

Розділ 7. НАУКОВІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ

У сучасних умовах помітно підвищується інтерес виробників та споживачів до конопляної продукції, особливо з насіння промислових конопель. Це вимагає глибоких науково-практичних знань та прискорених дій в області системних досліджень щодо комплексної переробки насіння для одержання функціональних і спеціальних харчових продуктів, біодобавок та препаратів (Oseyko M. et al., 2019; 2021).

7.1. Особливості щодо вітчизняних сортів конопель та технологій їх вирощування

Науковцями різних поколінь науково обґрунтовані технологічні аспекти вирощування луб'яних культур: оптимальні дози та співвідношення мінеральних добрив для різних типів ґрунтів, строки та способи сівби, глибина загортання насіння, типові схеми сівозмін та інше.

На підставі результатів досліджень, проведених П. А. Голобородьком, К. Я. Коротею з питань удосконалення технологій вирощування луб'яних культур, розроблено ресурсозберігаючі технології вирощування конопель і льонувдовгунця, а також комплексну систему захисту цих культур від шкідників, хвороб та бур'янів. В Інституті луб'яних культур Національної академії аграрних наук України (ІЛК НААН) закладено і підтримується унікальний багаторічний дослід беззмінного вирощування конопель ще із 30-х років минулого століття – часів заснування інституту. Відомі дослідники конопляної галузі В. Ф. Фанстиль, Д. Ф. Ткаченко, М. Г. Городній, І. І. Реп'ях, О. С. Нечипоренко, К. Я. Коротя всебічно вивчали вплив норм внесення органічних і мінеральних добрив та їх співвідношень на продуктивність конопель, а також баланс азоту, фосфору, калію й гумусу в ґрунті (<http://ibc-uaas.at.ua>).

Коноплі – культура, яка характеризується швидким пристосуванням до

різних умов вирощування. Це культура короткого світлового дня. Нижня межа ефективності температури $+5^{\circ}\text{C}$. Насіння конопель проростає при температурі від $+1-2$ до $+45^{\circ}\text{C}$. Проростки витримують знижені температури в межах від -3 до $+5^{\circ}\text{C}$ протягом 12–15 діб, а від -5 до -10°C – протягом 5 діб.

У конопель існує два періоди стиглості: технічна та біологічна. Період технічної стиглості конопель характеризується завершенням приросту рослин у висоту, накопиченням урожаю соломи та волокна, формуванням високих якісних властивостей волокнистої продукції. Біологічна стиглість конопель – це повне дозрівання насіння. Термін між технічною та біологічною стиглістю в конопель становить від 25 до 35 діб.

З урахуванням біологічних особливостей культури конопель та напрямів використання існує декілька способів збирання цієї культури.

Збирання врожаю тільки на волокно відбувається у фазу технічної стиглості. Врожай лише на насіння збирають у фазу біологічної стиглості конопель зернозбиральними комбайнами без збирання лубоволокнистої частини рослини. Збирання врожаю на двобічне використання (стебло і насіння) проводять також у період біологічної стиглості конопель (Пилипченко А. В. та ін., 2016).

Одним із найефективніших інструментів інтенсифікації коноплярства є правильно підібраний сорт. За рахунок сорту можна досягти підвищення врожайності на 20–30 % і більше.

Індійські коноплі та препарати з них, внаслідок наркотичних властивостей, підлягали державному та міжнародному контролю на основі конвенції про наркотичні засоби 1925 року та Міжнародної конвенції 1936 року стосовно боротьби з нелегальною торгівлею сильнодіючими засобами. СРСР погодився з рекомендаціями ООН про призупинення вживання препаратів індійських конопель, і з 1954 року вони були виключені з державної фармакопеї та зняті з виробництва (Канабець В. та ін., 2012).

Ще в 70-х роках минулого століття в ІЛК НААН почалися селекційні роботи з виведення, так званих, безнаркотичних конопель. Незабаром знані учені-селекціонери заявили про створення сортів, у яких вміст тетрагідроканабінолу

(ТГК) був дуже мізерним. Сьогодні вони стверджують, що саме завдяки українським розробкам галузь коноплярства, раніше заборонена в більшості країн Європи у зв'язку з наркоманією, була реабілітована і розвивається стрімкими темпами (в Німеччині з 1997 р. побудовано понад 30 коноплезаводів). Українські ботаніки пішли далі та вивели сорти конопель, які взагалі не містять ТГК. Ці сорти почали висівати в 2007 році у двох господарствах: ІЛК НААН та фірмі “Агро-Ханф” (<http://www.ar25.org>).

Одним із найважливіших напрямів діяльності ІЛК НААН було створення однодомних конопель замість дводомних. У дводомних плоскінь дозріває раніше від матірки. У зв'язку з цим плоскінь доводиться вибирати з посіву вручну, що вимагає значних затрат праці, а матірку збирають окремо механізованим способом (на насіння). Рослини однодомних конопель дозрівають одночасно, забезпечуючи одноразове механізоване збирання врожаю на насіння й волокно. Ініціатором створення однодомних конопель був М. Гришко, який на основі генетичних досліджень разом із колегами вперше вивів сорт конопель, у якого плоскінь та матірка дозрівають одночасно (<http://esu.com.ua>).

Відомо, що наркотичні речовини конопель містяться у смолоподібній масі – гашиш-вмісній суміші різних канабіноїдів, яка утворюється в суцвіттях. Наркотична активність конопель визначається наявністю канабіноїдних сполук, основними з яких є канабідіол (КБД), ТГК та його ізомери, канабінол (КБН). Найбільш висока токсичність характерна для ТГК та його ізомерів. Канадські дослідники виділяють 426 компонентів канабіноїдів, з яких 62 являють собою різні видозміни ТГК. Усі вони близькі між собою і належать до однієї групи природних фенолів (Канабець В. та ін., 2012).

М. Д. Мигаль та І. Л. Шульга (2014) дослідили динаміку накопичення канабіноїдів у вегетативних та генеративних органах конопель і за допомогою методу тонкошарової хроматографії встановили, що в оболонці та зародку насіння конопель канабіноїди відсутні.

Багатьма дослідниками підтверджено, що накопичення канабіноїдів у рослинах конопель визначається генетичними та еколого-географічними чинни-

ками (температура, сонячна радіація, вологість тощо). Проте більшості авторів так і не вдалося виявити певну залежність між абіотичними (хімічними, фізичними) складовими та канабіноїдами. Вирішальними факторами, які визначають вміст канабіноїдів, є сортові ознаки.

Науковці ІЛК НААН виявили відсутність зв'язку між господарськими ознаками та вмістом канабіноїдів, спромоглися створити сорти (ЮСО-14, ЮСО-16 та Дніпровські одностомні б) без наркотичних властивостей з паралельним вивченням особливостей успадкування канабіноїдів. Їм вдалося провести гібридизацію і встановити, що високий вміст канабіноїдів є домінантною ознакою, яка передається по материнській лінії.

Завдяки залученню нового селекційного матеріалу, а також застосуванню нових удосконалених методів підвищення продуктивності, поліпшення ознаки одностомності за найбільш продуктивним статевим типом, на не менш жорсткому фоні збереження стійкості до пошкодження шкідниками і хворобами, було створено цілий ряд високопродуктивних сортів.

Досягнення ІЛК НААН поступово стали надбанням світу шляхом обміну інформацією на міжнародних симпозиумах у Німеччині, Швейцарії, Канаді, Литві, взаємообміну науковими доробками (Угорщина, Польща, Румунія, Німеччина, Китай, Франція) та надання наукових консультацій селекціонерам Італії, Канади, Австралії та Китаю (Канабець В. та ін., 2012).

За результатами міжнародних випробувань сорти ІЛК НААН виявилися порівняно високоврожайними щодо волокна та насіння, відзначилися скоростиглістю, а за низьким умістом ТГК були унікальними. Так, сорти ЮСО-14 та ЮСО-31 зареєстровано в країнах Євросоюзу; ЮСО-14, ЮСО-31, Золотоніські 11 та Золотоніські 15 – у Канаді. ІЛК НААН з 2003 року плідно співпрацює з французькою федерацією виробників конопель, яка розповсюджує елітне насіння в Європі, Америці, Австралії та Канаді.

Термін “промислові” застосовують для означення однорічних конопель, що використовують для одержання волокна і насіння та містять у листках і суцвіттях ТГК не більше встановлених законодавством норм (для України

< 0,08 %). Промислові коноплі – цінна технічна культура, джерело натуральної сировини, яку, завдяки своїм високим споживчим властивостям, широко використовують у харчовій, будівельній, автомобільній, біоенергетичній, текстильній, целюлозно-паперовій та інших галузях виробництва (Маринченко І. О. та ін., 2018). Луб'яні волокна мають високу міцність, низький електричний опір, природну бактерицидність та гігієнічність, а тканини з них є антистатичними, гігієнічними, поглинають до 30 % вологи та 95 % ультрафіолетових променів (<https://uk.wikipedia.org>).

Сучасні сорти конопель здатні формувати врожай соломи, волокна і насіння в межах 60–120, 17–25 і 6–12 ц/га, відповідно. Вміст ТГК у рослинних пробах цих сортів коливається від тисячних частин до повної відсутності.

2011 року занесені до Реєстру нові сорти конопель Вікторія, Гляна та Ніка, в яких уміст ТГК дорівнює 0 (Канабець В. та ін., 2012).

Селекцію промислових конопель також досліджують учені товариства з обмеженою відповідальністю “Інститут органічного землеробства” (до 04.09.2017 р. ТОВ “Науково-дослідний інститут сої”) агропромислової групи “Арніка”. Сучасні сорти конопель, які поширені в Україні, наведено в табл. 7.1.

7.2. Особливості складу насіння промислових конопель

Насіння конопель являє собою однонасінний плід – горішок округлояйцеподібної форми, який складається із зовнішньої твердої рогової оболонки та розташованого всередині насінини ядра, оточеного тонкою плівкою темно-зеленого забарвлення (рис. 7.1). Насінина має дві сім'ядолі, корінець і бруньку, які зрослися між собою і є одним цілим – зародком. Основна частка поживних речовин насіння конопель зосереджена в зародку. Насіння конопель містить більше 30 % олії і близько 25 % білка, а також значну кількість мінеральних речовин, дефіцитних грубих харчових волокон (целюлоза, геміцелюлоза, пектин, лігнін) та біологічно активних речовин (фосфоліпіди, жирні кислоти, вітаміни). До складу насіння головним чином входить білок едестін, а також азотовмісні речовини – нуклеїн, холін та незначна кількість тригонелліна. Крім того, в на-

сінні конопель знайдено 37 хімічних елементів, із яких домінують кальцій, магній, фосфор, калій, сірка, а також невелика кількість заліза та цинку. Додатково виявлено в насінні конопель рідкоземельні елементи: торій, селен, молібден, цирконій та берилій (Shewry P. R. et al., 2000; Юфрякова К. М. та ін., 2020).

Таблиця 7.1. Сорти посівних конопель, які занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік (Примаков О. А., 2013)

Сорт конопель	Заявник*	Рік реєстрації	Вміст ТГК, %	Напрями використання	Урожай насіння, ц/га
ЮСО-31	1	1987	0,05	Волокнистий і насіннєвий	9,2–10,8
Гляна	1	2007	0,00	Універсальний	12,0–15,0
Глесія	1	2016	0,00	Насіннєвий	20,0–22,0
Глухівські 51	1	2017	0,00	Технічний	9,0–10,5
Глоба	2	2018	<0,08	Технічний	5,6
Лара	2	2018	<0,08	Технічний	5,3
Мрія	3	2019	<0,08	Універсальний	**
Сула	2	2019	<0,08	Технічний	5,2
Миколайчик	1	2019	<0,08	Технічний	14,0–16,0
Глухівські 85	1	2019	<0,08	Технічний	8,0–9,0
Артеміда	1	2020	<0,08	Технічний, олійний	**
Гармонія	1	2021	<0,08	Універсальний	**
Вік 2020	1	2021	<0,08	Універсальний	**

Примітка. * 1 – ІЛК НААН; 2 – ТОВ “Інститут органічного землеробства”; 3 – ТОВ “АВЕКОНА”, ФГ “Кравець О. П.”;

** – дані відсутні.



Рис. 7.1. Насіння конопель

Порівняння показників складу та якості насіння конопель із різних регіонів світу представлено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Характеристика складу та якості насіння конопель

Показник	Регіон виробництва насіння конопель			
	Пакистан (Anwar F. et al., 2006)	Канада (Vonapartis E. et al., 2015)	Україна (Oseyko M. et al., 2019)	США (Lan Y. et al., 2019)
Вміст:				
олії, %	26,9–31,5	26,9–30,6	33,3±0,5	24,3–28,1
лінолевої кислоти, % ^a	56,5–60,5	59,7	54,8–56,9	-
α-ліноленової кислоти, % ^a	16,9–20,0	17,0	16,0–18,5	-
протеїну, %	23,0–26,5	23,8–28,0	22,5±0,15	32,7–35,9
клітковини, %	17,0–20,5	-	32,3±0,2	-

Примітка. ^a – від загальної кількості жирних кислот.

Як видно із табл. 7.2:

– вміст олії в насінні конопель найбільший з регіону України (33,3 %), а найменший – з регіону США (24,3–28,1 %);

– вміст протеїну найбільший у насінні з регіону США (32,7–35,9 %), а найменший – з регіону України (22,5 %);

– вміст клітковини найбільший з регіону України (32,3 %), а найменший – з регіону Пакистану (17,0–20,5 %).

Вміст золи в насінні конопель із різних регіонів коливається від 5 до 7,6 % (Anwar F. et al., 2006; Vonapartis E. et al., 2015; Lan Y. et al., 2019).

Як видно із даних табл. 7.3 і 7.4, найбільший вміст фосфору виявлено в насінні з регіону України, а найменший – з регіону США. Що стосується феруму і цинку, то їх зареєстровано більше в насінні з регіону Румунії, а найменше – з регіону США. Мангану виявилось більше в насінні з регіону США, а найменше – з регіону України.

Таблиця 7.3. Вміст макроелементів у насінні конопель

Показник	Регіон виробництва насіння конопель	
	Україна (Oseyko M. et al., 2019)	США (Lan Y. et al., 2019)
Фосфор, г/кг	8,9	4,1
Кальцій, г/кг	0,9	-
Калій, мг/кг	-	-
Магній, г/кг	2,4	3,4

Таблиця 7.4. Вміст мікроелементів у насінні конопель

Показник	Регіон виробництва насіння конопель		
	Румунія (Mihos M. et al., 2013)	Україна (Oseyko M. et al., 2019)	США (Lan Y. et al., 2019)
Ферум, мг/кг	130–164	74,7	46,7
Цинк, мг/кг	42–57	56,1	28,2
Кобальт, мг/кг	-	0,5	-
Манган, мг/кг	89–108	59,4	169,1
Купрум, мг/кг	10–12	-	29,0
Нікель, мг/кг	1,6–6,1	-	41,0
Хром, мкг/кг	598–877	-	-
Молібден, мкг/кг	265–652	-	-
Плюмбум, мкг/кг	217–626	-	-

Узагальнені дані підтверджують, що компонентний склад і біологічна цінність насіння конопель залежить від регіону, умов вирощування та очевидно від якості насінневого матеріалу. Науковцям-селекціонерам слід звернути належну увагу на вдосконалення існуючих та розроблення нових сортів промислових конопель, залежно від їх основного та функціонального призначення (Oseyko M. et al., 2021).

7.3. Склад та показники якості насіння промислових конопель вітчизняної селекції

Насіння промислових конопель набуває все більшого попиту в харчуванні людини. До якості харчових продуктів висуваються найбільш жорсткі вимоги порівняно з будь-якими іншими промисловими виробами, оскільки від них безпосередньо залежить стан нашого здоров'я.

Для дослідження обрано насіння промислових конопель сорту Глесія, яке застосовують для переробки в харчові продукти такі, як ядро, олія, борошно,

білковий концентрат та клітковина. У рамках науково-технічної співпраці з ТОВ “Десналенд” (м. Глухів Сумської області) виконували дослідження на підприємстві, де переробляли дві партії насіння врожаю 2017 року сорту Глесія. Одна з партій (зразок № 1) була вирощена в умовах Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (с. Сад Сумської області), а друга (зразок № 2) – в умовах ІЛК НААН (м. Глухів Сумської області). Досліджували показники якості та склад двох зразків цього сорту, а також насіння промислових конопель сорту Гляна, вирощене в умовах ТОВ “Науково-дослідний інститут сої” (нині ТОВ “Інститут органічного землеробства”) агропромислової групи “Арніка” (м. Глобине Полтавської області) шляхом органічного землеробства.

Органолептичні та фізико-хімічні показники зразків визначали за стандартними та галузевими методиками.

7.3.1. Показники якості насіння промислових конопель сорту Глесія

Колір обох зразків був властивий насінню конопель, запах – здоровому насінню конопель, що відповідає вимогам ДСТУ 7695:2015 “Насіння конопель. Технічні умови” (табл. 7.5).

Таблиця 7.5. Фізико-хімічні показники якості насіння промислових конопель сорту Глесія

Показник	Зразок № 1	Зразок № 2	За ДСТУ 7695:2015
Масова частка вологи, %	8,36	8,38	не більше 11,00
Чистота насіння, %	98,63	96,68	не менше 90,00
Масова частка олії в перерахунку на суху речовину, %	33,62	33,33	не менше 30,00
Кислотне число, мг КОН/г	2,80	3,30	не більше 3,00
Вміст насіння рицини	не виявлено		не дозволено
Вміст насіння отруйних бур'янів	не виявлено		не дозволено
Зараженість шкідниками зерна	не виявлено		не дозволено

Як бачимо з даних табл. 7.5, майже всі показники якості відповідають вимогам ДСТУ 7695:2015, крім кислотного числа олії, виділеної з насіння зразка № 2 та підвищеного кислотного числа зразка № 1, що пов'язано з тривалим зберіганням (11 місяців) насіння перед дослідженням. Це свідчить про недоско-

налість технології зберігання насіння конопель.

Відомо, що традиційне аграрне виробництво застосовує пестициди для підвищення врожайності культур (фунгіциди, гербіциди, інсектициди, акарициди, мітіциди, родентициди). Крім того, доволі забруднене навколишнє середовище (стан ґрунту, води та повітря) може спричиняти підвищення токсичності насіння промислових конопель. Тому й було досліджено вміст токсичних елементів, мікотоксинів, радіонуклідів, пестицидів у насінні конопель (табл. 7.6).

Таблиця 7.6. Уміст шкідливих речовин у насінні промислових конопель сорту Глесія

Показник	Зразок № 1	Зразок № 2	Максимально допустимий рівень за ДСТУ 7695:2015
Токсичні елементи, мг/кг:			
свинець	0,050	0,002	0,50
кадмій	0,000	0,010	0,10
арсен	<0,100	<0,100	0,20
ртуть	<0,0002	<0,0002	0,03
мідь	0,000	0,013	10,00
цинк	0,140	0,100	50,00
Мікотоксини, мг/кг:			
афлатоксин В ₁	0,000	0,000	0,005
зеараленон	0,01	0,01	1,00
Т-2 токсин	0,00	0,00	0,10
Радіонукліди, Бк/кг:			
стронцій-90	0,00	0,00	20,00
цезій-137	2,80	2,30	50,00
Пестициди, мг/кг	не виявлено	не виявлено	Вміст пестицидів не повинен перевищувати граничнодопустимих рівнів, установлених у МБТи СН № 5061

Отримані дані підтверджують безпечність зразків насіння промислових конопель сорту Глесія 2017 року врожаю та можливість їх переробки в харчові конопляні продукти. Оскільки насіння промислових конопель сорту Глесія вільне від токсичних елементів, то вміст даних речовин у продуктах переробки цього насіння не визначали.

Додатково проведено перевірку деяких фізико-хімічних показників, характерних для білково-олійних культур, а також мінерального, вітамінного (табл.

7.7), амінокислотного (табл. 7.8) складу.

Дослідження якості насіння промислових конопель як сировини для харчових продуктів було б неповним без визначення ГМО. Генетичної модифікації у зразках насіння промислових конопель сорту Глесія не виявлено.

Таблиця 7.7. Характеристика фізико-хімічних показників якості насіння промислових конопель, які не передбачені ДСТУ 7695:2015

Показник	Зразок № 1	Зразок № 2	Дані наукової літератури (Vonapartis E. et al., 2015; Клевцов К. М., 2015; Мінос М. et al., 2012)
1	2	3	4
Насипна маса, г/л	556,50	535,00	513,00
Маса 1000 насінин, г	18,23	17,92	17,72
Щільність укладання, %	65,65	58,24	-
Шпаруватість, %	34,35	41,76	82,33
Забезпеченість повітрям, см ³ /г	0,62	0,78	-
Масова частка золи, %*	4,99	5,91	2,5–7,0
Масова частка протеїну, %*	24,70	22,54	17,0–28,0
Масова частка клітковини, %*	36,85	32,25	14,0–38,8
Масова частка вітамінів, мг/100 г:			
В ₁	1,21	не визначали	0,90
В ₂	0,07		1,10
В ₃ (РР)	4,10		2,50
В ₉	36,10		-
С	7,20		1,40
Масова частка мінеральних речовин*:			
фосфор, г/кг	8,35	8,90	-
кальцій, г/кг	0,82	0,86	1,44–9,55
магній, г/кг	2,57	2,42	2,37–6,94
ферум, мг/кг	87,68	74,71	113,3–240,0
цинк, мг/кг	58,16	56,08	4,20–9,40
кобальт, мг/кг	0,51	0,52	-
манган, мг/кг	69,51	59,38	6,30–11,00

Примітка. * – у перерахунку на сухі речовини.

Оскільки насіння конопель відносять до білково-олійних культур, то було проведено амінокислотний аналіз насіння промислових конопель (табл. 7.8).

Таблиця 7.8. Амінокислотний склад насіння промислових конопель
сорту Глесія

Амінокислота	“з” чи “нз”**	Зразок № 1		Зразок № 2	
		кількість, мг/100 г	%	кількість, мг/100 г	%
Аланін	“з”	735	5,27	642	5,52
Аргінін	“з”**	1647	11,80	1409	12,11
Аспаргінова кислота	“з”	1359	9,74	1100	9,45
Валін	“нз”	445	3,19	351	3,02
Гістидин	“з”**	413	2,96	326	2,80
Гліцин	“з”	740	5,30	644	5,54
Глутамінова кислота	“з”	2870	20,56	2370	20,37
Ізолейцин	“нз”	374	2,68	323	2,78
Лейцин	“нз”	913	6,54	791	6,79
Лізін	“нз”	788	5,64	661	5,68
Метіонін	“нз”	302	2,17	263	2,26
Пролін	“з”	673	4,82	593	5,09
Серин	“з”	824	5,90	565	5,64
Тирозин	“з”	469	3,36	383	3,29
Треонін	“нз”	555	3,98	438	3,77
Триптофан	“нз”	не визначали			
Фенілаланін	“нз”	653	4,68	525	4,51
Цистеїн	“з”	197	1,41	163	1,40
Всього		13958	100,00	11639	100,00

Примітка. * “з” – замінна амінокислота; “нз” – незамінна амінокислота.

** – для дітей незамінна.

Доведено, що насіння конопель має унікальний білковий склад за рахунок умісту незамінних амінокислот: валіну, ізолейцину, лейцину, лізину, метіоніну, треоніну, триптофану, фенілаланіну. У насінні конопель вміст триптофану становить 390 мг на 100 г (<http://nectar.com.ua>).

7.3.2. Показники якості насіння промислових конопель сорту Гляна

Відповідно до Закону України “Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції та сировини” органічну рослинну сировину вирощують без застосування хімічних добрив, пестицидів, ГМО, консервантів тощо. Всі етапи вирощування та переробки органічної сировини передбачають застосування методів, принципів та правил, визначених Законом України “Про виробництво та обіг органічної сільськогосподарської продукції та сировини” для

одержання натуральної (екологічно чистої) продукції, а також збереження та відновлення природних ресурсів.

Традиційну (неорганічну) сировину виготовляють за загальноприйнятими технологіями в аграрному виробництві, застосовуючи хімічні засоби захисту та синтетичні мінеральні добрива. При переробці такої сировини в харчові продукти можна додавати консерванти, штучні барвники, стимулятори росту, гормони, антибіотики, ароматизатори, стабілізатори, підсилювачі смаку тощо, відповідно до чинного законодавства.

Перехідний (конверсійний) період – це час переходу від виробництва традиційної (неорганічної) продукції (сировини) до виробництва органічної продукції (сировини). Його тривалість зазвичай становить 1–3 роки.

Визначено показники безпеки та фізико-хімічні показники насіння промислових конопель сорту Гляна врожаю 2017 року, вирощеного шляхом органічного та конверсійного виробництва (табл. 7.9, 7.10).

Таблиця 7.9. Фізико-хімічні показники якості насіння промислових конопель сорту Гляна

Показник	Вміст у насінні промислових конопель		Норми за ДСТУ 7695:2015
	органічному	конверсійному	
Масова частка вологи, %	7,70	7,39	<11,00
Масова частка протеїну, %*	26,68	25,72	-
Масова частка клітковини, %*	30,24	24,69	-
Масова частка олії, %*	33,45	33,60	>30,00
Масова частка золи, %*	4,47	4,72	-
Вміст домішок, %	0,10	0,20	<10,00
Вміст насіння рицини	0,00	0,00	не дозволено
Вміст насіння отруйних бур'янів	0,00	0,00	
Зараженість шкідниками зерна	0,00	0,00	
Маса 1000 насінин, г	16,94	20,26	-
Кислотність олії, %	1,13	1,23	<3,00
Йодне число, г/100 г	152,00	154,00	-
Вміст фосфоровмісних речовин, мг/кг	268,00	150,00	-

Примітка. * – у перерахунку на суху речовину.

Таблиця 7.10. Вміст токсичних елементів у насінні промислових конопель сорту Гляна

Масова частка токсичного елемента, мг/кг	Вміст у насінні промислових конопель		Максимально допустимий рівень за ДСТУ 7695:2015
	органічному	конверсійному	
Плюмбум	<0,22	<0,22	<0,50
Кадмій	0,005	0,003	<0,10
Арсен	<0,10	<0,10	<0,20
Купрум	12,36	12,49	<10,00
Цинк	55,43	51,57	<50,00

Колір обох зразків був властивий насінню конопель, запах – характерний здоровому насінню конопель, що відповідає вимогам ДСТУ 7695:2015 “Насіння конопель. Технічні умови”.

Практично за всіма показниками якості насіння органічних промислових конопель переважає конверсійне, особливо за вмістом фосфоровмісних речовин.

Дані досліджень свідчать про те, що вміст Pb, Cd та As у насінні не перевищує норм, а вміст Cu та Zn дещо не відповідає вимогам ДСТУ 7695:2015. Це підтверджує потужну здатність рослини конопель до фітореMediaції.

Досліджено вміст токсинів у насінні промислових конопель, результати яких наведено в табл. 7.11. Очевидною є відсутність токсинів у насінні як органічних, так і конверсійних промислових конопель.

Таблиця 7.11. Вміст токсинів у насінні промислових конопель сорту Гляна

Показники, мг/т	Вміст у насінні промислових конопель		Граничні норми за європейською нормативною документацією, мг/т	Норми за ДСТУ 7695:2015, мг/кг
	органічному	конверсійному		
Афлатоксин В ₁	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,005
Афлатоксини (В ₁ , В ₂ , G ₁ , G ₂)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	-
Деоксиніваленол (вомітоксин)	< 250,0	< 250,0	< 250,0	-
Охратоксин А	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-
Зеараленон	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 1,0
Т-2/НТ-2 токсин	< 25,0	< 25,0	< 25,0	< 0,1
Фумозініни (В ₁ + В ₂)	< 250,0	< 250,0	< 250,0	-

Визначення вмісту пестицидів (хлорорганічних та фосфорорганічних, піретроїдів, карбаматів, триазолів та інших) у зразках органічного і конверсійного насіння промислових конопель показало, що сліди пестицидів у даних зразках відсутні.

7.4. Технологічні параметри оброщування насіння промислових конопель

Конопляне ядро – цінний продукт, що належить до “суперфудів”. У технології комплексної переробки насіння конопель одержання ядра є самостійним технологічним процесом. Основна мета оброщування – це звільнення м’якого насінневого ядра від захисної твердої оболонки. По-перше, це підвищує засвоюваність корисних речовин, на які багате насіння, по-друге, дозволяє покращити смакові якості продукту.

7.4.1. Визначення впливу технологічних параметрів процесу оброщування на чистоту ядра

С. П. Коропченком та Д.О. Петраченком (2018) розроблено пристрій для оброщування насіння конопель (рис. 7.2), що дає можливість переробляти насіння, в якому міститься до 15 % органічних сміттєвих домішок. Однак чим більша засміченість насіння, тим складніший процес розділення рушанки та очищення ядра, а наявність великої кількості домішок (до 15 %) безумовно негативно впливає на чистоту готового ядра. Як показує практика, наявність в оброщеному насінні навіть незначної (2–3 %) частини сміттєвих домішок (лушпиння, недорощеного насіння, насінневих домішок інших культур) істотно погіршує смакові відчуття під час вживання продукту. Тому питання дослідження чистоти оброщеного ядра є актуальним.

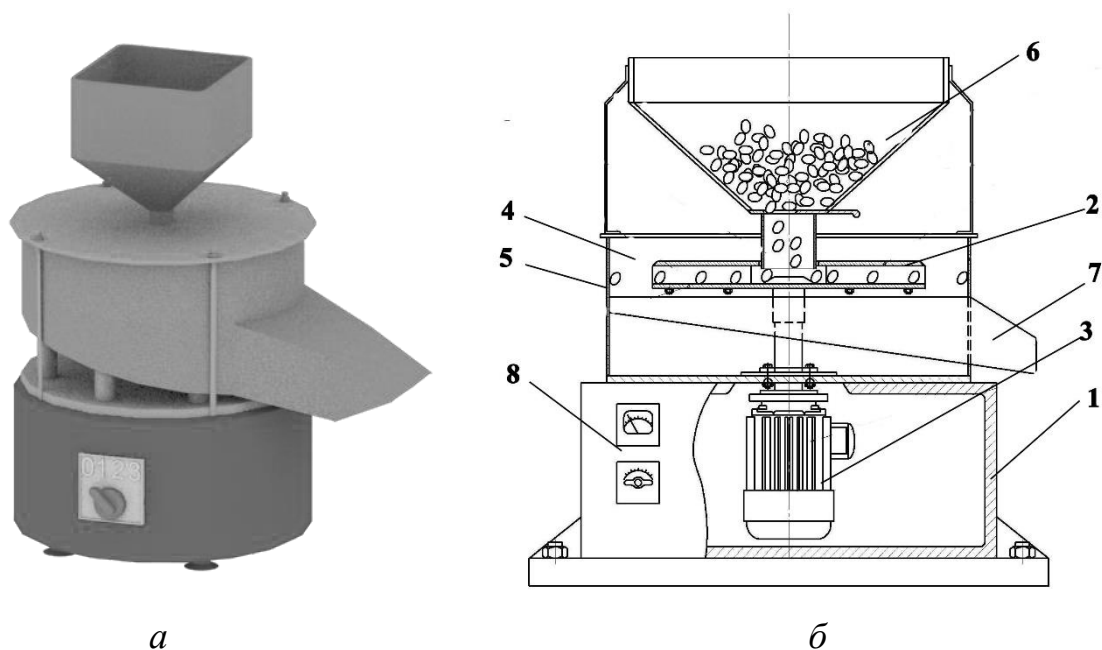


Рис. 7.2. Пристрій для обрушування насіння конопель

a – загальний вигляд; *б* – схема:

- 1 – рама (станина, корпус, основа); 2 – робоче колесо; 3 – електродвигун;
 4 – робоча камера; 5 – відбійна дека; 6 – бункер; 7 – вивантажувальний лоток;
 8 – прилади керування

Насіння промислових конопель завантажували в бункер 6 пристрою для обрушування. Через патрубок та завантажувальний отвір у верхньому диску воно потрапляло на нижній диск 2. Насіння під дією відцентрових сил починало рухатися в горизонтальній площині на профільних каналах у напрямку відбійної деки 5, у момент контакту насінини з якою відбувалося руйнування плодової оболонки та вивільнення ядра. Рушанка падала на вивантажувальний лоток 7 та під дією вібрації виводилася з пристрою.

Наступним етапом було просіювання рушанки на ситах з круглими та довгастими отворами. Розділення за аеродинамічними властивостями проводили з використанням гравітаційного повітряного сепаратора з розімкнутим вертикальним повітряним циклом, який призначений для відділення легких домішок у процесі розділення насінневих сумішей.

Розділення за лінійними розмірами проводили з використанням установлених один над одним набору лабораторних сит з круглими та довгастими ро-

бочими отворами.

Насіння промислових конопель, яке призначено для обрушування, надходило зі складу зберігання. Вологість насіння становила $W=8,8-9,2$ %. Відповідно до робочої гіпотези про вплив геометричних розмірів насіння конопель на якість готового ядра, перед обрушуванням насіння поділяли на три фракції за шириною. Для цього використовували лабораторні сита з отворами довгастої форми розмірами $3,0 \times 20,0$ мм та $2,5 \times 20,0$ мм. У результаті одержали три фракції насіння: товщина понад 3,0 мм; менше 3,0–більше 2,5 мм; менше 2,5 мм. Досліджено кожну з фракцій.

До органічних сміттєвих домішок насіння конопель відносять кострицю, листя, насіння зернових, бобових, олійних культур, насіння бур'янів тощо. Для дослідження використовували насіння промислових конопель чистотою 99,0; 92,0 та 85,0 %.

Після обрушування чистого відкаліброваного насіння рушанку розбирали на складові для визначення відсоткового вмісту кожного окремого компонента в зразку. Після розділення одержаної проби вимірювали і фіксували вагу окремих компонентів. Далі виконували математичну обробку даних (Кошовий М. Д. та ін., 2010).

У процесі переробки одержали готове ядро, січку, недоруш та відходи (насіннева оболонка, пил, дрібно розмелене ядро, органічні домішки) – рис. 7.3.

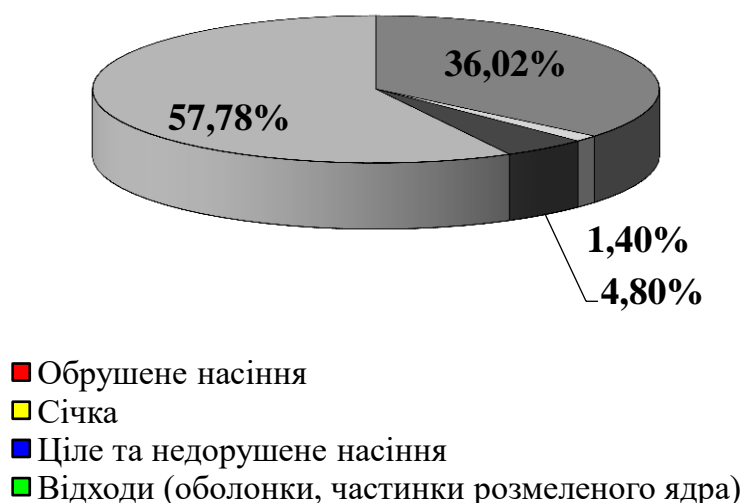


Рис. 7.3. Розподіл складових рушанки за фракціями

Відходи виробництва у вигляді оболонки та часток розмеленого насіння використовують на кормові, будівельні або енергетичні потреби. Ціле та недоручене насіння пускають на повторне оброщування. Процес виконують двічі.

Досліджено ступінь впливу фізико-механічних властивостей насіння та технологічних параметрів пристрою для оброщування на чистоту оброщеного ядра за допомогою багатофакторного експерименту (ПФЕ³). Умови експерименту та його фактори були визначені на основі результатів раніше проведених однофакторних дослідів.

У процесі проведення ПФЕ³ факторами, що досліджували, були частота обертання робочого колеса (X_1), чистота насіння (X_2), фракція насіння за шириною (X_3), табл. 7.12.

Таблиця 7.12. Рівні факторів та їх натуральні значення

Фактор	Натуральне значення	Інтервал варіювання	Натуральні рівні варіювання		
			верхній (+)	нульовий	нижній (-)
Частота обертання колеса, об/хв	X_1	500	2500	2000	1500
Чистота насіння, %	X_2	7	99	92	85
Фракція насіння (товщина), мм	X_3	0,5	понад 3	від 3,0 до 2,5	менше 2,5

Параметром оптимізації при проведенні експерименту було обрано показник – кількість сміттєвих домішок у готовому оброщеному насінні. Умови проведення експерименту та результати дослідження наведено в табл. 7.13.

Лінійне рівняння регресії має вигляд:

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+B_{1,2}X_1X_2+B_{1,3}X_1X_3+B_{2,3}X_2X_3. \quad (7.1)$$

Після проведення розрахунків одержали такі значення коефіцієнтів рівняння регресії:

$$\begin{aligned}
 B_0 &= 2,221; & B_{1,2} &= 0,362; \\
 B_1 &= -0,638; & B_{1,3} &= -0,002; \\
 B_2 &= -1,467; & B_{2,3} &= 0,130. \\
 B_3 &= -0,171;
 \end{aligned}$$

Далі числові значення коефіцієнтів підставляли в рівняння регресії:

$$Y = 2,221 - 0,638X_1 - 1,467X_2 - 0,171X_3 + 0,362X_{12} - 0,002X_{13} + 0,130X_{23}. \quad (7.2)$$

Таблиця 7.13. Умови проведення експерименту і результати досліджень

№ дослі- ду	Значення параметра оптимізації					Середнє	Дисперсія, S
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		
1	4,96	5,00	4,93	4,91	5,03	4,97	0,0024
2	2,98	3,04	2,95	3,03	3,05	3,01	0,0018
3	1,14	1,07	1,1	1,03	1,12	1,09	0,0019
4	0,57	0,54	0,49	0,51	0,39	0,5	0,0047
5	4,45	4,34	4,42	4,38	4,46	4,41	0,0025
6	2,36	2,39	2,30	2,38	2,41	2,37	0,0018
7	1,02	0,93	0,98	0,91	1,01	0,97	0,0023
8	0,40	0,53	0,45	0,48	0,42	0,46	0,0026

Наступним етапом статистичного аналізу була перевірка відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена, табличне значення якого за довірчої вірогідності $\alpha = 0,95$ та числа ступенів вільності $f = 4$ дорівнює $K_m = 0,62$.

Розрахункове значення критерію Кохрена $K_p = 0,23$:

$$0,23 < 0,62.$$

Умова виконується, тому досліді можна вважати відтворюваними.

Далі знаходимо дисперсію відтворюваності, дисперсію коефіцієнтів рівняння регресії, середньоквадратичне відхилення (табл. 7.14).

Таблиця 7.14. Результати статистичного аналізу отриманих даних

Дисперсія відтворюваності	Дисперсія всіх коефіцієнтів регресії	Середньоквадратичне відхилення
0,000628	0,000016	0,00396

За допомогою критерію Стюдента розраховуємо значимість коефіцієнтів рівняння регресії. Користуючись додатком (Кошовий М. Д. та ін., 2010), знаходимо табличне значення критерію Стюдента, яке за числа ступенів вільності $f = 32$ дорівнює $t_m = 2,04$. Розрахункові значення критерію Стюдента дорівнюють:

$$\begin{aligned} t_0 &= 560,60; & t_{1,2} &= 91,23; \\ t_1 &= -161,00; & t_{1,3} &= -0,25; \\ t_2 &= -370,20; & t_{2,3} &= 32,55. \\ t_3 &= -43,03; \end{aligned}$$

Таким чином, за даних умов проведення експерименту коефіцієнт $B_{1,3}$ не має впливу на параметр оптимізації Y , через що його виключено з даного рівняння. В остаточному варіанті рівняння регресії набуло вигляду:

$$Y = 2,221 - 0,638X_1 - 1,467X_2 - 0,171X_3 + 0,362X_{12} + 0,130X_{23}. \quad (7.3)$$

Придатність (адекватність) одержаної математичної моделі (рівняння регресії) перевірили за критерієм Фішера. Для цього знайшли розрахункове значення критерію Фішера як відношення дисперсії адекватності до дисперсії відтворюваності (табл. 7.15).

Таблиця 7.15. Результати розрахунку адекватності рівняння регресії

Дисперсія відтворюваності	Дисперсія адекватності	Розрахункове значення критерію Фішера
0,000628	0,0002	0,318

Користуючись додатком (Кошовий М. Д., 2010), визначаємо табличне значення критерію Фішера, яке за вірогідності $\alpha = 0,95$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_A = 1$ та числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_B = 32$ становить $F_m = 4,2$.

$$0,318 < 4,2$$

Згідно з умовою адекватності, розрахункове значення критерію Фішера менше табличного, що підтверджує придатність даної математичної моделі в межах досліджуваних факторів.

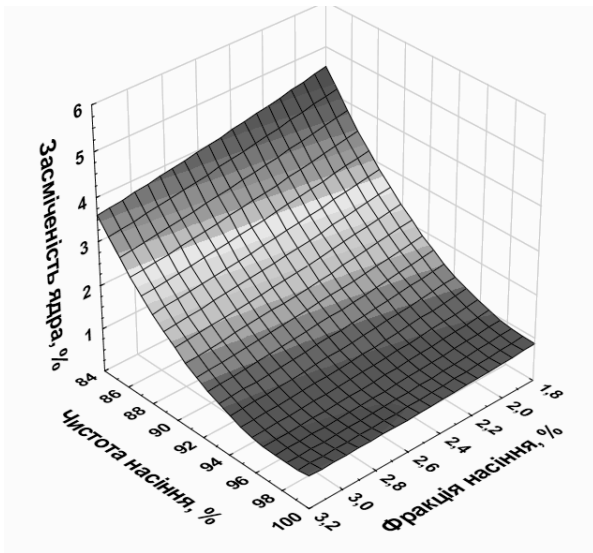
Залежність зміни чистоти готового обрешеного ядра від факторів, що досліджували, зображена на рис. 7.4 у вигляді поверхней відгуку.

Аналіз одержаного рівняння регресії (7.3) показує, що на засміченість готового ядра впливають три фактори, про що свідчать відповідні коефіцієнти: зі зменшенням чистоти насіння, що надходить на обрешування; зі зменшенням частоти обертання робочого органа та зменшенням фракції насіння – засміченість готового ядра збільшується. Для встановлених значень зміни факторів найбільший вплив на кількість сміттєвих домішок у готовому продукті має чистота насіння (X_2), яке надходить на обрешування. Далі за ступенем впливу слідує частота обертання робочого органа (X_1). Фактор – фракція насіння (X_3) має найменший вплив на засміченість серед досліджуваних факторів.

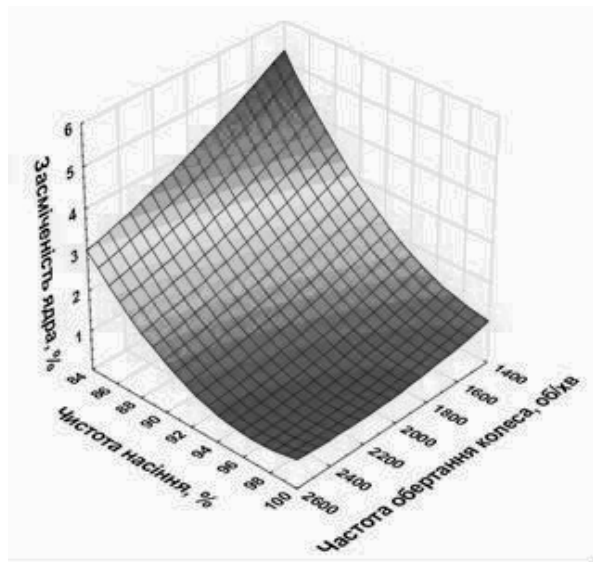
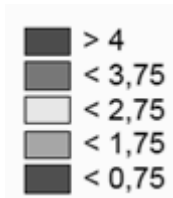
Аналіз представлених даних (рис.7. 4,*a*) показує, що при чистоті насіння конопель 99,0 % вплив фракції насіння на засміченість готового ядра нівелюється: одержано стабільно чисте ядро, засміченість якого не перевищує 1,0 %. Зниження чистоти насіння до 85,0 % за одночасного зменшення розміру насіння (менше 2,5 мм) суттєво підвищує засміченість готового продукту до 5,5 %.

Зображення на рис. 7.4,*б* свідчить про те, що за чистоти насіння 99,0 %, дослідженого діапазону частоти обертання робочого органа (1500–2500 хв⁻¹) одержано ядро з мінімальним умістом сміттєвих домішок – до 1,0 %. Зниження рівня чистоти насіння до 85,0 % та обертів робочого органа до 1500 хв⁻¹ максимально підвищують засміченість ядра до 5,5 %.

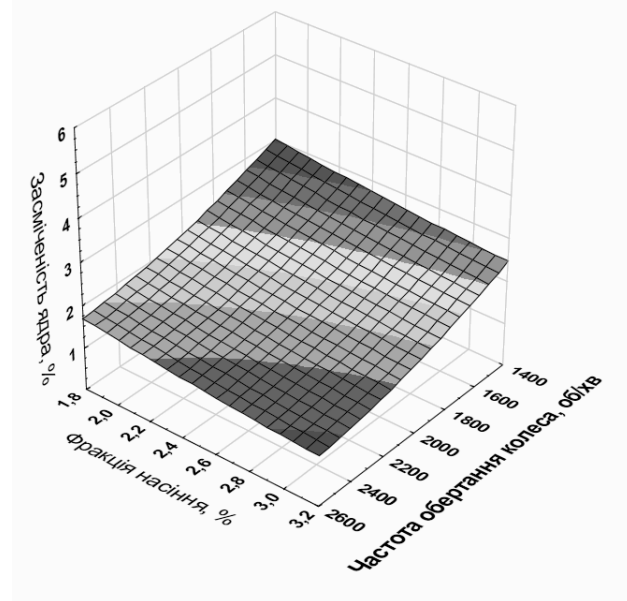
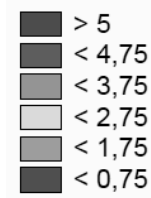
Аналіз результатів (рис. 7.4,*в*) підтверджує, що зі зниженням обертів робочого колеса (1500 хв⁻¹) та зменшенням розміру насіння (менше 2,5 мм) збільшується засміченість ядра максимально 3,0 %.



a



б



в



Рис. 7.4. Залежність чистоти готового обрушеного ядра від досліджуваних факторів:

a – чистота насіння–фракція насіння; *б* – чистота насіння–частота обертання робочого органа; *в* – фракція насіння–частота обертання робочого органа

Незважаючи на відмінну роботу відцентрового обрушувача із сировиною з максимальною засміченістю (15,0 %), все ж таки необхідно прагнути до міні-

мального вмісту сміттєвих домішок в оброблюваному насінні. Лише з чистого насіння (99,0 %) можна одержати обрушене ядро, засміченість якого не перевищує 1,0 %. Доведено також, що вплив зміни фракції насіння практично відсутній.

7.4.2. Визначення впливу технологічних параметрів процесу обрушування на вихід ядра

Крім чистоти готового продукту, важливим параметром процесу обрушування насіння конопель є його вихід.

Задачею дослідження було одержання максимально можливої кількості конопляного ядра. У ході досліджень визначено перелік технологічних факторів, що впливають на вихід ядра: початкова вологість сировини, її чистота та частота обертання робочого органа пристрою.

На першому етапі досліджень визначали залежність виходу обрушеного насіння конопель від початкової вологості сировини за сталих чистоті насіння та обертах робочого органа машини. Обрушування насіння конопель здійснювали на пристрої для обрушування (рис. 7.2) за таких умов: відбрали 1 кг насіння промислових конопель вологістю 6,0–21,0 %, чистотою – 99,0 % завантажували в пристрій для обрушування конопель. Частота обертання робочого органа – $1850 \pm 50 \text{ хв}^{-1}$, час обрушування – 2 хв. Одержану рушанку просіювали на лабораторних ситах. Недоручене насіння конопель повторно пропускали через пристрій для обрушування. Процес виконували двічі.

Результати показують, що підвищення вологості насіння промислових конопель з 7,0 до 21,0 % сприяє підвищенню виходу ядра з 30,1 до 41,8 % (рис. 7.5). Оскільки насіння на обрушування надходить зі стадії зберігання з вологістю 8,0–11,0 %, то для проведення досліджень його додатково зволожували. Подальше зволоження, яке перевищує 21,0 %, не збільшує вихід готового продукту.

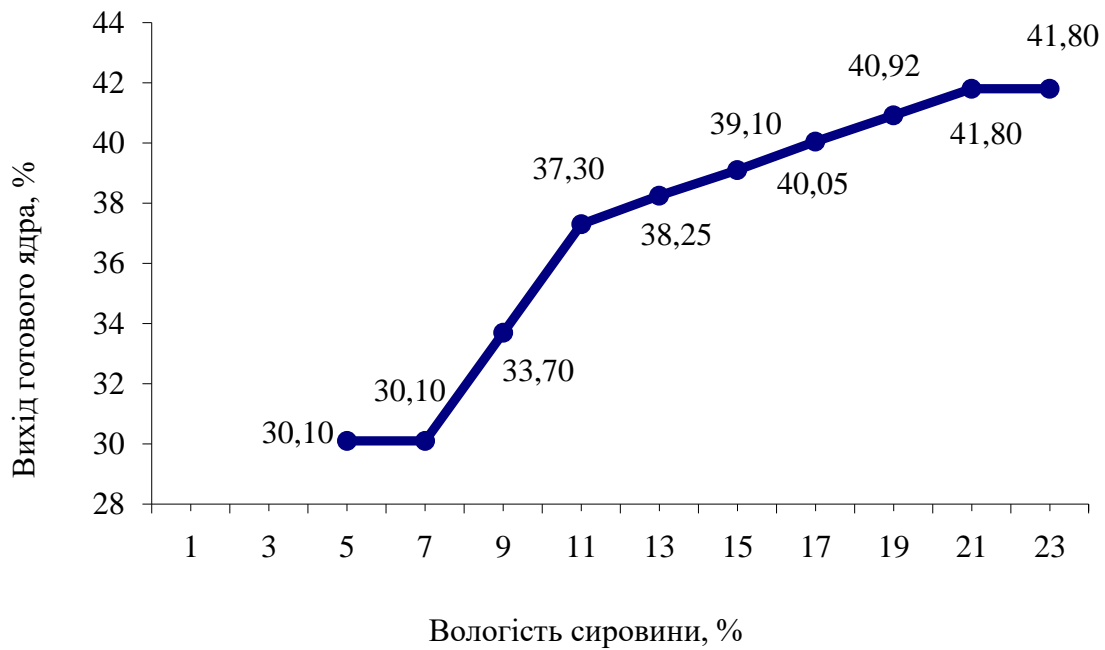


Рис. 7.5. Залежність виходу конопляного ядра від вологості сировини

На другому етапі досліджень необхідним було встановити залежність виходу конопляного ядра від частоти обертання робочого органа пристрою для обрешування за сталих чистоти насіння та початкової вологості сировини. Обрешування насіння конопель також здійснювали на пристрої для обрешування (рис. 7.2) в таких умовах: 1 кг насіння промислових конопель вологістю 11,0 %, чистотою – 99,0 % завантажували в пристрій для обрешування конопель. Частота обертання робочого органа – $1000\text{--}2500 \text{ хв}^{-1}$, час обрешування – 2 хв. Одержану рушанку просіювали на лабораторних ситах. Недорешене насіння конопель повторно пропускали через пристрій для обрешування. Процес виконували двічі. Результати досліджень наведено на рис. 7.6.

Як відомо, процес обрешування насіння заснований на тому, що насінина під дією відцентрової сили вдаряється об відбійну деку, оболонка розколюється і ядро вивільняється. Відповідно, чим швидше рухається робочий орган пристрою для обрешування, тим більшим очікується вихід конопляного ядра. Це підтверджують дані, наведені на рис. 7.6. Оскільки насіння конопель має високий вміст олії, а його ядро досить м'яке, то збільшення кількості обертів робо-

чого органа призводить до значних руйнувань одержаного ядра і підвищує втрати готового продукту, відповідно. Тому оптимальною є частота обертання робочого органа 1850 хв^{-1} .



Рис. 7.6. Залежність виходу обрубленого насіння конопель від частоти обертання робочого органа

На третьому етапі досліджень визначали залежність виходу конопляного ядра від чистоти сировини за сталих вологості насіння та обертах робочого органа машини. Обрушування насіння конопель здійснювали за таких умов: 1 кг насіння промислових конопель вологістю 11,0 %, чистотою – 97,0–99,0 % завантажували в пристрій для обрушування конопель. Частота обертання робочого органа – $1850 \pm 50 \text{ об./хв}$, час обрушування – 2 хв. Одержану рушанку просіювали на лабораторних ситах. Недоручене насіння конопель повторно пропускали через пристрій для обрушування. Процес повторювали двічі.

Наведені на рис. 7.7 дані показують, що чистота сировини не має значного впливу на вихід обрубленого насіння конопель за умови, що вона повинна знаходитися в межах 97–99 %.

Дослідженнями, які представлені раніше, виявлено, що основними техно-

логічними факторами, які впливають на ефективність процесу обрешування, є вологість сировини та швидкість обертання робочого органа пристрою.



Рис. 7.7. Залежність виходу обрешеного насіння конопель від чистоти сировини

З метою вивчення ступеня впливу технологічних параметрів обрешування насіння конопель на вихід цільового продукту, а також на скорочення терміну пошуку ефективних умов проведення цього процесу і кількості дослідів було застосовано метод повного факторного планування експерименту.

На основі апріорної інформації, серії пошукових дослідів, техніко-економічних міркувань і відповідності цільового продукту нормативним документам були встановлені технологічні фактори, які визначають ефективність даного технологічного процесу:

X_1 – вологість насіння конопель, %;

X_2 – частота обертання робочого органа, хв^{-1} ;

X_3 – чистота насіння конопель, %.

Критерієм оцінки впливу технологічних параметрів на процес обрешування насіння конопель обрано вихід обрешеного ядра – Y . Задача полягала в проведенні повного факторного експерименту типу 2^3 , матриця планування

якого наведена в табл. 7.16.

Таблиця 7.16. Матриця планування експерименту

Характеристика межі	Технологічні фактори		
	X_1	X_2	X_3
Основний рівень (0)	13,5	1750	98
Інтервал варіювання	7,5	750	1
Верхній рівень (+1)	21,0	2500	99
Нижній рівень (-1)	6,0	1000	97
Номер досліджу:			
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Експерименти, які проведені в даній області, дали задовільні результати щодо якості та параметра оптимізації (функції відгуку) – табл. 7.17. Вихід конопляного ядра, одержаний за базовим дослідом, становив 35,8 %.

Таблиця 7.17. Реалізація матриці планування експерименту процесу обрушування насіння конопель

Номер досліджу	Технологічні фактори			Функція відгуку	
	X_1	X_2	X_3	Y^e	Y^p
1	6	1000	97	29,8	29,6
2	21	1000	97	39,0	39,2
3	6	2500	97	30,1	30,3
4	21	2500	97	41,0	40,8
5	6	1000	99	29,3	29,5
6	21	1000	99	41,5	41,3
7	6	2500	99	29,5	29,3
8	21	2500	99	41,8	42,0

За допомогою математичної обробки експериментальних даних, яку проведено за матрицею планування, побудували інтерполяційну формулу процесу обрушування насіння конопель в області, що досліджувалася, загальний вигляд якої зображено рівнянням регресії (7.1).

Змінні, які закодовані, пов'язані з вологістю сировини, частотою обертання робочого органа та чистотою насіння:

$$X_{01} = \frac{X_{01} - X_{01}}{X_{01}}; \quad X_{02} = \frac{X_{02} - X_{02}}{X_{02}}; \quad X_{03} = \frac{X_{03} - X_{03}}{X_{03}},$$

де X_{01}, X_{02}, X_{03} – натуральні значення змінної на нульовому рівні.

Коефіцієнти регресії визначали за формулою:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji} Y_i^e, \quad (7.4)$$

$$b_0 = 35,250;$$

$$b_{12} = 0,225;$$

$$b_1 = 5,575;$$

$$b_{13} = 0,550;$$

$$b_2 = 0,350;$$

$$b_{23} = -0,225.$$

$$b_3 = 0,275;$$

Для встановлення значущості коефіцієнта розраховано оцінку дисперсності:

$$S_b^2 = \frac{S_{\bar{y}}^2}{N}, \quad (7.5)$$

де $S_{\bar{y}}^2$ – оцінка однорідних дисперсій декількох серій паралельних дослідів:

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S_y^2}{2}; \quad (7.6)$$

N – число дослідів ПФЕ; $N = 8$.

Оцінка дисперсії для кожного досліду:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (Y_{ij} - Y_j)^2, \quad (7.7)$$

де k – кількість паралельних дослідів, проведених при однакових умовах; $k = 2$;

j – номер досліду;

i – номер параметра.

Серед усіх оцінок дисперсій знаходимо найбільшу, за допомогою якої перевіряємо відтворення дослідів:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = 0,356. \quad (7.8)$$

Ця величина є розрахунковим значенням критерію Кохрена. Значення критерію Кохрена G за додатком (Кошовий М. Д. та ін., 2010) відповідає довірчій вірогідності $P = 0,95$, з якою приймається гіпотеза про відтворення дослідів.

$G_{табл.} = 0,680$ – значення критерію Кохрена, знайдене для таких параметрів: $N = 8$; $f = k - 1 = 2 - 1 = 1$, де f – число ступенів вільності.

Досліди допускаємо відтвореними, якщо $G_p \leq G_{табл.}$. Згідно з додатком (Кошовий М. Д. та ін., 2010) $G_{табл.} = 0,680$; $0,356 < 0,680$ і досліди є відтворюваними.

Похибка у визначенні коефіцієнтів регресії дорівнюватиме:

$$S_b = \sqrt{\frac{S_{\bar{y}}^2}{N}} = 0,042. \quad (7.9)$$

Коефіцієнт регресії вважається значимим за умови, якщо:

$$|b| \geq S_b \cdot t, \quad (7.10)$$

де t – значення критерію Стьюдента.

Користуючись згаданим додатком, знаходимо, що для довірчої вірогідності $P = 0,95$ і числа ступеня вільності $f = N \cdot (k - 1) = 8 \cdot (2 - 1) = 8$, табличне значення критерію Стьюдента – 2,31, а $S_b \cdot t = 0,097$:

$$\begin{aligned} |b_0| &= 35,250 > 0,097; & |b_{12}| &= 0,225 > 0,097; \\ |b_1| &= 5,575 > 0,097; & |b_{13}| &= 0,550 > 0,097; \\ |b_2| &= 0,350 > 0,097; & |b_{23}| &= |-0,225| > 0,097. \\ |b_3| &= 0,275 > 0,097; \end{aligned}$$

Таким чином, усі коефіцієнти є значимими.

Одержане рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 35,250 + 5,575 \cdot X_1 + 0,350 \cdot X_2 + 0,275 \cdot X_3 + 0,225 \cdot X_1 \times X_2 + 0,550 \cdot X_1 \times X_3 - 0,225 \cdot X_2 \times X_3 \quad (7.11)$$

Для перевірки адекватності рівняння регресії, тобто його здатності адекватно описувати поверхню відгуку, визначаємо експериментальне значення критерію Фішера за формулою

$$F_p = \frac{S_{ad.}^2}{S_y^2}, \quad (7.12)$$

де $S_{ad.}^2$ – дисперсія адекватності розрахована за формулою:

$$S_{ad.}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{j=1}^8 (y_j^e - y_j^p)^2; \quad (7.13)$$

де B – число коефіцієнтів регресії рівняння, включаючи вільний член = 7;

y_j^e, y_j^p – експериментальне і розрахункове значення функції відгуку в j -му експерименті (табл. 7.14);

S_y^2 – дисперсія відтворення:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,028. \quad (7.14)$$

Тоді

$$F_p = \frac{S_{ad.}^2}{S_y^2} = 1,422.$$

Значення критерію Фішера не перевищує табличного значення (Кошовий М. Д. та ін., 2010):

$$F_p \leq F;$$
$$1,422 < 238,88.$$

Відповідно рівняння регресії є адекватним.

Одержана емпірична залежність являє собою залежність виходу конопляного ядра як функцію від вологості сировини, частоти обертання робочого органа та чистоти насіння. Аналіз одержаного рівняння регресії дозволяє зробити такі висновки:

- 1) найбільш значущим фактором є вологість сировини;
- 2) вплив взаємодії вологості та чистоти сировини більший, ніж просто чистоти;
- 3) від'ємний знак коефіцієнта регресії вказує на те, що зі збільшенням фактора величина параметра оптимізації буде зменшуватися.

У процесі обрушування насіння промислових конопель відбувається очищення ядра від оболонки; зменшення вологості готового продукту порівняно зі сировиною; збільшення частоти обертання робочого органа понад

2500 хв⁻¹ не приводить до підвищення виходу обрушеного насіння. Температура проведення процесу обрушування насіння промислових конопель не має технологічного впливу, тому рекомендовано проводити обрушування при температурі навколишнього середовища. Таким чином, обрушування насіння конопель проводять при вологості від 6,0 до 11,0 %, чистоті 99,0 % та частоті обертання робочого органа 1850 хв⁻¹.

Відповідно до одержаних експериментальних закономірностей виробництва конопляного ядра та встановлених доцільних параметрів цього процесу розроблено структурну схему (рис. 7.8). Для одержання виходу конопляного ядра понад 30 % необхідно використовувати насіння вологістю 11 % з чистотою 99 %. Після обрушування отримують рушанку (рис. 7.9), яку просіюють на сито-повітряному сепараторі для розділення на готове ядро (далі – на фасування в дой-паки), січку, відходи (використовують на корм тваринам або для виробництва паливних пелетів чи гранул) та недоруш (недорушене та ціле насіння, яке повертають на обрушування або направляють на виробництво олії).

Запропонована технологія дозволяє отримати близько 35 % готового продукту, до того ж побічні продукти не утилізують, а використовують на інші цілі, що обумовлює ресурсозбереження. Відзначимо, що коноплі – це дводольна рослина (<https://uk.wikipedia.org>), як наслідок при виробництві обрушеного насіння одержують не цілісне ядро, а у вигляді двох дольок; від удару ці дольки можуть подрібнитися на менші частинки.

7.4.3. Характеристика готового продукту – конопляного ядра

З метою встановлення якості ядра було досліджено його органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники та склад, а також зроблено порівняльний аналіз зі складом початкової сировини. Всі показники якості конопляного ядра визначали за стандартними та галузевими методиками.

В Україні відсутній державний стандарт на обрушене насіння конопель. Технічні умови ТУ У 10.3-16304966-412:2015 “Насіння коноплі та продукти його переробки” мають такий асортимент: “насіння коноплі”, “насіння коноплі

подрібнене” та “висівки конопляні”; розповсюджуються тільки для сортів ЮСО-31, Безнаркотичний, Гляна, Золотоніський 15, Зоряна. Що стосується якості та безпечності продуктів, то ТУ містять виключно таку інформацію: органолептичні показники якості; вміст вологи, сміттєвих домішок, важких металів та мікотоксинів; зараженість шкідниками.

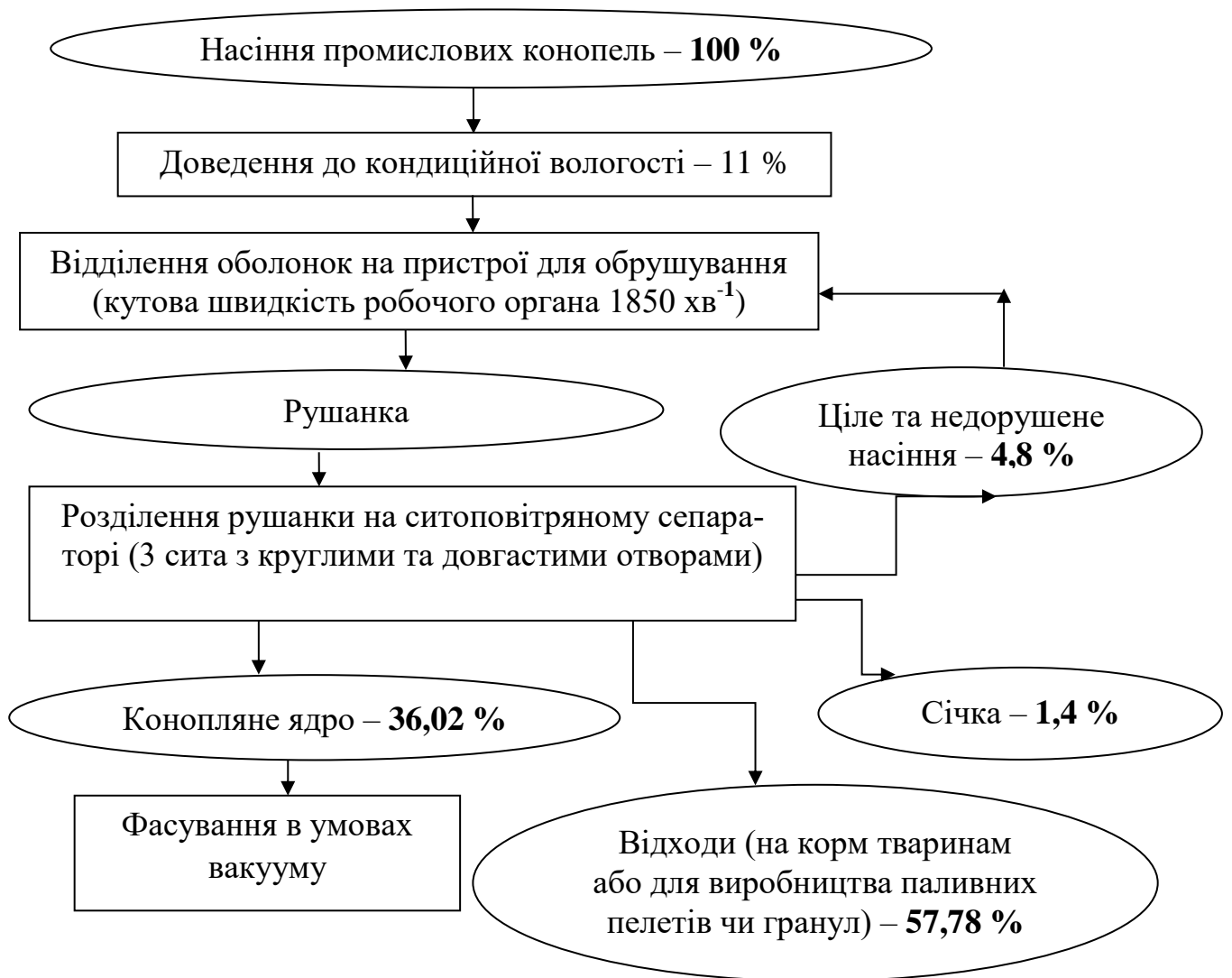


Рис. 7.8. Структурна схема виробництва обрушеного насіння конопель



Рис. 7.9. Зовнішній вигляд руشانки

Компанія HempFlax (Нідерланди) пропонує дані досліджень складу та властивостей обрнушеного насіння конопель сортів, районованих у Нідерландах та Румунії (<https://www.hempflax.com>). Цю інформацію було використано для порівняльного аналізу.

Для досліджень використовували насіння конопель сорту Глесія, характеристика якого наведена в п.п. 7.3.1 (зразок № 2). Органолептичні показники конопляного ядра:

- зовнішній вигляд та колір – половинки та частинки ядер білого або світло-бежевого кольору, половинки та частинки ядер з насінневими оболонками зеленого кольору;
- запах та смак – горіховий, характерний для здорового насіння конопель, вільний від стороннього присмаку та запаху.

Результати визначення фізико-хімічних показників якості конопляного ядра є цінною інформацією для переробників конопляного насіння української селекції (табл. 7.18).

Таблиця 7.18. Характеристика фізико-хімічних показників якості конопляного ядра

Показник	Значення показника			
	за даними дослідження		за ТУ У 10.3-16304966-412:2015	за даними HempFlax
	конопляне ядро	вихідне насіння		
1	2	3	4	5
Масова частка вологи, %	7,01	8,38	не більше 16,00	не більше 7,00
Масова частка сміттєвих домішок, %	0,36	3,32	не більше 5,00	-
Кислотне число, мг КОН/г	3,10	3,30	-	-
Вміст шкідників	не виявлено	не виявлено	не дозволено, крім ураженості кліщем не вище II ступеня	-
Масова частка олії, %*	54,02	33,33	-	48,00
Масова частка золи, %*	6,47	5,91	-	-
Масова частка клітковини, %*	5,45	32,25	-	6,00
Масова частка протеїну, %*	32,78	22,54	-	34,00
Масова частка мінеральних речовин*:				
фосфор, г/кг	13,48	8,90		13,82
кальцій г/кг	0,54	0,86		0,004
магній, г/кг	2,73	2,42		5,57
ферум, мг/кг	94,10	74,71	-	76,00
цинк, мг/кг	111,78	56,08		85,00
кобальт, мг/кг	1,00	0,52		-
манган, мг/кг	38,34	59,38		57,00
купрум, мг/кг	12,56	не визначали		9,00

Примітка. * – у перерахунку на суху речовину.

Представлені дані

З метою попередження харчових отруєнь людини (харчової інтоксикації) обов'язковим при оцінці безпечності харчових продуктів є визначення їх мікробіологічного стану (Олексієнко Н. та ін., 2011). Ураховуючи це, а також той факт, що конопляне ядро під час виробництва не підлягає термічній обробці, було досліджено його мікробіологічні показники якості (табл. 7.19).

Таблиця 7.19. Результати визначення мікробіологічних показників якості конопляного ядра

Показник	Значення показника		
	дані дослідження	за ТУ У 10.3-16304966-412:2015	дані Немп-Flax
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), г	не виявлено	-	< 20 КУО/г
Плісняві гриби, КУО*/г	< 10	-	< 2·10 ⁴
Дріжджі, КУО*/г	< 10	-	
Патогенні мікроорганізми, у тому числі роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	не виявлено	-	відсутній в 25 г

Примітка. * – колонієутворювальні одиниці.

Аналізуючи одержані дані, можна зробити висновок, що мікробіологічні показники якості конопляного ядра знаходяться в нормі. Важливим є дотримання умов зберігання конопляного ядра для уникнення розвитку патогенної мікрофлори, яка може розвинути в білкових складових насіння, не захищеного оболонкою, при підвищенні вологості та температури. З метою попередження виникнення патогенної мікрофлори рекомендується фасувати конопляне ядро в умовах вакууму (рис. 7.10).



Рис. 7.10. Вакуум-пакувальна машина

За ТУ У10.3-16304966-412:2015 “Насіння коноплі та продукти його переробки” амінокислотний склад не визначається, але насіння конопель має унікальний вміст усіх незамінних амінокислот, тому цей показник було досліджено (табл. 7.20). Дані підтверджують, що насіння конопель належить до “суперфудів”, оскільки містить незамінні амінокислоти. Очевидним є й те, що процес обробування підвищує біологічну цінність насіння конопель як харчового продукту за рахунок відокремлення малоцінних оболонок.

Таблиця 7.20. Амінокислотний склад конопляного ядра

Амінокислота	“з” чи “нз”*	Вміст амінокислоти				
		у конопляному ядрі		у вихідному насінні		за даними HempFlax, мг/100 г
		мг/100 г	%	мг/100 г	%	
Аланін	“з”	1145	5,38	642	5,52	1760
Аргінін	“з”	2925	13,73	1409	12,11	3420
Аспаргінова кислота	“з”	1844	8,56	1100	9,45	1870
Валін	“нз”	667	3,13	351	3,02	1880
Гістидин	“з”	660	3,10	326	2,80	860
Гліцин	“з”	1090	5,12	644	5,54	1420
Глутамінова кислота	“з”	3910	18,35	2370	20,37	6340
Ізолейцин	“нз”	587	2,75	323	2,78	1320
Лейцин	“нз”	1426	6,69	791	6,79	2000
Лізін	“нз”	1084	5,09	661	5,68	960
Метіонін	“нз”	618	2,90	263	2,26	770
Пролін	“з”	994	4,67	593	5,09	-
Серин	“з”	1331	6,25	565	5,64	1850
Тирозин	“з”	846	3,97	383	3,29	1670
Треонін	“нз”	769	3,61	438	3,77	1580
Триптофан	“нз”	Не визначали				210
Фенілаланін	“нз”	984	4,62	525	4,51	1740
Цистеїн	“нз”	426	2,00	163	1,40	1570
Всього:		21306	100,00	11639	100,00	30220

Примітка. * “з” – замінна амінокислота; “нз” – незамінна амінокислота.

7.5. Параметри процесу вилучення олії з насіння промислових конопель

Насіння промислових конопель має унікальний склад не тільки за вмістом амінокислот, а й жирних кислот. Цінні Омега-3, Омега-6 та їх ізомери мають унікальну концентрацію в конопляній олії серед інших рослинних олій. Воче-

видь цей продукт із насіння конопель характеризується широким попитом.

Проведено аналіз технологічного процесу виробництва конопляної олії в Україні, який виконується тільки пресуванням з метою збереження її біологічної активності та корисних нативних властивостей. Дослідження проводили на базі ТОВ “Десналенд” та ІЛК НААН. Відібрано два зразки конопляної олії:

– № 1 – олія, одержана на шнековому пресі ПШ 250 (рис. 7.11) в ІЛК НААН;

– № 2 – олія, одержана на шнековому пресі ММШ-60 (рис. 7.12) в ТОВ “Денсаленд”.

У дослідженні використовували насіння конопель сорту Глесія, характеристика якого наведена в п.п. 7.3.1 (зразок № 1).

Виробництво конопляної олії відбувалося в такий спосіб: зважене насіння конопель засипали в прес, в якому віджимали олію за допомогою шнека. Олію та макуху збирали в окремі ємкості. Олію фільтрували, а макуху передавали на подальшу переробку. Фільтрат направляли на технічні потреби.

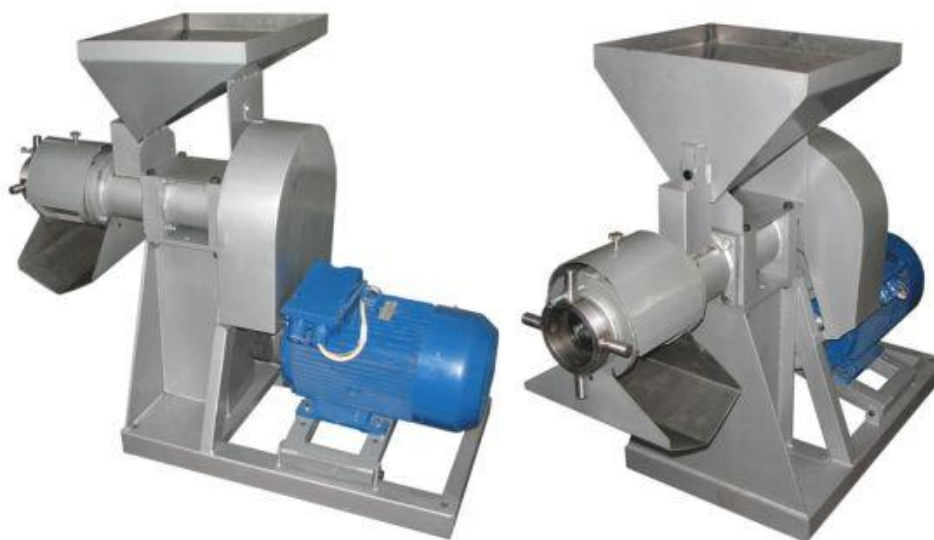


Рис. 7.11. Загальний вигляд шнекового преса ПШ 250



Рис. 7.12. Загальний вигляд шнекового преса ММШ-60

Обидва преси мають однаковий принцип дії. Сировину рівномірно подають у приймальний патрубок, далі вона надходить в зеєрну камеру. У робочій секції преса на сировину діє шнековий вал, завдяки чому відбувається віджимання і вилучення рідкої фракції з насіння – олії. Дно і стінки зеєрного відсіку мають невеликі зазори, через які олія стікає в накопичувальну ємність, що знаходиться знизу, а макуха виходить пелюстками наприкінці горизонтальної робочої зони. Спостерігалися відмінності між двома пресами в температурі процесу та у виході олії (табл. 21).

Прес шнековий олійний ПШ 250 призначений для безперервного холодного віджимання олій із насіння олійних культур за технологіями, які виключають попереднє подрібнення та кондиціонування насіння. Конструкція шнека, шнекової камери і зеєрного циліндра дозволяє одержати оптимальні температурні та барометричні умови для пресування олійної сировини, забезпечує високий ступінь віджимання.

Шнековий прес ММШ-60 призначений для холодного пресування, його продуктивність становить 60 кг/год. Даний прес подвійного віджимання використовують для дрібнонасінних культур. Температура олії (~48 °С) на виході дозволяє зберігати корисні властивості олії. Після пресування одержують нефільтровану конопляну олію, яку далі подають на лінію фільтрації, та конопляну

макуху, з якої виробляють борошно, клітковину, протеїновий порошок та комбікорми.

Виробництво конопляної олії відрізняється від виробництва інших рослинних олій тим, що стадія “підготовка сировини” перед пресуванням відсутня. Перед завантаженням у шнек насіння конопель не підлягає гідротермічній обробці та не потребує очищення від оболонок, але має відповідати вимогам за вологістю та чистотою ДСТУ 7695:2015 “Насіння конопель. Технічні умови” для насіння, яке закладається на зберігання.

Наступною стадією після пресування насіння конопель є фільтрування конопляної олії. Для обох зразків олії цей процес здійснювали методом седиментаційного фільтрування (рис. 7.13). 20 л олії завантажували в рукава з фільтрувальної тканини габардин, які мали висоту 75 см та площу фільтрування 0,94 м²; їх підвішували над накопичувальними ємкостями. Час фільтрування – 24 год.



Рис. 7.13. Рукавні фільтри

Недоліком даного способу фільтрування є безпосередній контакт конопляної олії з повітрям, що збільшує ризики окиснення готового продукту. Тому на підприємстві ТОВ “Десналенд” (при партії конопляної олії від 200 л) вико-

ристовують лінію фільтрації, яка призначена для фільтрування рослинної олії та забезпечує її очищення від механічних домішок, важких жирів та парафінів. Лінія складається із фільтра з фільтруючими елементами, піддона, в який встановлюється фільтр, ємкості для неочищеної олії, компресора. Лінія фільтрації призначена для тонкого очищення за температури навколишнього середовища від 10 до 40 °С та вологості повітря не вище 87 %. Принцип роботи полягає в примусовій подачі неочищеної олії під певним тиском повітря з ємкості у фільтр для проходження її крізь фільтруючі елементи з бельтинг-тканини, яка має високі фільтруючі властивості завдяки своїй щільності, властивостям волокна та специфічному їх розміщенню з метою очищення. Далі очищену олію подають на розфасування в пляшки. Для укупорювання пляшок використовують машину DDX-500.

Узагальнення технологічних параметрів згаданих процесів виробництва конопляної олії представлено в табл. 7.21.

Таблиця 7.21. Порівняльна характеристика технологічних стадій виробництва конопляної олії

Показник	Технологія	
	ІЛК НААН	ТОВ “Десналенд”
Продуктивність, кг/год	150	60
Вихід нефільтрованої олії, %	22,8–24,2	29,7
Температура олії на виході, °С	32–55	48,0
Вихід макухи, %	50,1–66,67	66,00
Температура макухи, °С	45,0	48,0
Вологість макухи, %	7,48	7,37
Олійність макухи, %	12,25	12,20
Час фільтрування, год	24	48
Вихід фільтрованої олії, %	14,6–16,7	19,7
Виробничі втрати, %	2,0–2,2	4,3

Виробничими втратами при пресуванні і фільтруванні є налипання на робочі органи та на фільтрувальну тканину, на ємкості, в які збирають олію і відходи.

7.5.1. Показники якості пресової конопляної олії

Для встановлення впливу параметрів технологічного процесу на якість олії було проведено її сенсорний аналіз (табл. 7.22) та визначено фізико-хімічні характеристики (табл. 7.23) олії № 1, одержаної на пресі ПШ 250, модернізованому в ІЛК НААН, і олії № 2 – на пресі ММШ-60 в ТОВ “Десналенд”.

На момент проведення досліджень нового державного стандарту на конопляну олію не існувало (згідно з даними Українського науково-дослідного інституту олій та жирів Національної академії аграрних наук, м. Харків), а ГОСТ 8989-73 “Олія конопляна. Технічні умови” втратив свою чинність, тому для порівняння результатів досліджень використовували дані ТУ У10.4-3922410-001:2017 для нерафінованої конопляної олії першого ґатунку.

Таблиця 7.22. Органолептичні показники якості зразків конопляної олії

Показник	Олія № 1	Олія № 2	За ТУ У10.4-3922410-001:2017
Прозорість	Над осадом прозора	Над осадом прозора	Над осадом прозора
Колір	Світло-зелений	Зелений	Зелений різної інтенсивності
Запах і смак	Властивий конопляній олії, без стороннього запаху, присмаку гіркоти	Властивий конопляній олії, без стороннього запаху, присмаку гіркоти	Властивий конопляній олії, без стороннього запаху, присмаку гіркоти

Використовуючи дані табл. 7.22, можна зробити висновок, що органолептичні показники проаналізованих зразків конопляної олії відповідають вимогам ТУ У10.4-3922410-001:2017 “Олії рослинні. Технічні умови”.

Олія № 2 має більш прийнятні показники якості, ніж олія № 1, що підтверджують дані табл. 7.23. Зменшені показники кислотного та пероксидного чисел олії № 2, порівняно з даними щодо олії № 1, свідчать про те, що технологічне обладнання, зокрема прес, може впливати на процеси окиснення складових насіння під час вилучення олії з нього. Ці відомості необхідно враховувати виробникам під час вибору обладнання.

Побічними продуктами виробництва конопляної олії є макуха та фільтрувальний осад. У результаті пресування одержали макуху, яка мала вигляд пе-

люсток сіро-коричневого кольору товщиною від 1,3 до 3,8 мм, виражений запах, властивий конопляній олії. Вологість макухи № 1 становила 7,48 %, макухи № 2 – 7,37 %; олійність (у перерахунку на сухі речовини) – 12,25 та 12,75 %, відповідно.

Таблиця 7.23. Характеристика показників якості зразків фільтрованої конопляної олії

Показник	Олія № 1	Олія № 2	За ТУ У10.4-3922410-001:2017
Кислотне число, мг КОН/г	2,60	1,60	Наприкінці строку зберігання – не більше 2,30
Пероксидне число, $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг	14,34	8,61	Наприкінці строку зберігання – не більше 10,0
Йодне число, г/100 г	158,51	152,00	-
Вміст вологи та летких речовин, %	0,14	0,15	не більше 0,125
Вміст нежирових домішок, %	0,07	0,06	не більше 0,10
Вміст фосфоровмісних речовин, мг/кг у перерахунку на стеароолеолецитин, %	88,5	69,26	-
	0,23	0,18	не більше 0,26
Вміст загальної золи, %	0,05	0,05	-
Вміст вітамінів, мг/кг:			
А	78,0	82,0	-
Е,	562,8	582,2	-
у тому числі:			
α -токоферол	234,0	246,2	-
β -токоферол+ γ -токоферол	316,0	322,0	-
δ -токоферол	12,8	14,0	-

Після фільтрування олії у фільтрувальних рукавах залишився темно-зелений осад, який складався з дрібних частинок насіння, перемішаного зі залишками олії. Запах осаду – горіховий та більш насичений, ніж запах конопляної олії. Фізико-хімічні показники осаду № 1 та № 2, відповідно:

- вміст олії – 60,62 та 60,52 %;
- вологість – 4,35 та 4,32 %;
- вміст фосфоровмісних речовин – 6,26 та 6,29 %.

Що стосується зміни якості олії в процесі фільтрування, то було визначено показники кислотного та пероксидного чисел. Після фільтрування, яке відбувалося протягом доби, кислотне число збільшилося на 0,17 мг КОН/г, а перо-

кисдне число – на 0,92 ½ O ммоль/кг. Це свідчить про те, що конопляна олія чутлива до впливу кисню, тому й рекомендовано максимально уникати контакту її з повітрям у технологічному процесі.

7.5.2. Жирно-кислотний склад пресової конопляної олії

Для підтвердження даних із наукової літератури щодо оздоровчих властивостей конопляної олії було проведено її жирно-кислотний аналіз. Відомо, що лляна олія також має оздоровчі властивості за рахунок умісту ненасичених жирних кислот, що дало підстави провести їх порівняльний аналіз. Результати досліджень для кислот, вміст яких $\leq 0,5\%$, наведено в табл. 7.24.

Таблиця 7.24. Порівняльна характеристика жирно-кислотного складу олій

Жирна кислота	Вміст кислоти по відношенню до загальної кількості кислот, %		
	олія № 1	олія № 2	лляна олія
C 16:0 пальмітинова	5,718	6,256	5,567
C 18:0 стеаринова	3,035	3,193	5,402
C 18:1 олеїнова (Омега-9)	13,612	13,261	17,894
C 18:2 лінолева (Омега-6)	54,839	56,861	15,487
C 18:3 альфа-ліноленова (Омега-3)	18,541	15,991	55,251
C 18:2 гамма-ліноленова (Омега-6)	1,268	2,756	0,000
C 20:0 арахінова	2,367	0,794	0,239

Спосіб одержання конопляної олії з насіння сорту Глесія в умовах експерименту практично не впливав на її жирно-кислотний склад. Уміст основних жирних кислот в одержаній олії не відрізняється від даних опублікованої інформації щодо співвідношення в ній есенційних жирних кислот Омега-6 і Омега-3 як 3,0:1–3,6:1, тоді як в олії лляній – 1:3,5.

Конопляна олія містить γ -ліноленову кислоту, яка досить рідко трапляється в рослинній сировині, та унікальний вміст ненасичених жирних кислот порівняно з відомими оліями – табл. 7.25 (Осейко М. І., 2006; <https://uk.wikipedia.org>).

Ученими світу проведені дослідження, результати яких підтверджують необхідність ненасичених жирних кислот Омега-3, Омега-6 та Омега-9 для ор-

ганізму людини. Згідно з рекомендаціями ВООЗ ООН, людині потрібно від 1 до 3 г Омега-3 і 4 г Омега-6 жирних кислот у складі олій. Це досягається вживанням по 20±5 мл конопляної олії за добу.

Таблиця 7.25. Порівняльний вміст ненасичених жирних кислот в оліях

Олія	Вміст кислоти по відношенню до загальної кількості кислот, %		
	олеїнова (Омега-9)	лінолева (Омега-6)	ліноленова (Омега-3)
Конопляна*	13,3	56,9	16,0
Лляна	20,1	14,6	55,5
Соняшникова	54,1	12,5	0,0
Сафлорова	75,2	12,8	0,0
Кукурудзяна	56,4	0,4	1,1
Гарбузова	55,7	0,6	0,4
Кедрова	42,4	19,9	0,3
Соєва	21,7	54,1	0,6
Ріпакова	60,2	20,5	8,0
Гірчична	42,1	27,8	10,1
Олія із зародків пшениці	15,4	52,3	8,1
Горіхова	20,5	57,5	10,5
Рижієва	15,7	19,6	32,9
Оливкова	69,9	12,6	0,7
Коріандрова	66,1	17,2	0,6
Кокосова	7,8	1,7	0,0
Пальмова	38,6	9,9	0,0
Бавовняна	19,0	54,0	1,0
Арахісова	46,5	31,4	0,0
Олія авокадо	0,0	12,5	1,0
Олія каноли	61,8	18,6	9,1
Олія з виноградних кісточок	14,3	74,7	0,0

Примітка: * – за даними досліджень.

На думку європейських експертів, мінімальна денна потреба в Омега-3 поліненасичених жирних кислотах у молоді й дорослих становить 1000–1500 мг і залежить від статі, віку та фізичної активності. Співвідношення Омега-6 до Омега-3 поліненасичених жирних кислот для лікувально-профілактичного харчування – від 3:1 до 5:1. За розрахунками А. П. Левицького, сьогодні змішаний

раціон пересічного українця має співвідношення 43,6:1,0, тобто перевищує допустимий рівень Омега-6 поліненасичених жирних кислот у 8,7 рази (Кричковська Л. та ін., 2010).

Дослідженнями доведено, що на якість готового продукту впливають умови пресування та фільтрування; з урахуванням цього було запропоновано структурну схему виробництва конопляної олії, яку зображено на рис. 7.14.



Рис. 7.14. Структурна схема виробництва олії конопляної

7.6. Показники якості сипких конопляних продуктів

Однією з проблем, що постала перед харчовою та переробною промисловістю України, є забезпечення населення високоякісними білковими й білково-ліпідними продуктами (Осейко М. І., 2006). До таких належить конопляне насіння.

У процесі переробки насіння промислових конопель на стадії вилучення з нього конопляної олії одержують макуху – унікальне джерело протеїну, натурального каротину, фітостеролів і фосфоліпідів, які здатні запобігти анемії; К, Zn, S та Mg зміцнюють серцевий м'яз та нервову систему. Макуха містить клітковину, яка необхідна для нормальної роботи шлунково-кишкового тракту; покращує моторику, виводить з організму шлаки; позитивно впливає на органи дихання, допомагає під час лікування захворювань серцево-судинної системи і ожиріння; покращує роботу нирок та печінки. Унікальність конопляної макухи полягає в тому, що вона містить достатню кількість повноцінного рослинного білка, оскільки насіння конопель належить до білково-олійних культур.

Шляхом тонкого подрібнення макухи та розділення одержаної маси на фракції, різні за розміром, виробляють сипкі конопляні продукти: протеїн, борошно та конопляні висівки (клітковину). Найдрібнішу фракцію, яка має найбільшу кількість білка, умовно називають “конопляний протеїн”, але вона містить і значну кількість жиру, золи та клітковини. Структурну схему цього процесу наведено на рис. 7.15.

Весь процес відбувається за кімнатної температури, одержані продукти термічній обробці не підлягають.

Сипкі конопляні продукти відрізняються між собою за складом та розміром частинок. Так, “конопляний протеїн” одержують проходом із сита 0,02 мм, сходом із цього сита є борошно, а конопляні висівки (клітковина) – сходом із сита 0,3 мм. Основна мета розділення подрібненої макухи на фракції полягає в максимальному виділенні в одну фракцію цінного рослинного конопляного білка.

Проведено дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників якості борошна, клітковини та “конопляного протеїну”. Визначення показників якості сипких конопляних продуктів проводили згідно зі стандартними і галузевими методиками.

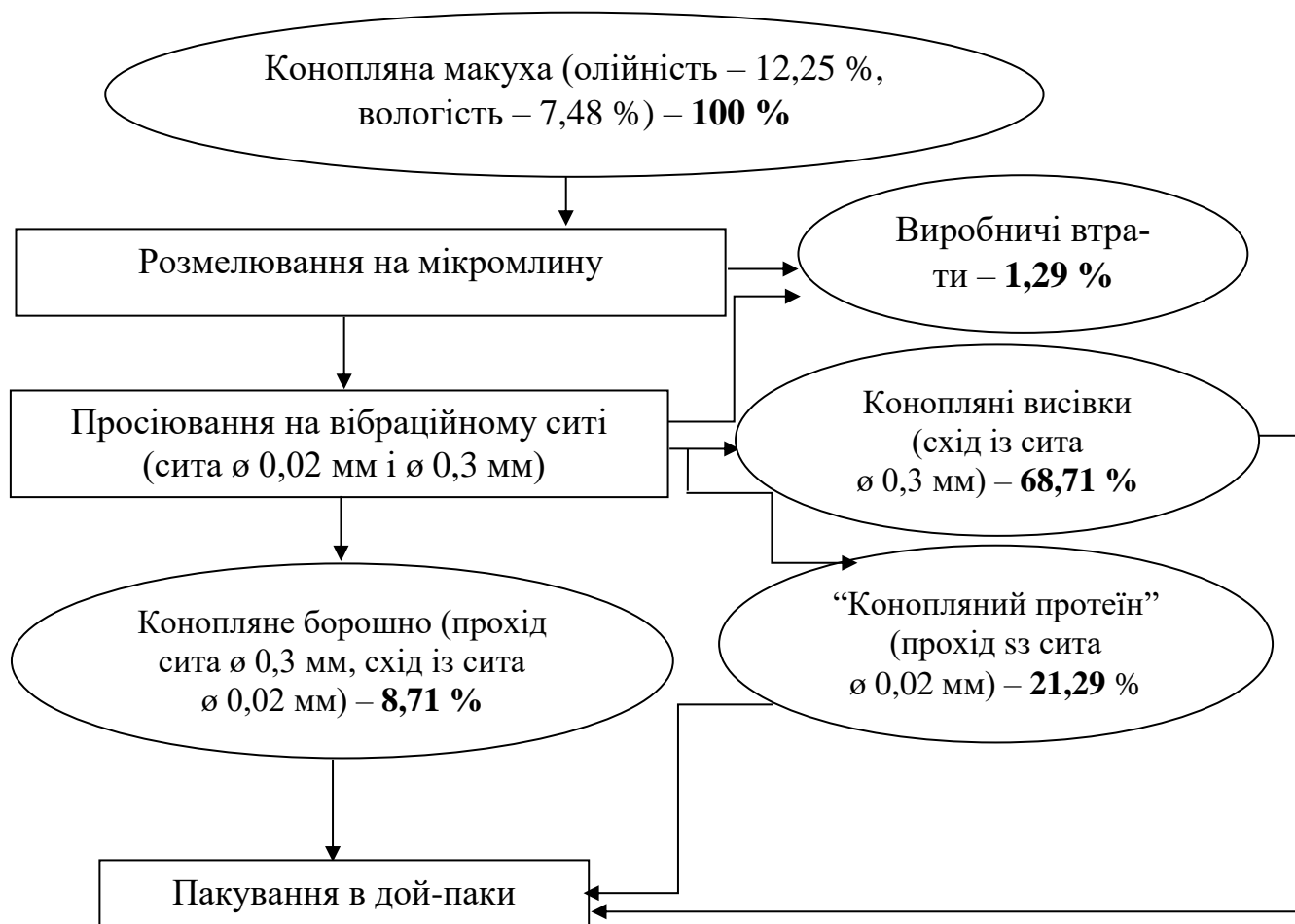


Рис. 7.15. Структурна схема виробництва сипких конопляних продуктів

Органолептичні показники якості конопляного борошна: колір темно-коричневий з відтінками зеленого; запах – властивий здоровому насінню конопель, без стороннього запаху; смак – властивий насінню конопель, без гіркоти, кислоти та інших сторонніх присмаків.

Колір “конопляного протеїну” – жовто-зелений; запах та смак чисті знеособлені, без сторонніх запахів та присмаків.

Загальний вигляд конопляних висівок (клітковини) – сухий сипкий продукт без щільних грудок; колір – темно-зелений; запах – властивий здоровому

насінню конопель, без сторонніх запахів.

За відсутності державних стандартів на сипкі конопляні продукти неможливо встановити відповідність їх якості нормативним показникам. Показники якості сипких конопляних продуктів порівнювали з даними ТУ У10.41-39224310-002:2017 “Борошно, висівки та протеїн з насіння олійних культур. Технічні умови” (табл. 7.26).

Таблиця 7.26. Характеристика фізико-хімічних показників якості сипких конопляних продуктів

Показник	Насіння конопель	“Конопляний протеїн”	Дані за ТУ У 10.41-39224310-002:2017	Борошно	Дані за ТУ У 10.41-39224310-002:2017	Висівки	Дані за ТУ У 10.41-39224310-002:2017
Масова частка вологи, %	8,36	7,00	не більше 7,00	6,50	не більше 9,00	7,17	не більше 15,00
Масова частка протеїну, %*	24,70	52,14	не менше 50,00	44,01	не менше 40,00	22,65	не менше 14,00
Масова частка олії, %*	33,62	15,68	не більше 16,00	11,65	не більше 12,00	10,62	-
Масова частка золи, %*	4,99	9,55	не більше 10,00	8,84	не більше 10,00	5,05	-
Масова частка клітковини, %*	36,85	5,51	не більше 7,0	13,88	не більше 15,0	44,94	не більше 45,0
Кислотне число, мг КОН/г	2,80	1,80	не більше 3,00	1,30	не більше 3,00	2,30	не більше 3,00
Інші сторонні домішки, %	1,37	0,00	не дозволено	0,00	не дозволено	0,00	не дозволено
Зараженість шкідниками, %	0,00	0,00	не дозволено	0,00	не дозволено	0,00	не дозволено

Примітка. * – у перерахунку на сухі речовини.

Фракція “конопляний протеїн” багата на вміст протеїну, олії, мінеральних речовин, що робить її найбільш цінною для вживання серед представлених сипких продуктів (табл.7.26)

Уміст мінеральних речовин у сипких конопляних продуктах наведено в табл. 7.27.

Таблиця 7.27. Вміст мінеральних речовин у сипких конопляних продуктах

Показник	Насіння конопель	“Конопляний протеїн”	Борошно	Висівки
Фосфор, г/кг	8,35	15,45	19,47	6,96
Кальцій, г/кг	0,82	2,15	2,18	1,45
Магній, г/кг	2,57	4,02	3,73	1,89
Ферум, мг/кг	87,68	130,26	173,23	84,09
Цинк, мг/кг	58,16	192,63	182,04	55,89
Кобальт, мг/кг	0,51	1,49	1,29	0,72
Манган, мг/кг	69,51	105,29	95,09	72,64
Купрум, мг/кг	не визначали	22,52	18,65	13,43

Аналіз даних, наведених у таблицях 7.26 та 7.27, показує значну подібність за окремими хімічними показниками між конопляним борошном і “конопляним протеїном”, зокрема, за вмістом золи та досліджених мінеральних елементів; він виявився у 2–10 разів вищим, ніж у крупи гречаної, що вважається однією з культур, які мають найбільшу поживну цінність (Єфімов В. Г. та ін., 2017).

Відповідно до наукових літературних даних насіння конопель має унікальний білковий склад, тому нами проведено визначення амінокислотного складу (табл. 7.28) сипких продуктів з насіння промислових конопель.

До незамінних амінокислот належать Валін, Ізолейцин, Лейцин, Лізин, Метіонін, Треонін, Триптофан, Фенілаланін. Усі вони присутні в насінні конопель та сипких конопляних продуктах. Для порівняння наведемо вміст незамінних амінокислот у гречаній крупі (мг/100 г): Валін – 690, Ізолейцин – 520, Лейцин – 680, Лізин – 630, Метіонін – 260, Треонін – 500, Триптофан – 180, Фенілаланін – 540. Підтверджено, що конопляні продукти мають високу біологічну цінність, яка в “конопляного протеїну” становить 81,7 %.

Оскільки при виробництві сипких конопляних продуктів не застосовують термообробку, то важливим було підтвердити відсутність патогенної мікрофлори (табл. 7.29). Періодичність мікробіологічного контролю має бути погоджена з місцевими органами Держсаннагляду і гарантувати епідеміологічну безпеч-

ність продукції.

Таблиця 7.28. Уміст амінокислот у конопляних сипких продуктах, мг/100 г

Показник	Насіння конопель	“Конопляний протеїн”	Борошно	Клітковина
Аланін	735	1556	1462	671
Аргінін	1647	3589	3411	1336
Аспаргінова кислота	1359	2263	2224	1286
Валін	445	885	910	371
Гістидин	413	870	806	335
Гліцин	740	1272	1319	717
Глутамінова кислота	2870	4445	4625	2593
Ізолейцин	374	782	813	331
Лейцин	913	1951	1877	813
Лізин	788	1458	1300	843
Метіонін	302	686	630	184
Пролін	673	1358	1305	604
Серин	824	1597	1514	725
Тирозин	469	1078	955	376
Треонін	555	1056	1029	485
Фенілаланін	653	1350	1271	570
Цистеїн	197	594	545	160

Таблиця 7.29. Мікробіологічні показники якості сипких конопляних продуктів

Показник	“Конопляний протеїн”	Борошно	Висівки
Бактерії групи кишкових паличок (колі-форми), 0,1 г	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Плісняві гриби, КУО/г	<10	<10	<10
Дріжджі, КУО/г	<10	<10	<10
Патогенні мікроорганізми, у тому числі роду Salmonella, в 25 г	не виявлено	не виявлено	не виявлено

7.7. Розробка технологічної схеми комплексної переробки насіння промислових конопель

На підставі виконаних досліджень та теоретичних узагальнень одержаних результатів розроблено апаратурно-технологічну схему комплексної переробки насіння промислових конопель (рис. 7.16).

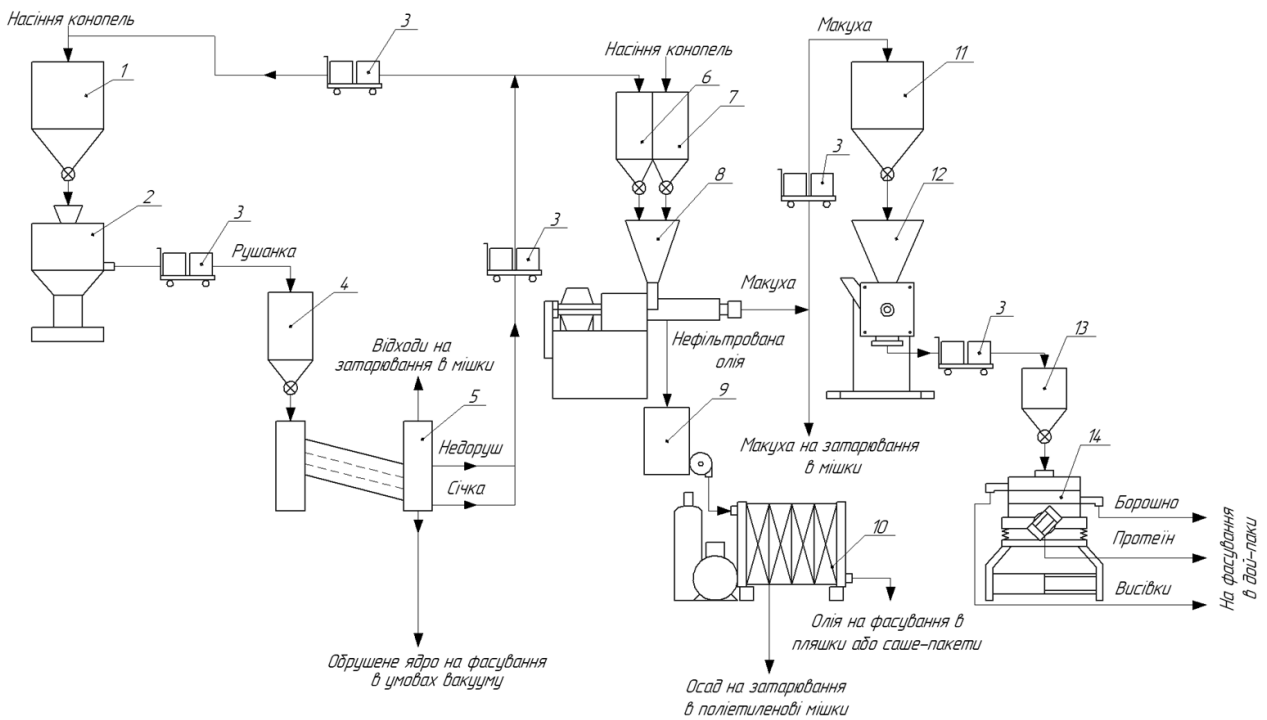


Рис. 7.16. Технологічна схема комплексної переробки насіння промислових конопель:

1, 4, 6, 7, 11, 13 – накопичувальні бункери, оснащені дозаторами; 2 – пристрій для обрушування; 3 – рухома платформа з ємкостями; 5 – повітряно-ситовий сепаратор; 8 – шнековий прес; 9 – ємкість з насосом; 10 – фільтр-прес; 12 – мікромлин; 14 – вібраційне сито

Комплексна переробка насіння промислових конопель складається з двох основних технологічних стадій: обрушування насіння конопель, виробництва конопляної олії та сипких конопляних продуктів. Ці технологічні процеси можуть бути як послідовними, так і паралельними, що залежить від потреб виробництва. У схемі передбачено виробництво тільки конопляного ядра або тільки олії та макухи, або олії та сипких конопляних продуктів.

Технологічна лінія комплексної переробки насіння промислових конопель умовно поділяється на три блоки:

– обрушування насіння конопель, основними вузлами якого є пристрій для обрушування та повітряно-ситовий сепаратор;

- пресування насіння конопель, основними вузлами якого є шнековий прес та фільтр-прес;
- переробка макухи, основними вузлами блока є мікромлин та вібраційне сито.

Технологічний процес комплексної переробки насіння промислових конопель починається з блока обрушування. Насіння конопель зі складу завантажують у накопичувальний бункер 1, оснащений дозатором, з якого його далі дозують у пристрій для обрушування 2, де під дією відцентрових сил та удару об деку відбувається відділення ядра насіння конопель від оболонки. Рушанка з вихідного патрубку пристрою для обрушування 2 збирається в лотку на рухомій платформі 3. Далі її завантажують у накопичувальний бункер 4, оснащений дозатором. Рушанку подають у повітряно-ситовий сепаратор 5, в якому за допомогою коливальних рухів та дії повітря відбувається розділення рушанки на фракції: обрушене ядро, недоручене та ціле насіння, січку, відходи. Кожну фракцію збирають в окрему ємкість. Обрушене ядро подають на пакування у вакуум-пакувальну машину. Ціле та недоручене насіння разом із січкою – на виробництво олії в накопичувальний бункер 6 над пресом 8 або тільки недоручене та ціле насіння повторно на обрушування в накопичувальний бункер 1, відходи (насіннева і плодова оболонка, пил, органічні домішки) пакують у мішки та реалізують на корм тваринам або на виробництво паливних пелетів чи гранул.

Другим блоком комплексної переробки насіння промислових конопель є процес його пресування. Насіння зі складу подають у накопичувальний бункер 7, з якого дозують у шнековий прес 8 подвійного віджимання, де відбувається відтискання олії. Нефільтровану олію збирають в ємкість з насосом 9, з якої її подають у фільтр-прес 10. Відфільтровану олію направляють на розфасування в пляшки або саше-пакети. Макуху збирають в ємкість на рухомій платформі 3 і направляють у накопичувальний бункер 11 над мікромлином 12 або пакують у мішки та реалізують на корм тваринам. Осад із фільтра-преса 10 збирають в ємкість, далі пакують у поліетиленові мішки.

Третім блоком комплексної переробки насіння промислових конопель є виробництво сипких конопляних продуктів із макухи. Із накопичувального бункера 11 макуха надходить у мікромлин 12, де під дією удару молотків подрібнюється. Продукти розмелу через калібрувальну ґратку, зсипають у тканинний мішок, закріплений на вихідній горловині помельної камери. Мішок з продуктами розмелу за допомогою рухомої платформи направляють у накопичувальний бункер 13, далі їх дозують у вібраційне сито 14, в якому відбувається розділення суміші на сипкі конопляні продукти: “конопляний протеїн”, борошно та висівки (клітковину). Отримані продукти подають на пакування в дой-паки із зіп-замком.

Усі машини мають бути оснащені магнітним захистом. Для підприємства такої потужності операції розвантаження і завантаження проводять вручну за допомогою рухомих платформ з ємкостями. Виробники обладнання, запропонованого в технологічній схемі, гарантують уловлювання пилу, достатнє для того, щоб не встановлювати на підприємстві систему аспіраційного очищення повітря (табл. 7.30).

Таблиця 7.30. Технічна характеристика обладнання

№ з/п	Обладнання	Кількість одиниць	Продуктивність	Потужність, кВт
1.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,05 \text{ м}^3$	-
2.	Пристрій для обрушування	1	$Q = 14 \text{ кг/год}$	0,3
3.	Рухома платформа з ємкостями	3	$V = 0,05 \text{ м}^3$	-
4.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,1 \text{ м}^3$	-
5.	Повітряно-ситовий сепаратор	1	$Q = 60 \text{ кг/год}$	0,37
6.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,05 \text{ м}^3$	-
7.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,2 \text{ м}^3$	-
8.	Шнековий прес	1	$Q = 60 \text{ кг/год}$	7,5
9.	Ємкість з насосом	1	$Q = 1000 \text{ л/год}$	2,2
10.	Фільтр-прес	1	$Q = 70 \text{ л/год}$	-
11.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,15 \text{ м}^3$	-
12.	Мікромлин	1	$Q = 100 \text{ кг/год}$	7,5
13.	Накопичувальний бункер	1	$V = 0,15 \text{ м}^3$	-
14.	Вібраційне сито	1	$Q = 600 \text{ кг/год}$	1,0
15.	Вакуум-пакувальна машина	1	$Q = 60 \text{ кг/год}$	8,0
16.	Пакувальна машина для пакування в саше	1	$Q = 36 \text{ л/год}$	0,4
17.	Пакувальна машина для пакування в дой-паки	1	$Q = 60 \text{ кг/год}$	8,0

Для збільшення продуктивності виробництва конопляного ядра можна запропонувати машину для оброщування LG-5 (Китай) – рис. 7.17.



Рис. 7.17 Машина для оброщування LG-5

За розробленою технологічною схемою комплексної переробки насіння промислових конопель одержано такі готові конопляні продукти: ядро, олія, “конопляний протеїн”, борошно, висівки (клітковина). Готову продукцію можна використовувати як самостійні харчові продукти, так і у вигляді інгредієнтів у харчових технологіях.

7.8. Висновки

На підставі аналізу науково-технічних та патентних джерел інформації, узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано висновки.

1. Одержані дані щодо органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників якості, показників безпеки, жирно-кислотного, амінокислотного, мінерального складу насіння промислових конопель сортів Глесія і Гляна та

продуктів його переробки. Дані досліджень узгоджуються з інформацією наукових літературних джерел, що насіння конопель є “суперфуд”.

2. Визначено вплив технологічних параметрів обривування насіння конопель на вихід і чистоту готового продукту – ядра. Розроблено математичні моделі цього процесу. Найбільший вихід ядра (37 %) досягли за початкової вологості від 6,0 до 11,0 %, чистоти насіння конопель 99,0 %, а також частоти обертання робочого органа пристрою для обривування – 1850 хв^{-1} . Максимальну чистоту готового продукту (99,0 %) одержано, якщо засміченість сировини становить 1,0 %, частота обертання робочого органа – $1500\text{--}2500 \text{ хв}^{-1}$. Попереднє фракціонування за розмірами насіння конопель має найменший вплив на чистоту ядра.

3. Проаналізовано процеси одержання конопляної олії з насіння сорту Глесія у виробничих умовах. Пресування та фільтрування олії мають параметри: вихід пресової нефільтрованої олії становить від 22,8 до 29,7 %; температура олії на виході з преса – від 32,0 до 55,0 °С; вихід макухи – від 50,1 до 66,0 %; температура макухи на виході – від 45,0 до 48,0 °С; олійність макухи – $12 \pm 0,5$ %; вологість макухи – $7 \pm 0,3$ %; час фільтрування 24–48 год; вихід фільтрованої олії – від 14,6 до 19,7 %; уміст олії в осаді на фільтрі – від 60,0 до 65,0 %; вологість осаду – $4,0 \pm 0,2$ %, уміст фосфоровмісних речовин – $6,0 \pm 0,3$ %; виробничі втрати – від 2,0 до 4,2 %. Визначено її органолептичні, фізико-хімічні показники якості та жирно-кислотний склад, а також співвідношення лінолевої до альфа-ліноленової кислоти – 3,0:1–3,6:1.

Згідно з рекомендаціями ВООЗ ООН людині потрібно від 1 до 3 г Омега-3 і 4 г Омега-6 жирних кислот у складі олії. Це досягається вживанням по 20 ± 5 мл конопляної олії за добу. Вміст вітаміну А в конопляній олії становить 78 мг/кг, вітаміну Е (токоферолів) – 562,8 мг/кг.

4. Розроблено структурні схеми виробництва конопляних ядра, олії та сипких продуктів.

5. Виконано роботи з розробки технологічної схеми маловідходної комплексної переробки насіння промислових конопель, основними елементами якої

є обладнання для оброщування та пресування насіння, розмелювання макухи та просіювання продуктів розмелу. Запропоновано технологію комплексної переробки насіння промислових конопель, яку рекомендовано до застосування в агропромисловому секторі та в харчовій промисловості.