

Мироненко Л.С., Перевалов Л.І., Тимченко В.К., Арутюнян Т.В., Попов М.О.
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна*

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ САФЛОРУ ВІТЧИЗНЯНИХ СОРТІВ

Анотація. У даній статті виявлено низку ефектів, пов'язаних із використанням «удару холодом» у технології підготовчих операцій насіння сафлору. Обрушування насіння сафлору у попередньо замороженому стані приводить до зміни цілого комплексу показників, які характеризують властивості початкового насіння, склад рушанки та особливості процесу обрушування. Спостерігається зниження міцності оболонки насіння. Проведено експериментальні дослідження з обрушування попередньо охолодженого насіння сафлору. Досліджено залежність ступеню обрушування насіння сафлору від температури охолодження насіння і частоти обертання ротору насіннерушки. Визначено ефективні параметри обрушування насіння сафлору шляхом апроксимаційного моделювання. Обґрунтовано економічну доцільність впровадження технологічного рішення у виробництво на підприємствах даного профілю.

Ключові слова: насіння сафлору, обрушення, рідкий азот, сафлорова олія, математична модель, економічна доцільність

І. Вступ. У світовій практиці інтерес до культури сафлору постійно підвищується. Цей інтерес у вчених і виробників викликано тим, що до теперішнього часу у багатьох країнах вже розроблено технології його вирощування і переробки. З насіння сафлору отримують олію, яку використовують як сировину для виробництва оліфи, білої фарби, емалей, мила, лінолеуму, а також фармацевтичні препарати, косметичні засоби, біоетанол,

продукти оздоровчого харчування та іншу продукцію, яка має підвищений попит на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Незважаючи на те, що сафлор красильний відомий із давнини, в Україні він є маловивченою і не досить розповсюдженою культурою. Експорт сафлору з України за підсумками 2014-2015 рр. сягав 879 т, тобто 52 % усього врожаю. Головними напрямками експорту стали країни ЄС і ОАЕ, де цей продукт має високий і стабільний попит [1]. Комерційна привабливість полягає у високій якості і цінності одержуваної олії.

Насіння сафлору, зазвичай, переробляють на підприємствах, які спеціалізуються на переробці соняшникового насіння.

Слід відмітити, що механічна міцність оболонки, відсутність повітряної камери між оболонкою та ядром, значна питома вага лушпиння, а також відсутність спеціальних машин для обрешування спричиняють ряд технологічних труднощів і визивають необхідність переробки сафлору насіння у необрушеному вигляді. Класична вітчизняна технологія переробки насіння сафлору передбачає двостадійну схему виробництва пресування-екстракція.

Форпресову сафлорову олію подають на первинне очищення. Харчову олію одержують в результаті лужного нейтралізування, промивання та висушування. Якщо сафлорову олію використовують для одержання харчового саломасу, її відбілюють у присутності подвійної кількості адсорбенту [2].

У дослідження А.В. [3] викладено основи технології одержання жирної олії з насіння сафлору красильного, який культивується у Самарській області. Ця технологія реалізується у двох варіантах: перший – двостадійна схема форпресування-екстрагування; другий – пряме екстрагування.

Вирощування насіння сафлору в Узбекистані спричинило наукові розробки щодо технології вирощування та переробки насіння місцевих сортів.

Так, у роботах Азімова У.Н. сформульовано практичні рекомендації щодо деяких підготовчих операцій у технології видобування пресової олії [4].

Інноваційна технологія виробництва сафлорової олії, яку описано в роботі [5] стосується досліджень щодо гідратування нерафінованої сафлорової олії за

допомогою фосфоліпаз з одержанням низки продуктів харчового та лікувально-профілактичного призначення.

За дослідженнями, виконаними у Воронежському державному університеті інженерних технологій, розроблено технологію одержання сафлорової олії у одношнековому пресі з використанням ультразвуку [6].

Що стосується прямої екстракції сафлорової олії з насіння, то в роботі [7] наводиться схема пілотної установки, експериментальні дані щодо впливу технологічних параметрів на перебіг процесу і результати моделювання процесу екстрагування сафлорової олії дією надкритичного діоксиду вуглецю.

У науковому дослідженні [8] представлено результати моделювання ультразвукового екстрагування сафлорової олії за допомогою різних розчинників: гексану, етилацетату, петролейного ефіру на 95%-го етанолу.

Слід зазначити, що під час переробки олійних культур однією з найскладніших задач є якісне обрушування насіння, яке дозволяє:

- отримати макуху з низьким лушпинням, яке можна утилізувати;
- підвищити вихід олії;
- підвищити виробничий об'єм пресових цехів, бо навіть часткове видалення оболонки скорочує об'єм адсорбованої олії;
- використовувати оболонку як паливо та сировину для отримання хімічних продуктів;
- знизити вміст токсичних речовин і продуктів окиснення у нерафінованій олії;

Основною метою підготовки насіння до обрушування є зниження границі пружності оболонки, тобто надання їй таких властивостей, за яких руйнування відбуватиметься під дією мінімальних зусиль з боку робочих органів обрушувальних машин [9].

Руйнування насінневих оболонок, зважаючи на їх крихкість, прийнято проводити силовою взаємодією, заснованою на однократному чи багатократному ударі. Руйнування відбувається лише тоді, коли пластичні деформації не встигають виникнути.

Автори дослідження, виконаного на кафедрі технології жирів і продуктів бродіння НТУ «ХП» упродовж останніх років виявили цілий ряд ефектів, зв'язаних з використанням «удару холодом» у технології підготовчих операцій насіння соняшнику. Обрушування насіння соняшнику у попередньо замороженому стані приводить до зміни цілого комплексу показників, які характеризують властивості початкового насіння, склад рушанки та особливості процесу обрушування. Спостерігається зниження міцності оболонки насіння. З'являється можливість якісного (на 95-99%) обрушування за один прохід через відцентрову насіннерушку насіння різних фракцій у широкому інтервалі вологості.

Під час дослідження гібридних сортів соняшнику було виявлено, що якісне обрушування насіння соняшнику «Український F-1» досягалось як на початковій суміші насіння, так і на вузьких фракціях за температури обрушування – 30 °С, вологості 1-3% і швидкості обертання ротору 23,3 с⁻¹ [10].

Серед інших способів інтенсифікації обрушування насіння соняшнику доцільно згадати науково обґрунтовану пропозицію Фролова Р.Н. щодо використання інфрачервоного випромінювання [11].

II. Постановка задачі. Метою даного дослідження є створення інноваційної технології обрушування насіння сафлору яке попередньо піддано дії штучного холоду.

У відповідності з поставленою метою сформульовано такі задачі:

- провести експериментальні дослідження з обрушування попередньо охолодженого насіння сафлору;
- визначити ефективні параметри обрушування насіння сафлору шляхом апроксимаційного моделювання;
- обґрунтувати економічну доцільність технологічного рішення.

III. Результати. Об'єктом дослідження вибрано насіння сафлору сорту «Лагідний» [1].

Відомо, що для якісного обрушування всього насіння необхідно, щоб його маса та кінетична енергія руху були однакові. Саме тому початкову суміші

насіння необхідно розділяти на фракції та обрушувати кожну з них окремо. Для дослідження вибрано широку фракцію 3,2-3,8 мм, сумарний вихід якої складає 86,0%, початкова вологість становить 5,4% .

На підставі досліджень, виконаних на кафедрі технології жирів та продуктів бродіння щодо обрушення насіння соняшнику, в тому числі гібриду «Український F-1», було прийнято наступний режим обробки насіння сафлору. Обрушування зазначеної фракції насіння сафлору здійснювали за умови різної швидкості обертання ротору насіннерушки «2-Іхно» (23,33-28,33 с⁻¹), частоті струму 85,5 Гц. Попереднє охолодження насіння до мінусових температур (-28÷(-196)°С) здійснювали у паровій фазі над рідкий азотом у герметично закритому поліетиленовому контейнері [12].

Виходячи з цього, досліджено залежність ступеню обрушування насіння сафлору від температури охолодження насіння і частоти обертання ротору насіннерушки.

Експерименти з визначення залежності ступеню обрушування насіння сафлору від температури охолодження насіння і частоти обертання ротору насіннерушки проведено відповідно до плану повного факторного експерименту. (табл. 1). Факторами, що впливають на ступінь обрушування насіння, прийнято температуру охолодження насіння (t) і частоту обертання ротору (ω), функцією відгуку є ступінь обрушування (*degree of crushing*) ($DC(t, \omega)$) зразків. Обрушування насіння сафлору проводили при вологості насіння 5,4 %, олійності насіння – 36 %. Отримані значення ступеню обрушування насіння сафлору знаходилися в межах 30,45...98,08 %.

Результати досліджень представлено на рис. 1.

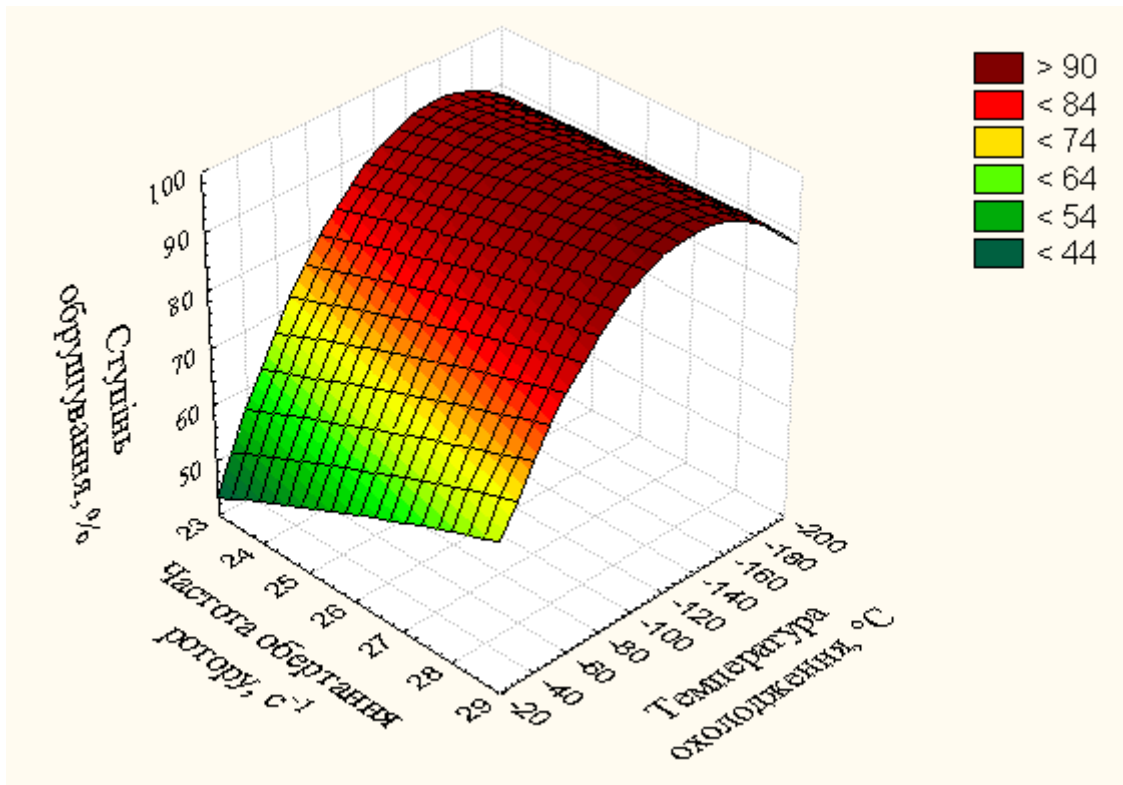


Рисунок 1 – Залежність ступеню оброщування насіння сафлору в залежності від температури попереднього охолодження і частоти обертання ротору насіннерушки

Таблиця 1 – Ефективність обривування насіння сафлору в залежності від температури попереднього охолодження і частоти обертання ротору насіннерушки

Температура охолодження, t, °C	Частота обертання ротору, ω , c ⁻¹	Склад компонентів рушанки, %							Ступінь обривування, %
		ядро	ціляк + недоруш	лушпиння	січка	олійний пил	всього	втрати	середнє значення
-28	23,33	2,45	70,1	15,05	5,85	5,95	99,4	0,6	30,45
		2,48	69	15,1	5,9	5,8	98,28	1,72	
	26,67	2,30	46,95	27,15	9,6	12,35	98,35	1,65	53,28
		2,35	46,5	27	9,8	12,5	98,15	1,85	
	28,33	1,65	38,9	31,85	10,1	13,75	96,25	3,73	61,15
		1,70	38,7	31,9	9,9	14	96,2	3,8	
-45	23,33	2,9	63,6	17,1	7,2	6,4	98,6	1,4	85,10
		3,0	64,7	16,9	6,8	5,9	98,65	1,35	
	26,67	2,8	51,5	22,4	8,5	11,2	98,2	1,8	88,35
		3,1	48,1	22,8	9,2	12,6	97,9	2,1	
	28,33	1,4	40,9	28,5	11,0	14,7	98,25	1,75	89,85
		1,6	42,0	28,2	10,8	14,2	98,4	1,6	
-120	23,33	3,7	58,7	18,9	8,5	7,8	98,8	1,2	85,40
		3,6	58,2	19,1	8,2	8,1	98,6	1,4	
	26,67	3,6	42,2	24,5	11,3	15,2	98,4	1,6	90,00
		3,7	42,0	25,1	10,9	14,8	98,25	1,75	
	28,33	1,8	27,7	35,3	13,1	17,1	97,5	2,5	90,75
		1,8	26,25	35,8	12,95	17,6	97,2	2,8	
-196	23,33	4,8	13,25	42,0	23,1	14,75	97,9	2,1	90,05
		4,95	13,1	42,5	23	14,5	98,05	1,95	
	26,67	4,5	3,85	46,55	25,65	17,95	98,5	1,5	91,30
		4,6	3,9	46,3	25,8	17,8	98,4	1,6	
	28,33	1,7	1,95	44,45	23,95	26,05	98,1	1,9	93,60
		1,8	1,9	44,2	24	25,9	97,8	2,2	

Графік на рис. 1 ілюструє взаємний вплив температури попереднього охолодження і частоти обертання ротору насіннерушки на ступінь обрушування насіння сафлору.

На основі експериментальних досліджень (табл. 1) створено статистичну модель (1) залежності ступеню обрушування насіння сафлору ($DC(t, \omega)$) в залежності від температури попереднього охолодження (t) і частоти обертання ротору насіннерушки (ω) при величині достовірності апроксимації $R > 0,90$, за якою можна прогнозувати ступінь обрушування насіння при вологості насіння 5,4 % від означених вище факторів.

$$DC(t, \omega) = -119,3795 - 1,33 \cdot t + 8,0748 \cdot \omega - 0,0026 \cdot t^2 + 0,0219 \cdot t \cdot \omega - 0,0725 \cdot \omega^2. \quad (1)$$

Коефіцієнти даного рівняння регресії визначали, використовуючи метод найменших квадратів. Значущість окремих коефіцієнтів регресії здійснювали за допомогою критерію Стьюдента (t) шляхом перевірки гіпотези про рівність нулеві відповідного параметра рівняння. Розраховане абсолютне значення критерію Стьюдента $t(9)$ при оцінці окремих коефіцієнтів регресії порівнювали з його критичним табличним значенням $t_{\text{табл}}(9) = 2,262$ при рівні значущості $p = 0,05$ і числі ступенів вільності для множинної регресії $df = 9$. Якщо розраховане абсолютне значення критерію Стьюдента було більшим за його критичне табличне значення, то нульову гіпотезу відхиляли та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнавали значення відповідного коефіцієнта рівняння регресії суттєвим, в протилежному випадку – коефіцієнт регресії визнавали незначущим та виключали з рівняння. Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії залежності ступеню обрушування насіння сафлору в залежності від температури попереднього охолодження і частоти обертання ротору насіннерушки наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів
рівняння регресії

Коефіцієнт рівняння регресії при	Значення коефіцієнту в натуральних величинах	Критерії Стьюдента		Розрахункова імовірність нульової гіпотези для коефіцієнту рівняння регресії (<i>p-level</i>)	Висновок про значущість коефіцієнту
		<i>t</i> (9)	<i>t</i> _{табл} (9)		
<i>Intercept</i>	-119,3795	5,35149	2,262	0,000461	Значущий
<i>t</i>	-1,33	-2,54477		0,031464	Значущий
ω	8,0748	-2,63118		0,043728	Значущий

Для оцінювання якості моделі та повноти впливу обраних факторів визначали коефіцієнт детермінації R^2 . Отримане значення $R^2=0,91$ дозволяє зробити висновок про вельми значний вплив (більший за 91 %) варіацій температури попереднього охолодження і частоти обертання ротору насіннерушки на варіації ступеню обрушування насіння сафлору. Для встановлення значущості моделі регресії розраховували критерій Фішера (F), виходячи з припущення, що рівняння статистично не значиме ($R^2=0$; нульова гіпотеза). Розраховане значення критерію Фішера становило $F(2, 9)=15,353$ і було більшим за його критичне табличне значення $F_{\text{табл}}(2, 9)=4,26$ при рівні значущості $p=0,05$ і числі ступеней вільності $df_1=2$ та $df_2=9$. Даний результат дозволяє відхилити нульову гіпотезу та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнати значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,91$ суттєвим, а модель – значущою. Слід зазначити, що рівняння, яке отримано шляхом апроксимації даних, адекватно описує залежність в інтервалі температури охолодження – 28... -196 °C і частоти обертання ротору – 23...28 с⁻¹.

З експериментальних даних видно, що відбувається збільшення ступеню обрушування насіння сафлору з 30,45 % до 98,08 % після зниженні температури охолодження насіння з -28 °C до -196 °C та при збільшенні частоти обертання ротору з 23,33 с⁻¹ до 28,33 с⁻¹. Це свідчить про те, що задля підвищення ефективності процесу обрушування слід знайти економічно обґрунтоване співвідношення температури охолодження насіння і частоти

обертання ротору насіннерушки. Звертає на себе увагу той факт, що ступінь обривування насіння сафлору досягає 83,0...85,0 % вже зі зниженням температури охолодження насіння до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ і зі збільшенням частоти обертання ротору до $28,33\text{ c}^{-1}$. Очевидно, це пов'язано з тим, що запропонована обробка дозволяє зробити оболонку насінини більш крихкою, а ядру зберегти на необхідному рівні свої пружно-пластичні властивості.

Економічна доцільність впровадження даного технологічного рішення у виробничі масштаби, передусім визначається зниженням сировинної собівартості одиниці продукції (сафлорової олії) в порівнянні з класичним методом.

Розрахунок вартості і потреби у сировині й матеріалах наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок вартості і потреби у сировині й матеріалах

Найменування	Питома норма витрат, т/т	Оптова ціна, грн/т	Витрати на 1 т олії, грн
1. Насіння сафлору	1,3	25000	32500,00
2. Рідкий азот	0,026	18000	468,00
Всього:			32968,00
3. Лушпиння	0,3	2800,00	840,00
Разом за відрахуванням лушпиння:			32128,00

Як свідчать дані розрахунків табл. 1, сировина собівартість переробки насіння сафлору для отримання 1 тони олії становить 32128,00 грн. Натомість, при класичному методі – 48250,00 грн, тобто сировинні витрати при виробництві традиційним способом сафлорової олії більші на 16122,00 грн, або на 33,4 %.

Отже, дане технологічне рішення має високий економічний потенціал, а результати роботи можуть бути впровадженні у виробництво на підприємствах відповідного профілю діяльності.

IV. Висновки. Таким чином, на підставі вищезазначеного можна дійти таких висновків:

- ступінь обрушування насіння сафлору досягає 83,0...85,0 % вже зі зниженням температури охолодження насіння до -45 °С і зі збільшенням частоти обертання ротору до 28,33 с⁻¹. Очевидно, це пов'язано з тим, що запропонована обробка дозволяє зробити оболонку насінини більш крихкою, а ядру зберегти на необхідному рівні свої пружно-пластичні властивості.
- результати економічного обґрунтування технологічного рішення свідчать про комерційну доцільність впровадження його у виробництво олієжирових підприємств.

Література

1. Криштоп Є.А., Ведмедова К.В. Сучасні наукові напрями вирощування культури сафлору красильного (CARTHAMUS TINCTORLUSL.) / Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. Харків, 2017. – Вип. 23. – С. 23-37.
2. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел / под ред. А.Г. Сергеева. – Л. : ВНИИ, 1974. – Т. 1, кн. 2. – 590 с.
3. Харисовач А.В. Фармакогностическое исследование сафлора красильного (CARTHAMUS TINCTORLUSL.) : дис. на здобуття наук. ступеню канд. фарм. наук : спец. 14.04.02 «Фармацевтична хімія, фармакогнозія» // А.В. Харисова. – Самара, 2014. – 141, [1] с.
4. Азимов У.Н. Совершенствование технологии получения высококачественного пищевого масла из местных сортов сафлора : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню канд. техн. наук : спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів» / У.Н. Азимов. – Ташкент, 2009. – 24, [1] с.
5. Алтайулы С. Разработка инновационной технологии производства сафлорового масла / С. Алтайулы, А. Шагирова, М. Муратхан, Н. Байгазов // Вестник Казахского агротехнического университета. – Астана, 2018. – С. 115-120.

6. Берестовой А.А. Совершенствование процесса получения сафлорового масла на одношнековом прессе с использованием ультразвука : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню канд. техн. наук : спец. 05.18.12 «Процеси і апарати харових виробництв» / А.А. Берестовой. – Воронеж, 2018. – 20, [1] с.

7. Han, Xiaojin, Cheng, Leming, Zhang, Rong, Bi, Jicheng "Extraction of Safflower Seed Oil by Supercritical CO₂." Journal of food engineering, v. 92, 4 pp. 370-376. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.12.002.

8. Kinetic model and technology of ultrasound extraction of Safflower seed oil Article in Journal of Food Process Engineering 35(2) · April 2012 with 44 Reads DOI: 10.1111/j.1745-4530.2010.00589.x

9. Технология отрасли (производство растительных масел) / Под. ред. Проф. Корненой Е.П. – СПб : ГИОРД, 2009. – 352 с.

10. Патент 114205 Україна, МПК (2017.01), С11В 1/02 (2006.01), ВОВ 3/00. Спосіб обрушування соняшникового насіння / Л.І. Перевалов, А.В. Попсуйшапка, Ф.Ф. Гладкий та ін. (Україна). – №201500862; заявл. 03.02.2015; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. – 10 с.

11. Фролов Р.Н. Совершенствование процесса обруштвания семян подсолнечника с применением при подготовке инфракрасного облучения : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню канд. техн. наук : спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів» / Р.Н. Фролов. – Краснодар, 2002. – 20, [1] с.

12. Тесленко С.А. Влияние условий обрушивания высокомасличного подсолнечника на переход восков в масло / С. А. Тесленко, А. А. Нетреба, Е. П. Врюкало, Г. В. Садовничий, Л. И. Перевалов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1(10). – С. 41-47. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_1\(10\)_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_1(10)_10).