

В.В. ШЕВЧУК, О.М. СУКАЧ

**ПРОЦЕСИ І ЗАСОБИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ
НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР**

ЛЬВІВ – 2018

УДК 631.171: 633.85

ББК 40.728.5

Ш–37

РЕЦЕНЗЕНТИ: **І.П. ПАЛАМАРЧУК**, доктор технічних наук, професор кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК, Національний університет біоресурсів та природокористування України.

Б.М. ГЕВКО, доктор технічних наук, професор, академік ІАУ, заслужений винахідник України, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

І.В. СЕВОСТЬЯНОВ, доктор технічних наук, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет.

І.І. ВОДЯНИК, доктор технічних наук, професор, Подільський державний аграрно-технічний університет

*Рекомендовано до друку вченою радою
Львівського національного аграрного університету
Протокол № 3 від 30 листопада 2018 року*

ШЕВЧУК В.В.

Ш–37 Процеси і засоби для подрібнення насіння олійних культур: монографія / В.В. Шевчук., О.М. Сукач. – Львів: Львівський національний аграрний університет, 2018. – 105 с.

Монографія присвячена аналізу технологічних схем переробки насіння олійних культур, оцінці способів і засобів його подрібнення перед пресуванням, а також – наведено розроблену плющилку насіння олійних культур, що призначена для малих переробних цехів сільськогосподарських підприємств.

У монографії представлено дослідження механіко-технологічних властивостей насіння олійних культур. Розроблено моделі, що описують умови стиску і роздавлювання насінин кулястої та еліпсоїдної форм, та отримано залежності від сили стиску таких параметрів, як деформація насінин і максимальний тиск на них. Також, запропоновано динамічну модель взаємодії вальцювого робочого органа з насінинами; залежність діаметра валків від зазору між ними; закономірності зміни продуктивності плющилки та споживаної нею потужності. Представлено низку технічних рішень, що дозволяють збільшити вихід олії в технологічному процесі при зменшених енергозатратах.

Для наукових працівників, студентів, власників малих переробних цехів сільськогосподарських підприємств, науково-дослідних установ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1	
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР.....	6
1.1. Розмірно-масові показники насіння олійних культур.....	7
1.2. Фрикційні властивості насіння.....	12
1.3. Механічні властивості насіння олійних культур під час стиску.....	18
РОЗДІЛ 2	
ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ПЕРЕРОБКИ, СПОСОБИ І ЗАСОБИ ПОДРІБНЕННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР	24
2.1. Технологічні схеми переробки насіння олійних культур..	24
2.2. Способи і засоби подрібнення матеріалів.....	32
2.3. Вальцьові засоби подрібнення насіння олійних культур.....	39
2.4. Розроблена вальцьова плющилка насіння олійних культур.....	45
2.5. Короткий аналіз теоретичних досліджень подрібнення насіння.....	49
РОЗДІЛ 3	
ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПЛЮЩЕННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР	53
3.1. Роздавлення насіння кулястої форми.....	53
3.2. Роздавлення еліпсоїдних насіння.....	57
3.3. Розрахунок діаметра плющильних валків і зазору між ними.....	61
3.4. Переміщення насіння між плющильними валками.....	65
3.5. Продуктивність і енергомісткість вальцьової плющилки.	68
РОЗДІЛ 4	
ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВАЛЬЦЬОВОЇ ПЛЮЩИЛКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР.....	72
4.1. Параметри дозатора вальцьової плющилки.....	72
4.2. Параметри вальцьової плющилки насіння олійних культур.....	80
4.3. Економічна ефективність вальцьової плющилки.....	88
4.4. Енергетична оцінка вальцьової плющилки.....	94
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	98
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	101

ВСТУП

Перспективи розвитку технологій виробництва олії на сучасному етапі тісно пов'язані, насамперед, з удосконаленням найбільш енерго- та матеріаломістких технологічних процесів. Різноманітність й специфічність фізико-механічних властивостей олійних культур зумовлюють необхідність розробки значної кількості різних конструкцій машин і схем переробки даних культур [2, 30-34].

Подрібнення насіння – одна з основних технологічних операцій, від якої залежать вихід та якість олії [4, 9, 10-11, 19-21]. Проблема удосконалення машин для роздавлювання ядра олійних культур і створення технологічних ліній малої продуктивності набуває для України істотного значення й актуальності, оскільки сучасні способи і засоби роздавлювання насіння недостатньо ефективні та потребують подальшого дослідження й удосконалення.

Україна посідає в світі вагоме місце з вирощування олійних культур, структура яких визначально представлена соняшником, ріпаком, соєю, гірчицею та льоном. Різні галузі промисловості, медицина і ветеринарія все більше потребують саме цих культур. Агрокліматичні умови України відповідають біологічним потребам олійних культур і очевидним є значний потенціал розширення їх посівних площ та асортименту. Проте потенціал виробників олійної сировини не повинен бути у дисбалансі з можливостями переробного виробництва. А на сьогоднішній день реформування відносин власності і децентралізація системи управління агропромисловим комплексом зумовили руйнування традиційних зв'язків між аграрним і переробним секторами. Існуючі господарські зв'язки економічно не ефективні і породжують спад аграрного виробництва [55].

Переробні цехи сільськогосподарських підприємств є своєрідною формою адаптування агропромислового комплексу до нових економічних умов. Цехи, як дублююча система переробки, сприяють заповненню ринку продовольством і кормами регіонального виробництва шляхом раціонального використання місцевих сировинних ресурсів.

Ринкові перетворення села посилили роль сектора малої переробки сільськогосподарської продукції на місці її виробництва, що зумовлено наступними обставинами. По-перше, мала переробка забезпечує створення нового сектора в територіальній економіці і дозволяє отримувати більш високий прибуток від реалізації продукції переробки. По-друге, це ефективна форма агробізнесу, яка створює

нові додаткові робочі місця з круглорічною зайнятістю працюючих. По-третє, задовольняється потреба сільського населення і самих підприємств у дешевшій продукції власної переробки [55].

Перспективними для використання в лініях отримання олії є вальцьові подрібнювальні засоби, які більше, ніж існуюче обладнання відповідають вимогам ресурсозберігаючих технологій і придатні для роздавлювання насіння дрібнозернистих олійних культур.

Найбільший вихід олії досягається за рахунок раціональності цілого комплексу операцій, а не тільки однієї окремо взятої, якою б вагомою вона не була – зокрема й подрібнення (плющення). Завдання подрібнення насіння полягають в його роздавлюванні та у створенні структури м'ятки, сприятливої для подальшої обробки [4, 9, 10-11, 19-21].

Тому, дослідження засобів для подрібнення насіння олійних культур, що дозволить збільшити в подальшому вихід олії за зменшених енергозатрат, є актуальним і важливим завданням.

РОЗДІЛ 1

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Вивчення механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських культур тісно пов'язане з їх біологічними та фізичними особливостями, кліматичними умовами вирощування, розмірно-масовими показниками, умовами зберігання й переробки [2, 30-34].

Уніфікація переліку показників механіко-технологічних властивостей різних сільськогосподарських матеріалів дає змогу створити єдині прилади та випробувальні машини для визначення цих показників. Важливо знати механіко-технологічні властивості матеріалів, які проявляються в різних технологічних процесах [2, 30-34].

Дослідженням показників механіко-технологічних властивостей займались вчені Хусід С. Д., Масліков В. А., Белобородов В. В., Голдовский А. М., Гавриленко І. В., Сєскутов В. С., Михайлов А. Р., Румянцев С. Н. [4, 9, 22-26, 51]. У їх роботах, в основному, відображено методики і результати досліджень властивостей соняшника, зернових та зернобобових культур, а дослідження насіння таких олійних культур, як озимий ріпак, гірчиця сиза, гірчиця біла, редька олійна та льон олійний потребують поглиблення і розширення.

Механіко-технологічні властивості насіння істотно впливають на процес його подрібнення та відтискання олії. Для обґрунтування способу подрібнення, конструктивних і технологічних параметрів машин необхідно додатково дослідити механіко-технологічні властивості ріпаку, гірчиці сизої та білої, редьки олійної й льону.

У процесі виконуваних експериментів досліджувались такі механіко-технологічні властивості насіння олійних культур: маса насіння та його вологість, розміри (довжина, ширина, товщина), коефіцієнти і кути зовнішнього та внутрішнього тертя, показники міцності під час стиску.

Об'єктом досліджень було насіння озимого ріпаку сорту Свєта, редьки олійної Журавка, гірчиці сизої Роксолана, гірчиці білої Підпечерецька та льону олійного сорту Могилевський. Вказані дослідження виконувались у механічній лабораторії Львівського національного аграрного університету.

Дослідження проводились за загальноприйнятими [2, 32-34], а також запропонованими методиками [56] при вологості насіння 9 – 12 %.

Під час вибору числа n об'єктів досліджень виконувались попередні досліди в трьох повторностях, під час яких встановлювався квантіль розподілу Стюдента t_α і коефіцієнт варіації ν . Після чого n визначалось з виразу [50]:

$$n = \frac{t_\alpha \nu}{\alpha_\alpha}, \quad (1.1)$$

де α_α – відносна похибка, %; t_α – квантіль розподілу Стюдента; ν – коефіцієнт варіації.

Результати експериментів оброблялись методами математичної статистики [50] і визначались наступні показники:

а) середнє арифметичне значення \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (1.2)$$

де X_i – результат дослідження;

б) середнє квадратичне відхилення σ :

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}; \quad (1.3)$$

в) коефіцієнт варіації ν :

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Вказана методика використовувалась під час обробки результатів усіх експериментальних досліджень. За результатами окремих експериментів будувались криві розподілу досліджуваних показників [8-9, 50].

Для багатofакторних експериментів здійснювалась оцінка відповідності результатів дослідів за критеріями Кохрена і Фішера.

1.1. Розмірно-масові показники насіння олійних культур

Розмірні показники насіння олійних культур коливаються у доволі широких межах залежно від сорту та кліматичних умов вирощування культур. Відомі дослідження розмірів [2, 4, 9, 24] пот-

ребують доповнення та представлення у формі, зручній для інженерного аналізу.

Умова проходження насіння олійних культур між валками враховує кут захвату, розміри подрібнюваного матеріалу, діаметр валків і зазор між ними [9, 11, 20, 37, 46, 48]. Тому визначення розмірних показників насіння необхідне з метою обґрунтування конструкційних та кінематичних параметрів засобів для роздавлювання ядра олійних культур, а саме – визначення оптимального зазору між валками та діаметра валків. Дослідження також дозволять встановити обсяг насіння, яке одночасно може податися живильним механізмом по всій довжині валків.

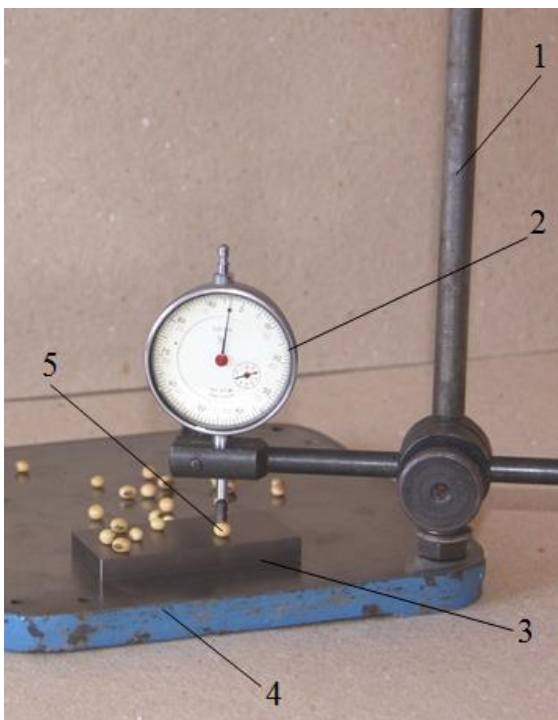


Рис. 1.1. Пристрій для визначення розмірів насіння олійних культур: 1 – штатив; 2 – індикатор годинникового типу; 3 – колодка; 4 – базова плита; 5 – досліджуване насіння.

Для дослідження розмірних показників насіння олійних культур відбиралось по 100 насінин. Діаметр наближено кулястих й товщина еліпсоїдних насінин вимірювались за допомогою пристрою, зображеного на рис. 1.1. Пристрій містить штатив 1, на стійці якого змонтований індикатор 2 годинникового типу. Торець наконечника вимірювальної ніжки індикатора 2 плоский, ціна поділки вимірювальної шкали – 0,01 мм, а діапазон вимірювання – 10 мм. На горизонтальній базовій плиті 4 штатива 1 розташовується колодка 3, верхня і нижня основи якої шліфовані, причому нижня основа притерта до базової плити 4.

Перед початком досліджень плоский торець наконечника вимірювальної ніжки індикатора 2 опускався на верхню шліфовану основу колодки 3 й нульова поділка шкали суміщалась зі стрілкою індикатора 2, після чого на шліфовану основу колодки 3 встановлювалась куляста насінина 5 і вимірювався її розмір у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для еліпсоїдних насінин в аналогічній послідовності визначалась їх товщина, а довжина і ширина насінин, розташованих на

шліфованій основі колодки 3, вимірювалась штангенциркулем з ціною поділки шкали – 0,05 мм.



Рис. 1.2. Прилад WILE-55 для визначення вологості насіння олійних культур.

Вологість досліджуваного насіння визначалась за допомогою приладу WILE-55 фірми Farmcomp (Фінляндія), що призначений для контролю вологості зерна й насіння сільськогосподарських культур (рис. 1.2).

Вологомір WILE-55 – це мікропроцесорний електронний прилад, який використовується для

визначення вологості зерна і насіння таких культур як: пшениця, ячмінь, гречка, ріпак, соняшник, кукурудза, боби, рис, овес, сорго, горох, соя, льон, гірчиця, люцерна. У приладі передбачено автоматичний контроль температури досліджуваного насіння, можливість усереднення результатів вимірювання.

Розміри насіння олійних культур представлено в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Розміри насіння олійних культур

Показник Культура		Гірчиця	Гірчиця	Редька	Льон	Озимий
		сиза Ро- ксолана	біла Підпе- черець- ка	олійна Журавка	олійний Моги- левський	ріпак Света
1	2	3	4	5	6	7
Довжина, мм	мінімальна	1,47	1,86	3	3,47	1,43
	максимальна	2,38	2,68	4,15	4,84	2,12
	середнє значення	1,97	2,34	3,51	4,23	1,71
	середньо- квадратичне відхилення	0,165	0,188	0,236	0,263	0,15
	коефіцієнт варіації, %	8,368	8,058	6,712	6,23	9,04
	похибка досліду, %	2,457	2,664	3,332	3,72	2,18

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Ширина, мм	мінімальна	1,29	1,74	2,2	1,97	1,43
	максимальна	1,83	2,38	3,3	2,48	2,03
	середнє значення	1,56	2,04	2,67	2,26	1,687
	середньо-квадратичне відхилення	0,118	0,164	0,241	0,112	0,146
	коефіцієнт варіації, %	7,58	8,05	9,04	4,98	8,64
	похибка дослід, %	1,77	2,32	3,41	1,59	2,06
Товщина, мм	мінімальна	1,06	1,41	1,6	0,74	1,45
	максимальна	1,7	2,05	2,8	1,04	2,16
	середнє значення	1,38	1,75	1,96	0,92	1,71
	середньо-квадратичне відхилення	0,138	0,171	0,256	0,061	0,162
	коефіцієнт варіації, %	10,05	9,74	13,04	6,64	9,47
	похибка дослід, %	2,06	2,41	3,62	0,86	2,30

Отже, діапазон зміни розмірних показників насіння олійних культур (табл. 1.1) наступний: найменше середнє значення довжини 1,71 мм має насіння озимого ріпаку сорту Света (довірливий інтервал 1,43–2,12 мм), а максимальну середню довжину 4,23 мм – льон олійний сорту Могилевський (довірливий інтервал 3,47–4,84 мм).

Мінімальне середнє значення ширини (табл. 1.1) 1,56 мм у гірчиці сизої (довірливий інтервал 1,29–1,83 мм), а максимальне – 2,67 мм у редьки олійної (2,2–3,3 мм). Найменша середня товщина у насіння льону олійного 0,92 мм (0,74–1,04 мм), а максимальна – 1,96 мм у редьки олійної при довірливому інтервалі 1,6–2,8 мм.

Коефіцієнт варіації довжини насіння олійних культур змінюється в межах від 6,23 % у льону олійного до 9,04 % в озимого ріпаку, а ширини - від 4,98 % у льону олійного до 9,04 % у редьки олійної. По товщині мінімальне значення коефіцієнта варіації 6,64 % відповідає льону олійному й максимальне 13,04 % – редьці олійній.

Розмірні показники насіння олійних культур дозволяють обґрунтувати необхідний міжвальцьовий зазор δ плющилки з урахуванням межі міцності насінин під час стиску.

Маса насіння визначалась за допомогою електронної ваги ТВЕ-0,5-0,01. Для цього відраховувалось по 1000 насінин кожного досліджуваного сорту, які зважувались у п'ятиразовій повторності з точністю до 0,01 г (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Маса насіння олійних культур

Показник Культура	Маса 1000 насінин, г					Середнє значення, г	Середньо- квадратичне відхилення, г	Коефіцієнт варіації, %	Похибка дослід, %
	1	2	3	4	5				
Редька олійна Журавка	9,99	9,98	9,98	10,20	10,15	10,06	0,198	1,97	0,089
Гірчиця біла Підпечерецька	4,45	4,46	4,46	4,47	4,46	4,46	0,014	0,32	0,006
Озимий ріпак Света	3,32	3,33	3,30	3,31	3,10	3,27	0,124	3,78	0,055
Гірчиця сиза Роксолана	4,4	4,45	4,48	4,45	4,45	4,45	0,058	1,29	0,026
Льон олійний Могилевський	5,6	5,61	5,62	5,59	5,61	5,61	0,023	0,40	0,010

Середнє значення маси тисячі насінин m_{10^3} олійних культур (табл. 1.2) змінюється від 3,27 г в озимого ріпаку сорту Света до 10,06 г у редьки олійної сорту Журавка. Коефіцієнт варіації маси досліджуваних сортів лежить в інтервалі 0,32 % (гірчиця біла) - 3,78 % (озимий ріпак).

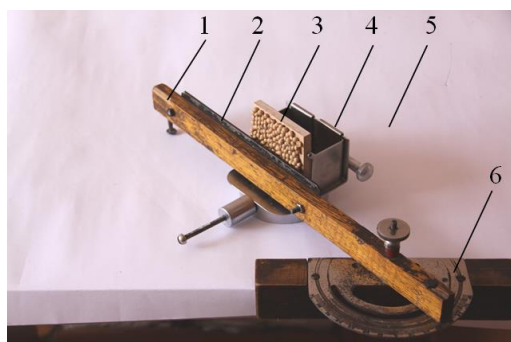
Таким чином, розмірно-масові показники насіння олійних культур, дозволяють обґрунтувати способи подрібнення, конструктивні й кінематичні параметри засобів для роздавлювання олійних культур, а саме – визначення оптимального зазору між валками та діаметра валків, також встановити обсяг насіння, яке одночасно може податися живильним механізмом по всій довжині валків.

1.2. Фрикційні властивості насіння

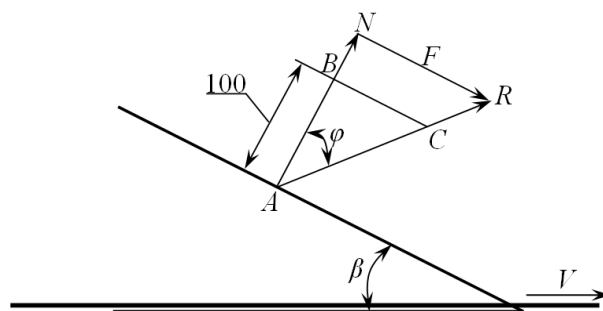
У процесі виробництва рослинних олій має місце тертя насіння по різних типах поверхонь та внутрішнє тертя насінин між собою. Від показників фрикційних властивостей насіння олійних культур, а саме коефіцієнтів й кутів тертя, залежить вихід насіння із завантажувального бункера та надходження у дозатор, ефективність затягування насінин між подрібнювальні валки.

Один із способів визначення кута і коефіцієнта зовнішнього тертя досліджуваного матеріалу базується на його ковзанні по похилій площині. Принцип ковзання реалізовано у приладі, запропонованому академіком (рис. 1.3) [32]. Дослідження з використанням даного приладу полягають у встановленні наряду рівнодійної R від сили тертя F і нормальної реакції N (рис. 1.3 б) й дозволяють шляхом побудови силового трикутника ABC знайти кут φ та коефіцієнт тертя f , встановлюваний із співвідношення:

$$f = \frac{BC}{100} = \operatorname{tg}\varphi. \quad (1.5)$$



а)



б)

Рис. 1.3. Загальний вигляд (а) приладу академіка В.О. Желіговського та схема (б) вимірювань: 1 – лінійка; 2 – досліджувана пластина; 3 – дощечки з наклеєним насінням; 4 – каретка з пишучим пристроєм; 5 – горизонтальна креслярська дошка; 6 – колодка з транспортиром.

На підставі аналізу взаємодії насіння олійних культур з різними типами поверхонь у технологічному процесі переробки, для досліджень вибирались пластини 2 (рис. 1.3 а) з листової сталі, шліфованої сталі 40Х, і сталі 40 після чистового точіння.

Насіння олійних культур наклеювалось на дерев'яні дощечки квадратної форми 100х100 мм й товщиною 10 мм (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Досліджувані олійні культури.

Перед початком експериментів та чи інша пластина 2 кріпилась на лінійку 1, а дощечки 3 почергово монтувались у каретці 4 із самописцем. Вибрався і фіксувався кут β нахилу лінійки 1 ($\beta \leq 90^\circ - \varphi$), щоб під час її руху каретка 4 з самописцем ковзала вздовж лінійки.

Під час дослідження кута тертя каретка 4 з самописцем підводилась до лінійки 1, щоб досліджувані взірці 2, 3 доторкались, а потім переміщенням колодки 6 вздовж торця дошки прилад приводився в дію. Самописець каретки 4 викреслював лінію рівнодійної сили R , яка відхиляється від нормалі N до лінійки на кут тертя φ . Після цього лінійка поверталась назад до початку відрізка рівнодійної сили і проекція лінійки відображалась на папері (рис. 1.3).

З точки A проводилась до проекції лінійки нормаль, на якій для зручності обчислень відкладався відрізок $AB = 100$ мм. З точки B проводився перпендикуляр BC , який в певному масштабі відповідає силі тертя. Отриманий трикутник ABC подібний силовому трикутнику ANR .

Кут внутрішнього тертя α_e масиву насінин між собою в стані спокою прийнято називати кутом природного укусу, і коефіцієнт f_e внутрішнього тертя $f_e = \operatorname{tg} \alpha_e$ [33]. Кути φ та коефіцієнти f тертя насіння олійних культур наведено в табл. 1.3.

Кут та коефіцієнт тертя насіння олійних культур

Поверхня	Культура	Середнє значення	Середньо квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	Похибка досліду
1	2	3	4	5	6
Листова сталь	Коефіцієнт тертя				
	Редька олійна	0,48	0,0075	1,56	0,0031
	Гірчиця сиза	0,47	0,0063	1,35	0,0026
	Гірчиця біла	0,47	0,0103	2,21	0,0042
	Озимий ріпак	0,47	0,0092	1,96	0,0037
	Льон олійний	0,47	0,0066	1,41	0,0027
Листова сталь	Кут тертя, град				
	Редька олійна	25,7	0,350	1,36	0,0143
	Гірчиця сиза	25,2	0,297	1,18	0,0121
	Гірчиця біла	25,1	0,485	1,93	0,0198
	Озимий ріпак	25,1	0,431	1,71	0,0176
	Льон олійний	25,2	0,312	1,24	0,0127
Шліфована поверхня	Коефіцієнт тертя				
	Редька олійна	0,30	0,014	4,71	0,0058
	Гірчиця сиза	0,30	0,006	2,04	0,0025
	Гірчиця біла	0,31	0,009	2,77	0,0035
	Озимий ріпак	0,28	0,016	5,90	0,0067
	Льон олійний	0,31	0,016	4,97	0,0064

1	2	3	4	5	6	
Кут тертя, град						
Шліфована поверхня	Редька олійна	16,7	0,74	4,45	0,0304	
	Гірчиця сиза	16,5	0,32	1,93	0,0130	
	Гірчиця біла	17,3	0,45	2,60	0,0184	
	Озимий ріпак	15,5	0,87	5,61	0,0355	
	Льон олійний	17,4	0,82	4,68	0,0334	
Коефіцієнт тертя						
Стальна поверхня після чистового точіння	Редька олійна	0,47	0,012	2,50	0,005	
	Гірчиця сиза	0,45	0,008	1,67	0,003	
	Гірчиця біла	0,45	0,012	2,59	0,005	
	Озимий ріпак	0,47	0,014	2,93	0,006	
	Льон олійний	0,45	0,014	3,18	0,006	
	Кут тертя, град					
	Редька олійна	25,1	0,551	2,19	0,0225	
	Гірчиця сиза	24,3	0,359	1,47	0,0146	
	Гірчиця біла	24,3	0,556	2,28	0,0227	
	Озимий ріпак	25,0	0,644	2,57	0,0263	
	Льон олійний	24,2	0,683	2,82	0,0279	

Коефіцієнт тертя f насіння олійних культур по листовій сталі знаходиться в межах 0,47–0,48; мінімальне значення коефіцієнта варіації 1,35 % відповідає гірчиці сизій, а максимальне 2,21 % – гірчиці білій. Коефіцієнт тертя по шліфованій поверхні становить 0,28–0,31, коефіцієнт варіації перебуває в межах 2,04–5,9 %. Коефіцієнт тертя по сталій поверхні після чистового точіння дорівнює 0,45–0,47, причому мінімальне значення коефіцієнта варіації – 1,67%, а максимальне – 3,18%.

Мінімальний кут тертя φ 15,5° відповідає випадку взаємодії насіння озимого ріпаку зі шліфованою поверхнею, а максимальний кут 25,7° – редьки олійної з листовою сталлю. Коефіцієнт варіації коливається в межах 1,18–5,61% для різних типів поверхонь й досліджуваних культур.

Для досліджень внутрішнього тертя насіння олійних культур використовувалось лабораторне пристосування (рис. 1.5), що містить горизонтальну опорну площадку 2 й порожнистий циліндр 1. Встановлювався циліндр 1 на площадку 2 і заповнявся насінням. Потім циліндр повільно піднімався, матеріал висипався, формуючи конусний насип з кутом природного укусу α . Визначивши радіус основи та висоту конусного насипу розраховувався коефіцієнт f_g внутрішнього тертя та кут α_0 природного укусу за формулами:

$$f_g = \operatorname{tg} \alpha_g = \frac{H}{r}, \quad (1.6)$$

$$\alpha_g = \operatorname{arctg} f_g. \quad (1.7)$$

де H – висота конусного насипу насіння, мм; r – радіус основи насипу, мм.

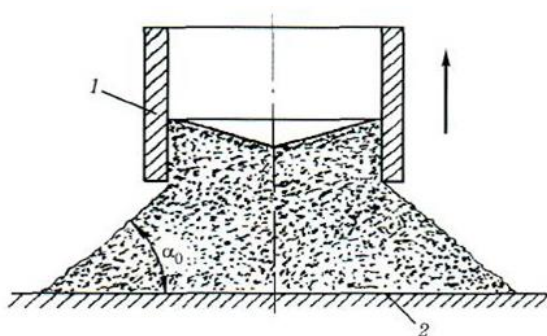


Рис. 1.5. Схема визначення кута природного укусу: 1 – циліндр; 2 – опорна площадка.

Кути α_g і коефіцієнт f_g внутрішнього тертя наведені в таблиці 1.4.

Кут природного укусу насіння олійних культур

Показник Культура	Середнє значення	Середньо- квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %	Похибка дослідження, %
Кут внутрішнього тертя				
Гірчиця біла Підпечерецька	28,33	1,06	3,58	0,32
Гірчиця сиза Роксолана	30,15	0,63	2,08	0,198
Редька олійна Журавка	32,46	0,35	1,08	0,11
Озимий ріпак Света	27,99	0,58	2,09	0,19
Коефіцієнт внутрішнього тертя				
Гірчиця біла Підпечерецька	0,54	0,02	4,20	0,007
Гірчиця сиза Роксолана	0,58	0,015	2,51	0,005
Редька олійна	0,64	0,009	1,36	0,003
Озимий ріпак Света	0,53	0,013	2,48	0,004

Кут внутрішнього тертя α_e насіння олійних культур змінюється від $27,99^\circ$ для озимого ріпаку до $32,46^\circ$ для редьки олійної. Коефіцієнт варіації знаходиться в межах 1,08% (редька олійна) – 3,58% (гірчиця біла). Похибка визначення кута природного укусу не перевищує 0,5 % для досліджуваних культур.

Коефіцієнт внутрішнього тертя f_e насіння олійних культур перебуває у діапазоні 0,53–0,64, причому коефіцієнт варіації не перевищує 5 % для досліджуваних культур.

Отже, від показників фрикційних властивостей насіння олійних культур, а саме коефіцієнтів й кутів тертя, залежить вихід насіння із завантажувального бункера та надходження у дозатор, ефективність затягування насіння між подрібнювальні валки, що дозволить обґрунтувати режими роботи засобів для переробки насіння олійних культур.

1.3. Механічні властивості насінин олійних культур під час стиску

Дослідженню механіко-технологічних властивостей насіння олійних культур під час стиску присвячено низку робіт, зокрема [3, 22, 25]. Оскільки більшість робіт спрямована на визначення межі міцності ядра соняшника, тому залишається актуальним питанням визначення межі міцності дрібнозернистого насіння олійних культур, а саме редьки олійної, гірчиці білої та сизої, озимого ріпаку та льону олійного.

Механічні властивостей насіння олійних культур під час стиску досліджувались за допомогою спеціально розробленого пристрою [42], що містить (рис. 1.6) робочий стіл 1 із стійкою 2, на якій закріплена вимірювальна частина мікрометра 3.

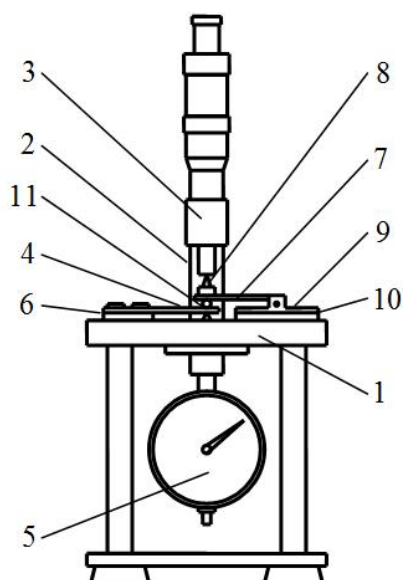


Рис. 1.6. Пристрій для дослідження насінин на стиск (*а* – схема; *б* – загальний вигляд): 1 – робочий стіл; 2 – стійка; 3 – вимірювальна частина мікрометра; 4 – консольна динамометрична балка; 5 – індикатор; 6 – проставка; 7 – притискна пластина; 8 – голчастий упор; 9 – кронштейн; 10 – блок регулювальних прокладок; 11 – досліджувана насінина.

На робочому столі 1 встановлений вимірювач сили стиску, виконаний у вигляді консольної динамометричної балки 4 з регульованим вильотом консолі й індикатора 5 її прогину. До робочого стола 1 балка 4 прикріплена через проставку 6 регулювання вильоту консолі.

Над балкою 4 встановлюється притискна пластина 7, на одному кінці якої змонтований голчастий упор 8, а інший кінець шарнірно закріплений у кронштейні 9, змонтованому на робочому столі 1 через блок регулювальних прокладок 10.

У процесі дослідження насінина 11 встановлювалась зверху на вільний кінець консольної динамометричної балки 4 у точці, через яку проходить повздовжня вісь штока вимірювальної частини мікрометра 3. На насінину встановлювалась притискна пластина 7, вісь голчастого упора 8 якої також співпадає з повздовжньою віссю штока вимірювальної частини мікрометра 3. Вибираючи висоту блока регулювальних прокладок 10 шляхом зміни їх кількості, досягалось горизонтальне положення притискної пластини 7. Повертанням барабана шток вимірювальної частини мікрометра 3 підводився до голчастого упора 8, а ніжка індикатора 5, вісь якої співпадає із віссю штока, підводилось знизу до вільного кінця консольної динамометричної балки 4. Продовжуючи повертати барабан вимірювальної частини мікрометра 3 на задане число поділок, забезпечувалось переміщення штока, який через голчастий упор 8 і притискну пластину 7 стискав досліджувану насінину 11, не піддаючи її крученню.

Сила стиску P_c (Н) насінини, що пропорційна прогину консольної динамометричної балки 4, оцінюється за показом індикатора 5 і становить:

$$P_c = c_{\sigma}^{l_i} \Delta_{ind}, \quad (1.8)$$

де $c_{\sigma}^{l_i}$ – коефіцієнт жорсткості динамометричної балки, який характеризує зусилля, необхідне для прогину балки на 1 мм при деякому вильоті консолі l_i , Н/мм; Δ_{ind} – показ індикатора, мм.

Деформація Δ_n (мм) досліджуваної насінини:

$$\Delta_n = \Delta_m - \Delta_{ind}, \quad (1.9)$$

де: Δ_m – переміщення штока вимірювальної частини мікрометра 3, мм.

Поступово збільшувалось переміщення штока вимірювальної частини мікрометра 3, внаслідок чого зростав стиск насінини, і візуально фіксувався момент зростання її деформації при незмінній силі стиску, яка й відповідала силі роздавлювання насінини $P_{c,p}$ (Н). Жорсткість c_n (Н/мм) і умовна межа міцності $[\sigma_n]$ (Н/мм²) насінини під час стиску відповідно становлять:

$$c_n = \frac{P_{c.p.}}{\Delta_{n.p.}}; \quad (1.10)$$

$$[\sigma_n] = \frac{P_{c.p.}}{S_n}, \quad (1.11)$$

де $\Delta_{n.p.}$ – деформація насінини у момент її роздавлювання, мм; S_n – найбільша площа перетину насінини у площині, перпендикулярній до напрямку її стиску, мм².

Після руйнування досліджуваної насінини повертався барабан виміральної частини мікрометра 3, і шток піднімався вверх у вихідне положення. Притискна пластина 7 піднімалась над консольною динамометричною балкою 4, знімалась роздавлена насінини, а на її місце встановлювалась інша, на яку знову опускалась притискна пластина 7. До голчастого упора 8 підводився шток виміральної частини мікрометра 3, й повторювались дослідження показників механічних властивостей насіння, а саме сили і деформації руйнування насінин, їх жорсткості та межі міцності, деформації початку олієвиділення.

Для дослідження показників механічних властивостей насіння різних культур відповідно до ймовірного значення сили роздавлювання $P_{c.p.}$ змінювався виліт l_i консольної динамометричної балки 4. У цьому випадку ослаблювалось кріплення балки 4 до робочого стола 1 через проставку 6. Якщо ймовірна сила роздавлювання насінини мала бути більшою, ніж на попередньому етапі досліджень, тоді підвищували жорсткість консольної динамометричної балки 4, переміщаючи проставку 6 до вільного кінця балки 4 й зменшуючи виліт консолі.

За умови, що ймовірна сила руйнування насінини менша від попереднього етапу досліджень, тоді переміщенням проставки 6 від вільного кінця балки 4 збільшувався її виліт, зменшуючи жорсткість. Після цього консольна динамометрична балка 4 притискалась через проставку 6 до робочого стола 1, і продовжувались дослідження показників механічних властивостей насіння.

Момент появи олії на поверхні деформованих насінин фіксувався за допомогою лабораторної установки, зображеної на рис. 1.7.

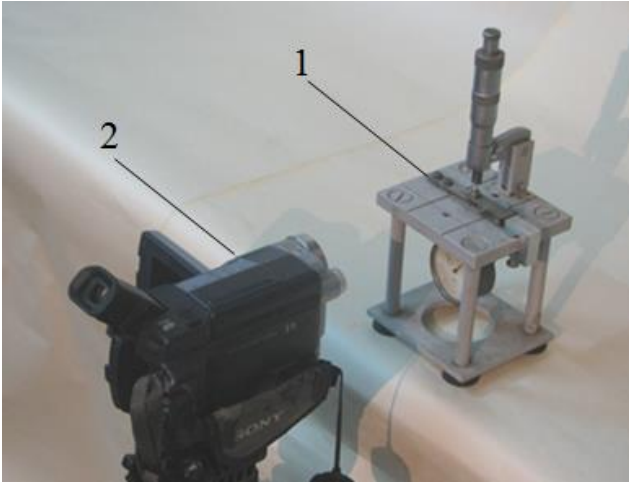


Рис. 1.7. Лабораторна установка для фіксування моменту появи олії: 1 – пристрій для дослідження насінин на стиску; 2 – відеокамера.

Відповідно до вище описаної методики поступово збільшувалось переміщення штока вимірювальної частини мікрометра пристрою 1, і за допомогою відеокамери 2 фіксувався момент появи олії на поверхні роздавленої насінини.

Під дією зовнішніх сил насіння олійних культур деформується. Діаграма (рис. 1.8), що відображає залежність сили стиску насінин P_c від їх деформації Δ_n , містить три характерні ділянки – OA , AB і BC .

На першій ділянці OA у процесі навантаження спочатку виникає пружна (зворотна) деформація, яка супроводжується ущільненням і стиском структурних агрегатів насінин. При певному навантаженні (точка A) пружна деформація переростає у еластичну, яка має місце на ділянці AB і характеризується відносним зміщенням структурних агрегатів ядра насінин.

Еластична деформація також зворотна, проте на відміну від пружної зникає не відразу ж після зняття навантаження, а через певний проміжок часу. За умови навантаження, яке відповідає точці B , розпочинається роздавлювання ядра насінин при зусиллі $P_{c,p}$ і деформації $\Delta_{n,p}$.

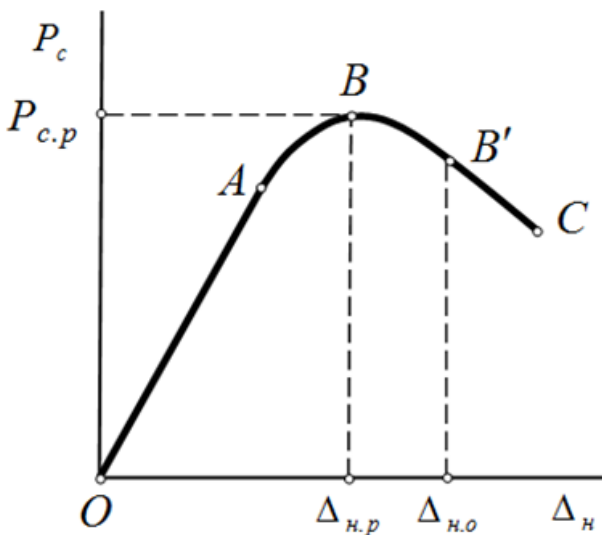


Рис. 1.8. Діаграма стиску насіння олійних культур.

На ділянці пластичних деформацій BC роздавлювання ядра супроводжується прогресуючим утворенням тріщин. У точці B' ділянки пластичного деформування розширення мікротріщин відзначається появою олії на поверхні насінин при їх деформації $\Delta_{n,o}$.

Діапазон деформації $\Delta_{н.р} - \Delta_{н.о}$ є доцільною робочою зоною машин для роздавлювання насінин олійних культур. Ділянка $B'-C$ характеризується виділенням олії, небажаним для даних машин [40, 55], оскільки замаслення основних робочих органів (валків) призводить до зменшення продуктивності, збільшення втрат олії та часу на щоденне технічне обслуговування машин.

Механічні властивості насіння олійних культур наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Механічні властивості насіння олійних культур

Культура	Показники властивостей насінин				
	сила роздавлювання $P_{с.р}$, Н	деформація роздавлювання $\Delta_{н.р}$, мм	жорсткість C_n , Н/мм	умовна межа міцності $[\sigma_n]$, Н/мм ²	деформація олієвиділення $\Delta_{н.о}$, мм
Озимий ріпак	15,38	0,45	34,18	6,72	0,61
Гірчиця сиза	10,84	0,42	25,81	7,27	0,54
Гірчиця біла	21,98	0,24	91,58	9,16	0,37
Льон олійний	23,92	0,31	77,16	7,84	0,42
Редька олійна	26,04	0,37	70,38	4,82	0,53

Міцність досліджуваних насінин коливається в широких межах залежно від культури (рис. 1.9).

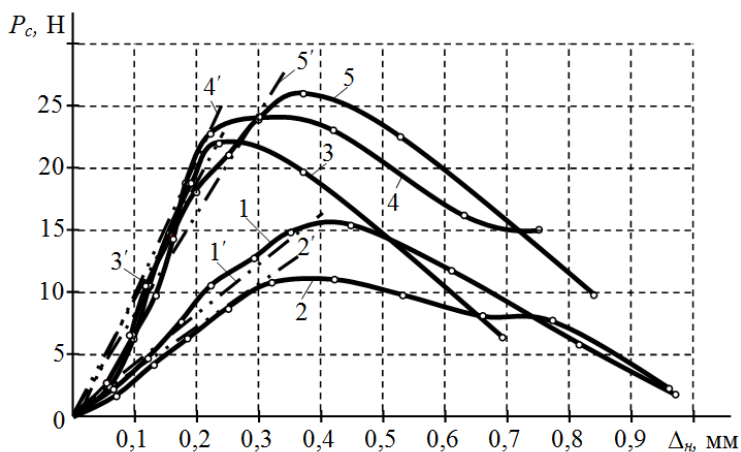


Рис. 1.9. Залежності сили стиску P_c насінин олійних культур від деформації Δ_n (експериментальні: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – льон олійний; 5 – редька олійна; 1', 2', 3', 4', 5' – лінеаризовані залежності для вказаних культур).

Середні значення сили роздавлювання насінин олійних культур $P_{с.р}$ (Н) становлять: озимий ріпак – 15,38; гірчиця сиза – 10,84; гірчиця біла – 21,98; льон олійний – 23,92 та редька олійна – 26,04. Найбільшу умовну межу міцності під час стиску має насіння гірчи-

ці білої, а найменшу – редьки олійної, що відповідно дорівнюють 9,16 та 4,82 Н/мм².

Отже, механічні властивості насіння олійних культур під час стиску дозволяють раціоналізувати режими роботи машини для плющення насіння перед відтисканням олії, забезпечуючи максимальний вихід олії при мінімальних енергозатратах.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ПЕРЕРОБКИ, СПОСОБИ І ЗАСОБИ ПОДРІБНЕННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

2.1. Технологічні схеми переробки насіння олійних культур

Виробництво олії посідає істотне місце в агропромисловому комплексі України, що зумовлено з різноманітністю і унікальністю складу олієвмісної сировини, масштабністю використання олійних продуктів для харчових, кормових і технічних цілей. Тому стан олієжирового виробництва визначає розвиток не тільки агропромислового комплексу, а й цілого ряду галузей промисловості [29, 43, 48].

Технологічні схеми переробки олійної сировини складаються з низки послідовних операцій, яким відповідає різний вплив на сировину, що переробляється. З переліку підготовчих і основних операцій створена раціональна технологічна схема переробки насіння, яка забезпечує отримання олії і макухи високої харчової й кормової цінності [14, 29].

У структурі насіння олійних культур вміст олії розподілений нерівномірно – більша її частина перебуває в ядрі насіння, тоді як плодова і насінна оболонки містять відносно малу кількість олії дещо іншого складу. Тому при переробці багатьох олійних культур відокремлюють від ядра (основної олієутримуючої структури) зовнішні плодові або насінні оболонки.

Відділення оболонок від ядра підвищує якість олії, яка позбавляється низькоолійних компонентів. Також збільшується продуктивність технологічного обладнання, оскільки в олію не переходять компоненти лузги, насичені воском і воскоподібними речовинами, що знижують якість олії [4, 9].

Плодові й насінні оболонки мають велику пористість і при зіткненні з олією здатні інтенсивно її поглинати, а потім утримувати, що збільшує втрати олії у процесі виробництва.

Механічна міцність плодових і насінних оболонок порівняно з ядром досить висока, тому наявність лузги знижує ефективність роботи обладнання, зумовлює надмірне спрацювання робочих органів машин.

Відділення оболонок від ядра складається з операції обрушення, під час якої отримується суміш (рушанка), що у подальшому

розділяється на ядро і лузгу. Для ефективного виконання операції обрушення насіння потрібно калібрувати за розмірами, що полегшує технологічну наладку обладнання.

Іншим важливим чинником, який впливає на ефективність обрушення насіння й розділення лузги та ядра, є раціональне співвідношення між вологістю оболонки і ядра. Якщо ядро вологіше від оболонки, тоді при руйнуванні крихкої оболонки вологе пластичне ядро залишиться цілим і може бути легко відокремлене від лушпиння.

В олійному виробництві застосовуються такі основні способи отримання олії [4, 14, 29]:

– механічний, що полягає у пресуванні маси, попередньо підготовленої з насіння олійних культур, або відтисненні олії безпосередньо з насіння;

– хімічний (екстракційний), суть якого зводиться до розчинення рослинної олії, наявної в попередньо підготовленій масі, легко випарними органічними розчинниками (бензином, гексаном);

– комбінований спосіб, який поєднує відтиснення олії з мезги (перший етап) і екстракцію олії з відходів пресування (макухи).

Практично незмінним впродовж сторіч залишається механічний спосіб виробництва рослинних олій, послідовність технологічних операцій якого – це шеретування, тобто злуцування очищеного насіння; розділення продуктів злуцування на лузгу і олійну фракцію, до складу якої входять (ядро ціле, подрібнене, частково або повністю не злуцнене насіння); подрібнення олійної фракції на м'ятку; волого-теплова обробка м'ятки з отриманням мезги; пресування мезги; очищення отриманої олії від домішок шляхом відстоювання і фільтрації. У такий спосіб отримують нерафіновану олію. Під час отримання олії з ріпаку, гірчиці, льону, редьки олійної та деяких інших культур очищене від домішок насіння не злуцують, а подрібнюють для збільшення виходу олії внаслідок роздавлювання оболонок клітин, що містять олію й відповідно зменшення внутрішніх сил, які утримують олію в клітинах [29, 37, 46, 48].

Отримання олії шляхом екстракції дозволяє застосовувати потужне обладнання безперервної дії, забезпечуючи при цьому більш повне виділення олії з частинок насіння. Залишок олії у відходах, тобто шроті не перевищує 1 %, в той час як залишок олії в макусі після механічного пресування знаходиться в межах 6 – 16 %.

Істотним недоліком хімічного способу є складність та висока вартість обладнання, необхідність ретельної очистки олії від розчинника й інших домішок. Хімічний спосіб економічно доцільний при великих обсягах виробництва і є основним на сучасних промислових олієжирових заводах. На переробних підприємствах агропромислового комплексу застосовується переважно механічний спосіб відтискання олії з попередньо обробленого насіння та спосіб пресування безпосередньо насіння [37, 48].

Підготовка насіння є важливою передумовою для досягнення значного виходу олії високої якості у процесі переробки. Підготовка полягає у механічній та гідротермічній обробці насіння для інтенсифікації подальшого процесу отримання олії механічним відтисканням або екстракцією [37, 43, 46, 55, 57].

Спеціалізовані підприємства з виробництва олії функціонують за технологічними схемами переробки олійної сировини, що базуються на одноразовому та багаторазовому пресуванні [41, 48].

Одноразове пресування олійного матеріалу здійснюється на шнекових пресах, згідно наведеної технологічної схеми (рис. 2.1). У процесі переробки зважене насіння подається транспортувальними норіями на електромагнітний сепаратор, де проводиться перша очистка від металевих домішок, а потім на сепараторі відсіваються рослинні домішки. Очищене насіння надходить до сушарок де його вологості доводиться до 8%. Насіння, залежно від забруднення, може після сушіння піддаватись повторній очистці від домішок.

На вальцьових машинах подрібнюється очищене насіння, в результаті чого утворюється м'ятка, в якій відкриваються пори для кращого відведення олії. Отримана м'ятка піддається вологотепловій обробці до утворення мезги. Така операція забезпечує зменшення в'язкості олії та зниження міжмолекулярних сил, що її утримують у клітинах, а це, закономірно, підвищує вихід олії. Мезга переробляється на шнековому пресі, отримана олія піддається первинній очистці шляхом відстоювання або рафінування.



Рис. 2.1. Технологічна схема отримання олії одноразовим пресуванням.

За умови дворазового пресування (рис. 2.2) очищене насіння подрібнюється на вальцьових верстатах до утворення м'ятки, яка піддається волого-тепловій обробці.

Отримана після волого-теплової обробки мезга подається для попередньої переробки на форпресі. Відтиснена олія направляється на вібраційне сито чи механічний осадовловлювач, де очищається, а у подальшому рафінується та дезодорується. Отримана після пресування макуха (ракушки) подрібнюється до утворення крупок, які також піддаються волого-тепловій обробці. Утворена мезга надходить в преси – еспеллери остаточного відтискання. У подальшому

олія піддається очистці, рафінуванню й затарюванню, а макуха по-дрібнюється і подається на зберігання.

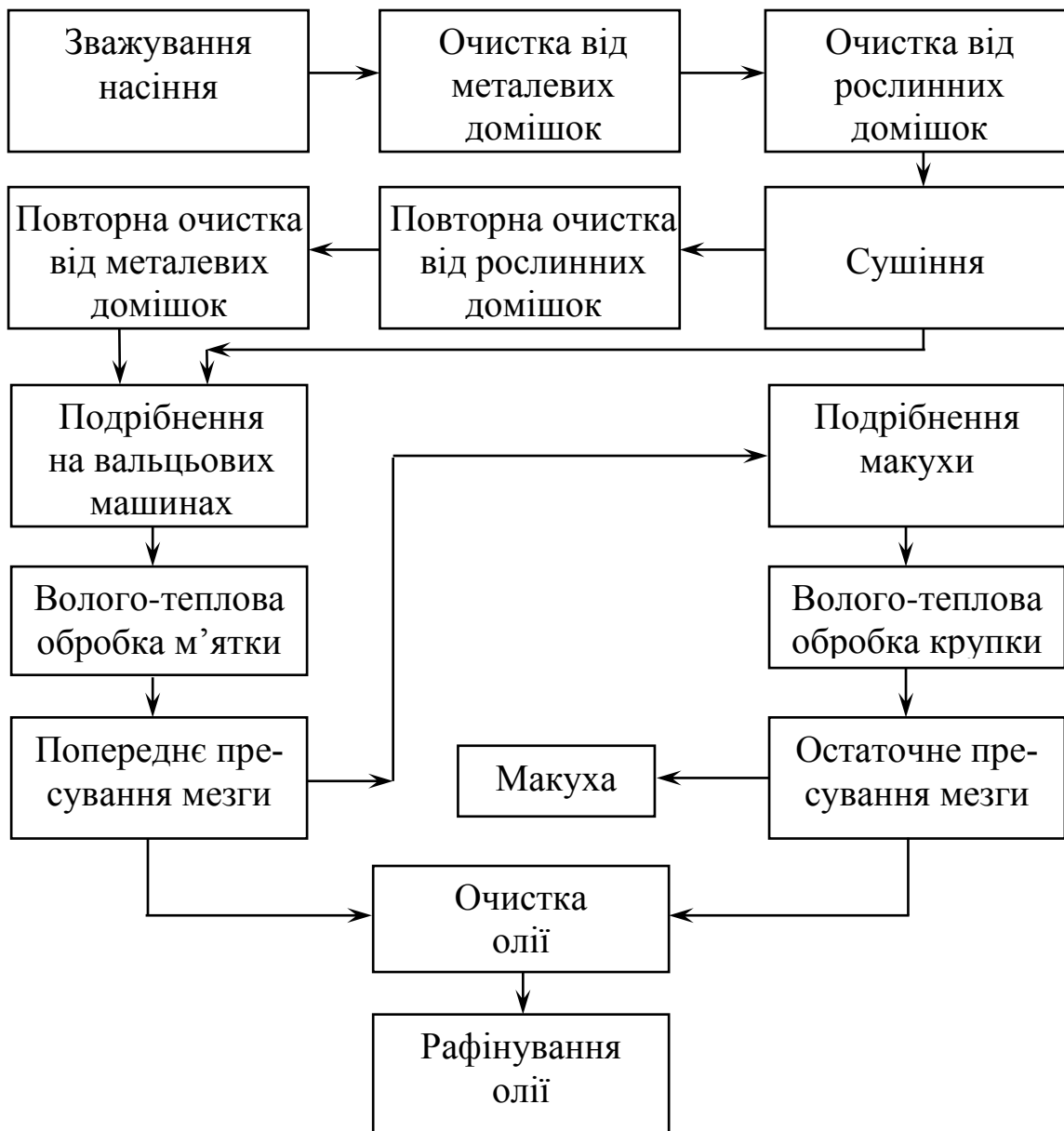


Рис. 2.2. Технологічна схема отримання олії дворазовим пресуванням.

Багаторазове пресування здійснюється у кілька прийомів – на апаратах попереднього відтискання олії (форпресах) і пресах кінцевого відтискання.

Кожна із вказаних схем олійного виробництва (рис. 2.1, 2.2) має різні варіанти залежно від обладнання, що використовується, і режимів обробки матеріалу. Порівняння технологічних схем проводять за обсягом відходів і втратами готової продукції, а також енергетичними й трудовими затратами, розміром капітальних вкладень,

якістю продукції та її собівартістю.

Технологічна схема отримання олії одноразовим пресуванням вимагає меншої чисельності обладнання, але вихід олії та її якість нижчі, ніж у випадку дворазового пресування. Проте описані технологічні схеми (рис. 2.1, 2.2) все ж вимагають значної кількості одиниць обладнання, що, в свою чергу, призводить до суттєвих затрат електроенергії та збільшення собівартості кінцевого продукту.

За технологічною схемою переробки олійного насіння (рис. 2.3), яка запропонована німецькою фірмою Cimbria Sket [59], з насіння спочатку видаляються домішки – пісок, камінчики, рослинні рештки, феромагнітні частинки.

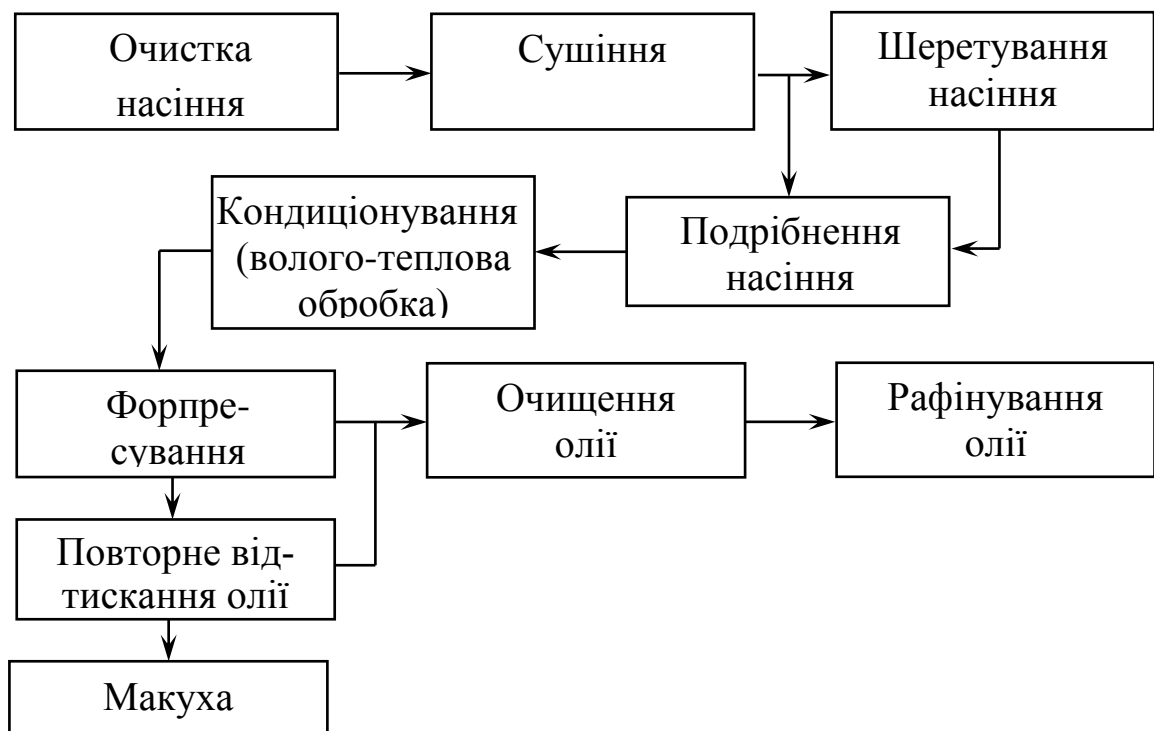


Рис. 2.3. Технологічна схема переробки олійного насіння, запропонована фірмою Cimbria Sket.

Очищене насіння надходить до сушарок, де висушується до вологості 8%.

Процес шеретування, тобто злушчування дозволяє зменшити вміст клітковини і підвищити вміст білка в макусі, сприяє зниженню спрацювання валків й шнеків внаслідок застосування ударно-відбиваючих або вальцьових злушчувачів, а також сепараторів лушпиння.

Подрібнення чи плющення передбачає роздавлювання насіння механічним способом на рифлених вальцьових верстатах або плющилках, в результаті чого досягається вища ефективність отримання

олії.

Кондиціонування, тобто волого-теплова обробка подрібненого насіння, забезпечують жаровні.

Отримана мезга піддається попередньому відтисканню на фор-пресах, отримана олія надходить на очистку і рафінацію, а макуха – повторно пресується.

Аналіз технологічних схем отримання олії свідчить про значну чисельність, енерго- та матеріаломісткість обладнання, що призначене для великих спеціалізованих підприємств. Впровадження вказаних технологічних процесів і засобів їх реалізації в умовах малих переробних підприємств ускладнене, оскільки для малої переробки:

- характерні невеликі обсяги виробництва, причому ці обсяги змінні в часі;

- використовуване обладнання повинно легко переналагоджуватись для переробки насіння різних культур;

- мати низьку енерго- і матеріаломісткість;

Технологічна схема отримання олії, що розроблена за програмою наукових досліджень Львівського національного аграрного університету (рис. 2.4), дозволяє зменшити енерго- та матеріаломісткість, покращити якість й зменшити собівартість отриманої продукції за рахунок наукового обґрунтування процесів, зменшення чисельності технологічного обладнання й скорочення процесу отримання олії у режимах одноразового чи багаторазового відтискання.



Рис. 2.4. Технологічна схема отримання олії в умовах малих переробних виробництв сільськогосподарських підприємств.

Дана схема передбачає використання комплексу машин для отримання олії в малих переробних цехах сільськогосподарських підприємств з насіння льону, ріпаку, редьки, гірчиці, рижю та розторопші [39, 40, 55].

Отримання олії у режимі одноразового відтискання (рис. 2.4) [55] полягає у плющенні попередньо очищеного насіння. З маси плющеного насіння відтискається олія, яка нагромаджується і відстоюється, а макуха нагромаджується і затарюється. Очищена шляхом відстоювання олія затарюється у великі місткості або ж у пляшки і закупорюється.

За умови багаторазового відтискання отримана олія нагромаджується і відстоюється, а макуха повторно пресується. Після остаточного пресування затарюються як макуха, так і відстояна очищена олія.

Отже, аналіз технологічних схем та обладнання для переробки олійної сировини свідчить, що найширшого застосування набули три способи переробки олійної сировини: механічний, хімічний (екстракційний) та комбінований.

У виробничих умовах для отримання високоякісної продукції використовуються технологічні схеми переробки олійної сировини, що базуються одноразовому чи багаторазовому її пресуванні. Існуюче обладнання для переробки олійних культур має велику енерго- та матеріаломісткість і його нераціонально використання в умовах малої переробки.

Технологічна схема отримання олії в умовах малих переробних цехів сільськогосподарських підприємств, розроблена за програмою наукових досліджень Львівського національного аграрного університету, дозволяє зменшити енерго- та матеріаломісткість процесу, збільшити вихід високоякісної олії з насіння різних культур і зменшити собівартість отриманої продукції. Невід'ємною складовою розробленого технологічного процесу отримання олії є плющення насіння олійних культур, яке зумовлює зменшення енергозатрат і збільшення виходу олії.

2.2. Способи і засоби подрібнення матеріалів

Подрібнення – це процес поділу твердого тіла на частинки, який здійснюється шляхом механічного впливу [9, 11, 13, 20-21]. Процеси подрібнення сировини та матеріалів широко застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема харчової. Подрібнюють зерно, солод, сухарі, какао-боби, картоплю та інші овочі, фрукти, м'ясо, а також насіння олійних культур перед отриманням олії.

Поділяють подрібнення на велике, середнє, дрібне, і на цій основі класифікуються обладнання, що реалізує різні процеси, починаючи від крупного подрібнення і закінчуючи колоїдним, за якого отримується продукт з розмірами частинок до 0,1 мкм [37, 43-45, 48].

Ступінь подрібнення – це відношення середніх розмірів частинок матеріалу до (D) і після (d) подрібнення $i = D/d$. Частинки матеріалу до і після переробки звичайно не мають правильної форми, тому на практиці їх розміри визначають за розмірами отворів сит, крізь які просівають матеріал. Також ступінь подрібнення може визначатись як відношення сумарної поверхні частинок по-

дрібненого продукту S_n до сумарної поверхні частинок вихідного матеріалу S_B ($i = S_n/S_B$) [37].

Залежно від розмірів частинок вихідної сировини та кінцевого продукту, подрібнення поділяють на кілька класів. Відповідно до класу змінюється ступінь подрібнення: при грубому подрібненні $i = 2-6$; середньому $i = 5-10$; тонкому – $i > 100$. У табл. 2.1 наведені середні розміри частинок, які поступають на подрібнення та розміри частинок продукту після переробки [48].

Таблиця 2.1

Класифікація подрібнення

Клас подрібнення	Розмір до подрібнення, мм	Розмір після подрібнення, мм
Крупне	1000–200	250–40
Середнє	250–50	40–10
Дрібне	50–25	10–1
Тонке (помел)	25–3	1–0,4
Надтонке (колоїдне)	0,2–1	до 10^{-4}

На практиці часто дрібне, тонке й колоїдне подрібнення здійснюється у водному середовищі, що виключає пилоутворення і сприяє легкому вивантаженню подрібненого продукту з млина.

Залежно від напрямку прикладання та тривалості дії зовнішніх сил, які зумовлюють подрібнення, розрізняють такі його основні способи: роздавлювання, розколювання, розламування, розтирання, розбивання, розривання, різання та розпилювання [37, 48]. На рис. 2.5 вказані напрями зусиль на матеріал у випадку того чи іншого способу подрібнення.

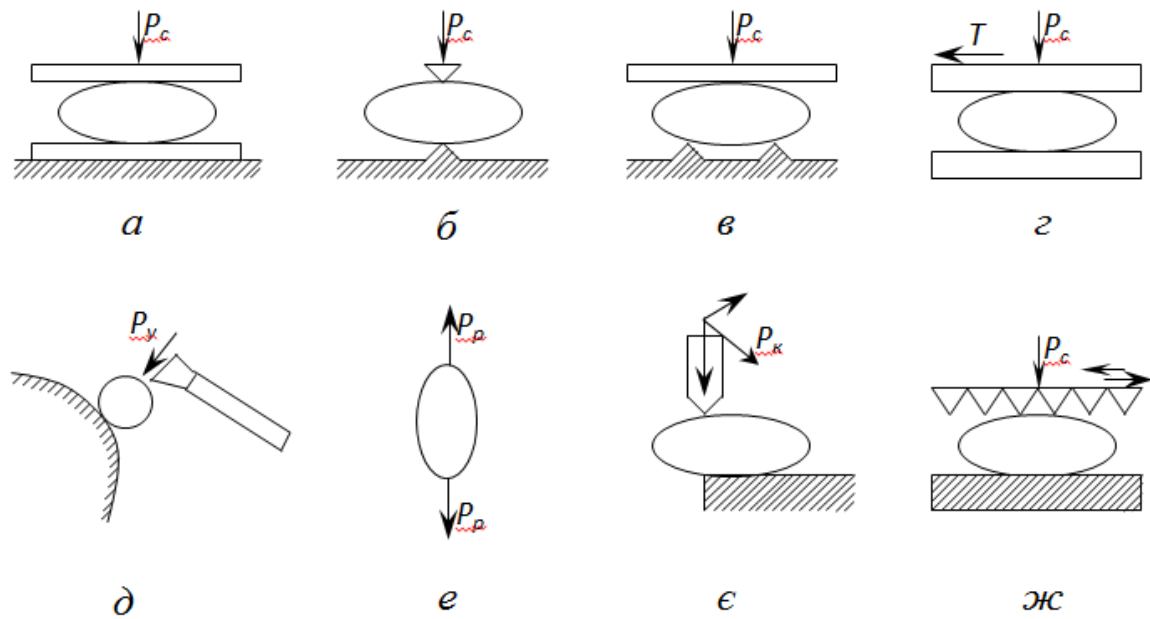


Рис. 2.5. Способи механічного подрібнення матеріалів: *a* – роздавлювання; *б* – розколювання; *в* – розламування; *г* – розтирання; *д* – розбивання; *е* – розривання; *є* – різання; *ж* – розпилювання.

За умови роздавлювання (рис. 2.5, *a*) під дією нормальної сили стиску P_c , матеріал деформується по всьому об'єму. Коли внутрішні напруження у матеріалі перевищують межу міцності на стиск, відбувається порушення первинної структури матеріалу. При цьому утворюються частини різного розміру та форми або ж частинки матеріалу стають плоскими і тонкими, тобто плющатся.

Розколювання (рис. 2.5, *б*) здійснюється шляхом великих концентрацій навантажень у місцях контакту матеріалу з клиновим робочим елементом, на який діє нормальна сила стиску P_c . Спосіб розколювання досконаліший від роздавлювання, оскільки дозволяє регулювати розмір отримуваних частинок.

Процес розламування (рис. 2.5, *в*) здійснюється внаслідок згину зумовленого нормальною силою P_c . За умови розтирання (рис. 2.5, *г*) тіло подрібнюється під впливом нормальної сили стиску P_c й тангенціальної сили T , в результаті чого утворюється дрібний порошкоподібний продукт. Процес використовується в тонкому і колоїдному помелах.

Під час подрібнення розбиванням (рис. 2.5, *д*) тіло розпадається на частинки під дією сили удару. У випадку сконцентрованого навантаження створюється ефект, схожий на розколювання, а в разі розподілу зусиль на весь об'єм тіла ефект руйнування схожий на роздавлювання.

За умови розривання (рис. 2.5, *e*) тіло руйнується під дією розтягувальних сил у результаті виникнення в матеріалі напруження, яке перевищує межу міцності на розрив. Технічно реалізувати даний спосіб подрібнення складно.

Процес різання (рис. 2.5, *є*) здійснюється ножами, що створюють зусилля P , направлене під певним кутом до подрібнюваного матеріалу. У даному випадку матеріал подрібнюється на частинки наперед заданих розмірів і форми, які легко регулювати.

Розпилювання (рис. 2.5, *ж*) виконується за допомогою зубчастих пил, дія яких супроводжується натисканням на подрібнюваний матеріал, а також переміщенням у площині подрібнення. Досягається такий же результат, як і після різання.

Таким чином, аналізуючи вказані способи подрібнення матеріалів (рис. 2.5), можна зробити висновок, що для різних типів сировини застосовуються окремі способи подрібнення. Наприклад, найчастіше, в борошно-круп'яному виробництві для розмолу зерна в борошно використовують процес роздавлювання та розбивання; бродильному – для подрібнення ячменю, солоду, картоплі – розколювання, роздавлювання й розтирання; кондитерському – для подрібнення какао-крупки, цукру, жирових напівфабрикатів застосовують розколювання та розтирання; м'ясо-переробному – для подрібнення м'яса, кісток, приготування паст та емульсій використовують розбивання. Для подрібнення хліба, м'ясних, рибних і борошняних виробів, овочів, фруктів застосовують такий спосіб подрібнення як різання або розпилювання, а в олієжировому виробництві реалізують роздавлювання (плющення), розколювання.

На практиці часто комбінують різні способи подрібнення матеріалів. Так, розтирання супроводжується роздавлюванням чи розбиванням, розламування – розколюванням або роздавлюванням, завдяки чому з меншими затратами енергії ефективно подрібнюється матеріал.

Матеріали, що піддаються подрібненню, дуже різноманітні, а для їх подрібнення використовуються різні типи дробарок. Не зважаючи на значну кількість, подрібнювальні засоби повинні відповідати деяким загальним вимогам [15, 20-21, 29, 37]:

– конструкція дробарки повинна забезпечувати швидку, нетродомістку заміну всіх частин, що спрацьовуються, особливо подрібнювальних елементів;

– перероблений продукт має містити частинки однакового розміру, а конструкція дробарки повинна дозволяти швидке і просте регулювання ступеня подрібнення;

– матеріал, подрібнений до необхідного ступеня, потрібно зразу ж видаляти з дробарки, щоб уникнути зайвого утворення пилоподібних частинок і додаткових затрат енергії;

– дробарки повинні мати характеризуватись якомога меншою матеріаломісткістю і оснащуватись елементами запобігання аварійним ситуаціям.

Основні типи подрібнювальних машин наведені на рис. 2.6 [15-16, 46].

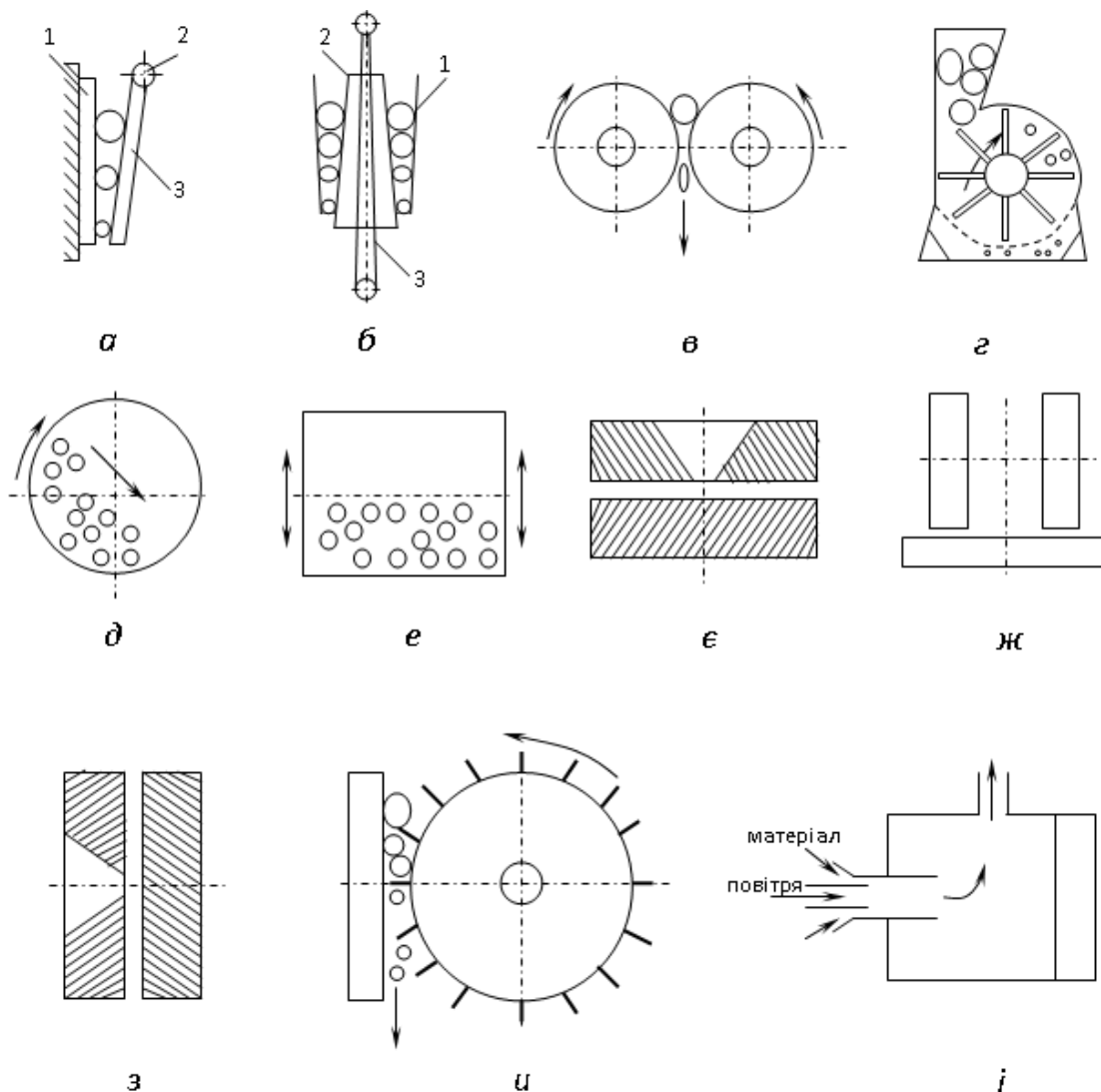


Рис. 2.6. Принципові схеми дробарок: *a* – щокова; *б* – конусна; *в* – вальцьова; *г* – молоткова (ударна); *д* – кульовий млин; *е* – кульовий вібраційний млин; *є* – жорна; *ж* – бігуни; *з* – дискова дробарка; *и* – тертка; *і* – струменевий млин.

Щокові або щелепні дробарки (рис. 2.6, *а*) роздавлюють матеріал між нерухомою щокою 1 і рухомою щокою 3, що коливається на осі 2. Такі засоби застосовуються переважно для крупного і середнього подрібнення, наприклад - вапняного каменю і будівельних матеріалів.

Конусна дробарка (рис. 2.6, *б*) працює за принципом роздавлення матеріалу між двома конусами. Зовнішній конус 1 нерухомий, а внутрішній 2 обертається так, що вісь його описує конусну поверхню 3. Внаслідок цього відстань між конусами змінюється, і матеріал, що потрапляє поміж них, роздавлюється. Дробарки застосовуються для крупного подрібнення, проте в харчовій промисловості поширення не отримали.

Вальцьові дробарки (рис. 2.6, *в*) безперервно стискають й роздавлюють матеріал, а якщо валки обертаються з різною кутовою швидкістю, то стискання доповнюється розтиранням матеріалу. Вальцьові дробарки забезпечують середнє, дрібне і тонке подрібнення; використовуються в різних галузях, зокрема для плющення насіння олійних культур перед відтисканням олії.

Дробарки ударного типу (рис. 2.6, *г*) реалізують удари, що наносяться рухомими частинами. Використовуються для середнього, дрібного і тонкого подрібнення крихких і не дуже твердих матеріалів, широкого застосування набули в борошномельному виробництві.

Кульові млини реалізують удар і розтиранням матеріалу між падаючими кулями або стрижнями (рис. 2.6, *д*), застосовуються для дрібного і тонкого помелу.

Кульові вібраційні млини (рис. 2.6, *е*) здійснюють подрібнення внаслідок кругових коливань корпусу млина. При цьому кулі, що знаходяться в млині, багаторазово взаємодіють з матеріалом, подрібнюючи його. Дані млини призначені для тонкого й надтонкого помелу.

У млинах з обертовими частинами матеріал безперервно стирається і частково роздавлюється. На (рис. 2.6, *є, ж, з, и*) показані різні типи обертових млинів – жорна, бігуни, дисковий млин, тертка, які застосовуються для дрібного і тонкого подрібнення.

Струменеві млини (рис. 2.6, *і*) для тонкого подрібнення використовують енергію потоку газів.

Подрібнення може проводитися в один або декілька прийомів, у відкритих або замкнутих циклах. У відкритому циклі частинки матеріалу проходять через машину один раз й досягається крупне і середнє подрібнення. За умови замкнутого циклу, після подрібнювальної машини встановлюється класифікуючий пристрій. Частинки, що перевищують встановлений розмір, подаються на повторне подрібнення [29, 37, 48].

Варто відмітити, що ступінь подрібнення повинен обмежуватися з міркувань отримання необхідної структури переробленого матеріалу, наприклад, розпушеності частинок, достатньої для волого-теплової обробки, проникнення розчинника.

Вибір способу подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей, розмірів й типу матеріалу, міцність якого має основне значення. Тверді й крихкі матеріали зокрема, кристали цукру або сухого зерна, можна подрібнювати розбиванням або розтиранням. Пластичні матеріали, наприклад м'ясо, доцільно піддавати різанню, насіння олійних культур – плющенню.

Процес подрібнення дуже поширений у виробництві рослинних олій та відіграє важливу роль, безпосередньо впливаючи на вихід олії і продуктивність основного технологічного обладнання. Особливим видом подрібнення є плющення (роздавлювання), яке використовується для отримання пелюстки перед волого-тепловою обробкою або ж перед відтисканням й екстрагуванням олії, що дозволяє збільшити вихід олії при зменшених енергозатратах [27, 46, 52].

Ступінь плющення насіння олійних культур має бути таким, щоб не появлялась олія на поверхні розплющених насінин. Це запобігає втратам олії й забрудненню валків, яке призводить до зменшення продуктивності машин та зростання часу на їх щоденне технічне обслуговування.

Таким чином, аналіз описаних способів і засобів подрібнення матеріалів свідчить, що для підготовки насіння олійних культур до пресування найбільш прийнятне плющення вальцьовими засобами, внаслідок чого збільшується вихід олії при зменшених енергозатратах.

2.3. Вальцьові засоби подрібнення насіння олійних культур

У харчовій, переробній і олійно-жировій промисловості найпоширеніші засоби роздавлювальної і роздавлювально-перетиральної дії, зокрема вальцьові дробарки [4, 9, 20-21, 29, 48, 52], в яких подрібнення матеріалу здійснюється між робочими поверхнями валків, що обертаються один назустріч другому.

Вальцьових засобів, що найчастіше використовуються – це одновальцьові, однопарний двовальцьовий верстат з гладкими валками; двопарний чотиривальцьовий верстат, в якому верхня пара валків рифлена, а нижня – гладка; п'ятивальцьовий верстат з п'ятьма валками, які лежать один на одному так, що лінія центрів валків вертикальна, причому найчастіше верхній валок має рифлі, а інші чотири - гладкі. Схеми вказаних конструкцій вальцьових засобів представлені на рис. 2.7 [1, 3-4, 6-11].

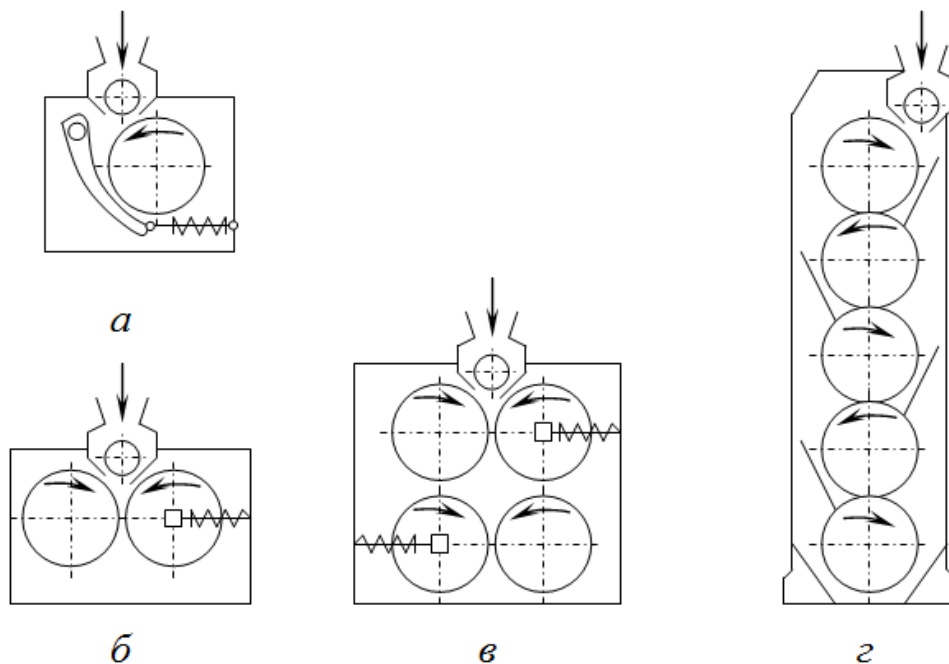


Рис. 2.7. Схеми вальцьових подрібнювальних засобів: *а* – одновальцьовий; *б* – однопарний двовальцьовий; *в* – двопарний чотиривальцьовий; *г* – п'ятивальцьовий.

Одновальцьові засоби (рис. 2.7, *а*), в яких камера подрібнення утворена поверхнею валка й нерухомою щокою, використовуються для подрібнення кускових матеріалів, зокрема корисних копалин в гірничо-рудній, хімічній та будівельній галузях промисловості. Поширення у харчовій, переробній та олійно-жировій промисловості дані машини не знайшли.

Широкого застосування набули однопарні двовальцьові подрібнювальні засоби як при виробництві рослинних олій, так і в інших галузях народного господарства. Принципова схема даних машин показана на рис. 2.7, б.

Однопарний двовальцьовий засіб (рис. 2.8) [16] призначений для попереднього грубого подрібнення насіння або його ядер. На чавунній плиті такого засобу закріплені дві бічні станини 1, в яких розташовані букси рифлених валків 4 і 6 довжиною 800 мм, що мають рифлі глибиною 3 мм. Букси одного з валків 4 закріплені в станині нерухомо, а іншого 6 - можуть переміщатися по горизонтальних напрямних. Встановлення рухомої букси регулюють за допомогою пружини і затискних гайок. Над валками 4 і 6 розташований завантажувальний бункер з живильним валиком 2 і регулювальним шибером. Один валок приводиться в обертання безпосередньо від електродвигуна, а другий від першого через шестеренчасту передачу. Перший валок здійснює 150 об/хв, а другий – 104 об/хв; споживана потужність – 4,5 кВт.

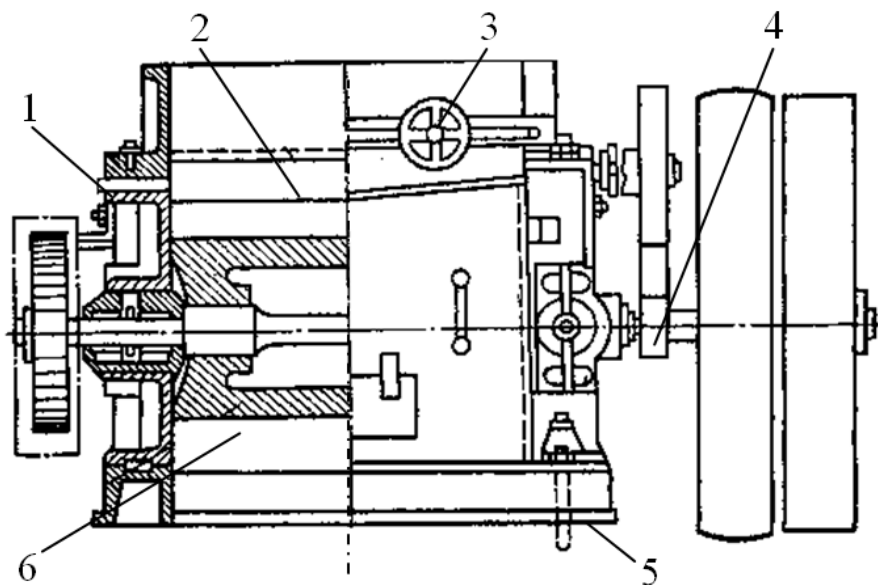


Рис. 2.8. Однопарна двовальцьова дробарка: 1 – станина; 2 – живильний валик; 3 – гвинт регулювального шибера валика; 4 – вісь нерухомого валка; 5 – плита; 6 – рухомий валок.

У процесі роботи подрібнюваний матеріал затягується у робочий простір між валками, піддається руйнівним навантаженням різного характеру залежно від виду рифленої поверхні валків, їх кутових швидкостей та механіко-технологічних властивостей матеріалу.

Недолік даного засобу полягає у відсутності елементів, які запобігають аварії всієї конструкції в разі потрапляння між валки

важкоподрібнюваних предметів. Дробарка в такому випадку миттєво не зупиняється, а це потребує значних затрат часу на пошук і видалення із плющеного насіння важкоподрібнюваного предмета. Засіб має велику матеріаломісткість й високу споживану потужність, що зумовлює значну енергомісткість процесу та собівартість отриманої продукції.

Для підвищення ступеня подрібнення кількість валків у машинах збільшують, а зазор між ними зменшують за напрямом переміщення матеріалу. Комбінуючи число пар валків, їх розташування, розмір, форму і профіль рифлів, можна одержати різні конструкції дробарок, які забезпечують подрібнення роздавлюванням, розтиранням й розколюванням. Очищають від подрібнених частинок поверхню гладких валків ножами, а рифлені поверхні – щітками.

Двопарні чотиривальцьові машини (рис. 2.7, в) представляють собою дві пари валків, розташовані одна над одною. Чотиривальцьова дробарка (рис. 2.9) призначена для подрібнення зерна, солоду, какао-крупки, кави, насіння олійних культур [37]. У процесі роботи подрібнюваний матеріал з бункера 2 за допомогою похилого розподільного жолоба 3 й рифленого живильного валика 4, що обертається, рівномірно подається на верхню пару валків 5. Після першого подрібнення м'ятка надходить на вібросито 6, де поділяється на дві фракції. Дрібна крупка проходить крізь сито і потрапляє у збірний бункер. Лузга і велика крупка з сита потрапляють на нижню пару валків 7, де знову подрібнюються. Після повторного подрібнення друга фракція м'ятки надходить у збірний бункер й змішується з першою фракцією.

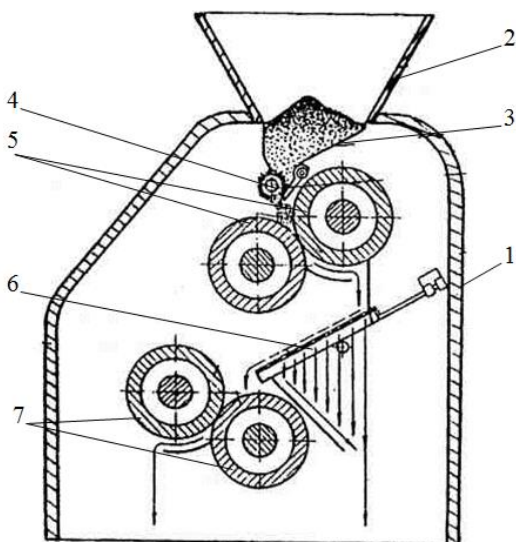


Рис. 2.9. Двопарна чотиривальцьова дробарка: 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – розподільний жолоб; 4 – живильний валик; 5 – верхня пара валків; 6 – вібросито; 7 – нижня пара валків.

Діаметр всіх валків дробарки однаковий і становить 250 мм, а їх довжина – 500 мм; продуктивність – 1000 кг/год.

Двопарні чотиривальцьові засоби можуть використовуватись для тонкого подрібнення насіння олійних культур, яке поступає на волого-теплову обробку. Дані машини успішно застосовуються на підприємствах з великими обсягами переробки, а для малих переробних виробництв використання машин збиткове.

Для подрібнення насіння чи ядер олійних культур також використовують п'ятивальцьові дробарки (рис. 2.7, з). П'ятивальцьовий верстат ВС-5 (рис. 2.10) складається з п'яти чавунних валків діаметром 400 мм і довжиною 1250 мм. Кожен валок – це пустотілий циліндр із запресованим в нього стальним валом. Надійність з'єднання чавунного валка і сталюого вала забезпечується додатковою установкою шпонок. На обох кінцях валів встановлені дворядні сферичні підшипники, що забезпечує вільне самовстановлення валків при проходженні в зазор між ними матеріалу різної товщини і щільності [10, 11, 19-21, 29, 48].

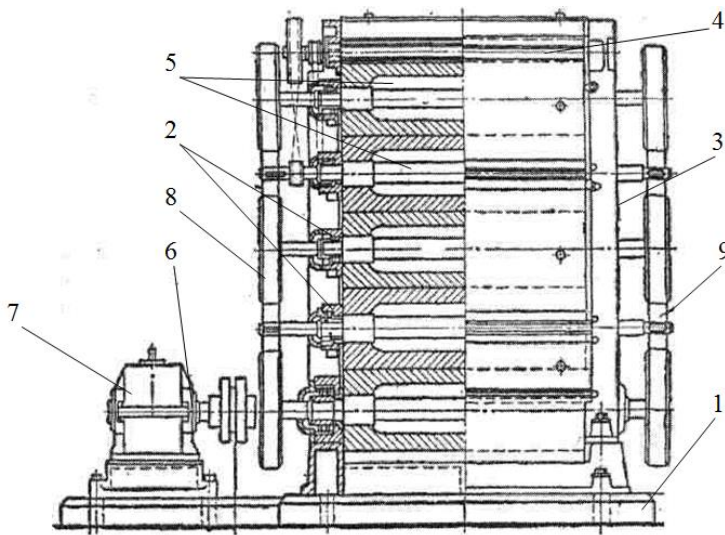


Рис. 2.10. П'ятивальцьовий верстат ВС-5: 1 – рама; 2 – підшипники; 3 – станина; 4 – живильний валок; 5 – робочі валки; 6 – редуктор; 7 – електродвигун; 8 і 9 – шків.

Положення нижнього привідного валка фіксоване, оскільки кожен валок сприймає навантаження від ваги усіх вище розташованих валків, причому найбільш навантажений привідний валок, і його встановлюють в дворядних роликових підшипниках.

Корпуси підшипників (букси) мають на краях форму квадрата і входять у напрямні вертикальних стійок верстата. Чотири чавунні стійки кріпляться болтами до масивної чавунної плити.

Таким чином, рухливість осей верхніх чотирьох валків у вертикальному напрямку забезпечується можливістю ковзання корпусів підшипників у напрямних. Особливість установки валків полягає у розташуванні центрів їхніх осей не на одній вертикалі, а зі зміщенням убік на 10-12 мм. Для цього з однієї сторони букси знімають шар металу, а на іншу сторону накладають пластину відповідної товщини. Напрямок зміщення для кожного валка змінюють послі-

довно, що поліпшує затягування матеріалу в зону подрібнення і забезпечує більш плавну їх роботу.

Два верхні валки виконують рифленими, а всі інші – гладенькими. Рифлі мають глибину 1,5 мм, кут підйому $\approx 9^\circ$, а їх число – 8. Рифлені ділянки поверхні валків чергуються із гладенькими, що знижує вібрації машини під час роботи. У процесі експлуатації особливу увагу приділяють стану робочої поверхні валків, їх перешліфовують через 600–800 годин експлуатації [10, 11, 19-21].

Зазор між валками змінюється залежно від кількості матеріалу, що поступає з живильного бункера. Привід верстата (рис. 2.10) здійснюється від електродвигуна 7 через редуктор 6 і муфту. Електродвигун 7 і редуктор 6 монтуються на окремій рамі 1. Обертання від нижнього до третього і верхнього валків 5 передається за допомогою плоских пасів 8 і 9. Частота обертання валків 5 становить (об/хв): нижнього – 150, третього і верхнього – 147, а живильного валика – 50. Потужність встановленого електродвигуна 7 складає 28 кВт при частоті обертання 975 об/хв. Продуктивність засобу (т/добу) при подрібненні ядра соняшникового насіння – 80, ядра бавовнику – 100, а у випадку подрібнення насіння сої – 35, льону – 40, ріпаку – 45 [19-21].

У процесі роботи матеріал, який поступає з бункера, живильним валиком 4 рівномірно розподіляється по довжині верхнього валка 5 і переміщається зверху вниз. За допомогою напрямних щитків матеріал потрапляє в щілину між валками. Перші верхні два валки 5 мають рифлі і матеріал попередньо подрібнюється розколюванням і роздавлюванням. Другий і четвертий валки 5 приводяться в обертовий рух за рахунок сил тертя і мають дещо меншу частоту. Тобто, матеріал в цих умовах подрібнюється роздавлюванням і перетиранням, а зчищають подрібнені частинки з валків ножами.

Верстати такого типу використовуються в олійному виробництві з великими обсягами переробки шляхом екстракції олії. Вони енерго- і матеріаломісткі, також потребують істотних затрат часу на щоденне технічне обслуговування. В разі спрацювання одного з п'яти валків, необхідно демонтувати всі, щоб замінити спрацьований.

Для подрібнення насіння чи ядер олійних культур у технологічних лініях переробних підприємств використовуються три- і чотиривальцьові верстати, схеми яких наведені на рис. 2.11 [27-29, 37, 48].

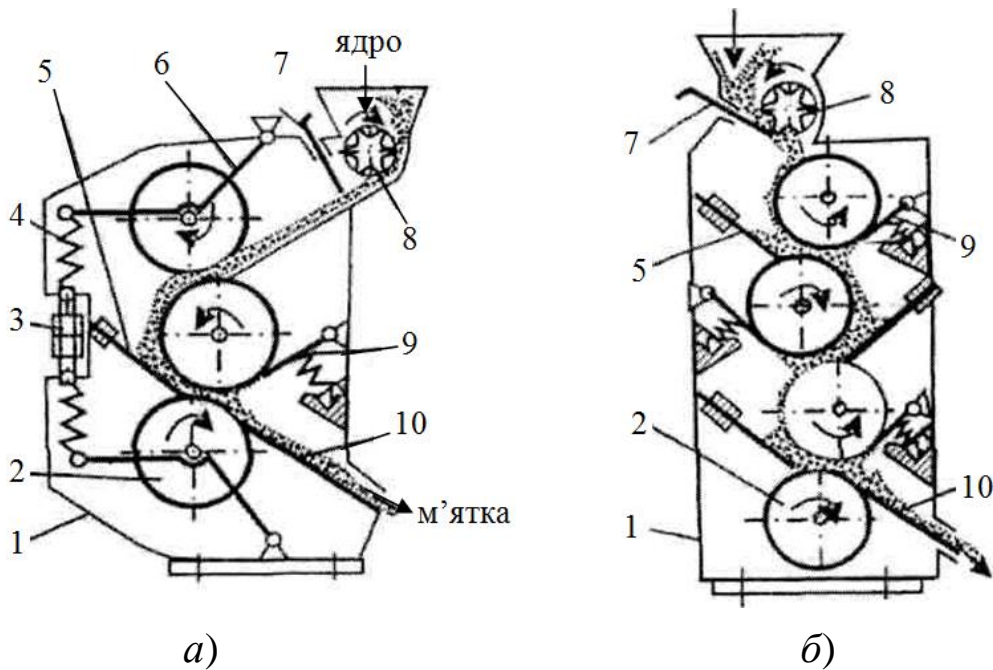


Рис. 2.11. Схеми верстатів для подрібнення насіння олійних культур (*а* – тривальцьового; *б* – чотиривальцьового): 1 – станина; 2 – робочий валок; 3, 6 – важелі; 4 – пружина; 5 – полиця; 7 – регулювальна заслінка; 8 – живильний валик; 9 – ніж; 10 – лоток.

У тривальцьовому верстаті (рис. 2.11, *а*) підшипникові опори середнього валка закріплені нерухомо на станині, а верхній і нижній – підпружинені через важіль 3 з гвинтовими регуляторами тиску на подрібнюваний продукт. У чотиривальцьовому верстаті (рис. 2.11, *б*) всі чотири валки приводяться в рух від електроприводу ланцюговими передачами і обертаються з однаковою швидкістю.

Корпуси підшипникових опор (букси) валків змонтовані рухомо у вертикальних напрямних стійках, центри валків один відносно іншого дещо зміщені (10 мм) по горизонталі за рахунок установки сталених пластин на відповідні щоки букс. Напрямок зміщення для кожного валка змінюють послідовно, що покращує умови затягування подрібнюваного матеріалу і забезпечує більш плавну роботу. Букси верхнього валка підпружинені, між середніми буксами по вертикалі встановлені гвинтові важелі для регулювання зазору між валками. Живильний валик 8 приводиться в рух клинопасовою передачею від верхнього валка.

Під час роботи насіння, що знаходиться в бункері, живильним валиком 8 рівномірно подається в робочу зону верхньої пари валків 2, де за рахунок стиску подрібнюється на крупку. Подрібнений продукт з першої пари валків поступає на полицю 5, звідки направляється в наступну робочу зону суміжних валків 2 з меншим зазором

між ними, де повторно подрібнюється. Таким чином, оброблюваний продукт послідовно подрібнюється три рази в чотиривальцьовому (рис. 2.11, б) і два рази (рис. 2.11, а) у тривальцьовому верстатах. Робочі зазори між валками 2 регулюються важелем 3 (рис. 2.11). Продуктивність верстатів забезпечується шляхом зміни зазору між живильним валиком 8 і регулювальною заслінкою 7. При попаданні в робочу зону валків твердих сторонніх предметів підпружинені валки переміщуються, пропускаючи тверді предмети, і за рахунок стиснутих пружин повертаються у вихідне робоче положення.

На відмінну від п'ятивальцьового - три- і чотиривальцьові верстати мають меншу енерго- та матеріаломісткість, але використання їх у малих переробних виробництвах з невеликими обсягами продукції не раціонально.

Аналіз існуючих конструкцій подрібнювальних машин свідчить про необхідність подальших досліджень з метою обґрунтування способу подрібнення (залежно від механіко-технологічних властивостей і розмірів матеріалу) та обґрунтування оптимальних конструкційних й технологічних параметрів машини для руйнування насіння чи ядер олійних культур. Також доцільно враховувати деформацію, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на поверхні розплющених насінин.

Вище описані подрібнювальні машини мають велику енерго- і матеріаломісткість й призначені для подрібнення насіння чи ядер олійних культур на спеціалізованих підприємствах з великими обсягами переробки за технологічними схемами багаторазового отримання олії, що в свою чергу зумовлює необхідність у великій кількості засобів. Використання даних машин в умовах малих переробних виробництв є збитковим через малі й змінні в часі обсяги переробки.

2.4. Розроблена вальцьова плющилка насіння олійних культур

Відомі плющилки насіння [16, 29, 45-48, 51, 52] містять завантажувальний бункер, дозатор і формувач потоку насіння, вальцьовий плющильний робочий орган, електромеханічний привід валків й механізм регулювання зазору між ними, а також відповідний лоток розплющеного насіння. Вальцьовий плющильний робочий орган виконаний у вигляді поворотних назустріч один одному валків, один з яких жорстко закріплений, а інший – підпружинений. Вказані машини мають велику енерго- та матеріаломісткість й призначе-

ні для подрібнення насіння олійних культур на спеціалізованих підприємствах з великими обсягами переробки сировини за технологічними схемами багаторазового відтискання олії. У малих переробних цехах с.-г. підприємств використання даних машин є збитковим через малі, а також змінні в часі обсяги переробки продукції. Крім того, при технологічному налагодженні даних засобів не враховується обмежувальний параметр - деформація насінин, за якої починається олієвиділення. Обґрунтування параметрів вальцьових засобів доцільно здійснювати за умовою, коли деформація насінин перевищує деформацію їх роздавлювання, але не досягає деформації появи олії на поверхні розплющених насінин. З наближенням до деформації появи олії прогресують пластичні деформації, які пропорційні швидкості стискання й зумовлюють додаткові непродуктивні затрати потужності.

Отже, виходячи з аналізу існуючих способів і засобів для подрібнення матеріалів [43-45, 51, 52], за програмою наукових досліджень Львівського національного аграрного університету розроблено вальцьову плющилку насіння олійних культур [40, 41, 55], що призначена для малих переробних цехів сільськогосподарських підприємств.

Розроблена плющилка (рис. 2.12) містить завантажувальний бункер 1, дозатор 2 і формувач потоку насіння 3, а також вальцьовий плющильний робочий орган 4 й відповідний лоток 5 плющеного насіння.

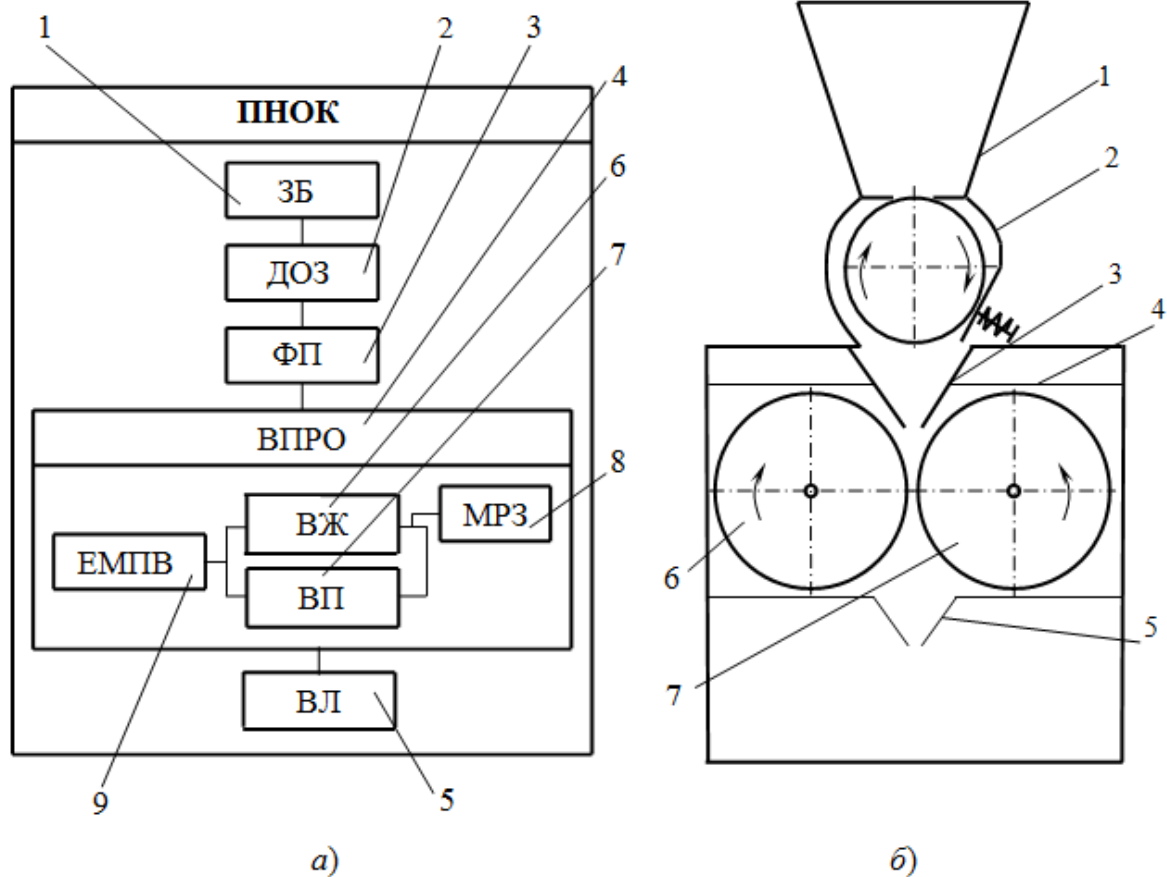


Рис. 2.12. Функціональна (а) та принципова (б) схеми плющи- лки насіння олійних культур: 1 – завантажувальний бункер; 2 – до- затор; 3 – формувач потоку насіння; 4 – вальцьовий плющильний робочий орган; 5 – відвідний лоток; 6, 7 – жорстко закріплений та підпружинений валки; 8 – механізм регулювання зазору; 9 – елект- ромеханічний привід валків.

Перед початком роботи, відповідно до необхідного ступеня подрібнення насіння олійних культур встановлюють зазор між вал- ками 6 і 7 за допомогою механізму регулювання зазору 8. Після те- хнологічної наладки вмикають електромеханічний привід плющи- лки. У процесі роботи матеріал, який поступає із завантажувального бункера 1, дозатором 2 рівномірно подається на формувач потоку насіння 3, який спрямовує потік між валки 6 і 7 вальцьового плю- щильного робочого органа 4. Між валками 6 і 7 насіння роздавлю- ється й сходиться по відвідному лотку 5. У випадку потрапляння між валки важкоподрібнюваних предметів ведений валок відхиляється, не виводячи із зачеплення шестерень, що з'єднують валки. Після проходження стороннього предмета ведений валок плавно поверта- ється у робоче положення за допомогою пружинного механізму.

Вальцьовий плющильний робочий орган (рис. 2.13) [41] плющилки насіння олійних культур містить нерухому стійку 1, жорстко закріплену на основі плющилки, а також рухому стійку 9, шарнірно змонтовану на основі з можливістю кутового відхилення (повертання) навколо осі А шарніра.

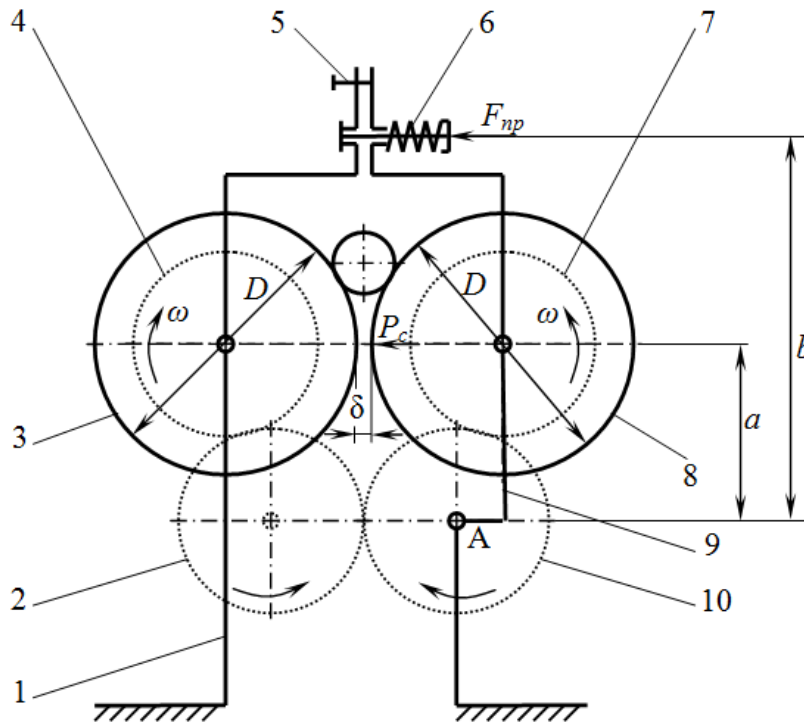


Рис. 2.13. Схема вальцьового плющильного робочого органа: 1 – нерухома стійка; 2, 10 – проміжні шестерні; 3 – ведучий валок; 4 – шестерня ведучого валка; 5 – регулювальний гвинт; 6 – пружина; 7 – шестерня веденого валка; 8 – ведений валок; 9 – рухома стійка.

На нерухомій стійці 1 змонтований в опорах обертання ведучий валок 3 із шестернею 4, а на рухомій – ведений валок 8 із шестернею 7. Шестерні 4 та 7 і, відповідно, ведучий 3 та ведений 8 валки кінематично сполучені між собою через проміжні шестерні 2 й 10, які перебувають у постійному зачепленні одна з одною. Проміжна шестерня 2 також перебуває у постійному зачепленні із шестернею 4 ведучого валка, а проміжна шестерня 10 – із шестернею 7 веденого валка. Вісь обертання шестерні 10 співпадає з віссю А повертання рухомої стійки 9.

Жорсткий опір повертання стійки 9 забезпечує пружина 6. Зазор між валками 3 і 8, що визначається як мінімальна відстань між їх поверхнями, змінюється регулювальним гвинтом 5 шляхом зміни зазору між нерухомою 1 та рухомою 9 стійками. Валки 3 і 8 розташовані горизонтально, мають однаковий діаметр, гладку циліндри-

чну поверхню і обертаються з однаковою швидкістю від електро-механічного приводу, з'єднаного з нерухомим ведучим валком 3.

Теоретичному обґрунтуванню підлягає основний параметр процесу плющення насіння – нормальний тиск q , що зумовлює деформацію, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на поверхні розплющених насінин. Це запобігає втратам олії й забрудненню валків, особливо, висихаючими оліями. Також теоретичному обґрунтуванню підлягають: діаметр D валків й зазор δ між ними; зусилля F_{np} жорсткого опору відхиленню рухомого валка, створюване пружиною; частота обертання валків n і споживана потужність N .

2.5. Короткий аналіз теоретичних досліджень подрібнення насіння

Основним завданням подрібнення насіння олійних культур є порушення клітинної структури (роздавлювання), необхідне для створення оптимальних умов найповнішого і високопродуктивного відтискання олії [4, 9, 10, 11, 20, 21].

Згідно досліджень Я. Н. Куприца і С. Д. Хусида процес подрібнення розділяється на три фази [11, 51]:

- пружна деформація, яка протікає від початку дії прикладеної сили на подрібнюваний матеріал до моменту досягнення межі пружності й супроводжується ущільненням та стиском структурних агрегатів насіння;

- пластична деформація, що настає з моменту початку зсуву окремих елементів матеріалу один відносно іншого й характеризується відносним зміщенням структурних агрегатів ядра насіння, в результаті чого матеріал ущільнюється і плющиться;

- руйнування матеріалу з утворенням вільної поверхні частинок.

Голдовський А. М. [9] запропонував такі завдання подрібнення насіння чи ядер перед волого-тепловою обробкою й подальшим пресуванням.

1. Максимально можливий розрив клітин – чим дрібніший помел, тим більше зруйновано клітин, що утримують олію.

2. Досягнення оптимального розміру частинок – зі зменшенням товщини частинок, зменшується під час волого-теплової обробки відстань для дифузії води і перенесення тепла від поверхні частинок, збільшується загальна поверхня частинок м'ятки, яка конта-

ктує з вологою. Тому зі зменшенням товщини частинок стає ефективною їх обробка вологою і теплом.

3. Досягнення найбільшої однорідності м'ятки, оскільки для дрібнішого помелу вирівнюються розміри окремих частинок й одноріднішою стає м'ятка та мезга.

Академік П.А. Ребіндер запропонував теорію подрібнення, яка максимально відображає явища процесу і з високою достовірністю підтверджуються дослідними даними [4, 9, 51]. Згідно теорії повна робота A зовнішніх сил процесу подрібнення виражається рівнянням Ребіндера:

$$A = A_d + A_n = k_1 \cdot \Delta V + k_2 \cdot \Delta F, \quad (2.1)$$

де A_d – робота, затрачувана на деформацію об'єму подрібнюваної частинки; A_n – робота, що затрачається на утворення нової поверхні; k_1 – коефіцієнт пропорційності, який дорівнює роботі деформації одиниці об'єму тіла; ΔV – зміна об'єму руйнованого тіла; k_2 – коефіцієнт пропорційності, рівний роботі, що затрачається на утворення одиниці нової поверхні; ΔF – приріст новоутвореної поверхні.

У роботах [19-23] запропонована умова руху частинок між валками, коли валки розташовані горизонтально, мають однаковий діаметр, гладку поверхню і обертаються з однаковими швидкостями. Частинка (рис. 2.14), стикаючись з поверхнею валків, під дією ваги зумовлює силу тиску P в місці контакту. Сила P зумовлює реакцію, нормально спрямовану до поверхні валків. Кут, який утворюється між напрямом сили P і горизонтальною віссю валків, називають кутом захоплення α .

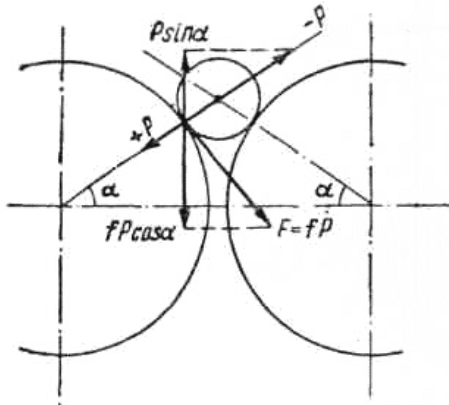


Рис. 2.14. Схема взаємодії частинки з валками.

Згідно наведеної схеми (рис. 2.14) [20, 21] сила P може бути розкладена на вертикальну складову $P \sin \alpha$ і на горизонтальну $-P \cos \alpha$. Вертикальна складова направлена вгору і виштовхує частинку із зони подрібнення.

У точці контакту частинки з валками виникає сила тертя $F = fP$ (де: f – коефіцієнт тертя частинки по валку), яка також може бути розкладена на вертикальну $fP \cos \alpha$ і горизонтальну $fP \sin \alpha$ складові. Вертикальна складова $fP \cos \alpha$ направлена вниз і зтягує частинку в зону подрібнення.

Рівняння рівноваги сил, що діють на частинку має вигляд:

$$2Psina = 2fPcosa. \quad (2.2)$$

Щоб частинка була затягнута в зону подрібнення, повинна виконуватись умова:

$$2Psina < 2fPcosa. \quad (2.3)$$

Оскільки $f = tg\varphi$ (де φ – кут тертя частинки по валку), тоді $tg\alpha < tg\varphi$, тобто кут захоплення α має бути меншим кута тертя φ . Величина кута захоплення залежить від розміру подрібнюваної частинки, діаметра валків й зазору між ними.

Гавриленко І. В. [11] запропонував рівняння, яке дозволяє визначити найменший діаметр валків для подрібнення будь-якого матеріалу при заданому коефіцієнту подрібнення, розмірі подрібнених частинок, а також відомому коефіцієнту тертя:

$$D \geq \frac{d(k - \sqrt{1 + f^2})}{k(\sqrt{1 + f^2} - 1)}, \quad (2.4)$$

де: d – діаметр частинки; k – коефіцієнт подрібнення матеріалу.

Найменший діаметр валків D_{\min} визначається з умови затягування частинок у зазор між валками [27, 28]:

$$D_{\min} = \frac{d(\cos\varphi - b)}{1 - \cos\varphi}, \quad (2.5)$$

де: b – зазор між валками, м.

Також відома наступна формула для визначення діаметра валків [11]:

$$D \geq \frac{60d(k - 1)}{k}. \quad (2.6)$$

Для забезпечення стабільного притискання підпружиненого валка до непідпружиненого, його діаметр має становити [11]:

$$D \geq 2\sqrt{\frac{p}{\pi\rho}}, \quad (2.7)$$

де: p – погонне навантаження в зоні контакту валків від сили тяжіння підпружиненого суцільного валка, Н/м; ρ – густина матеріалу валка, кг/м³.

Теоретична продуктивність Q_m (т/год) горизонтального однопарного двовальцевого верстата, валки якого мають однаковий діаметр і однакові кутові швидкості, визначається за формулою [11, 20, 29, 48]:

$$Q_m = 3600vLb\gamma = \frac{3600\pi}{60}LDnb\gamma = 188,4DLbn\gamma, \quad (2.8)$$

де: v – коефіцієнт заповнення зони подрібнення; L – довжина кожного валка, м; b – зазор між валками, м; γ – об’ємна маса матеріалу після подрібнення, т/м³; D – діаметр валків, м; n – частота обертання валків, об/хв.

Тиск на матеріал, необхідний для подрібнення, залежить від фізичних і механічних властивостей подрібнюваного продукту, а також від ступеня подрібнення [20]. Згідно дослідження [20], максимальний тиск p_{max} (кг/см²) на матеріал дорівнює:

$$p_{max} = \frac{4T}{Dl \sin \alpha}, \quad (2.9)$$

де: T – сила, яка діє на валки, кг; D – діаметр валків, см; l – довжина валків, см; α – кут захоплення подрібнюваного матеріалу, град.

Сила, яка діє на валки у даному випадку, становить [20]:

$$T = \frac{lD^2\alpha}{4} \sin \alpha (1 - \cos \alpha). \quad (2.10)$$

На основі аналізу теоретичних досліджень процесу подрібнення насіння олійних культур перед відтисканням олії варто відмітити, що відомі дослідження направлені на визначення: умов захоплення подрібнюваного матеріалу; мінімального діаметра валків; тиску на матеріал, необхідного для його подрібнення. Проте не досліджувались сила і деформація, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на поверхні розплющених насінин.

Тому для обґрунтування параметрів вальцьової плющилки насіння олійних культур виникає необхідність встановити основний параметр процесу плющення – тиск q на насінини, а також діаметр D валків й зазор δ між ними, зусилля F_{np} жорсткого опору відхилення рухомого валка, частоту обертання валків n і споживану потужність N , враховуючи деформацію, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на поверхні розплющених і насінин.

Таким чином, аналіз теоретичних досліджень подрібнення насіння олійних культур перед відтисканням олії свідчить про необхідність обґрунтування параметрів вальцьової плющили з врахуванням деформації роздавлювання та виділення олії насінин.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПЛЮЩЕННЯ
НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

3.1. Роздавлення насінин кулястої форми

Припустимо, що насінина (рис. 3.1) має форму кулі діаметром d , а її пружні характеристики: E_1 – модуль Юнга, μ_1 – коефіцієнт Пуассона і модуль зсуву $G_1 = \frac{E_1}{2(1+\mu_1)}$. Насінина знаходиться між двома пластинами, одна з яких нерухома, а на другу рухому діє сила P_c .

Згідно теорії Герца [5, 49] площинка контакту кулі й пластини – круг, радіус a якого залежить від пружних характеристик матеріалу кулі й пластини, діаметра d кулі:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{8} P_c d (k_1 + k_2)}, \quad (3.1)$$

де: k_1, k_2 – відповідно характеристики насіння олійних культур та матеріалу пластини, $\text{мм}^2/\text{Н}$.

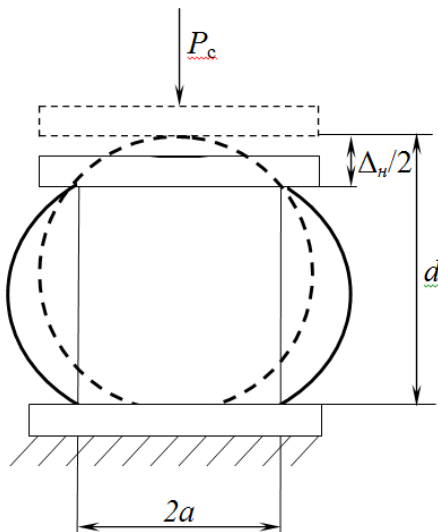


Рис. 3.1. Схема навантаження кулястої насінини.

Вказані характеристики становлять:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \frac{\lambda_1 + 2G_1}{4\pi G_1 (\lambda_1 + G_1)}; \\ k_2 &= \frac{\lambda_2 + 2G_2}{4\pi G_2 (\lambda_2 + G_2)} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

де: λ_1, λ_2 – відповідно параметри Ляме матеріалу кулі й пластини, $\text{Н}/\text{мм}^2$; G_2 – модуль зсуву пластини, $\text{Н}/\text{мм}^2$.

Параметри Ляме розраховуються з виразів:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{E_1 \mu_1}{(1 + \mu_1)(1 - 2\mu_1)}; \\ \lambda_2 &= \frac{E_2 \mu_2}{(1 + \mu_2)(1 - 2\mu_2)} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

де: μ_2 – коефіцієнт Пуассона пластини.

Тиск q на площинку контакту (рис. 3.2.) пропорційний ординаті півсфери, побудованій на площинці:

$$q(\rho) = q_0 \sqrt{\left(1 - \frac{\rho^2}{a^2}\right)}, \quad (3.4)$$

де: q_0 – максимальний тиск у центрі площинки контакту; ρ – деяке проміжне значення радіуса площинки.

Тиск q_0 становить:

$$q_0 = \frac{3}{2} \frac{P_c}{\pi a^2} = \frac{3}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{64}{9\pi^2} \frac{P_c}{d^2 (k_1 + k_2)^2}}. \quad (3.5)$$

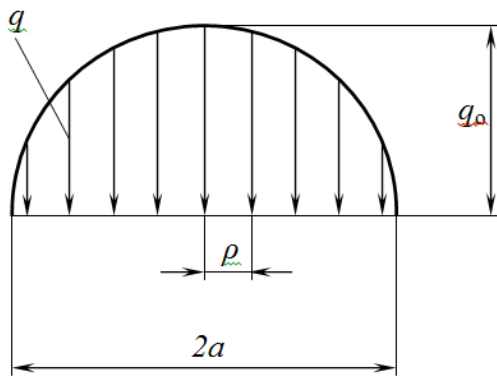


Рис. 3.2. Розподіл тиску на площинці контакту.

Зближення пластин, тобто деформація кулястої насінини Δ_n , дорівнює:

$$\Delta_n = \frac{3\pi}{2a} (k_1 + k_2) P_c = \pi \sqrt[3]{\frac{6P_c^2 (k_1 + k_2)^2}{\pi d}}. \quad (3.6)$$

Якщо у формули (3.2) підставити вирази (3.3) параметрів Ляме через модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона, тоді одержимо:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \frac{1 - \mu_1^2}{\pi E_1}; \\ k_2 &= \frac{1 - \mu_2^2}{\pi E_2}; \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Розв'яжемо рівність (3.6) відносно k_1 :

$$k_1 = \sqrt{\frac{\pi d}{6P_c^2} \left(\frac{\Delta_n}{\pi}\right)^3} - k_2. \quad (3.8)$$

Підставляючи у формулу (3.6) значення P_c і Δ_n , отримані під час експериментальних досліджень [56], одержимо значення k_1 , а потім і значення модуля Юнга для матеріалу насінини.

Діаграма стиску насінин [56] свідчить, що нахил кривої $\Delta_n = f(P_c)$ із зростанням сили P_c зменшується, тобто модуль Юнга насінини E_1 також зменшується. Його зміну можна описати такою емпіричною залежністю:

$$E_1 = E_{10} - (E_{10} - E_{1k}) \cdot \left(\frac{P_c}{P_{c.p}} \right)^2, \quad (3.9)$$

де: E_{10} , E_{1k} – відповідно початкове та кінцеве значення модуля Юнга на елементарній ділянці діаграми стиску насінини [56]; $P_{c.p}$ – сила роздавлювання насінини.

Наведеними вище формулами можна користуватись в межах пружних деформацій, але оскільки з експериментальної діаграми стиску насінин [56] видно, що і при наявності еластичних деформацій діаграма мало відхиляється від прямої, то цими формулами можна користуватись і при наявності еластичних деформацій, тобто аж до появи мікротріщин насінин. Потрібно тільки коефіцієнт Пуассона брати дещо більшим ($\mu_1 \approx 0,5$), а значення модуля Юнга E_1 навпаки меншим від початкового значення.

Згідно третьої теорії міцності [5, 49] роздавлювання починається, коли максимальні дотичні напруження τ_{\max} досягнуть певного значення, то, як показують дослідження, $\tau_{\max} = 0,3q_o$.

Це напруження виникає на глибині $0,5 \cdot a$ від поверхні контакту. Згідно третьої теорії міцності [49]:

$$[\sigma_n] = 2\tau_{\max} = 0,6q_{o.p}, \quad (3.10)$$

де: $[\sigma_n]$ – межа міцності насінини, Н/мм²; $q_{o.p}$ – тиск, при якому відбувається роздавлювання насінини, Н/мм².

Розв'язавши рівняння (3.1) – (3.10) числовим методом та реалізувавши їх в середовищі MATLAB 7.11.0, отримано теоретичні залежності від сили P_c стиску насінин таких параметрів, як деформація $\Delta_n = f_1(P_c)$, максимальний тиск $q_o = f_2(P_c)$ і радіус площини контакту $a = f_3(P_c)$.

На (рис. 3.3.) відображена залежність сили стиску P_c від деформації насінин Δ_n . Крайні праві точки на кривих (1-4) відповідають силі $P_{c.p}$ та деформації $\Delta_{n.p}$ роздавлювання насінин.

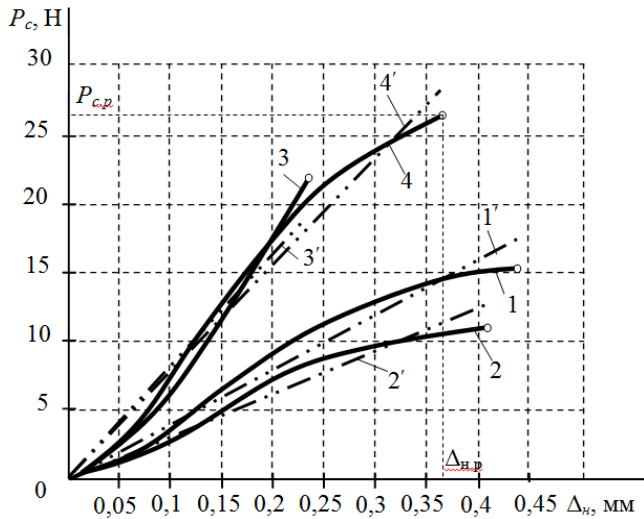


Рис. 3.3. Залежності сили стиску P_c від деформації насінин Δ_n : 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 1', 2', 3', 4' – лінеаризовані залежності вказаних культур.

Таким чином, можна зробити висновок, що сила роздавлювання насінин $P_{c,p}$ коливається в широких межах, залежно від культури.

Теоретичні значення сили роздавлювання (Н) становлять (рис. 3.3): озимий ріпак – 15,1, гірчиця сиза – 10,08, гірчиця біла – 23,2 та редька олійна – 25,1; деформація роздавлювання відповідно дорівнює 0,44, 0,41, 0,23 та 0,36 мм.

Як показали результати теоретичних досліджень (рис. 3.4), тиск $q_{o,p}$ в центрі площинки контакту під час роздавлювання насінин різних олійних культур характеризуються значною мінливістю, відповідає крайнім правим точкам кривих (1–4) й дорівнює 61,19, 57,71, 115,24 та 108,87 Н/мм². Найбільший тиск відповідає насінню гірчиці білої, а найменший – гірчиці сизій.

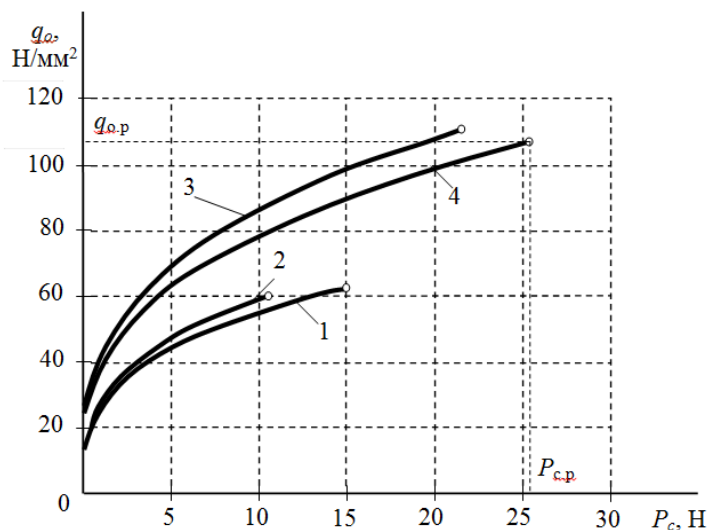


Рис. 3.4. Залежності тиску в центрі площини контакту q_o від сили стиску P_c : 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна.

Радіус a площинки контакту насінини і пластини становить (рис. 3.5): 0,43 мм – для насіння озимого ріпаку, 0,37 мм – гірчиці сизої, 0,32 мм – гірчиці білої й редьки олійної – 0,425 мм.

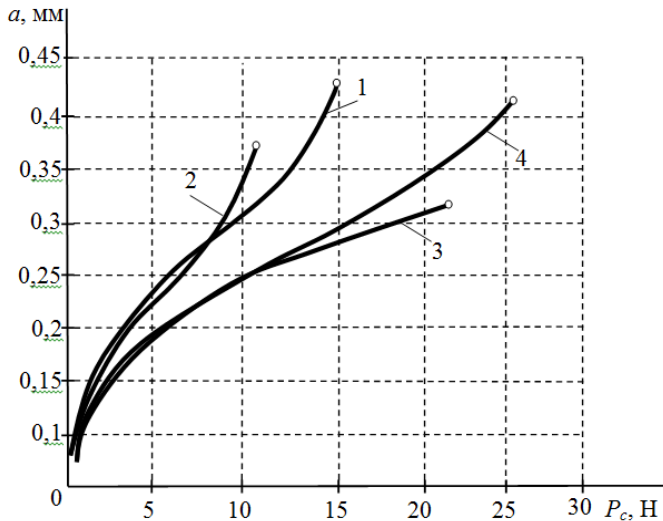


Рис. 3.5. Залежності радіуса a площинки контакту від сили стиску P_c : 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна.

Таким чином, теоретичними дослідженнями роздавлювання насінин олійних культур отримано залежності від сили P_c стиску таких параметрів насінин, як деформація $\Delta_n = f_1(P_c)$ (рис. 3.3), максимальний тиск $q_o = f_2(P_c)$ (рис. 3.4) і радіус площини контакту $a = f_3(P_c)$ (рис. 3.5). Також встановлено залежність (3.9) для визначення модуля Юнга насінин олійних культур кулястої форми.

Визначено силу, деформацію і тиск, при якому відбувається роздавлювання насінин. Для озимого ріпаку сорту Света, гірчиці сизої Роксолана, гірчиці білої Підпечерецька та редьки олійної сорту Журавка вказані параметри змінюються в межах: сила роздавлювання 10,08 – 25,1 Н; деформація роздавлювання – 0,23 – 0,44 мм; максимальний тиск – 38,2 – 102,49 Н/мм².

Отже, отримані теоретичні залежності дозволяють раціоналізувати режими роботи машини для роздавлювання насінин перед відтисканням олії, забезпечуючи у подальшому максимальний вихід олії при мінімальних енергозатратах, зокрема, дозволяють встановити необхідний зазор між валками, за якого відбувається роздавлювання насінин, але відсутня поява олії на їх поверхні.

3.2. Роздавлювання еліпсоїдних насінин

Припустимо, що насінина льону (рис. 3.6) знаходиться між двома сталевими пластинами, нижня з яких нерухома, а на верхню рухому діє сила P_c . Вважаємо, що насінина льону має форму еліпсоїда з півосями a_1, b_1, c_1 (причому $a_1 \geq b_1 \geq c_1$).

Якщо початок системи координат вибрати в точці контакту, то рівняння поверхні еліпсоїда біля цієї точки можна подати у вигляді:

$$z = Ax^2 + By^2, \quad (3.11)$$

$$\text{де: } A = \frac{c_1}{2a_1^2}, \quad B = \frac{c_1}{2b_1^2}.$$

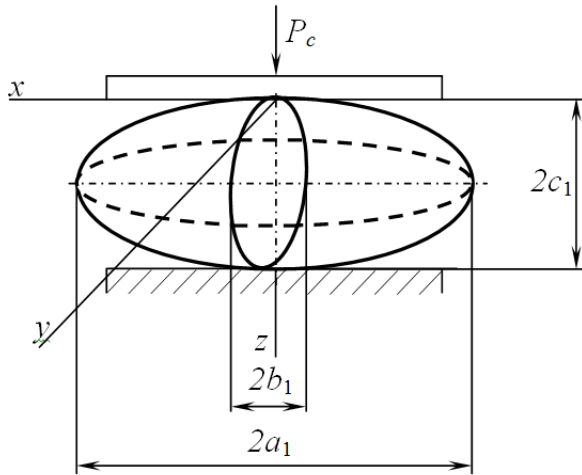


Рис 3.6. Схема навантаження еліпсоїдної насінини.

Під час дії сили P_c між пластинами і еліпсоїдом виникають площини контакту, які мають форму еліпса з півосями a і b .

Згідно теорії Герца [49] на площині контакту виникає тиск, який розподіляється за законом:

$$q(x, y) = q_o \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}, \quad (3.12)$$

де: q_o – максимальне значення тиску в центрі площинки контакту.

Значення q_o можна знайти з рівняння рівноваги:

$$P = \iint_{A_o} q(x, y) dx dy, \quad (3.13)$$

де: A_o – площа ділянки контакту.

Інтеграл (3.13) легко обчислити, зробивши заміну змінних $x = a \cos \varphi$, $y = b \rho \sin \varphi$, $dx dy = ab \rho d\rho d\varphi$, де $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, $0 \leq \rho \leq 1$.

Тоді

$$P = q_o a \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \rho \sqrt{1 - \rho^2} d\rho = q_o ab \varphi \int_0^1 \left(-\frac{1}{2} \frac{3}{2} (1 - \rho^2)^{\frac{3}{2}} \right) = q_o ab 2\pi \frac{1}{3}, \quad (3.14)$$

або

$$q_o = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi ab}. \quad (3.15)$$

Згідно теорії Герца [49] для довільної точки площинки контакту має виконуватись рівність:

$$(k_1 + k_2) \iint_{A_o} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}} = \Delta_n - Ax^2 - By^2; \quad x, y \in A_o \quad (3.16)$$

де: Δ_n – зближення пластин, тобто деформація насінин, що мають форму еліпсоїда.

Підставивши в рівняння (3.16) $x = 0$, $y = 0$, враховуючи (3.15) та зробивши заміну змінних, отримаємо формулу для встановлення Δ_H :

$$\Delta_H = (k_1 + k_2) \frac{3P_c}{4} \int_0^\pi \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (3.17)$$

Далі підставимо в рівняння (3.16) один раз $x = a$, $y = 0$, а другий – $x = 0$, $y = b$, в результаті одержимо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} Aa^2 &= (k_1 + k_2) \frac{3P_c}{4} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{a^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 b^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ Bb^2 &= (k_1 + k_2) \frac{3P_c}{4} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{\rho^2 a^2 \cos^2 \varphi + b^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Подано a і b у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} a &= m \sqrt[3]{\frac{3\pi P_c (k_1 + k_2)}{4 (A + B)}}; \\ b &= n \sqrt[3]{\frac{3\pi P_c (k_1 + k_2)}{4 (A + B)}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

Підставивши (3.19) в (3.18), одержимо систему нелінійних рівнянь відносно коефіцієнтів m і n .

$$\left. \begin{aligned} m^2 &= \frac{A + B}{\pi A} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{m^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 n^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ n^2 &= \frac{A + B}{\pi B} \left(\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho \cdot d\rho}{\sqrt{\rho^2 m^2 \cos^2 \varphi + n^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

Ця система рівнянь розв'язується при таких геометричних параметрах насини: $a_1 = 2,22$ мм; $b_1 = 1,13$ мм; $c_1 = 0,46$ мм [53].

Розв'язавши систему рівнянь (3.20), отримаємо значення коефіцієнтів: $m = 1,2250$, $n = 0,8234$, $s = 3,0976$, де s виражається через повний еліптичний інтеграл:

$$s = \frac{2}{m} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \frac{m^2 - n^2}{m^2} \sin^2 \varphi}}. \quad (3.21)$$

Тоді, враховуючи (3.19) і отримані значення коефіцієнтів, формула (3.17) матиме вигляд:

$$\Delta_H = s^3 \sqrt{\frac{9(A + B) P_c^2 (k_1 + k_2)}{16\pi}}. \quad (3.22)$$

Звідси одержимо:

$$k_1 = \frac{4}{3P_c} \sqrt{\frac{\pi}{A+B} \left(\frac{\Delta_n}{s}\right)^3} - k_2, \quad (3.23)$$

а потім можна знайти і модуль Юнга E_n для насінин льону:

$$E_n = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi k_1}. \quad (3.24)$$

Враховуючи систему рівнянь (3.19), можна записати кінцеву формулу для визначення максимального тиску:

$$q_o = \frac{3}{2\pi mn} \sqrt[3]{\frac{16}{9\pi^2} \frac{(A+B)^2 P_c}{(k_1 + k_2)^2}}. \quad (3.25)$$

Розв'язавши рівняння (3.22), (3.25) числовим методом та реалізувавши їх в середовищі MATLAB 7.11.0, отримано теоретичні залежності від сили P_c стиску насінин таких параметрів, як максимальний тиск $q_o = f_2(P_c)$ (рис. 3.7), півосі площинки контакту $a, b = f_3(P_c)$ (рис. 3.8) й деформації $\Delta_n = f_1(P_c)$ (рис. 3.9).

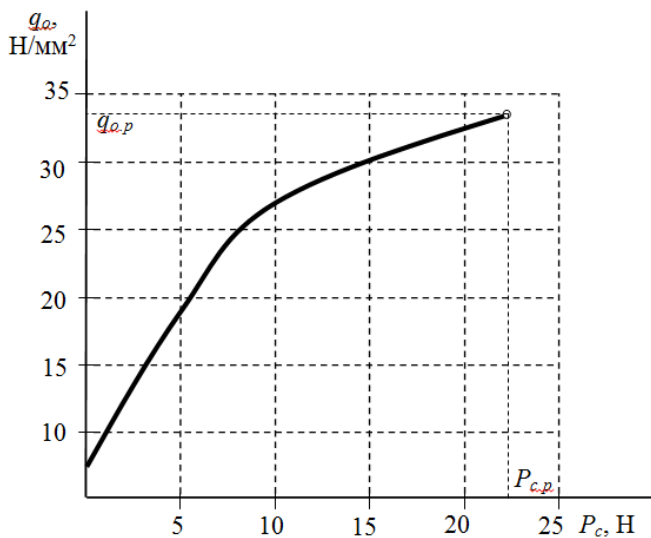


Рис. 3.7. Залежність тиску в центрі площинки контакту q_o від сили стиску P_c насінин льону олійного.

На рис. 3.7 зображена теоретична залежність тиску в центрі площинки контакту q_o від сили стиску P_c насінин льону олійного. Крайня права точка кривої (рис. 3.7) відповідає значенню тиску,

при якому відбувається роздавлювання насінин. Для льону олійного тиск роздавлювання $q_{o,p}$ становить $33,38 \text{ Н/мм}^2$, що відповідає силі $P_{c,p}$ стиску $23,5 \text{ Н}$.

Криві a і b (рис. 3.8) відображають залежність від сили стиску P_c насінин, що мають форму еліпсоїда, таких параметрів, як півосі площинки контакту насінин. Відповідно до умови роздавлювання для льону олійного значення a і b становить $0,89$ та $0,6 \text{ мм}$.

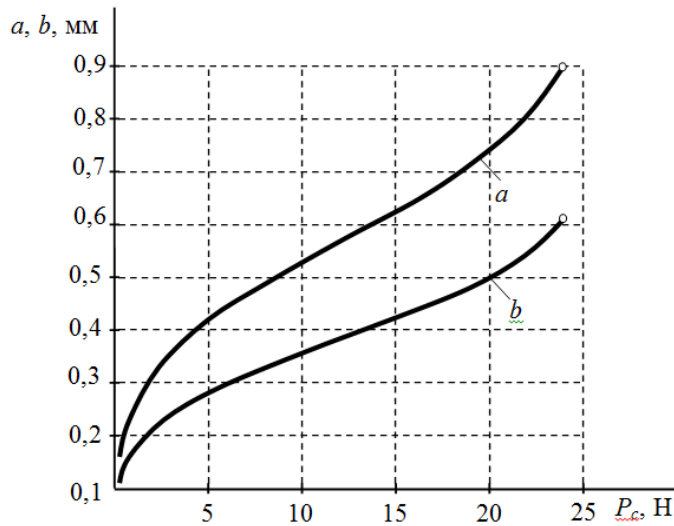


Рис. 3.8. Залежності значень півосей a і b площинки контакту від сили стиску P_c насінин льону олійного.

На рис. 3.9 вказана теоретична залежність сили стиску P_c від деформації Δ_n насінин, які мають форму еліпсоїда, а саме – льону олійного.

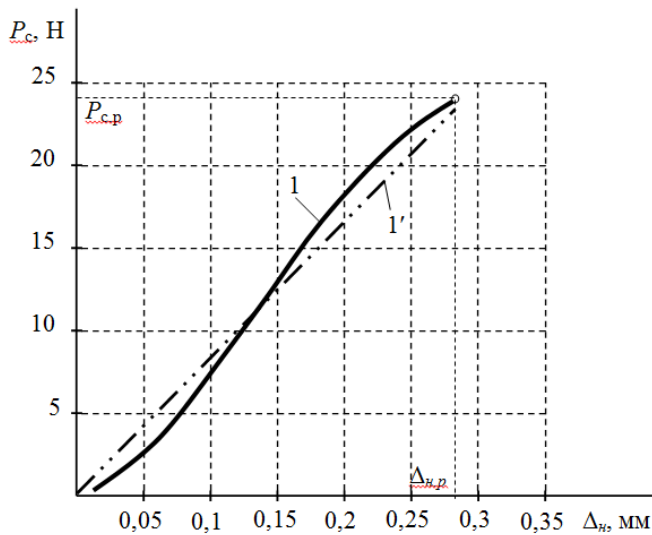


Рис. 3.9. Залежність (1) сили стиску P_c від деформації Δ_n насінин льону олійного; (1' – лінеаризована залежність).

Залежність (рис. 3.9) дозволяє визначити деформацію, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, що в свою чергу призводить до роздавлю-

вання насінин.

Деформація роздавлювання насіння льону олійного становить 0,295 мм і відповідає силі 23,5 Н.

3.3. Розрахунок діаметра плющильних валків і зазору між ними

У початковому положенні (рис. 3.10), коли насінина ще практично не деформується, на неї діє сила P , зумовлена силою тяжіння самої насінини, а також сумарною дією на неї з боку інших насінин. Крім того, зі сторони вальців діють нормальні реакції N і сили тертя T .

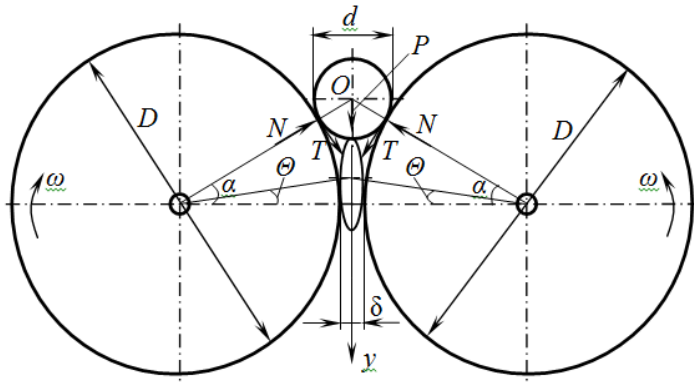


Рис. 3.10. Розрахункова схема взаємодії насінини з валками.

Для того, щоб надалі насінини переміщались вниз, необхідне виконання двох умов, тобто, щоб сума проєкцій всіх сил F_k на вісь Oy була

більша від нуля, а сила T не перевищувала fN :

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{ky} &\geq 0; \\ T &\leq fN, \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

де: k – порядковий номер сили ($k = 1 \dots n$); f – коефіцієнт тертя ковзання.

Згідно першої умови переміщення насінини:

$$P + 2T \cos \alpha - 2N \sin \alpha > 0, \quad (3.27)$$

де: α – кут захоплення.

Звідси

$$T > N \operatorname{tg} \alpha - \frac{P}{2 \cos \alpha}. \quad (3.28)$$

Підставивши (3.28) в (3.26) одержимо:

$$N \operatorname{tg} \alpha - \frac{P}{2 \cos \alpha} < fN,$$

або

$$N(\operatorname{tg} \alpha - f) < \frac{P}{2 \cos \alpha}. \quad (3.29)$$

Ця нерівність виконується завжди, коли ліва частина від'ємна, тобто $\operatorname{tg} \alpha < f$; $\alpha < \operatorname{arctg} f = \varphi_m$.

де: φ_m – кут тертя ковзання.

З рис. 3.10 видно, що має місце геометрична рівність:

$$D + \delta - D \cos \alpha = d \cos \alpha, \quad (3.30)$$

де: D – діаметр валків, мм; δ – зазор між валками, мм; d – діаметр кулястої чи товщина еліпсоїдної насінини, мм.

$$\text{З рівності (3.30) } \cos \alpha = \frac{D + \delta}{D + d} > \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}}.$$

Звідси відношення діаметрів має бути:

$$\frac{D}{d} > \frac{1 - \sqrt{1 + f^2} \frac{\delta}{d}}{\sqrt{1 + f^2} - 1}. \quad (3.31)$$

На основі виразу (3.31) розраховано залежність (рис. 3.11) діаметра D валків від зазору δ між ними.

Вихідні розрахункові дані: коефіцієнт тертя f – 0,28 – для озимого ріпаку, 0,3 – гірчиці сизої, 0,31 – гірчиці білої, 0,3 – редьки олійної й льону олійного – 0,33; зазор δ між валками – 0,2–1,6 мм; діаметр d (мм) кулястих насінин – 1,71 – для озимого ріпаку, 1,38 – гірчиці сизої; 1,75 – гірчиці білої, 1,96 – редьки олійної; товщина насінин льону олійного – 1,96 мм.

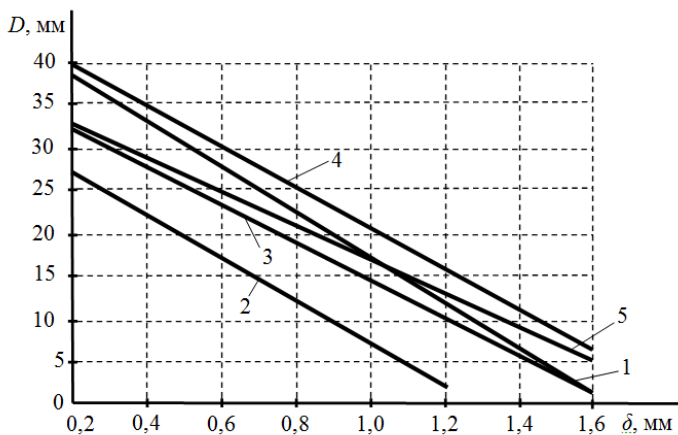


Рис. 3.11. Залежності діаметра D валків від зазору δ між ними: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 5 – льон олійний.

Мінімальний зазор δ між валками повинен забезпечувати, з одного боку, необхідне плющення, а з

іншого – не повинна виділялась олія, тобто:

$$\delta = d - \Delta_{n.p}, \quad (3.32)$$

де: $\Delta_{n.p}$ – деформації роздавлювання насінин.

Кожному значенню $\Delta_{n.p}$ відповідає певна сила $P_{c.p}$ (рис. 3.3, 3.9). Знаючи силу $P_{c.p}$ і склавши рівняння рівноваги (рис. 2.13)

рухомої стійки плющилки як рівняння $\sum_{k=1}^n M_A(\vec{F}_k) = 0$ суми моментів зовнішніх сил F_k відносно осі шарніра A , визначаємо силу $F_{n.o}$, яка діє з боку попередньо стиснутої пружини:

$$\left. \begin{aligned} F_{n.o} &= \frac{P_c a l}{b d}; \\ \lambda_{n.o} &= \frac{F_{n.o}}{c}, \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

де: a , b – плечі сил P_c і $F_{n.o}$ відносно осі шарніра A , навколо якого може повертатись стійка з рухомим валком; l – довжина валків, м; $\lambda_{n.o}$ – початкова деформація пружини, м; c – жорсткість пружини, Н/м.

Початковій деформації відповідає певне значення змінного кута $\Theta = \Theta_2$ (рис. 3.10), звідки видно, що має місце геометричне співвідношення:

$$d - \Delta_n = D + \delta - 2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D + \delta}{2} \operatorname{tg} \Theta_2\right)^2}, \quad (3.34)$$

тому

$$\operatorname{tg} \Theta_2 = \frac{\sqrt{(D + \delta + \Delta_n - d^2) - D^2}}{D + \delta}. \quad (3.35)$$

Поки кут $\Theta_2 \leq \Theta \leq \alpha$ вісь правого валків залишається в початковому положенні, а відповідно пружина стиснута на $\lambda_{n.o.}$

Надалі сила взаємодії валків і насінини досягає максимального значення $P_{c.p} = P_{\max}$. Відповідно виникає максимальна деформація пружини $\lambda_{np.max}$, яка зумовлює її максимальну силу стиску $F_{np.max}$.

$$\left. \begin{aligned} F_{np.max} &= \frac{P_{\max} a l}{b d}; \\ \lambda_{np.max} &= \frac{F_{np.max}}{c}. \end{aligned} \right\} \quad (3.36)$$

На основі рівняння (3.36) отримано залежність сили $F_{np.max}$ стиску пружини від деформації Δ_n насінин (рис. 3.12).

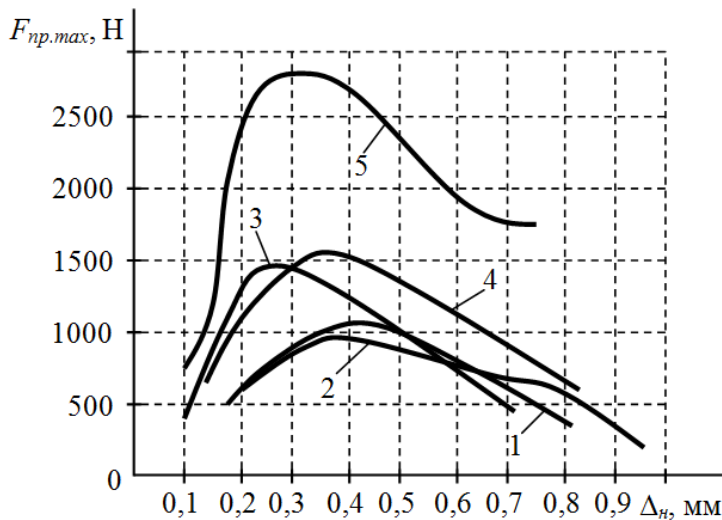


Рис. 3.12. Залежності сили $F_{np.max}$ стиску пружини від деформації Δ_n насінин: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сизої; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 5 – льон олійний.

Отримані значення сили стиску пружини $F_{np.max}$ (Н) (рис. 3.12), при якому відбувається роздавлювання насінин

олійних культур становлять: 1056,8 – для насіння озимого ріпаку; 922,8 – гірчиці сизої; 1475,8 – гірчиці білої; 1561,1 – редьки олійної та льону олійного – 2810,2. Отриманим значенням максимального стиску пружини $F_{np.max}$ відповідає деформація $\Delta_{n,p}$ насінин, яка для вказаних культур становить 0,44, 0,41, 0,23, 0,36 та 0,295 мм.

На (рис. 3.13) представлена залежність, що дозволяє визначити зазор δ між поверхнями валків, за яких забезпечується роздавлювання насінин олійних культур але відсутня поява олії на їх поверхні.

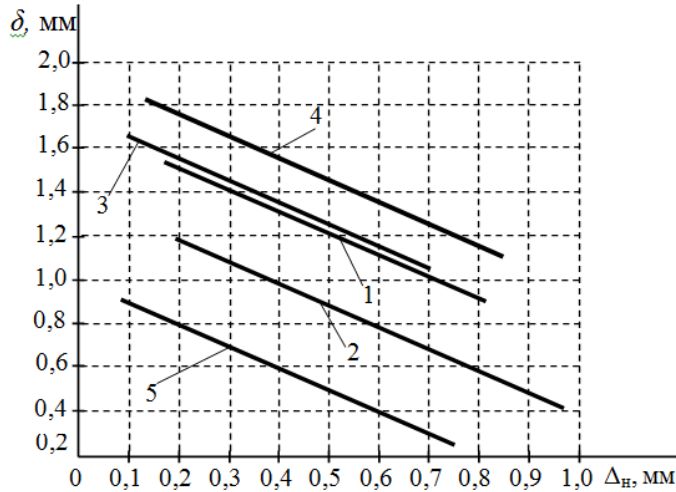


Рис. 3.13. Залежності зазору δ між валками від деформації Δ_n насінин олійних культур: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 5 – льон олійний.

Отримані (рис. 3.3, 3.9) значення деформації насінин $\Delta_{н,р}$, дозволяють встановити (рис. 3.13)

зазор δ (мм) між валками для насінин олійних культур: 1,26 – озимого ріпаку; 0,95 – гірчиці сизої; 1,51 – гірчиці білої; 1,59 – редьки олійної й льону олійного – 0,695.

3.4. Переміщення насінин між плющильними валками

У початковий момент часу швидкість центра мас насінин дорівнює нулю. Далі насінина розганяється, поки швидкість її центра мас V_c не зрівнюється з проекцією на вертикаль швидкості точок ободу валка (рис. 3.10), тобто:

$$V_c = \omega \frac{D}{2} \cos \Theta. \quad (3.37)$$

Запишемо диференціальне рівняння руху центра мас насінини:

$$m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = P + 2T \cos \Theta - 2N \sin \Theta, \quad (3.38)$$

де: m – маса насінини; y_c – вертикальне переміщення її центра мас; P – сила, що діє на насінину і зумовлена силою тяжіння самої насінини, а також сумарною дією на неї з боку інших насінин; $T = fN$ – максимальне значення сили тертя.

Переміщення y_c можна виразити через змінний кут Θ , а саме:

$$y_c = \frac{D + \delta}{2} (tg \alpha - tg \Theta), \quad (3.39)$$

звідки

$$\operatorname{tg}\Theta = \operatorname{tg}\alpha - \frac{2y_c}{D + \delta}. \quad (3.40)$$

Сила P_c , яка стискає насінину, дорівнює проекції сил T і N на горизонталь, тобто:

$$P_c = T \sin \Theta + N \cos \Theta = N(f \sin \Theta + \cos \Theta). \quad (3.41)$$

З іншого боку сила P_c пропорційна деформації насінини Δ_n :

$$P_c = c_n \Delta_n, \quad (3.42)$$

де: c_n – жорсткість насінини.

$$\Delta_n \approx (D + d) (\cos \Theta - \cos \alpha).$$

Тоді з формули (3.41) нормальну реакцію N можна подати так:

$$N = \frac{c_n (D + d) (\cos \Theta - \cos \alpha)}{f \sin \Theta + \cos \Theta}. \quad (3.43)$$

Підставивши в рівняння (3.38) вираз (3.43), одержимо:

$$m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = P + 2 \frac{c_n (D + d) (\cos \Theta - \cos \alpha) (f - \operatorname{tg}\Theta)}{(f \operatorname{tg}\Theta + 1)}. \quad (3.44)$$

Якщо в рівняння (3.44) замість $\operatorname{tg}\Theta$ підставити вираз (3.40) і утримати члени $\left(\frac{2y_c}{D + \delta}\right)$ тільки у першій степені, а вищими степенями знехтувати, як величинами вищого порядку малості, то одержимо лінійне диференціальне рівняння:

$$m \frac{d^2 y_c}{dt^2} = P + \frac{4c_n (D + d) (f - \operatorname{tg}\alpha) (1 - f \operatorname{tg}\alpha)}{(D + d)} y_c. \quad (3.45)$$

Розв'язок цього диференціального рівняння можна подати як суму загального розв'язку однорідного рівняння і часткового розв'язку неоднорідного рівняння:

$$y_c = A_1 e^{nt} + A_2 e^{-nt} - \frac{P}{k}, \quad (3.46)$$

$$\text{де: } k = \frac{4c_n (D + d) (f - \operatorname{tg}\alpha) (1 - f \operatorname{tg}\alpha)}{(D + d)}; \quad n = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Довільні постійні визначаємо з початкових умов:

$$\left. \begin{array}{l} t = 0; \\ y_c = 0; \\ \frac{dy_c}{dt} = 0. \end{array} \right\} \quad (3.47)$$

Знайдемо похідну:

$$\frac{dy_c}{dt} = nA_1 e^{nt} - nA_2 e^{-nt}. \quad (3.48)$$

Тоді на основі умови (3.47) одержуємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} A_1 + A_2 - \frac{P}{k} &= 0; \\ A_1 - A_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.49)$$

Звідки знаходимо $A_1 = A_2 = \frac{P}{2k}$.

Отже

$$\left. \begin{aligned} y_c &= \frac{P}{2k} (e^{nt} + e^{-nt} - 2) = \frac{P}{k} (ch(nt) - 1); \\ \frac{dy_c}{dt} &= \frac{Pn}{2k} (e^{nt} - e^{-nt}) = \frac{P}{k} sh(nt). \end{aligned} \right\} \quad (3.50)$$

$$\frac{P}{k} sh(nt_1) = \frac{D}{d} \omega \cos \Theta. \quad (3.51)$$

Тоді з рівнянь (3.51) і (3.50) можна знайти момент часу t_1 , коли швидкості валка і насінини вирівнюються.

Надалі, коли $t \geq t_1$, уточнюємо:

$$\left. \begin{aligned} V_c &= \frac{D}{2} \omega \cos(\Theta - \omega(t - t_1)); \\ y_c(t_1) &\leq y_c \leq \frac{D + \delta}{2} tg \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (3.52)$$

Відповідно час руху центра мас насінини (час плющення):

$$t_2 = t_1 + \frac{\Theta}{\omega}. \quad (3.53)$$

Оскільки в диференціальне рівняння (3.44) час t в явній формі не входить, то можна понизити порядок цього рівняння, а саме:

$$\frac{d^2 y_c}{dt^2} = \frac{d \dot{y}_c}{dt} = \frac{d \dot{y}_c}{dy_c} \frac{dy_c}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d \left(\dot{y}_c \right)^2}{dy_c} = - \frac{d \left(\dot{y}_c^2 \right)}{(D + \delta) \cdot d(tg \Theta)}. \quad (3.54)$$

Підставляємо (3.54) в рівняння (3.44), відокремлюємо змінні і проводимо інтегрування:

$$m \int_0^{\dot{y}_c} d \left(\dot{y}_c \right) = (D + \delta) \int_{\Theta}^{\alpha} \left(P + 2 \frac{(D + d) c_n (\cos \Theta - \cos \alpha) (f - tg \Theta)}{(ftg \Theta + 1)} dtg \Theta \right). \quad (3.55)$$

Якщо прийняти, що $\cos \Theta - \cos \alpha \approx \frac{1}{2} (tg^2 \alpha - tg^2 \Theta)$, то праву частину можна легко проінтегрувати:

$$m \dot{y}_c^2 = H(f \cdot tg\alpha) - H(f \cdot tg\Theta), \quad (3.56)$$

Функція H має такий вигляд:

$$H(x) = A l p x + \frac{c_H(D + \delta)}{f^3} \left(ab \ln(1+x) + (a-b-1)x - \frac{bx^2}{2} + \frac{x^3}{3} \right), \quad (3.57)$$

де: $A = \frac{D + \delta}{f 1000}$; $a = f^2 tg^2 \alpha - 1$; $b = f^2 + 1$; $B = \frac{c_H(D + \delta)}{f^3}$.

Кут Θ , при якому швидкість насінини $V_c = \frac{D}{2} \omega \cos \frac{\Theta}{1000}$ дорівнює проекції швидкості обода валка на вертикаль, визначаємо з рівняння:

$$\frac{D}{2000} \omega \cos \Theta = \sqrt{\frac{H(ftg\alpha) - H(ftg\Theta)}{m}}. \quad (3.58)$$

Оскільки

$$\frac{dy_c}{dt} = \sqrt{\frac{H(ftg\alpha) - H(ftg\Theta)}{m}}, \quad (3.59)$$

крім того, $d(tg\Theta) = -\frac{2dy_c}{(D + \delta) \cdot 10^{-3}}$, тобто

$$dy_c = -\frac{D + \delta}{2000} \frac{d\Theta}{\cos^2 \Theta}. \quad (3.60)$$

Звідки час t_1 , за який швидкість насінини вирівнюється зі швидкістю валка, становить:

$$t_1 = \frac{(D + \delta)}{2000} \int_{\Theta_1 \cos^2 \Theta}^{\alpha} \frac{d\Theta}{\sqrt{\frac{H(f tg\alpha) - H(f tg\Theta)}{m}}}. \quad (3.61)$$

Цей інтеграл визначаємо чисельним методом трапецій. При заданих значеннях параметрів ($D = 55$ мм, $\delta = 1,26$ мм, $f = 0,3$, $\alpha = 25^\circ$) час, за який швидкість насінини вирівнюється зі швидкістю валка, становить $1,32 \cdot 10^{-5}$ с.

3.5. Продуктивність і енергомісткість вальцової плющилки

Продуктивність плющилки можна розрахувати за формулою:

$$Q_{nl} = \eta \delta l \omega \frac{D}{2} \rho, \quad (3.62)$$

де: η – коефіцієнт заповнення міжвалкового простору; ρ – густина насіння; l – довжина валків; ω – кутова швидкість валків.

На основі виразу (3.62) з використанням програмного забезпечення MATLAB 7.11.0 отримано залежності (рис. 3.14) продуктивності Q_{nl} плющилки насіння олійних культур від частоти обертання n валків.

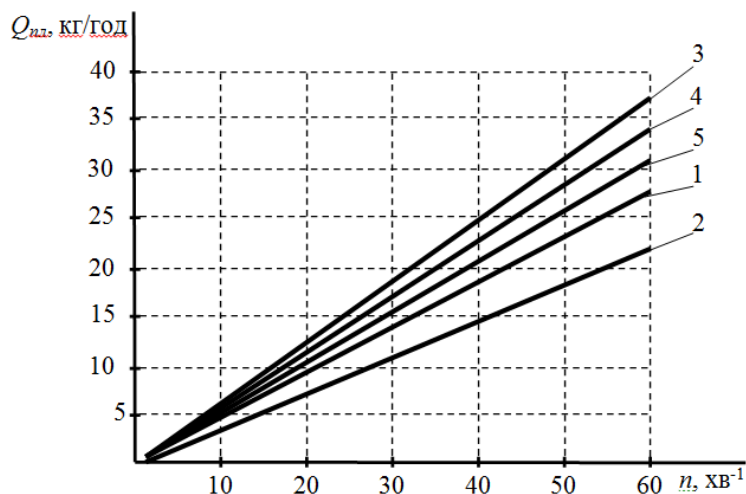


Рис. 3.14. Залежності продуктивності Q_{nl} плющилки від частоти обертання n валків: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 5 – льон олійний.

Вихідні значення параметрів: коефіцієнт заповнення між валкового

простору $\eta = 0,8$; зазор δ між валками (мм) – 1,26 – для озимого ріпаку, 0,95 – гірчиці сизої, 1,51 – гірчиці білої, 1,59 – редьки олійної й льону олійного – 0,695; довжина валків $l = 235$ мм, частота їх обертання $n = 10\text{--}60$ хв^{-1} та діаметр $D = 55$ мм; густина насіння ρ ($\text{г}/\text{мм}^3$) – 0,7 – для озимого ріпаку; 0,72 – гірчиці сизої; гірчиці білої; 0,75 – редьки олійної та льону олійного – 0,6.

Згідно отриманих залежностей зі збільшенням частоти зростає продуктивність плющилки. Так, у діапазоні частот обертання валків 10–60 хв^{-1} продуктивність (кг/год) становить: 5–27 – для насіння озимого ріпаку; 3–22 – гірчиці сизої; 6–37 – гірчиці білої; 5–34 – редьки олійної й 5–31 – льону олійного.

Енергію A , яка витрачається на плющення насінини, можна знайти, використавши діаграму стиску (рис. 3.15) [56].

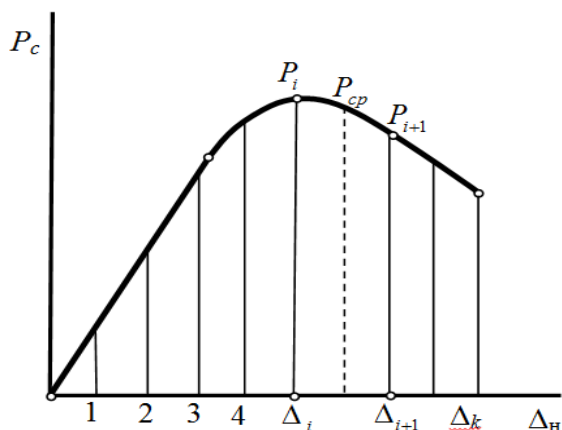


Рис. 3.15. Теоретична діаграма стиску насінин олійних культур.

Якщо її розбити на декілька ділянок k (рис. 3.15), то, використавши формулу Сімпсона, одержимо:

$$A = \sum_{i=1}^k \left(\frac{h_i}{6} (P_i + 4P_{cp} + P_{i+1}) \right), \quad (3.63)$$

де: $h_i = (\Delta_{i+1} - \Delta_i)$ – приріст деформації на i -ому інтервалі; P_i – сила стиску на початку i -го інтервалу; P_{cp} – середнє значення сили стиску; P_{i+1} – значення сили стиску в кінці i -го інтервалу.

Енергія A_o , необхідна для плющення одиниці маси насіння:

$$A_o = \frac{A}{m}, \quad (3.64)$$

де: m – маса насінини.

Тоді, потужність N_o , що необхідна для плющення потоку насіння і відповідає продуктивності Q_{nl} :

$$N_o = A_o \cdot Q_{nl} = \frac{A \cdot \eta \cdot \delta \cdot l \cdot \omega \cdot D \cdot \rho}{2m}. \quad (3.65)$$

Крім того, ще необхідно врахувати потужність для подолання сил тертя в підшипниках, потужність для зміни швидкості руху плющильного механізму й потоку насіння. Потужність N_1 , що затрачається на зміну кутової швидкості ланок плющильного робочого органа, становить:

$$N_1 = \frac{1}{t_1} \sum_{i=1}^k \frac{J_i \omega_i^2}{2}, \quad (3.66)$$

де: t_1 – час розгону потоку насіння; k – кількість ланок, що здійснюють обертовий рух; J_i – осьові моменти інерції ланок; ω_i – кутові швидкості ланок.

Щоб надати масі потоку насіння швидкості $V = \omega \frac{D}{2}$, необхідна потужність N_2 :

$$N_2 = \frac{1}{8} \omega^2 D^2 Q_{nl}, \text{ Вт.} \quad (3.67)$$

Потужність N_3 , необхідна для подолання сил тертя в підшипниках:

$$N_3 = \sum_{i=1}^n (T_i r_i k_i \omega_i), \quad (3.68)$$

де: n – кількість підшипників; T_i – нормальні реакції в підшипниках з внутрішнім радіусом обойми r_i ; k_i – коефіцієнт тертя кочення.

Споживана плющилкою потужність становить:

$$N_{nl} = N_o + N_1 + N_2 + N_3. \quad (3.69)$$

На основі виразів (3.65–3.69) отримано залежність (рис. 3.16) споживаної потужності N_{nl} плющилки насіння олійних культур від частоти обертання n валків.

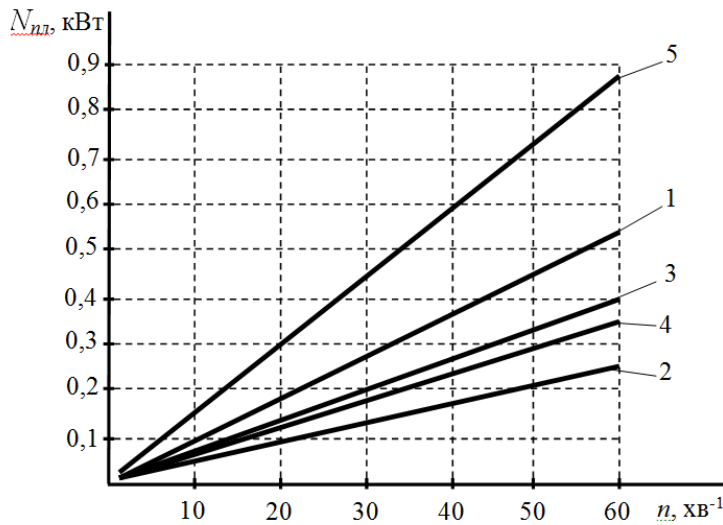


Рис. 3.16. Залежності споживаної потужності N_{nl} від частоти n обертання валків: 1 – озимий ріпак; 2 – гірчиця сиза; 3 – гірчиця біла; 4 – редька олійна; 5 – льон олійний.

Розрахункові дані:
 $\eta = 0,8$; δ (мм) – 1,26 – для озимого ріпаку, 0,95

– гірчиці сизої, 1,51 – гірчиці білої, 1,59 – редьки олійної й льону олійного – 0,695; $l = 235$ мм; $n = 10$ –60 хв⁻¹; $D = 55$ мм; ρ (г/мм³) – 0,7 – для озимого ріпаку, 0,72 – гірчиці сизої та білої, 0,75 – редьки олійної й льону олійного – 0,6; маса тисячі насінин m_{1000} (г) – 0,0032 – для озимого ріпаку, 0,0044 – гірчиці сизої й гірчиці білої, 0,01 – редьки олійної й льону олійного – 0,0038. На підставі аналізу залежностей (3.63)–(3.69) можна стверджувати, що на енергетичні показники плющилки насіння олійних культур найбільше впливає частота обертання та діаметр валків. Найбільша потужність споживається (рис. 3.16) при роздавлюванні насінин льону олійного – 0,89 кВт. Для інших олійних культур споживана потужність відповідно становить (кВт): 0,53 – для насіння озимого ріпаку; 0,25 – гірчиці сизої; 0,39 – гірчиці білої; 0,34 – редьки олійної.

РОЗДІЛ 4

ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ
ВИКОРИСТАННЯ ВАЛЬЦЬОВОЇ ПЛЮЩИЛКИ НАСІННЯ
ОЛІЙНИХ

4.1. Параметри дозатора вальцьової плющилки

Важливим конструктивним елементом вальцьових подрібнювальних засобів є живильні пристрої – дозатори, від яких залежать продуктивність і ефективність вальцьових робочих органів. Живильні пристрої повинні забезпечувати рівномірну подачу необхідної кількості насіння між валками.

Розроблений дозатор (рис. 4.1), який містить корпус 5 із завантажувальним та вивантажувальним вікнами. Над завантажувальним вікном встановлений бункер 1, а у вивантажувальному – закріплений поворотний клапан 3. В опорах обертання корпусу 5 змонтований живильний барабан 2, вздовж твірних якого виконано жолобки, де поміщається об'єм насіння, що переробляється за один оберт валків плющильного механізму.

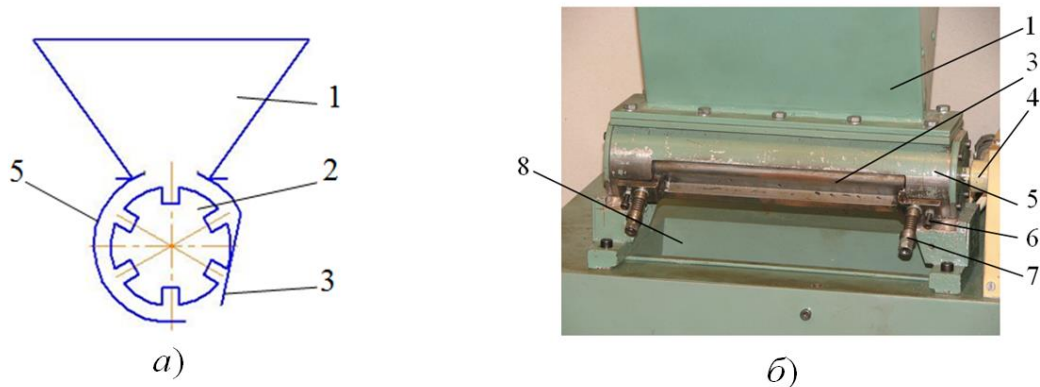


Рис. 4.1 Схема (а) та загальний вигляд (б) дозатора вальцьової плющилки насіння олійних культур: 1 – завантажувальний бункер; 2 – живильний барабан; 3 – поворотний клапан; 4 – муфта; 5 – корпус; 6 – регулювальний гвинт; 7 – демпферний механізм; 8 – напрямний лоток.

Зазор між поворотним клапаном 3 та барабаном 2 встановлюється за допомогою регулювальних гвинтів 6, а жорсткий опір відхиленню клапана 3 забезпечують демпферні механізми 7. Приводиться живильний барабан 2 від електродвигуна через редуктор та муфту 4.

У процесі роботи насіння із завантажувального бункера 1 потрапляє в жолобки барабана 2 й переміщається вздовж поверхні

поворотного клапана 3 до вивантажувального вікна. В подальшому насіння по напрямному лотку 8 надходить до вальцьового робочого органа плющилки.

Розроблений дозатор забезпечує рівномірну подачу насіння олійних культур по всій довжині валків. Продуктивність дозатора регулюється частотою обертання живильного барабана 2, зміною зазору між клапаном та барабаном, а також зусиллям підтискання клапана 3.

Для визначення продуктивності Q_d та споживаної дозатором потужності N_d використовувалась лабораторна установка, представлена на (рис. 4.4), у якій вимикався плющильний механізм. Частота обертання живильного барабана 2 дозатора регулювалась зміною частоти обертання електродвигуна приводу за допомогою перетворювача частоти струму 7.

Вимірювальним комплектом К-505 реєструвалась споживана дозатором потужність N_d , а його продуктивність Q_d визначалась зважування насіння, поданого за певний проміжок часу. Дослідження проводились в триразовій повторності за методикою планованого трифакторного експерименту.

Функціями відгуку приймались: продуктивність Q_d дозатора і споживана ним потужність N_d . За змінні фактори вибирались: зазор δ_d між клапаном та живильним барабаном, зусилля F_d підтискання клапана та частота обертання n_d барабана дозатора.

Обробка отриманих даних проводилась на ПЕОМ з використанням програмного забезпечення *Statistica* 8.0. Розраховувались коефіцієнти регресії і складались математичні моделі як залежності функцій відгуку від факторів δ_d , F_d , та n_d .

У процесі обробки експериментальних даних перевірялись відтворюваність дослідів, адекватність моделі й оцінювалась значущість коефіцієнтів регресії.

Після статистичної обробки даних отримано рівняння регресії для насіння різних олійних культур, що характеризують продуктивність дозатора Y_{Q_d} і Q_d за умови кодованих й дійсних значень факторів.

У випадку дозування насіння гірчиці:

– кодовані значення факторів:

$$Y_{Q_d} = 71,64 + 4,8x_1 - 7,4x_2 + 31,09x_3 - 0,86x_1x_2 + 4,16x_1x_3 - 1,25x_2x_3 - 1,24x_1^2 + 1,18x_2^2 - 2,25x_3^2; \quad (4.1)$$

– дійсні значення:

$$Q_{\partial z} = -19,36 + 49,63\Delta_{\partial} - 2,5F_{кл} + 2,41n_{\partial} - 21,48\Delta_{\partial}F_{кл} + 0,26\Delta_{\partial}n_{\partial} - 0,0055F_{кл}n_{\partial} - 1,55\Delta_{\partial}^2 + 0,39F_{кл}^2 - 0,037n_{\partial}^2. \quad (4.2)$$

Для насіння льону:

– кодовані значення факторів:

$$Y_{Q_{\partial l}} = 55,86 + 0,81x_1 - 2,71x_2 + 24,06x_3 + 0,137x_1 \cdot x_2 + 1,04x_1x_3 - 0,15x_2x_3 + 0,5x_1^2 + 0,495x_2^2 - 0,49x_3^2; \quad (4.3)$$

– дійсні значення:

$$Q_{\partial l} = 9,11 - 10,32\Delta_{\partial} - 1,61F_{кл} + 1,56n_{\partial} + 3,44\Delta_{\partial}F_{кл} + 0,065\Delta_{\partial}n_{\partial} - 0,00068F_{кл}n_{\partial} + 0,62\Delta_{\partial}^2 + 0,16F_{кл}^2 - 0,0082n_{\partial}^2. \quad (4.4)$$

Для ріпаку у випадку кодованих значень факторів:

$$Y_{Q_{\partial p}} = 57,49 + 2,55x_1 - 6,85x_2 + 26,17x_3 + 0,78x_1x_2 + 3,24x_1x_3 + 0,71x_2x_3 - 0,93x_1^2 + 1,56x_2^2 - 3,05x_3^2; \quad (4.5)$$

– за умови дійсних значень:

$$Q_{\partial p} = 15,73 - 25,93\Delta_{\partial} - 1,55F_{кл} + 1,47n_{\partial} + 19,58\Delta_{\partial}F_{кл} + 0,203\Delta_{\partial}n_{\partial} + 0,0031F_{кл}n_{\partial} - 1,16\Delta_{\partial}^2 + 0,52c^2 - 0,05n_{\partial}^2. \quad (4.6)$$

Для насіння редьки олійної:

– кодовані значення факторів:

$$Y_{Q_{\partial ro}} = 73,8 + 5x_1 - 7,71x_2 + 32,39x_3 - 1,275x_1x_2 + 1,225x_1x_3 - 2,35x_2x_3 - 0,775x_1^2 + 4,45x_2^2 - 1,63x_3^2; \quad (4.7)$$

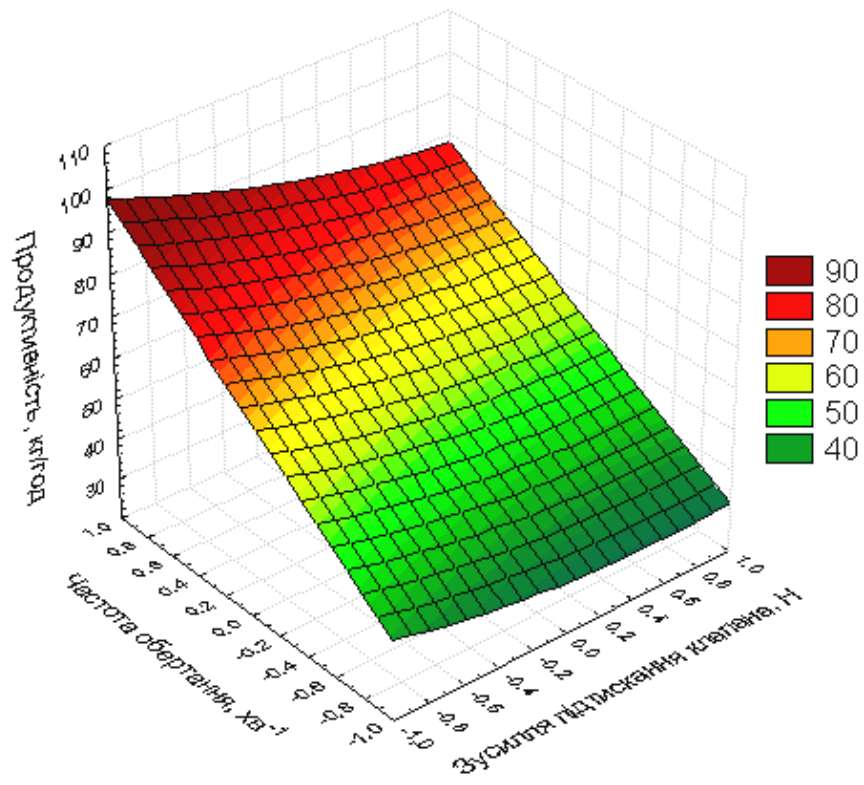
– дійсні значення:

$$Q_{\partial ro} = -6,81 - 23,52\Delta_{\partial} - 1,22F_{кл} + 2,02n_{\partial} - 31,88\Delta_{\partial}F_{кл} + 0,077\Delta_{\partial}n_{\partial} - 0,01F_{кл}n_{\partial} - 0,97\Delta_{\partial}^2 + 1,48F_{кл}^2 - 0,027n_{\partial}^2. \quad (4.8)$$

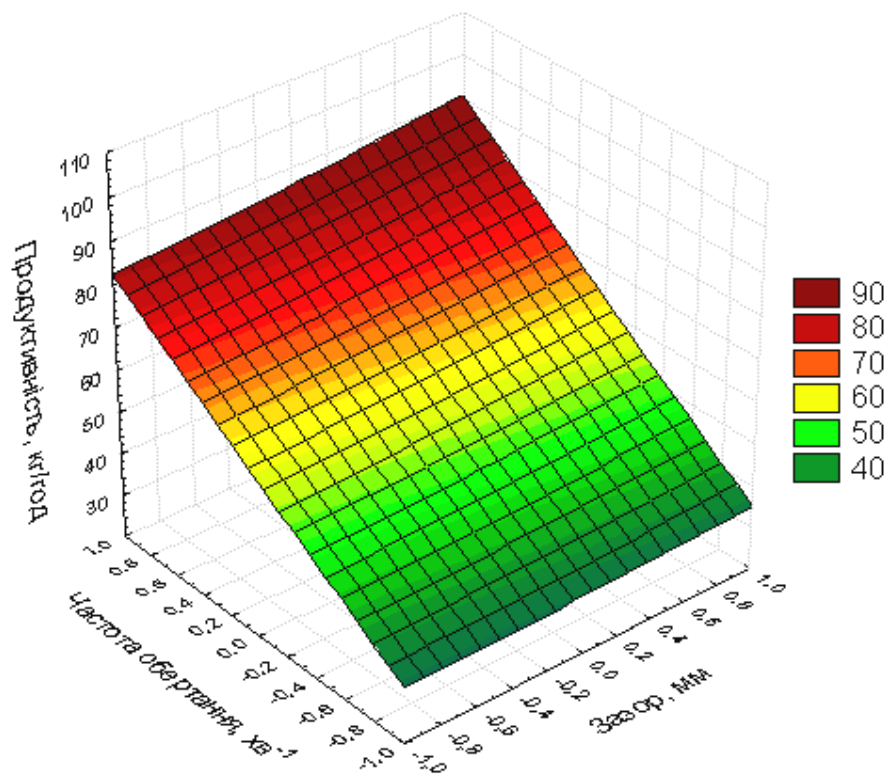
Відтворюваність експериментальних даних перевірялась за критерієм Кохрена G , значення якого під час встановлення продуктивності дозатора на подачі насіння гірчиці становило 0,221, а для насіння льону та ріпаку – 0,325 й 0,222, редьки олійної – 0,220, що менше від табличного значення критерію $G_{табл} < 0,3346$ [8]. Адекватність моделі оцінювалась за критерієм Фішера F , розрахункове значення якого становило 1,026 (гірчиця), 1,364 (льон), 0,467 (ріпак) та 1,18 (редька олійна). Отриманні значення менші від табличного $F_{табл} < 2,12$ [8], а це засвідчує високу ступінь відповідності результатів проведених експериментів.

На основі рівнянь (4.1, 4.3, 4.5, 4.7) отримано поверхні відгуку закономірності зміни продуктивності дозатора на подачі насіння різних олійних культур.

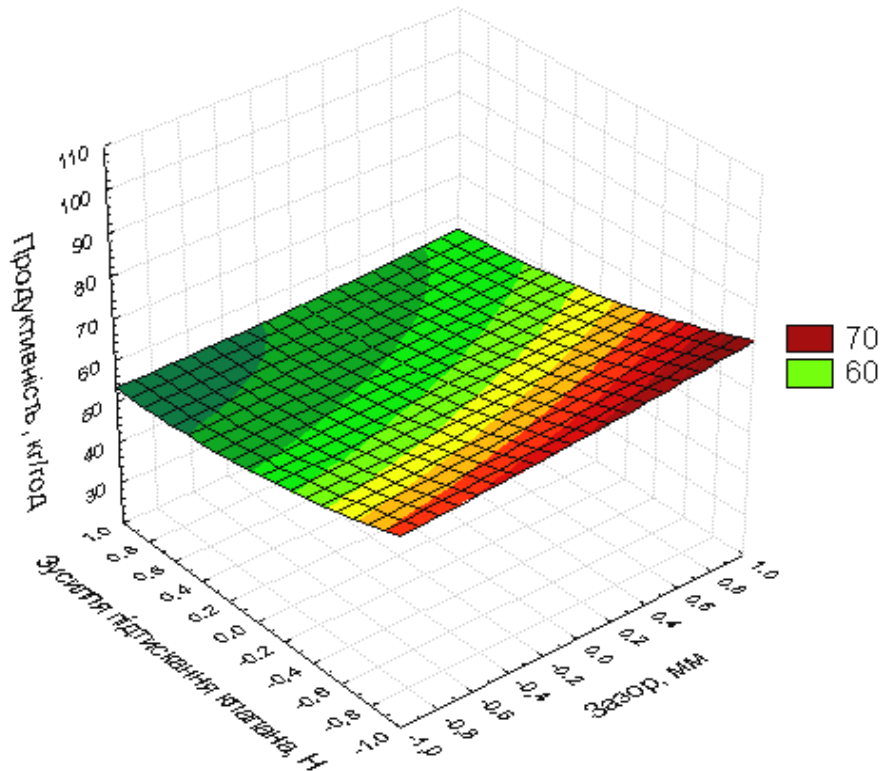
Поверхні відгуку для насіння озимого ріпаку наведені на рис. 4.2. Під час побудови поверхонь відгуку змінювались лише два фактори, а третій залишався на нульовому рівні.



a)



б)



в)

Рис. 4.2. Поверхні відгуку залежності продуктивності Q_d дозатора на подачі насіння озимого ріпаку від: а – частоти обертання та зусилля підтискання клапана $Q_d = f(n_d, F_{кл})$; б – частоти обертання та зазору між клапаном й живильним барабаном $Q_d = f(n_d, \Delta_d)$; в – зусилля підтискання клапана й зазором між клапаном та живильним барабаном $Q_d = f(F_{кл}, \Delta_d)$.

Аналізуючи рівняння (4.1, 4.3, 4.5, 4,7) та отримані поверхні відгуку закономірності зміни продуктивності Q_d дозатора, можна стверджувати, що на продуктивність дозатора вальцевої плющилки насіння олійних культур найбільший вплив має частота обертання живильного барабана та зусилля підтискання клапана.

При максимальному зазорі $\Delta_d = 0,9$ мм, мінімальному зусиллі підтискання клапана $F_{кл} = 19,62$ Н та максимальній частоті обертання $n_d = 50$ хв⁻¹ отримуємо максимальну продуктивність дозатора Q_d для всіх досліджуваних культур, яка становить: 121,42 кг/год – для насіння гірчиці; 100,8 кг/год – для ріпаку; 83,55 кг/год – льону та 126,5 кг/год – редьки олійної. Мінімальні значення продуктивності Q_d відповідають мінімальному зазору $\Delta_d = 0,5$ мм, максимальному зусиллю підтискання клапана $F_{кл} = 98,1$ Н та мінімальній частоті обертання живильного барабана $n_d = 20$ хв⁻¹. Діапазон зміни продуктивності дозатора відповідно становить: для

гірчиці – 34,61–121,42 кг/год; 29,65–100,8 кг/год – для насіння ріпаку; льону –29,52–83,55 кг/год; редьки олійної – 36,05–126,5 кг/год.

Отримані рівняння регресії для споживаної дозатором потужності на подачі гірчиці мають вигляд:

– при кодованих значеннях факторів:

$$Y_{N\partial g} = 60,39 - 0,3375x_1 + 1,1375x_2 + 1,625x_3 + 0,05x_1x_2 - 0,025x_1x_3 + 0,025x_2x_3 - 0,1788x_1^2 - 0,2288x_2^2 + 0,7135x_3^2; \quad (4.9)$$

– при дійсних значеннях

$$N_{\partial g} = 56,46 + 0,57\Delta_{\partial} + 0,043F_{кл} + 0,083n_{\partial} + 1,25\Delta_{\partial}F_{кл} - 0,0016\Delta_{\partial}n_{\partial} - 0,00011F_{кл}n_{\partial} - 0,2235\Delta_{\partial}^2 - 0,076F_{кл}^2 + 0,012n_{\partial}^2. \quad (4.10)$$

Аналогічні дослідження проведені для насіння льону, ріпаку та редьки олійної й рівняння регресії для даних культур наведені нижче.

За умови кодованих значень факторів для насіння льону:

$$Y_{N\partial л} = 60,39 - 0,325x_1 + 1x_2 + 1,625x_3 + 0,05x_1x_2 + 0x_1x_3 + 0,1x_2x_3 - 0,1731x_1^2 - 0,2231x_2^2 + 0,6346x_3^2; \quad (4.11)$$

– у випадку дійсних значень:

$$N_{\partial л} = 58,88 + 0,53\Delta_{\partial} + 0,031F_{кл} + 0,066n_{\partial} + 1,25\Delta_{\partial}F_{кл} + \Delta_{\partial}n_{\partial} + 0,00044F_{кл}n_{\partial} - 0,22\Delta_{\partial}^2 - 0,074F_{кл}^2 + 0,01n_{\partial}^2. \quad (4.12)$$

Для ріпаку у випадку кодованих значень факторів:

$$Y_{N\partial p} = 59,84 - 0,4175x_1 + 1,034x_2 + 1,8737x_3 - 0,1175x_1x_2 - 0,0175x_1x_3 + 0,135x_2x_3 - 0,1163x_1^2 - 0,0488x_2^2 + 0,9956x_3^2; \quad (4.13)$$

– за умови дійсних значень:

$$N_{\partial p} = 53,97 + 3,47\Delta_{\partial} + 0,32F_{кл} + 0,084n_{\partial} - 2,94\Delta_{\partial}F_{кл} - 0,0012\Delta_{\partial}n_{\partial} + 0,0006F_{кл}n_{\partial} - 0,145\Delta_{\partial}^2 - 0,016F_{кл}^2 + 0,0017n_{\partial}^2. \quad (4.14)$$

При кодованих значеннях факторів для насіння редьки олійної:

$$Y_{N\partial ро} = 62,03 - 0,34x_1 + 1,14x_2 + 1,63x_3 + 0,05x_1x_2 - 0,025x_1x_3 + 0,025x_2x_3 - 0,18x_1^2 - 0,23x_2^2 + 0,72x_3^2; \quad (4.15)$$

– при дійсних значеннях

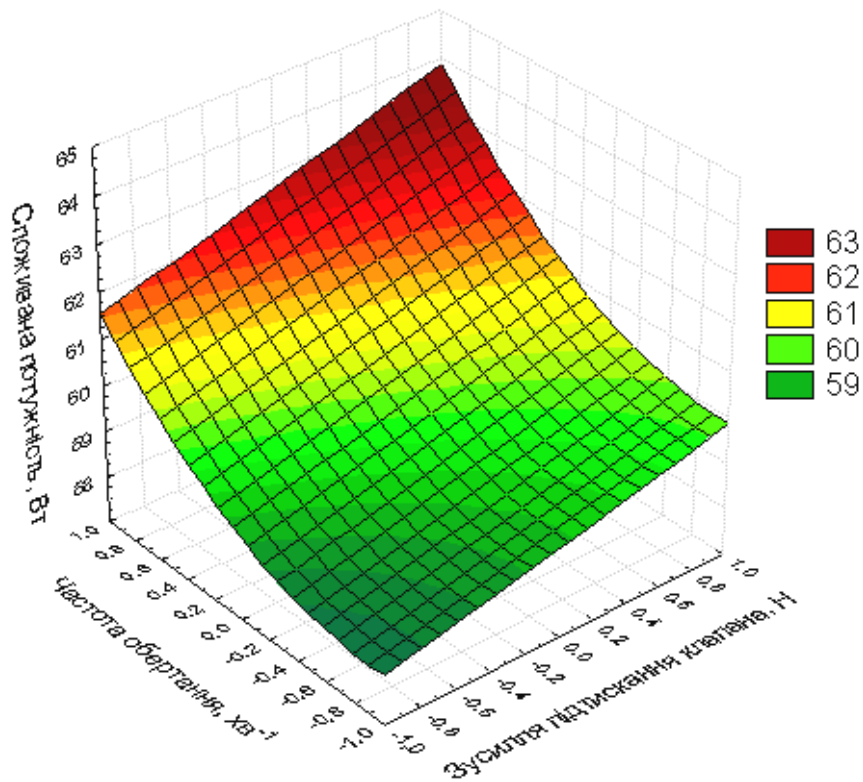
$$N_{\partial ро} = 58,1 + 0,57\Delta_{\partial} + 0,04F_{кл} + 0,08n_{\partial} + 1,25\Delta_{\partial}F_{кл} - 0,0015\Delta_{\partial}n_{\partial} - 0,0001F_{кл}n_{\partial} - 0,22\Delta_{\partial}^2 - 0,08F_{кл}^2 + 0,012n_{\partial}^2. \quad (4.16)$$

Відтворюваність експериментальних даних перевірялась за критерієм Кохрена G , значення якого під час визначення споживаної дозатором потужності для насіння гірчиці та редьки олійної становило 0,193, а для насіння льону та ріпаку – 0,176 й 0,327, що менше від табличного значення критерію $G_{табл} < 0,3346$ [8].

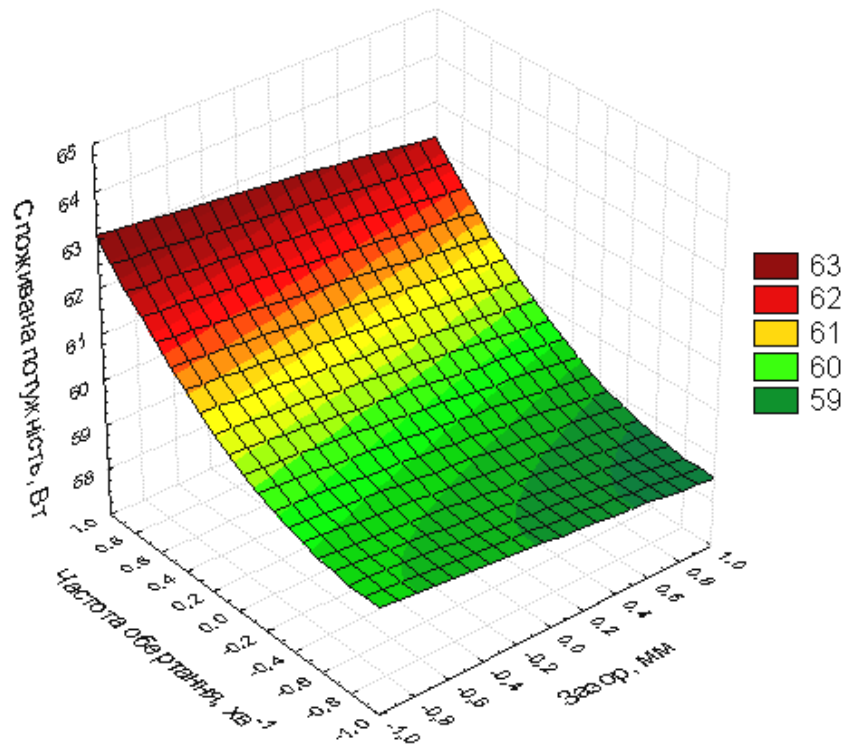
Адекватність моделі оцінювалась за критерієм Фішера F , розрахункове значення якого для споживаної дозатором потужності становило 1,53 (гірчиця біла та сиза), 0,91 (льон), 0,232 (озимий ріпак) та 1,41 (редька олійна), що менше від табличного значення $F_{\text{табл}} < 2,12$ [8], а це засвідчує високу ступінь відповідності результатів проведених експериментів.

На основі рівнянь (4.9, 4.11, 4.13, 4.15) отримано поверхні відгуку закономірності зміни потужності N_{∂} , що споживається дозатором на подачі насіння різних олійних культур, причому такі поверхні відгуку для насіння озимого ріпаку наведені на рис. 4.3.

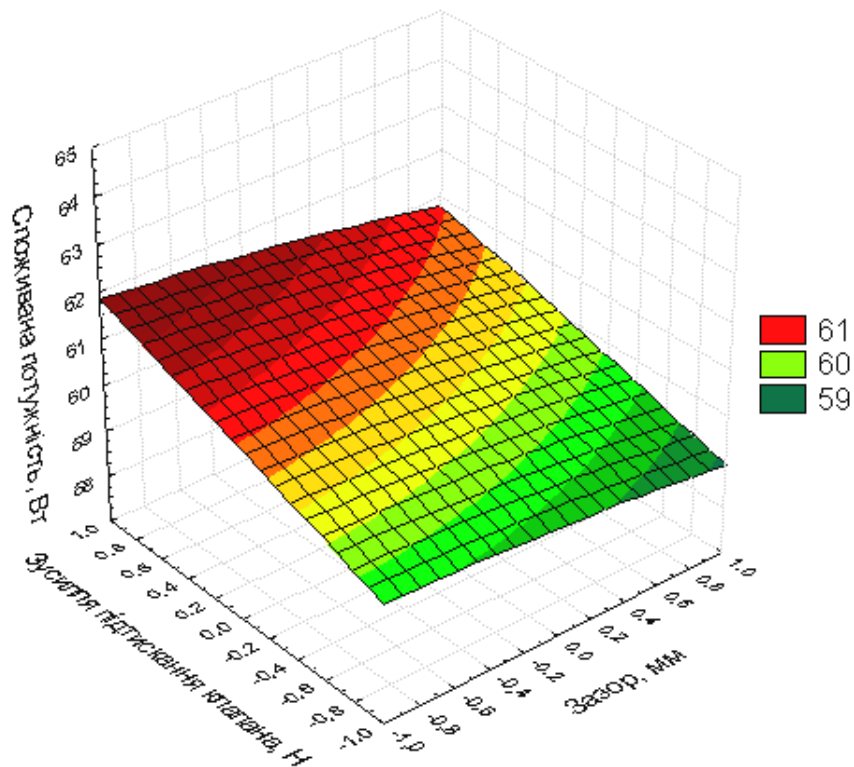
Під час побудови поверхонь відгуку (рис. 4.3) з використанням програмного забезпечення змінювались тільки два фактори, а третій залишався на нульовому рівні.



a)



б)



в)

Рис. 4.3. Поверхні відгуку залежності споживаної дозатором потужності N_{dp} на подачі насіння озимого ріпаку від: а – частоти обертання та зусилля підтискання клапана $N_{dp} = f(n_{\partial}, F_{кл})$; б – частоти обертання та зазору між клапаном й живильним барабаном

$N_{dp} = f(n_{\delta}, \Delta_{\delta})$; e – зусилля підтискання клапана та зазору між клапаном й живильним барабаном $N_{dp} = f(F_{кл}, \Delta_{\delta})$.

На основі аналізу рівнянь (4.9, 4.11, 4.13, 4.15) та отриманих поверхонь відгуку закономірності зміни споживаної дозатором потужності N_{δ} можна зробити висновки, що при мінімальному зазорі $\Delta_{\delta} = 0,5$ мм, максимальному зусиллі підтискання клапана $F_{кл} = 98,1$ Н та максимальній частоті обертання живильного барабана $n_{\delta} = 50$ хв⁻¹, для всіх досліджуваних культур споживається максимальна потужність N_{δ} . Відповідно максимальна споживана дозатором потужність становить: 64,2 Вт – для насіння гірчиці; 64,5 Вт – ріпаку; 63,8 Вт – льону олійного та редьки олійної – 65,3 Вт.

Мінімальна потужність споживається дозатором при максимальному зазорі $\Delta_{\delta} = 0,9$ мм, мінімальному зусиллі підтискання клапана $F_{кл} = 19,62$ Н та мінімальній частоті обертання живильного барабана $n_{\delta} = 20$ хв⁻¹. Діапазон зміни споживаної дозатором потужності відповідно становить: для гірчиці – 57,9–64,2 Вт; 57,5–64,5 Вт – насіння ріпаку, льону – 58,3–65,3 Вт та редьки олійної – 59–65,3.

4.2. Параметри вальцьової плющилки насіння олійних культур

Для встановлення оптимальних параметрів та режимів роботи вальцьової плющилки насіння олійних культур була сформована лабораторна установка (рис. 4.4), що містила безпосередньо плющилку, яка складається із завантажувального бункера 1, дозатора 2, формувача потоку насіння 3, корпусу 5 вальцьового плющильного робочого органа і відвідного лотка 6 розплющеного насіння. Також до складу лабораторної установки входив перетворювач частоти струму 7 Lenze й комплект вимірювальний 8 – К-505.

Перед початком плющення насіння відповідно до його механіко-технологічних властивостей встановлювали перетворювачем частоти струму 7 необхідну частоту обертання валків n , зазор δ між ними і зусилля F_{np} підтискання валків.



Рис. 4.4. Лабораторна установка для дослідження плющення насіння олійних культур: 1 – завантажувальний бункер; 2 – дозатор; 3 – формувач потоку насіння; 4 – привід дозатора; 5 – корпус вальцьового плющильного робочого органа; 6 – відвідний лоток; 7 – перетворювач частоти струму Lenze ESV222NO4TXB; 8 – комплект вимірювальний К-505.

Після вказаних технологічних регулювань вмикався електромеханічний привід вальцьового робочого органа та вводився в дію дозатор 2 потоку насіння. Засипане у завантажувальний бункер 1 насіння дозатором 2 рівномірно подавалось на формувач потоку 3, який спрямовував потік між валки, де насіння плющилось і сходило по відвідному лотку 6. За допомогою вимірювального комплекту К-505 визначалась потужність $N_{пл}$, що споживалась плющилкою, а її продуктивність $Q_{пл}$ встановлювалась зважуванням насіння, переробленого за певний проміжок часу.

Дослідження ступеня плющення насінин $i_{пл}$, продуктивності $Q_{пл}$ плющилки та споживаної нею потужності $N_{пл}$ базувались на методиці планування трифакторного експерименту на трьох рівнях [8]. Незалежні змінні або ж фактори – зазор δ (x_1) між валками

плющилки, зусилля F_{np} (x_2) підтискання валків та частота n (x_3) обертання.

В результаті обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, що характеризують закономірності зміни за умови кодованих і дійсних значень факторів: ступеня плющення $Y_{i_{nl}}$, i_{nl} ; продуктивності плющилки $Y_{Q_{nl}}$, Q_{nl} ; потужності, що споживається плющилкою, $Y_{N_{nl}}$, N_{nl} .

У випадку плющення насіння озимого ріпаку отримано рівняння регресії при кодованих значеннях факторів:

– для ступеня плющення:

$$Y_{i_{nl}}^p = 1,34 + 0,1913x_1 + 0,0313x_2 + 0,01x_3 - 0,01x_1x_2 - 0,0075x_1x_3 - 0,0025x_2x_3 - 0,0044x_1^2 + 0,0004x_2^2 - 0,0071x_3^2; \quad (4.17)$$

– продуктивності плющилки:

$$Y_{Q_{nl}}^p = 30,01 + 0,6075x_1 + 1,665x_2 + 6,8975x_3 - 0,0525x_1x_2 + 0,142575x_1x_3 - 0,0275x_2x_3 + 0,0946x_1^2 + 0,6923x_2^2 - 1,3177x_3^2; \quad (4.18)$$

– потужності, що споживається плющилкою:

$$Y_{N_{nl}}^p = 0,5 - 0,0031x_1 + 0,01x_2 + 0,0181x_3 - 0,0025x_1x_2 - 0,0013x_1x_3 + 0,0025x_2x_3 - 0,0018x_1^2 - 0,0012x_2^2 + 0,0082x_3^2. \quad (4.19)$$

Відтворюваність експериментальних даних перевірялась за критерієм Кохрена G , значення якого під час визначення ступеня плющення для насіння озимого ріпаку становить 0,2937, гірчиці білої – 0,244, гірчиці сизої – 0,1611, редьки олійної – 0,125 та 0,3033 для льону олійного; продуктивності плющилки для вказаних олійних культур 0,2338, 0,2829, 0,2779, 0,2829 й 0,2856; для споживаної плющилкою потужності – 0,3155, 0,2575, 0,3071, 0,3075 та 0,2575. Табличне значення критерію Кохрена, що становить 0,3346 [8], є більшим від розрахункових значень критерію для ступеня плющення, продуктивності та споживаної плющилкою потужності за умов переробки всіх досліджуваних культур. На підставі цього можна зробити висновок, що процес є відтворюваним, оскільки $G_{розр} < G_{табл}$.

Адекватність моделі оцінювалась за критерієм Фішера F , розрахункове значення якого для ступеня плющення становить: 0,626 (озимий ріпак), 1,79 (гірчиця біла), 1,90 (гірчиця сиза), 1,32 (редька олійна) та 1,26 (льон олійний); продуктивності плющилки – 1,83 для озимого ріпаку, 1,97 – гірчиці білої, 1,05 – гірчиці сизої, 1,02 – редьки олійної та льону олійного 1,47; для потужності, що споживається плющилкою, за умови переробки досліджуваних олійних культур відповідно становить 0,26, 1,52, 0,293, 0,45 та

0,278, що менше від табличного значення $F_{табл} = 2,12$ [8], а це засвідчує високу ступінь відповідності результатів проведених експериментів.

Аналізуючи рівняння регресії у випадку кодованих значень факторів, можна стверджувати, що на ступінь плющення насіння олійних культур найбільший вплив має зазор між валками та зусилля підтискання валків; на продуктивність та споживану потужність – зазор між валками й частота обертання, а інші коефіцієнти є менш значущими й мають незначний вплив на процес.

За умови дійсних значень факторів рівняння регресії для насіння озимого ріпаку записується у вигляді:

– ступінь плющення:

$$i_{nl}^p = -2,29 + 1,85\delta + 0,12F_{np.max} + 0,0069n - 0,25\delta F_{np.max} - 0,0019\delta n - 0,000011F_{np.max}n - 0,0011\delta^2 + 0,00013F_{np.max}^2 - 0,00024n^2; \quad (4.20)$$

– продуктивність плющилки:

$$Q_{nl}^p = -17,85 - 16,19\delta + 0,86F_{np.max} + 1,18n + 1,31\delta F_{np.max} + 0,036\delta n - 0,00012F_{np.max}n + 0,2365\delta^2 + 0,23F_{np.max}^2 - 0,044n^2; \quad (4.21)$$

– потужність, що споживається плющилкою:

$$N_{nl}^p = 0,34 + 0,21\delta + 0,00054F_{np.max} - 0,0021n - 0,0625\delta F_{np.max} - 0,00033\delta n + 0,000011F_{np.max}n - 0,000045\delta^2 - 0,0004F_{np.max}^2 + 0,000027n^2. \quad (4.22)$$

У випадку плющення насіння гірчиці білої та дійсних значеннях факторів:

$$i_{nl}^{z\delta} = -0,83 + 1,15\delta + 0,00069F_{np.max} + 0,0005n - 0,19\delta F_{np.max} - 0,00125\delta n - 0,00925\delta^2 + 0,00043F_{np.max}^2 - 0,00043n^2; \quad (4.23)$$

$$Q_{nl}^{z\delta} = -0,29 - 17,95\delta + 0,011F_{np.max} + 0,72n + 0,81\delta F_{np.max} + 0,00024\delta n - 0,00041F_{np.max}n + 0,0053\delta^2 + 0,22F_{np.max}^2 - 0,00042n^2; \quad (4.24)$$

$$N_{nl}^{z\delta} = 2,17 - 1,12\delta - 0,0012F_{np.max} - 0,0045n + 0,0007\delta^2 + 0,00013F_{np.max}^2 - 0,000004n^2. \quad (4.25)$$

Отримані рівняння регресії для насіння гірчиці сизої мають вигляд:

$$i_{nl}^{zc} = 0,54 - 0,114\delta - 0,0005F_{np.max} + 0,004n + 0,25\delta F_{np.max} + 0,00063\delta^2 - 0,0016F_{np.max}^2 - 0,000002n^2; \quad (4.26)$$

$$Q_{nl}^{zc} = 34,51 - 6,4\delta - 0,02F_{np.max} - 0,26n + 0,44\delta F_{np.max} + 0,0021F_{np.max}n + 0,004\delta^2 + 0,068F_{np.max}^2 + 0,00017n^2; \quad (4.27)$$

$$N_{nl}^{zc} = 0,1 + 0,16\delta + 0,00073F_{np.max} - 0,0021n - 0,063\delta F_{np.max} + 0,000011F_{np.max}n - 0,00005\delta^2 - 0,0004F_{np.max}^2 + 0,000003n^2. \quad (4.28)$$

Аналогічні дослідження проведені для насіння льону та редьки олійної й рівняння регресії для даних культур наведені нижче.

За умови плющення насіння льону олійного:

– для ступеня плющення:

$$i_{nl}^l = -6,45 + 5,53\delta + 0,002F_{np.max} + 0,0018n - 0,25\delta F_{np.max} - 0,0005\delta^2 + 0,00043F_{np.max}^2; \quad (4.29)$$

– продуктивності плющилки:

$$Q_{nl}^l = -30,1 - 13,46\delta + 0,0064F_{np.max} + 1,39n + 1,13\delta F_{np.max} + 0,0001F_{np.max}n + 0,0022\delta^2 + 0,2F_{np.max}^2 - 0,0004n^2; \quad (4.30)$$

– потужності, що споживається плющилкою:

$$N_{nl}^l = 0,52 + 0,26\delta + 0,0003F_{np.max} - 0,009n - 0,00008\delta^2 - 0,0011F_{np.max}^2. \quad (4.31)$$

У випадку дійсних значень факторів для насіння редьки олійної:

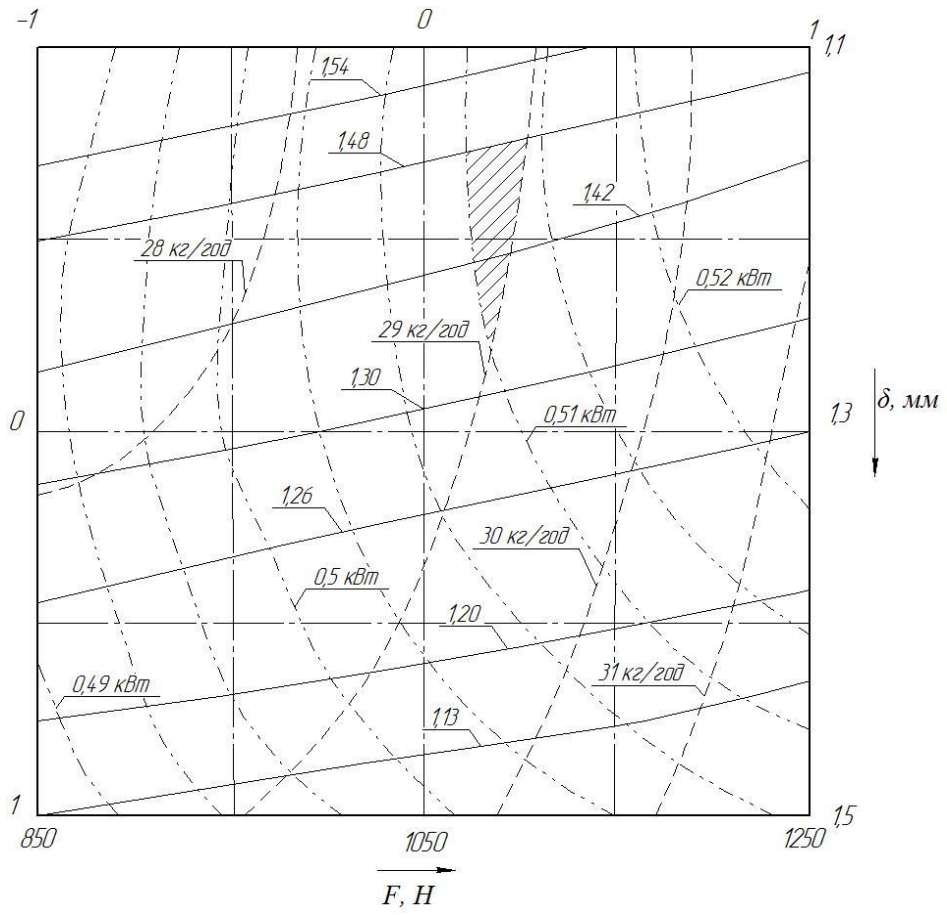
$$i_{nl}^{po} = 1,15 + 0,43\delta - 0,0003F_{np.max} + 0,00002n - 0,063\delta F_{np.max} - 0,000011F_{np.max}n + 0,00013\delta^2 + 0,0008F_{np.max}^2; \quad (4.32)$$

$$Q_{nl}^{po} = 4,1 - 19,4\delta + 0,01F_{np.max} + 0,72n + 1\delta F_{np.max} - 0,0004F_{np.max}n + 0,0055\delta^2 + 0,23F_{np.max}^2 - 0,0004n^2; \quad (4.33)$$

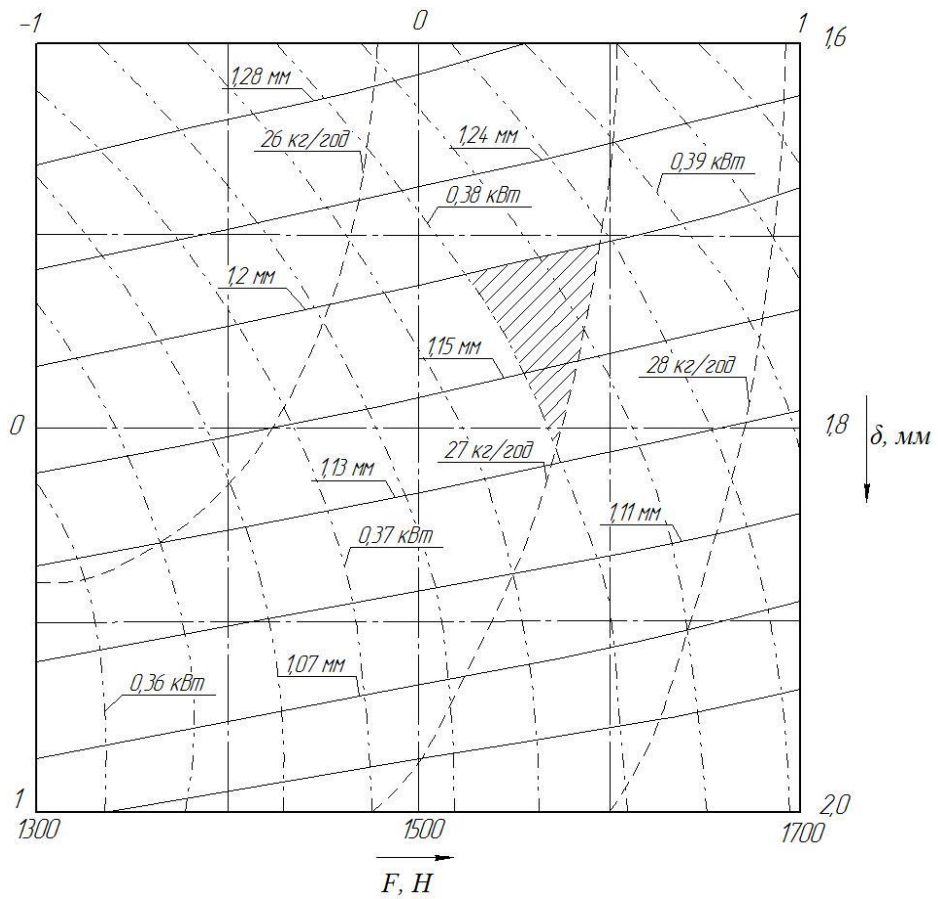
$$N_{nl}^{po} = 0,51 - 0,21\delta + 0,0001F_{np.max} - 0,004n - 0,05\delta F_{np.max} + 0,000011F_{np.max}n - 0,00002\delta^2 + 0,0002F_{np.max}^2 + 0,000002n^2. \quad (4.34)$$

На основі рівнянь (4.20) – (4.34) отримуються поверхні відгуку залежності ступеня плющення, продуктивності та споживаної плющилкою потужності за умови переробки насіння вказаних олійних культур.

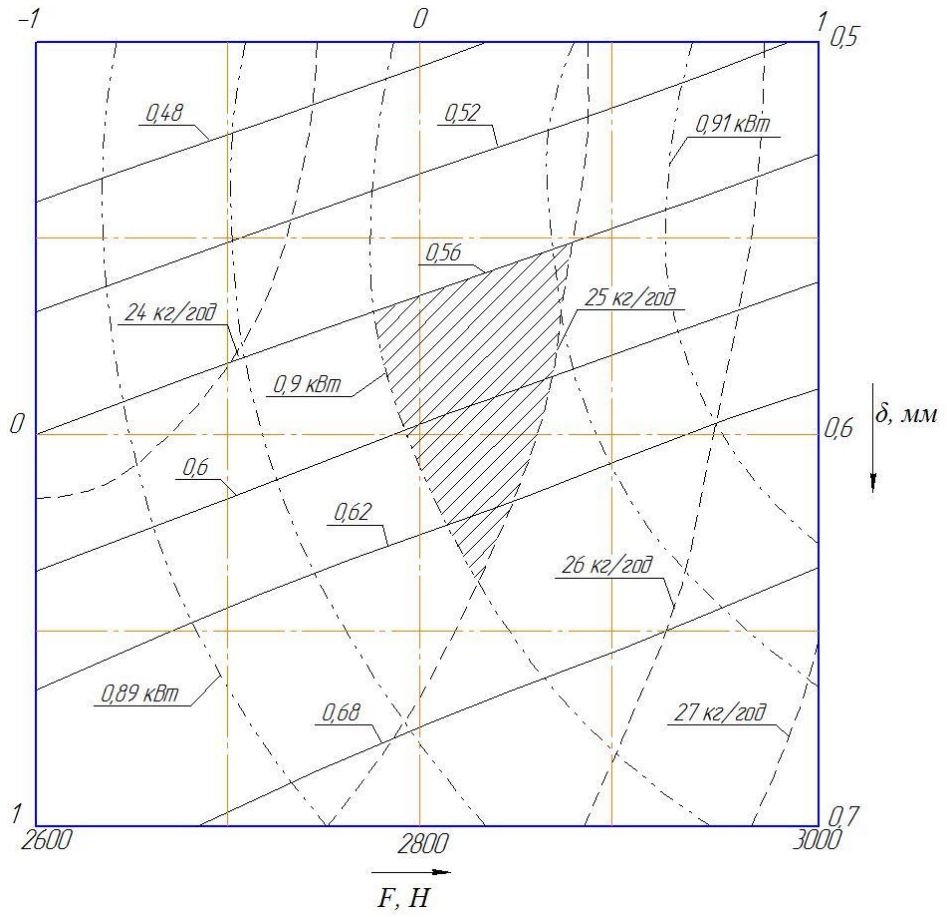
Обґрунтування параметрів процесу плющення насіння олійних культур залежно від зазору між валками, зусилля підтискання валків й частоти обертання проводили за допомогою методу двовимірних перетинів. Двовимірні перетини поверхонь відгуку для досліджуваних культур приведені на (рис. 4.5).



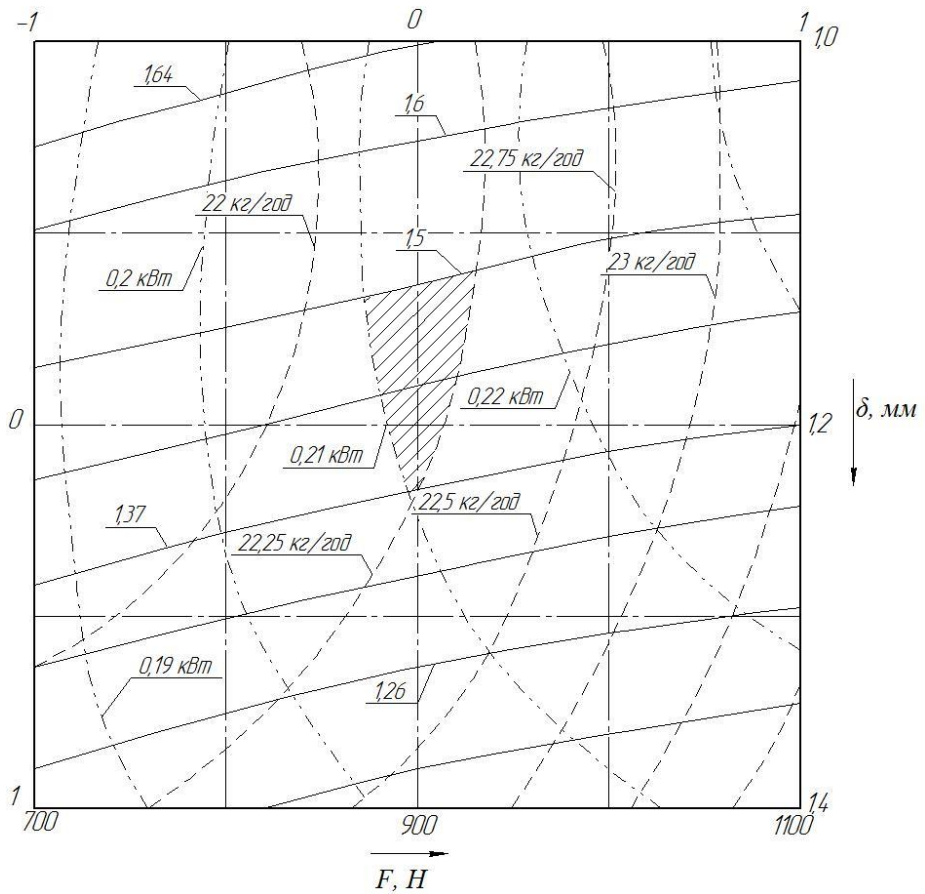
a)



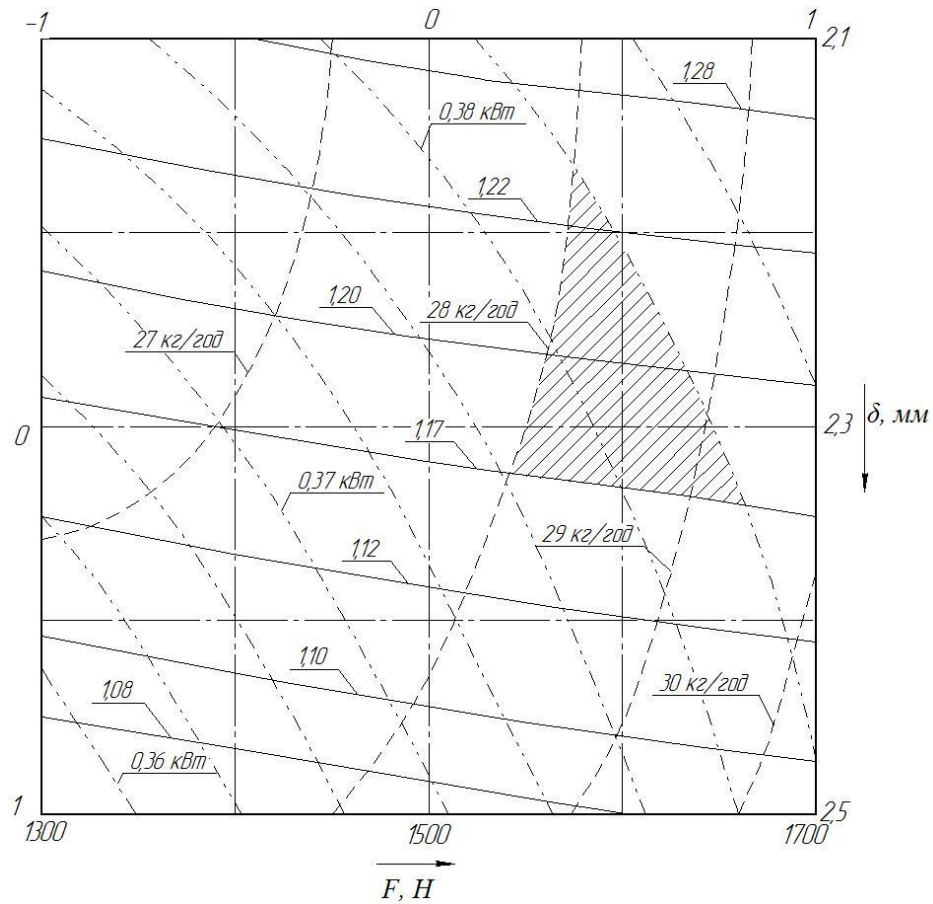
б)



б)



в)



д)

- — ступінь плющення;
- - - - - — продуктивність плющилки, кг/год;
- · · · · — споживана потужність, кВт.

Рис. 4.5. Двовимірні перетини поверхонь відгуку при частоті $n = 45 \text{ хв}^{-1}$: а – озимий ріпак; б – гірчиця біла; в – льон олійний; г – гірчиця сиза; д – редька олійна.

Під час аналізу двовимірних перетинів (рис. 4.5), отриманих для всіх досліджуваних культур, вводилось обмеження на значення ступеня плющення i_{nl} . Встановлювався необхідний ступінь плющення з умови деформації насінин, за якої тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на розплющеній поверхні. Для озимого ріпаку значення i_{nl} становить: 1,36–1,48; гірчиці сизої – 1,34–1,49; гірчиці білої – 1,13–1,22; льону олійного – 1,46–1,67 та редьки олійної – 1,16–1,24.

Необхідний ступінь плющення забезпечується, якщо зазор δ між валками складає: 1,15–1,25 мм для насіння озимого ріпаку; 1,67–1,8 мм – гірчиці білої; 0,55–0,63 мм – льону олійного; 1,1–1,22 мм – гірчиці сизої та 2,17–2,33 мм – редьки олійної. Зусилля $F_{np.max}$ підтискання валків: 1060–1080 Н – відповідає насінню озимого ріпаку; 1520–1600 Н – гірчиці білій; 2780–2880 Н – льону олійному;

880–950 Н – гірчиці сизій; 1540–1680 Н – редьці олійній. При вказаних значеннях зазору δ і зусилля $F_{пр.мах}$ підтискання валків, діаметр яких $D = 55$ мм, у діапазоні частот обертання валків $n = 30–60$ хв⁻¹ продуктивність плющилки становить 17,1–37,9 кг/год, а споживана нею потужність – 0,18–0,95 кВт.

4.3. Економічна ефективність вальцьової плющилки

Виробничі випробування вальцьової плющилки насіння олійних культур (рис. 4.6) проводились у фермерському господарстві “Кільгана І.С.” Самбірського району Львівської області.

Результати досліджень з розробки й обґрунтування параметрів вальцьового засобу для плющення насіння олійних культур перед відтисканням олії передані ПАТ “Ковельсьільмаш”, схвалені й можуть бути використанні під час розробки та удосконалення обладнання для виробництва рослинних олій.



Рис. 4.6. Загальний вигляд плющилки насіння олійних культур: 1 – завантажувальний бункер; 2 – дозатор; 3 – формувач потоку насіння; 4 – вальцьовий плющильний робочий орган; 5 – відвідний лоток.

На підставі виробничих випробувань плющилки насіння олійних культур у комплексі зі шнековим пресом [39] було встановлено продуктивність пресування насіння і потужність, що споживається. Продуктивність переробки насіння льону і гірчиці за умови дворазового пресування становить 12,5 кг/год, а редьки олійної – 11,42 кг/год [39].

Продуктивність шнекового преса при триразовому відтисканні насіння льону, редьки олійної, гірчиці відповідно становить 8,33, 7,61 й 7,9 кг/год, а споживана пресом потужність – 1,1 кВт [39]; споживана потужність плющилки насіння олійних культур [40] – 0,2–0,9 кВт.

Розроблена вальцова плющилка у технологічному процесі переробки олієвмісного насіння у комплексі зі шнековим пресом дозволяє в режимі дворазового відтискання підвищити вихід олії до 35–49 % із зменшенням енергозатрат на 21,85%. Це свідчить, що внаслідок роздавлювання насіння залишкова олійність макухи зменшується і збільшується вихід олії. Таким чином, розроблена плющилка насіння олійних культур в комплексі зі шнековим пресом дозволяє збільшити вихід олії і продуктивність технічних засобів порівняно з пресування не розплющеного насіння.

Одним з визначальних етапів розробки і запровадження нової чи удосконалення існуючої техніки є обґрунтування економічної ефективності її використання порівняно з базовою моделлю – агрегатом або комплексом машин. До основних критеріїв оцінки доцільності застосування машини належить річна економія прямих та зведених затрат і капіталовкладень, зменшення затрат праці й річний економічний ефект. Визначалась економічна ефективність як різниця між отриманими показниками використання базової моделі – шнекового преса для відтискання олії [39] і комплексу машин, а саме плющилки насіння олійних культур та вказаного преса [55].

Використання плющилки насіння олійних культур у технологічному процесі виробництва олії дозволяє збільшити продуктивність вказаного шнекового преса та підвищити вихід олії за рахунок плющення насіння льону, редьки, гірчиці й ріпаку перед пресуванням.

Розрахунок економічних показників проведено на основі стандартизованих вимог й методик розрахунку економічної ефективності спеціалізованої сільськогосподарської техніки й нормативних даних.

Прямі затрати P_z (грн/кг) становлять:

$$P_z = Z_{зпл} + Z_{ел.ен} + Z_{рен} + Z_{ТО\text{рем}}, \quad (4.35)$$

де: $Z_{зпл}$ – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, грн/кг; $Z_{ел.ен}$ – витрати на електроенергію, грн/кг; $Z_{рен}$ – відрахування на реновацію, грн/кг; $Z_{ТО\text{рем}}$ – відрахування на ремонт й технічне обслуговування, грн/кг.

Витрати на заробітну плату становлять:

$$Z_{зпл} = \frac{n \tau_{год} k_{допл}}{W_{год}}, \text{ грн/кг}, \quad (4.36)$$

де: n – чисельність виробничого персоналу, чол; $\tau_{год}$ – годинна тарифна ставка працівників, грн/год.; $k_{допл}$ – коефіцієнт, що враховує всі види доплат і нарахувань; $W_{год}$ – продуктивність машини (машин) за годину змінного часу, кг/год.

Витрати на використання електроенергії визначаються з виразу:

$$Z_{ел.ен} = \frac{N_{ел.} \cdot C_{ел.}}{W_{год}}, \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}, \quad (4.37)$$

де: $N_{ел.}$ – потужність, що споживається електроприводом, кВт;

$C_{ел.}$ – вартість 1 кВт електроенергії, грн.

Відрахування на реновацію машини (машин):

$$Z_{рен} = \frac{B_m k_p}{W_{год} T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (4.38)$$

де: B_m – балансова вартість машини, грн; k_p – коефіцієнт відрахувань на реновацію, %; T_p – нормативне річне завантаження машини, год.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування становлять:

$$Z_{ТО рем} = \frac{B_m (k_{н.р} + k_{к.р})}{W_{год} T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (4.39)$$

де: $k_{н.р}$ – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, ($k_{н.р} = 0,13$); $k_{к.р}$ – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт, ($k_{к.р} = 0,027$).

Капітальні вкладення $K_{кап.вкл}$ (грн/кг) дорівнюють:

$$K_{кап.вкл} = \frac{B_m}{W_{год} T_p}. \quad (4.40)$$

Зведені затрати Z_3 (грн/кг):

$$Z_3 = \Pi_3 + K_{кап.вкл} k_{эф.кап.вкл}, \quad (4.41)$$

де: $k_{эф.кап.вкл}$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Економія експлуатаційних витрат $E_{екс.витр}$ за рік визначається з виразу:

$$E_{екс.витр} = (Z_3^{\delta} - Z_3^H) T_p, \text{ грн}, \quad (4.42)$$

де: Z_3^{δ}, Z_3^H – відповідно зведені затрати базової машини та нового комплексу машини.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = ((Z_3^{\delta} - Z_3^H) + (\Gamma_{н.б.н} - \Gamma_{н.н.н})) P_n, \text{ грн}, \quad (4.43)$$

де: $\Gamma_{н.б.п.}$ – грошові надходження від реалізації продукції, виготовленої пресом, грн; $\Gamma_{н.н.п.}$ – грошові надходження від реалізації продукції, виготовленої комплексом машин, грн; P_n – річне напрацювання машин, кг.

Ціна техніки вибиралась на основі рекламної інформації заводів-виготовлювачів станом на 01.05.2015 року; годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови середньої статистичної заробітної плати.

Результати розрахунків (рис. 4.7, табл. 4.1, 4.2) свідчать про доцільність використання розробленої плющилки насіння олійних культур [40, 55] у комплексі зі шнековим пресом [39, 55]. Річний економічний ефект від використання плющилки при олійності насіння 37% становить: для льону олійного – 156,3 тис. грн; редьки олійної – 124,5 тис. грн, гірчиці – 140,8 тис. грн й ріпаку 15,925 – тис. грн.

На рис. 4.7 представлені залежності річного економічного ефекту від олійності насіння.

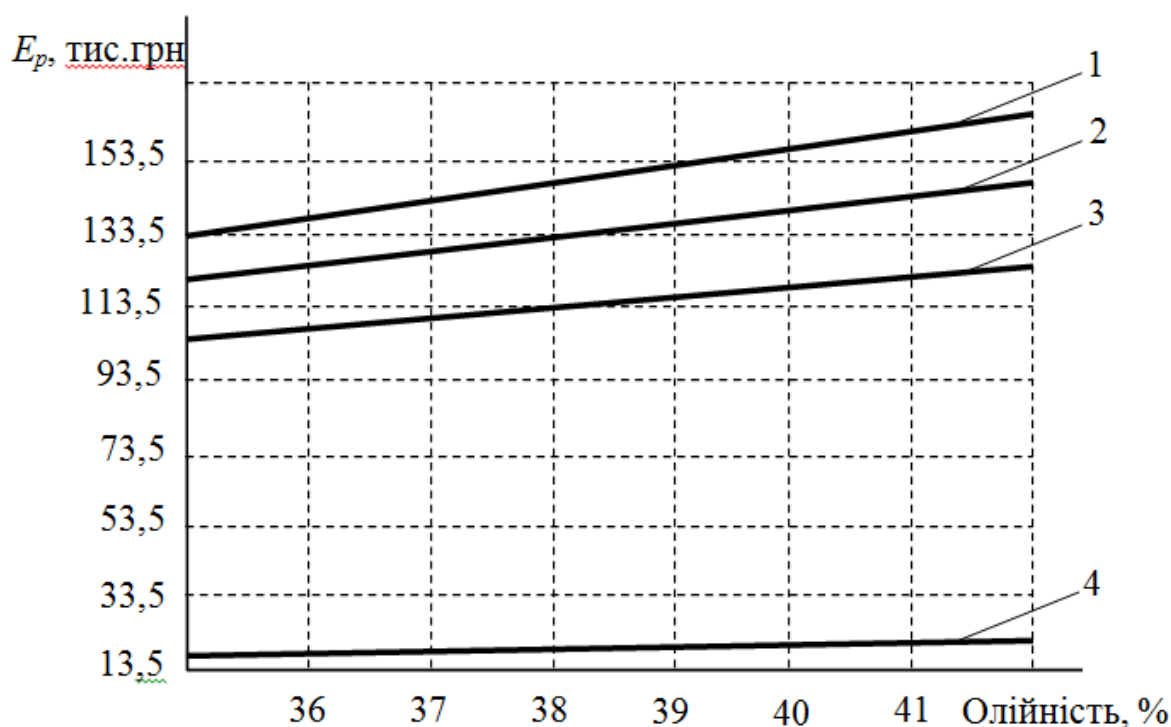


Рис. 4.7. Залежність річного економічного ефекту від олійності насіння: 1 – льону; 2 – гірчиці; 3 – редьки олійної, 4 – ріпаку.

Аналізуючи (рис. 4.7), можна зробити висновок, що річний економічний ефект від використання плющилки на переробці насіння олійністю 35–42% становить: 133,8–160,09 тис. грн – для

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Витрата електроенергії, кВт·год/кг	0,132	0,106	0,132	0,088	0,132	0,088	0,132	0,088	
Вартість 1 кВт електроенергії, грн	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	
Вихід олії	кг/год	2,92	4,63	2,66	4,23	2,765	4,38	2,77	4,38
	кг/рік	2798,9	4440	2556,9	4056,4	2654,4	4209,12	2654,4	4209,2
	л/рік	2658,9	4218	2429,1	3853,6	2521,6	3998,6	2521,8	3998,6
Вартість олії, грн/л	98,5		85,5		93,5		65,8		
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15								

Таблиця 4.2

Результати розрахунку економічної ефективності розробленої плющилки у комплексі зі шнековим пресом

Показник	Льон олійний		Редька олійна		Гірчиця		Озимий ріпак	
	ПО-20	ПНОК + ПО-20	ПО-20	ПНОК + ПО-20	ПО-20	ПНОК + ПО-20	ПО-20	ПНОК + ПО-20
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Річне напрацювання т	7,9	12,0	7,6	10,9	7,6	11,4	7,6	11,4
Прямі затрати на, грн/кг								
– оплату праці	0,92	0,79	1,01	0,87	0,98	0,84	0,98	0,84
– електроенергію	0,016	0,009	0,018	0,008	0,017	0,008	0,017	0,008
– ТО, пот. і кап. ремонт	0,314	0,283	0,344	0,309	0,331	0,298	0,331	0,298
– реновацію	0,28	0,26	0,31	0,28	0,30	0,27	0,30	0,27

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Всього прямих затрат, грн/кг	1,54	1,34	1,69	1,46	1,62	1,41	1,62	1,41
Капітальні вкладення, грн/кг	2,00	1,80	2,19	1,97	2,11	1,90	2,11	1,90
Зведені затрати, грн/кг	1,84	1,61	2,01	1,76	1,94	1,70	1,94	1,70
Річний економічний ефект, грн	156329,2		124570,74		140868,37		99955,91	
Затрати праці, люд·год/кг	0,12	0,08	0,13	0,09	0,13	0,08	0,13	0,08
Економія експл. витрат за рік, грн	220,91		243,43		233,78		233,78	
Ступінь зменшення затрат на, %								
– оплату праці		33,36		33,36		33,33		33,33
– прямих затрат		12,99		13,09		13,05		13,05
– зведених затрат		12,51		12,59		12,55		12,55
– капіталовкладень		10,04		10,03		10,00		10,00

Аналізуючи таблиці 4.1, 4.2, варто відмітити, що завдяки збільшенню продуктивності комплексу машин, порівняно з базовим варіантом на 33% спостерігається зменшення: прямих затрат на 12,9 %, зведених затрат – 12,5–12,59 %, капіталовкладень більше 10,0 %, затрат праці – більше 33,3 %. Річний економічний ефект від використання плющилки становить 15,2–160,09 тис. грн для всіх досліджуваних олійних культур.

4.4. Енергетична оцінка вальцьової плющилки

Енергетична оцінка використання розробленої вальцьової плющилки у комплексі зі шнековим пресом для відтискання олії є вагомим показником, який характеризує технічний рівень розвитку технологій і технологічних операцій. Енергетична оцінка проведена на основі нормативних вимог [38] і базується на визначенні коефіцієнта R енергетичної ефективності:

$$R = \frac{E_{с.км.}}{E_{с.б.}}, \quad (4.44)$$

де: $E_{с.км.}$ – сукупні затрати технологічного процесу, здійснюваного розробленою плющилкою у комплексі зі шнековим пресом, МДж/т; $E_{с.б.}$ – базовий рівень сукупних затрат лише шнековим пресом для відтискання олії, МДж/т.

Таблиця 4.3.

Вихідні дані для розрахунку енергетичної ефективності використання розробленої плющилки.

Показник	Позначення	Прес ПО-20 (базовий)	Розроблена плющилка ПНОК+ПО-20 (комплекс машин)
Продуктивність машини (комплекс машин) за годину змінного часу, кг/год	Q	8,33	12,5
Споживана потужність, кВт	N	1,1	1,33
Чисельність обслуговуючого персоналу, чол.	$n_{ч}$	1	1
Змінний обсяг робіт, кг	S	58,3	87,5
Число днів роботи в році, днів	$n_{дн}$	260	260
Площа, яку займає обладнання, м ²	F	1,0	1,5
Маса обладнання, т	M	0,045	0,14

Сукупні затрати на технологічний процес відтискання олії в МДж/год становлять:

$$E_c = E_n + \frac{E_{жс} + E_{об} + E_{пр}}{Q}, \quad (4.45)$$

де: E_n – прямі затрати енергії, МДж/кг; $E_{жс}$ – затрати живої праці, МДж/год; $E_{об}$ – енергомісткість обладнання, МДж/год; $E_{пр}$ – енергомісткість виробничих приміщень, МДж/год; Q – продуктивність машини, кг/год.

Прямі затрати енергії визначаються за формулою:

$$E_n = P_e \cdot K_e, \quad (4.46)$$

де: P_e – витрата електроенергії, кВт·год/кг; K_e – коефіцієнт переводу 1 кВт·год в 1 МДж, $K_e = 3,6$.

Витрата електроенергії дорівнює:

$$P_e = \frac{N}{Q}, \quad (4.47)$$

де: N – споживана потужність приводу, кВт.

Енергозатрати живої праці:

$$E_{жс} = n_{ч} \cdot \alpha_{жс}, \quad (4.48)$$

де: $n_{ч}$ – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.; $\alpha_{жс}$ – енергетичний еквівалент затрат живої праці, $\alpha_{жс} = 0,9$ МДж/люд·год.

Енергомiсткiсть, що припадає на 1 годину роботи обладнання, визначається за формулою:

$$E_{об} = \frac{Z_{об}}{T_p}, \quad (4.49)$$

де: $Z_{об}$ – загальна енергомiсткiсть обладнання, МДж; T_p – рiчне завантаження лiнii, год.

$$Z_{об} = \alpha_{об} \cdot M, \quad (4.50)$$

де: $\alpha_{об}$ – енергетичний еквівалент обладнання, $\alpha_{об} = 104$ МДж/т; M – маса обладнання, т.

$$T_p = \frac{S}{Q} \cdot n_{дн}, \quad (4.51)$$

де: S – добовий обсяг робiт, кг; $n_{дн}$ – число днiв роботи в роцi, днiв.

Енергомiсткiсть виробничих примiщень становить:

$$E_{пр} = \frac{\alpha_{пр} \cdot F}{100 \cdot T_p}, \quad (4.52)$$

де: $\alpha_{пр}$ – енергетичний еквівалент примiщення, $\alpha_{пр} = 5025$ МДж/м²; F – площа, яку займає обладнання, м².

Таблиця 4.4.

Результати розрахунку енергетичної оцiнки
використання розробленої плющилки

Показник	Позначення	ПО-20 (базовий)	ПНОК+ПО-20 (комплекс машин)
1	2	3	4
Прямi затрати енергiї, МДж/кг	E_n	0,475	0,383
Енергозатрати живої праці, МДж/люд·год	$E_{жс}$	0,9	
Енергомiсткiсть 1 години роботи, МДж/год	$E_{об}$	0,00257	0,008
Енергомiсткiсть виробничих примiщень, МДж/м ²	$E_{пр}$	0,0276	0,0387

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4
Сукупні затрати енергомісткості, МДж/кг	E_c	0,587	0,459
Коефіцієнт енергетичних затрат, R	—	0,781	

Таким чином, результати розрахунків енергетичної оцінки (табл. 4.4) свідчать про доцільність використання комплексу машин – плющилки насіння олійних культур та шнекового преса у технологічному процесі отримання олії [54]. Прямі затрати енергії для базового варіанту становлять 0,475 МДж/кг, а для пропонованого комплексу машин – 0,383 МДж/кг, що на 19,4 % менше. Сукупні затрати на технологічний процес відтискання олії зменшуються на 21,85 % порівняно з базовим варіантом.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

У монографії розглядається виконано наукове завдання – підвищення ефективності плющення насіння олійних культур перед його пресуванням завдяки розробленню вальцьової плющилки й обґрунтуванню її параметрів. Зростання показників ефективності робочого процесу плющилки досягнуто забезпеченням необхідного діапазону плющення насіння, за якого тиск на насінини перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на поверхні розплющених насінин. Суть проблеми полягає в тому, що плющення насіння олійних культур дозволить підвищити ступінь відтискання олії зі зменшенням енергозатрат.

Досліджено механіко-технологічні властивості насіння олійних культур, а саме: найменша довжина насінин – 1,71 мм – відповідає озимому ріпаку, а максимальна – 4,23 мм – льону олійному; найменша ширина насінин – 1,56 мм – у гірчиці сизої, найбільша – 2,67 мм – редьки олійної; мінімальна товщина – 0,92 мм – у насіння льону олійного, а максимальна – 1,96 мм – редьки олійної. Середнє значення маси 1000 насінин змінюється від 3,27 г для озимого ріпаку до 10,06 г – редьки олійної. Кут природного укусу насипного насіння варіює в інтервалі від $27,98^\circ$ для озимого ріпаку до $32,45^\circ$ – для редьки олійної; коефіцієнт внутрішнього тертя насіння – 0,53–0,64. Коефіцієнт тертя насіння по листовій сталі складає 0,44–0,48, шліфованій поверхні – 0,28–0,31, сталевій поверхні після чистового точіння – 0,45–0,47; мінімальне значення кута тертя – $15,5^\circ$ – відповідає насінню озимого ріпаку по шліфованій поверхні, а максимальне значення $25,7^\circ$ – редьці олійній по листовій сталі.

Запропоновані спосіб і пристрій для дослідження механічних властивостей насінин олійних культур під час стиску, який оснащений притискною пластиною і дає змогу шляхом регулювання вильоту консольної динамометричної балки визначати властивості з високою точністю. Основні показники механічних властивостей насінин озимого ріпаку, гірчиці сизої та білої, льону олійного і редьки олійної становлять: сила руйнування – 10,84–26,04 Н; деформація руйнування – 0,24–0,45 мм; жорсткість – 25,81–91,58 Н/мм; межа міцності – 4,82–9,16 Н/мм²; деформація олієвиділення – 0,37–0,61 мм.

Розроблено моделі, що описують умови стиску і роздавлювання насінин кулястої та еліпсоїдної форм, та отримано залежності від сили стиску таких параметрів, як деформація насінин і максимальний тиск на них. Виходячи з отриманих залежностей, значення сили $P_{c.p}$

руйнування насінин становлять, Н: озимий ріпак – 15,1; гірчиця сиза – 10,08; гірчиця біла – 23,2; редька олійна – 25,1 та льон олійний – 23,5; деформація руйнування $\Delta_{н,р}$ відповідно дорівнює 0,44, 0,41, 0,23, 0,36 й 0,295 мм. Тиск $q_{o,p}$, за якого відбувається руйнування насінин, Н/мм²: озимий ріпак – 61,19; гірчиця сиза – 57,71; гірчиця біла – 115,24; редька олійна – 108,87 та льон олійний – 33,38.

Розроблена динамічна модель взаємодії вальцьового робочого органа з насінинами відображає умову їх захоплення валками, залежність діаметра валків від зазору між ними, а також закономірності зміни продуктивності плющилки й споживаної нею потужності. Згідно розробленої моделі з наближенням зазору між валками до 0,2 мм їх діаметр D не повинен бути меншим, мм: 38 – для озимого ріпаку; 27 – гірчиці сизої; 32 – гірчиці білої; 40 – редьки олійної та 33 – льону олійного. Зусилля підтискання валків $F_{np,max}$, при якому відбувається роздавлювання насінин олійних культур, становить, Н: 1057 – озимий ріпак; 923 – гірчиця сиза; 1476 – гірчиця біла; 1561 – редька олійна; 2810 – льон олійний. У діапазоні частот обертання валків 10–60 хв⁻¹ продуктивність плющилки $Q_{пл}$ змінюється в межах, кг/год: 5–27 – для насіння озимого ріпаку; 3–22 – гірчиці сизої; 6–37 – гірчиці білої; 5–34 – редьки олійної й 5–31 – льону олійного. Найбільша потужність $N_{пл}$, що споживається плющилкою, складає, кВт: 0,89 – для насіння льону олійного; 0,53 – озимого ріпаку; 0,25 – гірчиці сизої; 0,39 – гірчиці білої; 0,34 – редьки олійної.

На підставі проведених експериментальних досліджень продуктивність Q_{δ} та потужність N_{δ} , що споживається дозатором плющилки, визначально залежать від частоти обертання живильного барабана і зусилля підтискання клапана. За максимального зазору між барабаном і клапаном $\Delta_{\delta}=0,9$ мм, мінімального зусилля підтискання клапана $F_{кл} = 19,62$ Н та максимальної частоти обертання барабана $n_{\delta} = 50$ хв⁻¹ забезпечується максимальна продуктивність Q_{δ} , а споживана потужність N_{δ} – за мінімального зазору $\Delta_{\delta} = 0,5$ мм, максимального зусилля підтискання клапана $F_{кл} = 91,1$ Н та максимальної частоти обертання живильного барабана $n_{\delta} = 50$ хв⁻¹. Мінімальні значення продуктивності й потужності відповідають мінімальному зазору $\Delta_{\delta} = 0,5$ мм, максимальному зусиллю $F_{кл} = 98,1$ Н та мінімальній частоті обертання $n_{\delta} = 20$ хв⁻¹. Зокрема, для насіння гірчиці продуктивність становить 34,61–121,42 кг/год; озимого ріпаку – 29,65–100,8 кг/год; льону – 29,52–83,55 кг/год; редьки олійної – 36,05–126,5 кг/год; споживана дозатором потужність для насіння

гірчиці дорівнює 57,9–64,2 Вт; ріпаку – 57,5–64,5 Вт; льону олійного – 58,3–65,3 Вт та редьки олійної – 59–65,3 Вт.

Згідно виробничими випробуваннями встановлено, що необхідний ступінь плющення $i_{пл}$, що визначається з умови деформації насіння, за якої тиск на них перевищує їх межу міцності, але відсутня поява олії на розплющеній поверхні, становить: 1,36–1,48 для насіння озимого ріпаку; 1,34–1,49 – гірчиці сизої; 1,13–1,22 – гірчиці білої; 1,46–1,67 – льону олійного; 1,16–1,24 – редьки олійної. Необхідний ступінь плющення забезпечується за таких значень зазору δ між валками й зусилля $F_{пр.мах}$ їх підтискання. Зазор δ становить, мм: для насіння озимого ріпаку 1,15–1,25; гірчиці білої – 1,67–1,8; льону олійного – 0,55–0,63; гірчиці сизої – 1,1–1,22; редьки олійної – 2,17–2,33. Зусилля $F_{пр.мах}$ підтискання валків, Н: 1060–1080 – відповідає насінню озимого ріпаку; 1520–1600 – гірчиці білій; 2780–2880 – льону олійному, 880–950 – гірчиці сизій, 1540–1680 – редьці олійній. За вказаних значень зазору δ і зусилля $F_{пр.мах}$ підтискання валків, діаметр яких $D = 55$ мм, у діапазоні частот обертання валків $n = 30–60$ хв⁻¹ продуктивність плющилки становить 17,1–37,9 кг/год, а споживана нею потужність – 0,18–0,95 кВт.

Економічний ефект від використання розробленої плющилки насіння олійних культур у комплексі зі шнековим пресом залежить від олійності насіння й технологічного процесу отримання олії й становить 99,9–156,3 тис.грн; сукупні енергетичні затрати при цьому зменшуються на 21,85 %.

Продуктивність переробки насіння льону і гірчиці за умови дворазового пресування становить 12,5 кг/год, а редьки олійної – 11,42 кг/год.

Продуктивність шнекового преса при триразовому відтисканні насіння льону, редьки олійної, гірчиці відповідно становить 8,33, 7,61 й 7,9 кг/год, а споживана пресом потужність – 1,1 кВт; споживана потужність плющилки насіння олійних культур – 0,2–0,9 кВт.

Вальцова плющилка у технологічному процесі переробки олієвмісного насіння у комплексі зі шнековим пресом дозволяє в режимі дворазового відтискання підвищити вихід олії до 35–49 % із зменшенням енергозатрат на 21,85%. Це свідчить, що внаслідок роздавлювання насіння залишкова олійність макухи зменшується і збільшується вихід олії. Таким чином, плющилка насіння олійних культур в комплексі зі шнековим пресом дозволяє збільшити вихід олії і продуктивність технічних засобів порівняно з пресуванням не розплющеного насіння.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автоматизация технологических процессов пищевых производств: учебник для вузов / Под. ред. Карпика Е. Б. – М.: Агропромиздат, 1985. – 535 с.
2. Бакум М. В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум / М. В. Бакум, О. М. Горбачовський, В. Ю. Манчинський та ін. – Харків: ХНТУСГ, 2005. – 196 с.
3. Бакум М. В. Дослідження фізико-механічних властивостей насіння, що мають пружний елемент / М. В. Бакум, О. А. Шептур // Вісник Харківського державного технічного університету сільськогосподарства : механізація сільськогосподарського виробництва. – 2001. – № 21. – С. 223–227.
4. Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел / В. В. Белобородов. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 475 с.
5. Безухов Н. И. Введение в теорию упругости и пластичности / Н. И. Безухов. – М. : Стройиздат, 1950. – 450 с.
6. Борисонік З. Б. Довідник по олійних культурах / З. Б. Борисонік, В. Г. Михайлов, Б. Г. Погорлецький. – К. : Урожай, 1988. – 184 с.
7. Василенко П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К. : Издательство АН УССР, 1960. – 245 с.
8. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М. : Колос, 1976. – 159 с.
9. Голдовский А. М. Теоретические основы производства растительных масел / А. М. Голдовский. – М. : Пищепромиздат, 1958. – 446 с.
10. Горбатюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств / В. И. Горбатюк. – М. : Колос, 1999. – 335 с.
11. Гавриленко И. В. Оборудование для производства растительных масел / И. В. Гавриленко. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 450 с.
12. Жаркова Г. Малопоширені олійні культури в державному реєстрі сортів рослин, придатних для використання в Україні у 2006 році / Г. Жаркова, С. Васьківська // Пропозиція. – 2006. – № 136. – С. 66–70.
13. Кавецкий Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии

/ Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. – М. : Колос, 2000. – 551 с.

14. Кичигин В. П. Технология и технохимический контроль производства растительных масел / В. П. Кичигин. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 359 с.

15. Кошевой Е. П. Оборудование для производства растительных масел / Е. П. Кошевой. – М. : Агропромиздат, 1991. – 208 с.

16. Клуманцев Б. В. Дробилки: конструкция и расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клуманцев, А. И. Косарев. – М. : Машиностроение, 1990 г. – 319 с.

17. Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / Н. Н. Липатов. – М. : Экономика, 1987. – 272 с.

18. Леонтьевский К. Е. К вопросу об изменении дисперсности материалов в процессах производства растительных масел / К. Е. Леонтьевский, А. А. Аношкина // Тр. ВНИИЖ. – 1963. – № 23. – С. 22–25.

19. Масликов В. А. Примеры расчетов оборудования производства растительных масел / В. А. Масликов. – М. : Пищепромиздат, 1959. – 230 с.

20. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел / В. А. Масликов – М. : Пищепромиздат, 1962. – 228 с.

21. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел / В. А. Масликов. – М. : Пищ. промышленность, 1974. – 220 с.

22. Масликов В. А. Упругие свойства мезги и работа, затрачиваемая на ее сжатие / В. А. Масликов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1962. – № 2. – С. 128–133.

23. Масликов В.А. Работа измельчающих машин и форма связи масла белковым комплексом ядра / В. А. Масликов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1959. – № 2. – С. 142–150.

24. Масликов В. А. Размеры подсолнечных семян / В. А. Масликов, В. С. Сескутов, Р. Ф. Скаковский // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1965. – № 5. – С. 37–38.

25. Масликов В. А. Поведение подсолнечного ядра при разрушении / В. А. Масликов, В.С. Сескутов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1965. – № 4. – С. 85–89.

26. Масликов В.А. Работа измельчающих машин и формы связи масла с белковым комплексом ядра / В. А. Масликов // Известия вузов. Пищевая технология. – 1959. – № 2. – 116–123.

27. Машины и аппараты пищевых производств. Кн.1 / [Антипов С. Т., Крестов И. Т., Остриков А. Н. та ін.] за заг. ред. С. Т. Антипова. – М. : Высшая школа, 2001. – 703 с.

28. Машины и аппараты пищевых производств. Кн.2 / [Антипов С. Т., Крестов И. Т., Остриков А. Н. та ін.] за заг. ред. С. Т. Антипова. – М. : Высшая школа, 2001. – 680 с.

29. Машины та обладнання переробних виробництв : навч. посібник / [Дацишин О., Ткачук А. І., Чубов Д. С. та ін.] ; за заг. ред. О. В. Дацишина. – К.: Вища освіта, 2005. – 159 с.

30. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навчальний посібник / [Кобець А. С., Іщенко Т. Д., Волик Б. А. та ін.] ; за ред. А. С. Кобець. – Дніпропетровськ: РВВДДАУ, 2009 – 84 с.

31. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум / [Войтюк Д. Г., Царенко О. М., Яцун С. С. та ін.] ; за заг. ред. С. С. Яцуна. – К. : Аграрна освіта, 2000. – 93 с.

32. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / [Г. А. Хайліс, А. Я. Горбовий, З. О. Гошко та ін.] ; за заг. ред. Г. А. Хайліса. – Луцьк: ЛДТУ, 1998. – 268 с.

33. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / [Царенко О. М., Войтюк Д. Г., Швайко В. М. та ін.] ; за ред. С. С. Яцуна. – К. : Мета, 2003. – 448 с.

34. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / [О. М. Царенко, С. С. Яцун, М. Я. Довжик, Олійник Г. М.] ; за ред. С. С. Яцуна. – К. : Аграрна освіта, 2000. – 243 с.

35. Ніщенко І. О. Теоретичні дослідження руйнування насінин олійних культур / І. О. Ніщенко, В. В. Шевчук // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – Вінниця, 2012. – №11 т. 2 (66). – С. 234-239.

36. Ніщенко І. О. Теоретичні умови руйнування насінин льону. / І. О. Ніщенко, Шевчук В. В. // Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій: матеріали Міжнар. наук.-практ. форум. – Львів 2012. – С. 471–477

37. Обладнання підприємств харчової та переробної промисловості / [Гулий І. С., Пушанко М. М., Орлов Л. О. та ін.] ; за заг. ред. І. С. Гулого. – Вінниця : Нова книга, 2001. – 576 с.

38. Одегов В. А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна : дис. ... канд. тех. наук : 02.20.01 / Одегов Владислав Анатольевич. – Краснодар, 2005. – 187 с.

39. Патент 46649, Україна, МПК (2009) В30В 9/12. Шнековий прес для віджимання олії / Р. С. Шевчук, В. В. Том'юк. – № u200800120; заявка 02.01.2008; опубл. 10.04.2008, Бюл. №7.

40. Патент 47045, Україна, МПК В02В 3/00. Плющилка насіння олійних культур / Шевчук Р. С., Шевчук В. В.; заявник та патентовласник Львів. нац. агр. ун-т. – № u200908648; заявл. 17.09.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. №1.

41. Патент 46649, Україна, МПК В02В 3/00. Валкова дробарка / Шевчук Р. С., Шевчук В. В.; заявник та патентовласник Львів. нац. агр. ун-т. – № u200910148; заявл. 06.10.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9.

42. Патент 51885, Україна, МПК В02В 3/02. Пристрій для дослідження насінин на стиск / Шевчук Р. С., Шевчук В. В.; заявник та патентовласник Львів. нац. агр. ун-т. – № u200913755; заявл. 28.12.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. №15.

43. Процеси та апарати харчових виробництв: підручник / [А. М. Поперечний, О. І. Черевко, В. Б. Гаркуша та ін.] ; за ред. А. М. Поперечного. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.

44. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / І.Ф. Малежик, П. С. Циганко, П. М. Немирович, О. С. Марценюк. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.

45. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников, В. Д. Попов, Ф. А. Редько, В. М. Лысянский. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 350 с.

46. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посібник / [В. Г. Мирончук, А. О. Орлов, А. І. Українець та ін.] ; за ред. М. Г. Мирончука. – Вінниця. : Нова книга, 2004. – 288 с.

47. Стабников В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 503 с.

48. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посібник / [Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев

О. В. та ін.] ; за заг. ред. О.В. Дацишина. – Вінниця: Нова Книга, 2009. – 488 с.

49. Тимошенко С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – Москва. : Из-во «Наука», 1975. – 575 с.

50. Хайлис Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М. : Колос, 1974. – 169 с.

51. Хусид С. Д. Измельчение зерна / С. Д. Хусид. – М. : Хлебоиздат, 1958. – 520 с.

52. Черевко О.І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. – Харків, 2002. – 420 с.

53. Шевчук В. В. Дослідження механіко-технологічних властивостей насіння олійних культур / В. В. Шевчук // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 21. – Том II. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – С.229–237.

54. Шевчук В.В. Енергетична оцінка використання вальцової плющилки насіння олійних культур / В. В. Шевчук // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13D. – Lublin 2011. – S. 31–36.

55. Шевчук Р.С. Комплекс обладнання для отримання рослинної олії в малих переробних цехах / Р. С. Шевчук, В. О. Василькевич, В. В. Шевчук, В. В. Том'юк // Техніка і технології в АПК. – № 9 (24) 2011. – С. 11–13.

56. Шевчук Р. С. Механічні властивості насіння олійних культур під час стиску / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2011. - №15. – С. 257–264.

57. Шевчук Р.С. Пристрій для дослідження насінин олійних культур на стиск / Р. С. Шевчук, В. В. Шевчук // Техніка і технології в АПК. – № 4 (55) 2014. – С. 37–39.

58. Щербаков В. Г. Технология получения растительных масел / В. Г. Щербаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1992. – 326 с.

59. Яковенко Т. М. Олійні культури України / Т. М. Яковенко. – К. : Урожай, 2005. – 406 с.

60. OS DE 4041994 A1 v. 27.12.90; CIMBRIA SKET GmbH: Verfahren und Anordnung zur Rapsschalung.

