або слайсами з різною товщиною, в плоскому виконанні або у вигляді хвилястого шматочка. Товщина різку визначається типом ріжучої головки машини

різання і конфігурацією ножів.

Технологічний процес нарізання характеризується подрібненням сировини, яке можна виконувати розчавлюванням, розриванням, розтягуванням і розрізанням. Найбільшого поширення для сільськогосподарської сировини, що містить 80-90% вологості набули два способи подрібнення: різання і дроблення.

Подрібнення різанням виконується плоскими ножами з однобічним і двобічним заточуванням лез. Загальним у всіх ножів є робоча гостра кромка – лезо. У тих випадках, коли лезо ножа заглиблюється в продукт лише силовим поступальним рухом, має місце не різання, а рубка продукту. При цьому лезо ущільнює продукт, і продукт руйнується шляхом сколювання, як при рубці сокирою волокнистих матеріалів. Тож для розрізання продукту ніж повинен здійснювати одночасно два силові рухи – перпендикулярно лезу і паралельно йому [1]. При цьому мікроскопічні невидимі неозброєному оку зубці перерізають волокна і клітки подрібнюваного продукту. Таким чином, розрізають продукти з низькою механічною міцністю (рослинна сировина).

Якщо ж доводиться розрізати продукти, що важко деформуються, з високою механічною міцністю, то лезо ріжучого інструменту повинне мати зубці з кутом заточування менше 0 , тобто в цьому випадку процес різання перетворюється на розпилювання (розпилюванню піддаються кістки і інші тверді продукти). При цьому матеріал, що розпилюється, не дотикається до стінок пили, що зменшує тертя і витрату енергії на подрібнення.

До всіх апаратів і машин висувають такі вимоги: апарат (машина) повинен бути високоефективним (високопродуктивним), надійним, малоенергоємним і металомістким, задовольняти вимогам безпеки роботи і бути зручним в обслуговуванні. В результаті інноваційних процесів, що відбуваються в останні роки в сфері громадського харчування при модернізації існуючого обладнання ми зможемо підвищити якість продукції, що випускається, скоротити експлуатаційні витрати, а також зробити обладнання більш екологічним. Неодмінними умовами тривалої і безперебійної роботи обладнання є його механічна надійність і конструктивна досконалість.

Механічну надійність характеризують: міцність, жорсткість, стійкість, довговічність, герметичність. Міцність тісно пов'язана з довговічністю і безпекою конструкції.

Конструктивну досконалість апаратури характеризують простота, металоємність, технологічність конструкції, високий коефіцієнт корисної дії.

Узагальнену схему різання продукту ножами різної форми, яка відображає основні способи розрізання та реалізується за допомогою різних механізмів, що забезпечують характерні для відповідних процесів різання рухи ножів, наведено на рис. 1.

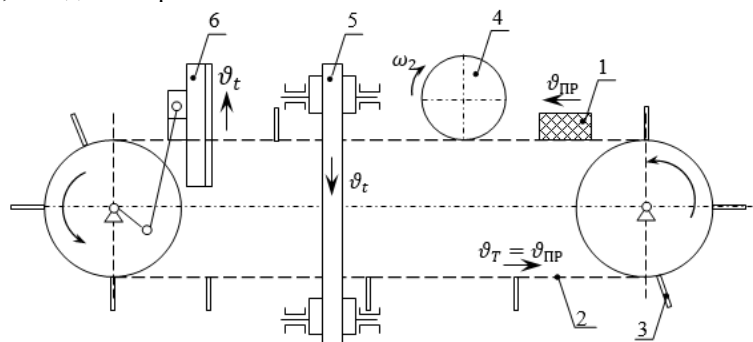


Рис. 1. Схема різання продукту ножами

Поступальний хід продукту 1 до ріжучих ножів здійснюється транспортером 2, забезпеченим шкребками 3. Швидкість руху транспортера, а отже, і продукту позначимо $v_{пр}$ (перпендикулярно лезам). Продукт, що рухається зустрічає дисковий ніж 4, що обертається з кутовою швидкістю ω_2 . Рух v_t уздовж леза і рух $v_{пр}$ перпендикулярно лезу геометрично складаються. Стрічковий ніж 5 забезпечує безперервний рух леза із швидкістю $v_{пр}$, при цьому, як і в першому випадку, відбувається розрізання, а не рубка продукту.

Третій спосіб різання забезпечується зворотно-поступальним рухом ножа 6 зі середньою швидкістю v_t . Найбільшого поширення набули ріжучі інструменти 4 і 6, що діють окремо або в спільних комбінаціях, коли нарізані шматочки потрібно отримати у вигляді локшини (стовпчиків) або кубиків.

Як відомо, в деяких різальних машинах ніж не здійснює зворотно-поступального руху: $\vartheta_t = 0$; тому продукт подрібнюється не різанням, а рубкою, що небажано, але виправдовується завдяки конструктивному спрощенню ріжучих машин.

Стосовно узагальненої схеми, показаної на рис.1, досить відключити ніж 6 від механізму, що приводить його в зворотно-поступальний рух, і замість різання відбувалася би рубка при $\vartheta_t = 0$.

Результуюча швидкість руху ріжучих кромek ножів:

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_{\text{пр}}^2 + \vartheta_t^2}. \quad (1)$$

Кут між напрямом результуючої швидкості ϑ і напрямом швидкості $\vartheta_{\text{пр}}$ (перпендикулярною лезу) називають кутом ковзання леза по продукту, що розрізає:

$$\frac{\vartheta_t}{\vartheta_{\text{пр}}} = \tan \beta = K_\beta. \quad (2)$$

Відношення (2) називається коефіцієнтом ковзання, який характеризує процес різання. Якщо швидкість подачі ножа $\vartheta_{\text{пр}}$ зростає, то коефіцієнт ковзання зменшується; при дуже великих значеннях $\vartheta_{\text{пр}}$ процес різання по своїй ефективності наближається до процесу рубки, при якому $K_\beta = 0$. Якщо ж нормальна складова $\vartheta_{\text{пр}} = 0$, то коефіцієнт ковзання стає рівним нескінченності. Практично це означає, що ніж ковзає, не виробляючи ні різання, ні рубки. Зі сказаного слідує, що коефіцієнт ковзання характеризує ефективність силової дії ріжучого інструменту, тобто витрата енергії. При збільшенні коефіцієнта ковзання підвищується чистота поверхні зрізу завдяки зменшенню загальної деформації стискування і розчавлювання. Відповідно, що за наявності двох взаємно перпендикулярних силових дій опір продукту розрізанню долається краще, ніж при односторонній дії.

На рис. 2 показана схема, що пояснює силову дію ножа на продукт, що розрізається.

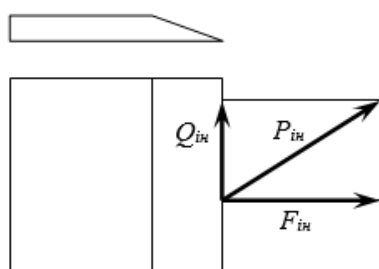


Рис. 2. Схема силових дій ножа

Загальне зусилля, що надається ріжучим інструментом, P_{in} на продукт, що розрізається, розкладемо на два напрями: перпендикулярно лезу F_{in} і уздовж леза Q_{in} . Величина F_{in} , як правило, зумовлює деформацію зминання і руйнування продукту; тому її зменшення, пов'язане із збільшенням швидкості ковзаючого руху, є позитивним.

Практично швидкість руху лез ножів, ріжучих продукти, знаходиться в широких межах ($\vartheta_t = 1,0 \dots 30$ м/с); швидкість подачі продукту значно менше і складає $\frac{1}{10} \vartheta_t \leq \vartheta_{\text{пр}} \leq \frac{1}{50} \vartheta_t$.

Закони дроблення визначають роботу, яку виконують зовнішні сили при руйнуванні грудок корисної копалини, що дробиться. При дробленні мінеральні зерна руйнуються по найслабших перетинах (тріщинах, дислокаціях тощо). Робота, затрачувана на дроблення, частково витрачається на деформацію грудок, що руйнуються, частково витрачається на утворення нових поверхонь. В сучасній теорії і практиці дроблення і подрібнення використовують чотири основних закони (гіпотези), які є емпіричними [2]:

- за законом Ріттинґера (П. Ріттинґер, 1867) робота, витрачена на руйнування об'єкту, пропорційна новій утвореній поверхні (при дрібному подрібненню);
- за законом Кіка-Кирпичова (В.Л. Кирпичов 1874; Ф.Кік 1885) витрата енергії на дроблення матеріалу пропорційна його об'єму або масі (при крупному подрібненню);
- за законом Ребіндера (П.О. Ребіндер, 1944). повна робота дроблення дорівнює сумі робіт деформацій і утворення нової поверхні;
- за законом Бонда (Ф.Бонд, 1950) робота, затрачувана на дроблення, пропорційна середньому геометричному об'єму і площі сировини, що руйнується (при середньому подрібненню).

Інші гіпотези ґрунтуються на припущенні про зв'язок напруження на кінцях тріщин зерна і критичної довжини тріщини.

Зменшення нормальної складової опору різанню F_{in} характеризується графіком залежності нормальної складової зусилля різання від коефіцієнта ковзання (рис. 3).

Останні дві складові витрати енергії ($E_2 + E_3$) перетворюються на необоротні теплові втрати, величина яких складає 80...85 % від загальної витрати енергії. Отже, витрата енергії на подолання молекулярних сил або поверхневих зв'язків складає близько 15...20 %.

Згідно з дослідженнями проф. А.І.Пелєєва при збільшенні швидкості леза від 0,5 до 5 м/с опір різанню зростає на 20...30 %.

При розрізанні сировини із швидкістю руху леза 1 м/с питома витрата енергії при $\beta = 0$ складає в середньому 2... 2,5 кДж/м² (або близько 250 кг·м/м²). Якщо ж швидкість різання збільшується в 10 разів, то питома витрата енергії, хоча і збільшується, але вельми трохи і складає 2,5...3,5 кДж/м².

Вплив кута β прослідимо на такому досліді. Приймаючи за 100% питомий об'єм енергії на розрізання 1 м² при $\beta = 0$. При збільшенні кута до 60° витрата енергії зменшується і складає лише 75...80%. Проте при подальшому збільшенні β питома витрата енергії починає зростати. Так при $\beta = 75^\circ$ вона складає вже

115...125% і при $\beta = 90^\circ$ питома витрата енергії стає рівною нескінченності.

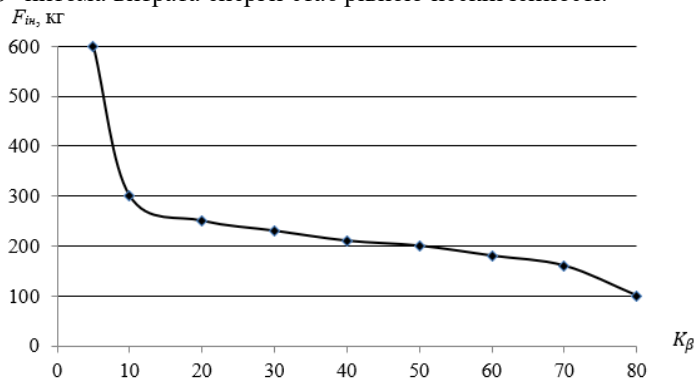


Рис. 3. Графік залежності F_{in} (K_β)

З цього графіка видно, що опір F_{in} різко падає із збільшенням коефіцієнта ковзання.

Енергію, що витрачається на різання, математично можна записати у наступному вигляді:

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (3)$$

де E_1 – енергія, що витрачається на утворення елементу нової голої поверхні;

E_2 – енергія, що витрачається на компенсацію втрат, пов'язаних з подоланням поверхневого тертя;

E_3 – енергія, що витрачається на об'ємні пластичні деформації.

При різанні коренеплодів з метою здобуття стружки (наприклад, при різанні буряка на цукрових заводах) якість останньої залежить в основному від параметрів ріжучого інструменту (ножа): кута загострення β ножа; радіусу закруглення (загострення) μ леза ножа висоти установки ножа над ріжучою площиною та ін. Іншими словами: чим гостріше ніж, тим краща поверхня зрізу, що є невід'ємною характеристикою в готельно-ресторанних закладах.

На рис. 4 зображена параметрична модель процесу різання для подальшого узагальнення опису взаємодії інструмента та матеріалу, визначення силових і енергетичних характеристик процесу, аналізу впливу основних факторів і обґрунтування раціональних режимів роботи різального обладнання [3].

На основі параметричної моделі можна: визначити силу різання; оцінити потужність приводу; розрахувати питомі енергетичні витрати.

Модель дозволяє дослідити:

- як зміна швидкості або кута ножа впливає на зусилля різання;
- як температура продукту змінює характер руйнування;
- які параметри є визначальними, а які — другорядними.

Без параметричної моделі ці величини довелося б визначати лише експериментально.

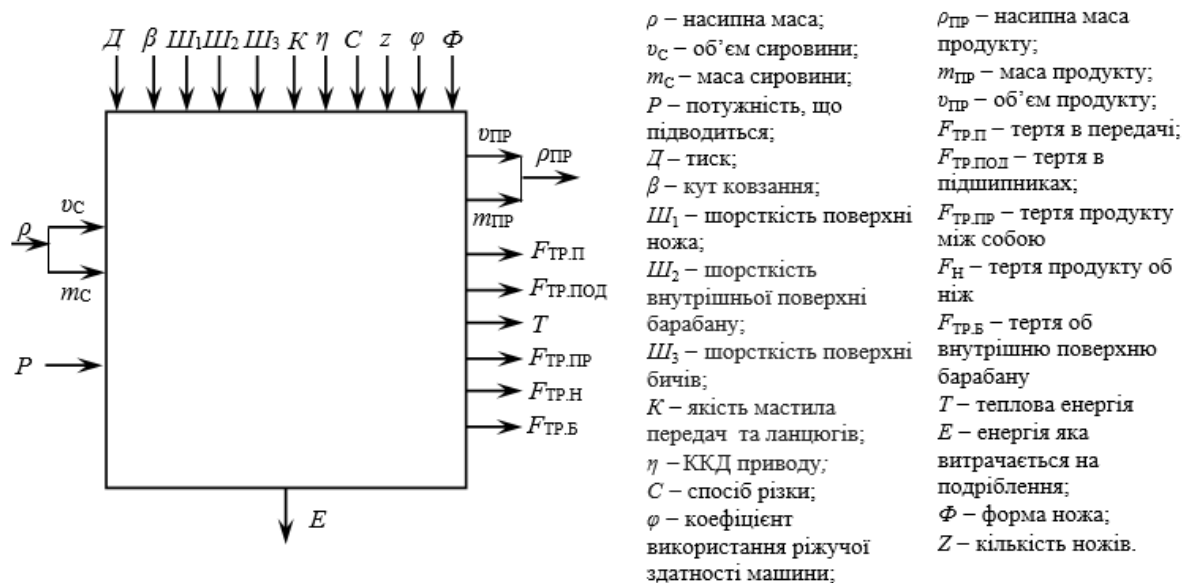


Рис. 4. Параметрична модель процесу різання

Системний підхід к моделюванню об'єктів можна об'єднати в математичної моделі (рис. 5).

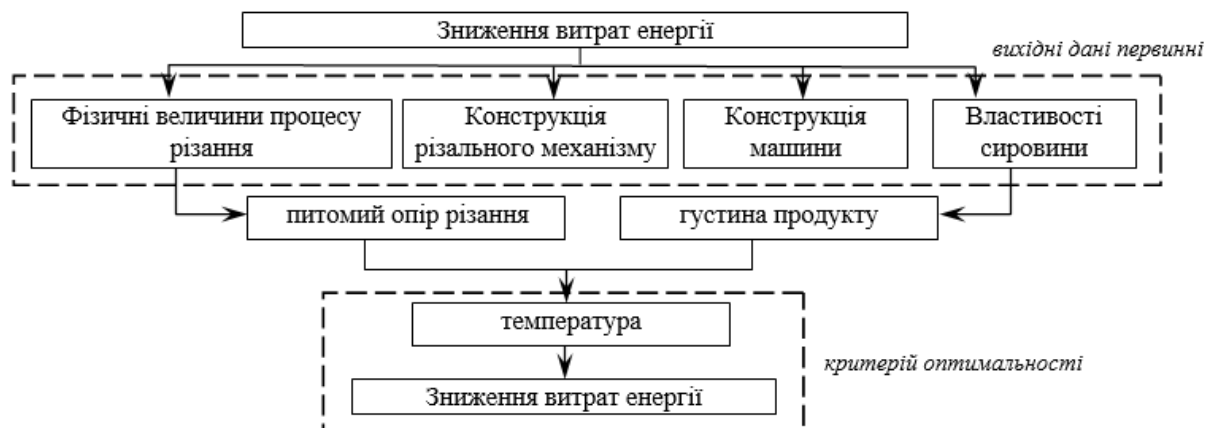


Рис. 5. Математична модель

Для обґрунтування в теоретичних дослідженнях залежності енерговитрат від температурного стану сировини для проведення експерименту були обрані морква та картопля як поширені об'єкти механічної обробки у закладах готельно-ресторанного господарства.

Дослідження виконувалися за температури сировини 20 °С (стандартні умови), а також після її попереднього нагрівання до 30 °С та 40 °С.

Результати наведено в табл. 1. З таблиці 1 видно, що значення питомої витрати енергії на різання моркви змінюються залежно від температури сировини $W = f(t)$.

На основі даних таблиці 1 побудовано графік залежності питомої витрати енергії різання моркви від температури (рис. 6).

Таблиця 1 – Таблиця залежності питомої витрати енергії на різку від температури

T, C°	%, вологість	%, сух. речовин	ρ	W
18	66,66	33,34	1206,708	1,608542
19	67,33	32,67	1202,554	1,603004
20	68	32	1200	1,5996
21	68,67	31,33	1194,246	1,59193
22	69,34	30,66	1190,092	1,586393
23	70,01	29,99	1185,938	1,580855
24	70,68	29,32	1181,784	1,575318
25	71,35	28,65	1177,63	1,569781
26	72,02	27,98	1173,476	1,564244
27	72,69	27,31	1169,322	1,558706
28	73,36	26,64	1165,168	1,553169
29	74,0	25,97	1161,014	1,547632
30	74,73	25,3	1156,86	1,542094
31	74,7	24,63	1152,706	1,536557
32	75,37	23,96	1148,552	1,53102
33	76,04	23,29	1144,398	1,525483
34	76,71	22,62	1140,244	1,519945
35	77,38	21,95	1136,09	1,514408
36	78,05	21,885	1135,687	1,513871
37	78,115	21,82	1135,284	1,513334
38	78,18	21,755	1134,881	1,512796
39	78,31	21,69	1134,478	1,512259
40	78,375	21,625	1134,075	1,511722

Додаємо лінію тренда (лінійна).

З графіку знаходимо рівняння прямої $y = f(x)$: $y = -0,0048x + 1,6913$ (де y – питома витрата енергії на різку моркви, x – температура моркви).

Тоді величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9742$, тобто достовірність 97,42%

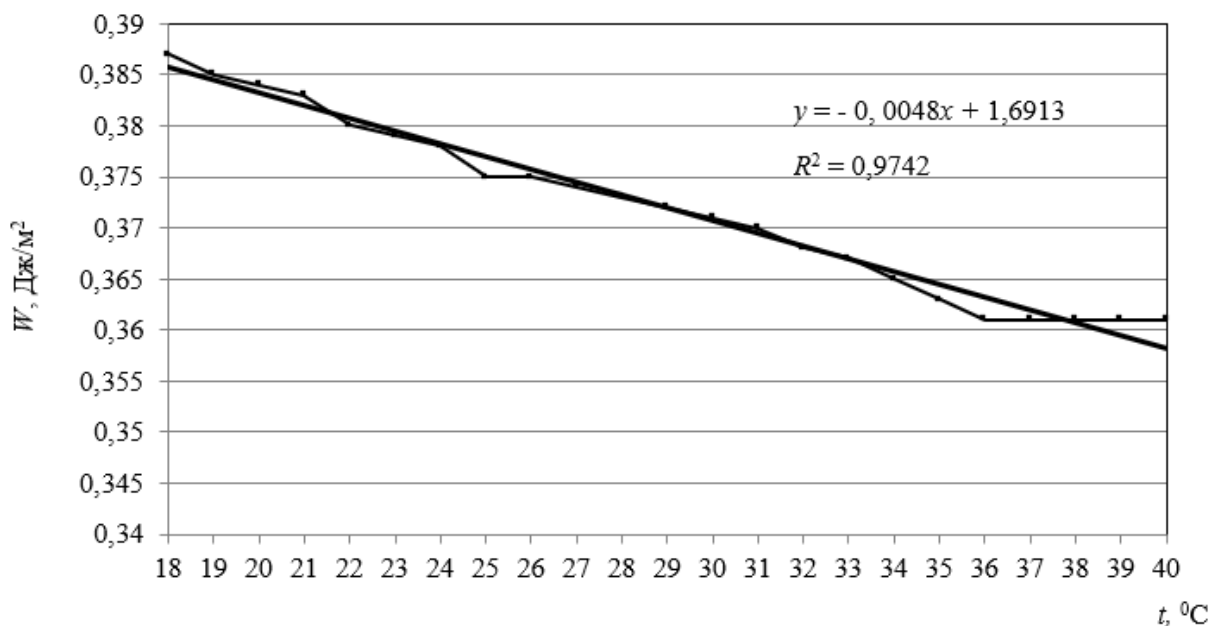


Рис. 6. Графік залежності питомої витрати енергії на різку моркви від температури
Відповідно потужність для приводу різальних машин визначається за формулою

$$P = \frac{(0,0048 \cdot t + 1,6913) \cdot \varphi \cdot F \cdot k_1}{k_2 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (3)$$

де φ – коефіцієнт використання різучої здібності машини, м²/с;

F – різуча здібність машини;

k_1 – коефіцієнт запасу потужності;

k_2 – коефіцієнт, що враховує витрату енергії на подачу та відведення продукту;

η – коефіцієнт корисної дії привода.

Тоді графік залежності питомої витрати енергії на різку моркви від температури має вид (рис. 7)

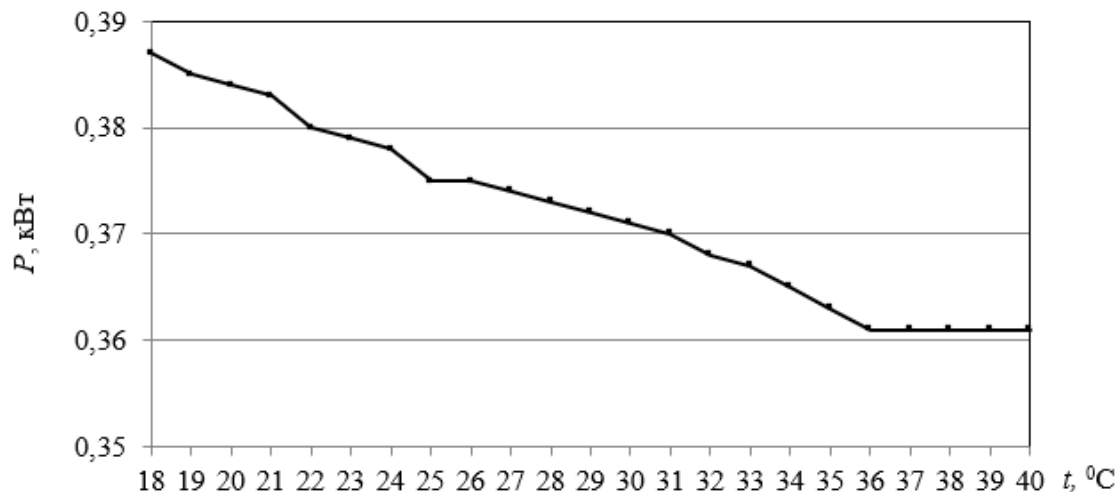


Рис. 7. Графік залежності питомої витрати енергії на різку моркви від температури

Таким чином ефективність роботи обладнання значною мірою визначається його енергетичними параметрами, що формуються на етапі інженерного проектування та безпосередньо впливають на експлуатаційні витрати й продуктивність. Встановлено, що збільшення коефіцієнта ковзання ножа призводить до зменшення нормальної складової зусилля різання, зниження загальних енергетичних витрат та покращення якості поверхні зрізу за рахунок зменшення деформацій зминання і розчавлювання продукту.

Запропонована параметрична модель процесу різання дозволяє комплексно врахувати вплив геометричних, кінематичних і фізичних факторів, що забезпечує можливість визначення сил різання,

питомих енерговитрат та потужності приводу. Експериментально підтверджено наявність чіткої залежності питомої витрати енергії різання сировини від її температурного стану: зі зростанням температури сировини спостерігається зменшення питомих енерговитрат, що зумовлено зміною її міцнісних і деформаційних характеристик.

Література

1. Різання та інструмент в технологічних системах (ISSN 2078-7405): Наук.-техн. збірник. Харків: НТУ «ХПІ», 2023. https://library.kpi.kharkov.ua/uk/ntu_rizannya (дата звернення 01.02.2026).
2. Дроблення і подрібнення // Вікіпедія: вільна енциклопедія, URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F:%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%96%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%80%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F
3. Xingzheng CHEN, Congbo LI, Ying TANG, Li LI, Hongcheng LI . Energy efficient cutting parameter optimization: Front. Mech. Eng. 2021, 16(2): 221–248 <https://doi.org/10.1007/s11465-020-0627-x>

ENGINEERING JUSTIFICATION OF MECHANICAL PARAMETERS AND RAW MATERIAL REQUIREMENTS IN THE DESIGN OF EQUIPMENT FOR THE HOTEL AND RESTAURANT INDUSTRY

K.V. Rieznik, PhD, Associate Professor, S.S. Orlova, PhD, Associate Professor,
Odesa National Technological University, Odesa, Ukraine

Abstract. The article considers the process of mechanical cutting of raw materials as one of the most energy-intensive stages of technological processing in hotel and restaurant establishments. The influence of the kinematic parameters of the cutting tool, in particular the slip coefficient, knife speed and product feed rate, on the force and energy characteristics of the cutting process is analysed. A generalised scheme for cutting products with knives of various shapes is presented, and an analysis of the force interaction between the cutting tool and the material is performed. Parametric and mathematical models of the cutting process are proposed, which allow the cutting force, drive power and specific energy consumption to be estimated. Particular attention is paid to studying the influence of the temperature state of plant raw materials on the energy consumption of cutting equipment. Based on experimental data for carrots and potatoes, a linear dependence of the specific cutting energy consumption on the temperature of the raw materials was established, and an analytical expression was obtained for determining the drive power of cutting machines, taking into account the temperature factor. The results obtained can be used in the engineering justification of the energy parameters of cutting equipment and the selection of rational modes of its operation in the conditions of hotel and restaurant establishments.

Key words: cutting of food raw materials, energy consumption, slip coefficient, cutting equipment, raw material temperature, hotel and restaurant industry.

Отримано в редакцію 12.12.2025
Прийнято до друку 22.12.2025
Розміщено в інтернеті 29.12.2025

Received 12.12.2025
Approved 22.12.2025
Available in Internet 29.12.2025