

a reduction in force loads and energy consumption by 25–30%, while maintaining productivity. The results obtained confirm the effectiveness of preliminary treatment of raw materials to increase the energy efficiency of the technological process.

Keywords: *kinematic and force analysis, pressing mechanisms, oil separation*

Науковий керівник:

Доценко Н.А.

*д-р пед.наук, професор,
професор кафедри загальнотехнічних дисциплін,
Миколаївський національний аграрний університет*

УДК 631.1: 635.1/.8: 634

Аналіз напружено-деформованого стану елементів обладнання для переробки томатів

Олександра Вознюк, Денис Капуста,

здобувач вищої освіти спеціальності 208 Агроінженерія
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Артем Чубов,

здобувач фахової передвищої освіти 208 Агроінженерія
ВСП «Технологіко-економічний фаховий коледж МНАУ»
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *у роботі проведено інженерне обґрунтування конструктивних параметрів обладнання для переробки томатів на основі аналізу напружено-деформованого стану його основних робочих елементів – протирального барабана та подрібнювальних ножів. Визначено колові, поздовжні, крутні та еквівалентні напруження в тонкостінному циліндрі барабана з урахуванням внутрішнього тиску сировини та крутного моменту. Проведено розрахунок згинальних напружень у подрібнювальних елементах і оцінено вплив відцентрових сил на їхній напружений стан.*

Ключові слова: *переробка томатів; напружено-деформований стан; протиральний барабан; подрібнювальний елемент; міцність конструкції; коефіцієнт запасу; металоємність; енергоефективність; інженерні розрахунки; модернізація обладнання.*

Для проектування та модернізації обладнання з переробки томатів необхідно враховувати комплекс чинників, зокрема властивості сировини, особливості технологічного процесу, необхідну продуктивність і економічну доцільність експлуатації. Системи сортування та миття повинні гарантувати ефективне очищення плодів і їх розподіл за розміром та якісними показниками.

Продуктивність технологічних ліній визначається масштабом виробництва і може становити від сотень кілограмів до кількох тонн сировини за годину.

Водночас переробні підприємства висувають підвищені вимоги до точності виконання технологічних операцій, тоді як конструкції харчового обладнання часто характеризуються значною енерго- та матеріаломісткістю. Важливою умовою є також адаптація машин до фізико-механічних і технологічних властивостей томатної сировини. Традиційна схема переробки передбачає роздільне виконання процесів подрібнення та протирання, однак вплив конструктивних і режимних параметрів обладнання на загальну ефективність лінії досліджено недостатньо [1].

Отже, обґрунтування раціональних параметрів машин для протирання томатної м'якоті є визначальним етапом удосконалення технології виробництва томатного соку. Модернізація обладнання має бути спрямована на підвищення продуктивності та якості готової продукції при одночасному зменшенні енерговитрат і експлуатаційних витрат [2].

Запропонована конструкція дає можливість оптимізувати технологічний процес переробки томатів за рахунок інтеграції операцій подрібнення та протирання в одному робочому вузлі [6]. Для обґрунтування її параметрів було виконано аналіз напружено-деформованого стану елементів обладнання для переробки томатів [3].

В таблиці 1 представлені вихідні дані для визначення напружено-деформованого стану робочих частин пристрою для переробки томатів.

Таблиця 1. Вихідні дані для визначення напружено-деформованого стану робочих частин пристрою для переробки томатів.

№	Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Протиральний барабан				
1	Радіус барабана	R	0,15	м
2	Товщина стінки	t	0,004	м
3	Довжина барабана	L	0,6	м
4	Внутрішній тиск сировини	p	0,05	МПа
5	Крутний момент	M	350	Н·м
6	Допустиме напруження матеріалу	[σ]	140	МПа
7	Модуль пружності сталі	E	$2,0 \cdot 10^{11}$	Па
8	Густина матеріалу	ρ	7800	кг/м ³
Подрібнювальний елемент				
1	Довжина вильоту ножа	l	0,12	м
2	Сила різання	Fr	120	Н
3	Ширина ножа	b	0,04	м
4	Товщина ножа	h	0,006	м
5	Частота обертання ротора	n	300	об/хв

6	Кутова швидкість	ω	31,4	рад/с
7	Маса ножа	m	0,25	кг
8	Радіус обертання	R	0,15	м
9	Допустиме напруження	$[\sigma]$	140	МПа

Визначимо колові напруження на барабані:

$$\sigma_{\theta} = \frac{pR}{t} = \frac{0,05 \cdot 10^6 \cdot 0,15}{0,004} = 1,875 \text{ МПа} \quad (1)$$

Наступним кроком необхідно визначити поздовжні напруження:

$$\sigma_L = \frac{pR}{2t} = 0,94 \text{ МПа} \quad (2)$$

Полярний момент опору тонкостінного циліндра:

$$W_p = \frac{\pi R^3 t}{2} = \frac{3,14 \cdot 0,15^3 \cdot 0,004}{2} = 16,5 \text{ МПа} \quad (3)$$

Еквівалентне напруження визначається:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{1,875^2 + 3 \cdot 16,5^2} = 28,6 \text{ МПа} \quad (4)$$

Здійснюємо перевірку міцності: $28,6 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}$, отже, умова міцності виконується. Запас міцності $\approx 4,9$. Визначимо згинальний момент:

$$M = F_r \cdot lM = 120 \cdot 0,12 = 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (5)$$

Для подрібнювальних елементів згинальний момент:

$$M = Fr \cdot l = 120 \cdot 0,12 = 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6)$$

Момент опору для подрібнювальних пластин прямокутної форми:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,04 \cdot 0,006^2}{6} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \quad (7)$$

Визначаємо напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{14,4}{2,4 \cdot 10^{-7}} = 60 \text{ МПа} \quad (8)$$

Кутова швидкість визначається:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 300}{60} = 31,4 \text{ рад/с} \quad (9)$$

$$F_c = m \cdot \omega^2 R = 0,25 \cdot 31,4^2 \cdot 0,15 = 37 \text{ Н} \quad (10)$$

Ця сила створює додаткове розтягуюче навантаження, яке незначно впливає на загальний напружений стан. Виконуємо перевірку міцності:

$60 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}$. Умова міцності виконується. Запас міцності $\approx 2,3$.

Протиральний барабан працює з великим запасом міцності та має резерв для зменшення товщини стінки з метою зниження матеріаломісткості. Подрібнювальні елементи працюють у більш напруженому режимі (згин), однак також відповідають умовам міцності [4]. Рациональний підбір геометричних параметрів дозволяє забезпечити надійність конструкції при мінімальній металоемності та енерговитратах [5]. В таблиці 2 представлена порівняльна характеристика типового обладнання для переробки томатів та аналіз напруженого стану вдосконаленої конструкції.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика типового обладнання для переробки томатів та аналіз напруженого стану вдосконаленої конструкції.

№	Параметр	Позначення	Розраховане значення	Одиниця
Протиральний барабан				
1	Колові напруження	σ_{θ}	1,88	МПа
2	Поздовжні напруження	σ_L	0,94	МПа
3	Крутні напруження	τ	16,5	МПа
4	Еквівалентне напруження	σ_{eq}	28,6	МПа
5	Допустиме напруження	$[\sigma]$	140	МПа
6	Коефіцієнт запасу	$n = [\sigma] / \sigma_{eq}$	4,9	–
Подрібнювальний елемент				
1	Згинальний момент	M	14,4	Н·м
2	Момент опору	W	$2,4 \cdot 10^{-7}$	м ³
3	Напруження згину	σ	60	МПа
4	Відцентрова сила	F _c	37	Н
5	Допустиме напруження	$[\sigma]$	140	МПа
6	Коефіцієнт запасу	n	2,3	–

Таблиця 2. Порівняння з типовими конструкціями

Показник	Запропонована конструкція	Типова протиральна машина
Протиральний барабан		
Товщина стінки	4 мм	5–6 мм
Еквівалентні напруження	28–35 МПа	20–30 МПа
Коефіцієнт запасу	4,5–5	5–6
Матеріаломісткість	Знижена (~15–20%)	Підвищена
Жорсткість	Достатня	Надлишкова
Подрібнювальний елемент		
Показник	Запропонований ніж	Типова конструкція
Товщина ножа	6 мм	8–10 мм
Робочі напруження	~60 МПа	40–55 МПа
Коефіцієнт запасу	2–2,5	3–4
Маса елемента	Менша (~20%)	Більша
Інерційні навантаження	Менші	Більші

Запропонована конструкція має достатній запас міцності та дозволяє зменшити металоємність без втрати надійності. Запропонована конструкція працює з раціональним запасом міцності (2–2,5), що відповідає умовам машин харчової промисловості та дозволяє зменшити енерговитрати за рахунок зниження інерційних навантажень. Порівняльний аналіз показує, що вдосконалена конструкція: зменшує металоємність на 15–20 %; знижує інерційні

навантаження ротора; забезпечує нормативний коефіцієнт запасу міцності; відповідає вимогам енергоефективності технологічного обладнання.

Список використаних джерел:

1. Бабенко Д.В., Доценко Н.А., Горбенко О.А., Бацуровська І.В. Пристрій для отримання томатної пульпи з регульованим підбарабанням. Патент на корисну модель №155354 (21.02.2024) <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17121>
2. Babenko, D., Dotsenko, N., & Gorbenko, O. (2025). Justification of the design parameters of improved equipment for tomato processing. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 29(3), 9-22. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2025.09>
3. Бабенко Д. В., Доценко Н. А., Горбенко О. А. Механіка матеріалів і конструкцій. Частина 1: практикум для навчання на основі інтерактивного графічно-цифрового контенту: навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2021. 162 с.
4. Mengistu, D., & Sharew, T. (2024). A comprehensive review of tomato post-harvest losses: Understanding impacts and contributing factors in Ethiopia. *Advances in Sustainable Agriculture*, 2, 525-535. doi: 10.3923/asb.2024.525.535.
5. Haniva, S., & Iskandarini, S.F.A. (2023). Analysis of tomato farmer income increasing strategies in Karo District, Indonesia. *European Journal of Social Sciences Studies*, 8, 207-218. doi: 10.46827/ejsss.v8i6.1508.
6. Kedir, H.J., Tilinti, B.Z., & Mekonnen, K.T. (2025). Physicochemical characterization of fresh and powdered tomato in Arba Minch, Ethiopia. *Recent Progress in Nutrition*, 5(2), article number 013. doi: 10.21926/rpn.2502013.

Abstract: *the work provides an engineering justification of the design parameters of tomato processing equipment based on the analysis of the stress-strain state of its main working elements - the rubbing drum and the grinding knives. The circular, longitudinal, torsional and equivalent stresses in the thin-walled cylinder of the drum are determined, taking into account the internal pressure of the raw material and torque. The bending stresses in the grinding elements are calculated and the influence of centrifugal forces on their stress state is assessed.*

Keywords: *tomato processing; stress-strain state; rubbing drum; grinding element; structural strength; safety factor; metal consumption; energy efficiency; engineering calculations; equipment modernization.*

Науковий керівник:

Доценко Н.А.,

д-р пед.наук, професор,

професор кафедри загальнотехнічних дисциплін,

Миколаївський національний аграрний університет