



УДК 664.723.047

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-10

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ РІПАКУ ЯК ОБ'ЄКТУ СУШІННЯ

Пазюк Вадим Михайлович, д.т.н., доцент, провідний науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики НАН України

Vadym Paziuk, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher
Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Дослідження властивостей насіння ріпаку як об'єкт сушіння передбачає знання фізико-механічних, гігроскопічних, хімічних, теплофізичних характеристик. До фізико-механічних властивостей насіння відносять: розміри і форма, аеродинамічні властивості, стан поверхні, питома вага, шпаруватість та сипучість зернової маси, щільність укладання зернової маси, об'ємна та абсолютна маса, колір, гідравлічний опір.

Проаналізовано хімічний та мінеральний склад ріпаку, він багатий на вміст олії (40-45%), білків (25 – 26%), а також багатий на калій (979мг) та фосфор (840 мг). До гігроскопічних характеристик відносяться дослідження рівноважної вологості ріпаку від впливу відносної вологості та температури повітря. Необхідність сушіння ріпаку до 8% знижує біохімічні процеси в середині матеріалу, що покращує якість і не псує насіння. Теплофізичні характеристики підвищуються з збільшенням температури теплоносія та вологості насіння ріпаку. Наведені формули розрахунку питомої теплоємності та коефіцієнта теплопровідності насіння ріпаку від вологості матеріалу та температури теплоносія. Від значень теплофізичних характеристик залежить резерви інтенсифікації процесу. Наведені формули розрахунку теплопереносу та масопереносу в процесі сушіння насіння ріпаку. Визначені фактори інтенсифікації при сушінні насіння ріпаку такі як: збільшення рухомої сили, збільшення кінетичних коефіцієнтів, збільшення поверхні контакту зерна з теплоносієм. Збільшення рухомої сили за рахунок збільшення різниці вологовмісту та температури теплоносія і зерна. Збільшення кінетичних коефіцієнтів досягається через збільшення коефіцієнтів тепловіддачі, теплопровідності та сушіння. Збільшення поверхні контакту зерна з теплоносієм можливо через активації поверхні і створення розрихленого, псевдозріженого або завислого шару зерна.

Ключові слова: фізико-механічні, хімічні, теплофізичні, властивості, насіння ріпаку, інтенсивність.

Ф. 2. Табл. 8. Літ. 20.

1. Вступ

Ріпак як культура набув широкого розповсюдження в 90-х роках ХХ ст. з отриманням нового низкоерукового сорту ріпаку канолі і посів третє місце в світовому виробництві олій (після соєвої і пальмової) [1].

Виробництво ріпаку є високорентабельним: за врожаєм 20 – 25 ц/га рівень рентабельності виробництва ріпаку складає 190 – 250 %, що на 140 – 160 % більше, ніж для соняшнику [2].

Ріпак широко використовують в харчовій та переробній промисловості для виготовлення: харчової олії [3, 4, 5], фармацевтичних препаратів [6, 7], корму для тварин [7, 8], біодизелю [9,10], мила і отримання жирних кислот, як хімічні складники для мінеральних мастил та олів [11, 12].

Як бачимо, ріпак – цінна культура, яка може принести велику користь нашій державі. Важливою проблемою є первинна обробка насіння ріпаку з метою створення умов його подальшого безпечного зберігання та переробки.

Насіння ріпаку – складна, жива біологічна система. Видалення вологи сушінням змінює кількісне співвідношення його складових частин, внаслідок чого змінюється характер взаємодії між вологою та складовими речовинами зерна. Під час нагрівання і сушіння насіння змінює свої фізико – механічні, хімічні та теплофізичні властивості.

Своєчасна післязбиральна обробка та передпосівна підготовка є основною умовою досягнення високих посівних якостей і зберігання насіння.

**2. Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Вихідний матеріал, як правило, являє собою суміш насіння культурних рослин та бур'янів, а також мінеральних та органічних домішок. Задача полягає в тому, щоб виділити найбільш цінне насіння (тобто з яких отримують найбільш сильні рослини), не змінюючи компонентів вихідного матеріалу. Для цього використовують признаки поділу суміші, які вибираються в залежності від її характеру, особливості культури та сортів з врахуванням їх фізико – механічних властивостей.

При відборі найбільш цінного насіння враховують зв'язок між біохімічними властивостями насіння, які обумовлюють врожайність та цінність даної культури, та їх фізико – механічними параметрами.

До фізико-механічних властивостей насіння відносять: розміри і форма, аеродинамічні властивості, стан поверхні, питома вага, шпаруватість та сипучість зернової маси, щільність укладання зернової маси, об'ємна та абсолютна маса, колір, гідравлічний опір.

1. *Розміри і форма.* Насіння культурних рослин та домішок розрізняють за розмірами. Сортуння за розмірами, досягається розділенням їх по масі.

2. *Абсолютна маса* насіння, або маса 1000 шт. в грамах, визначає властивості не окремого насіння, а їх сукупності, він дає уявлення про середню масу насіння.

3. *Стан поверхні* насіння залежить від зрілості, вологості та впливає на характер їх руху в різних умовах.

4. *Об'ємна маса (насіпна маса)*, тобто маса в одиниці об'єму, залежить від питомої ваги насіння та щільності „укладання”, на яку впливає вологість, розміри, форма та стан поверхні.

5. *Щільність укладання зернин* кожної культури може характеризуватись величиною, яка називається насипною щільністю. Ця величина залежить від культури та вологості зерна.

6. *Сипучість зернової маси* – характеризується кутом природного укусу, який залежить від розмірів і форми зернин, стану її поверхні, а також від характеру домішок. З підвищенням вологості сипучість зернової маси зменшується (кут природного укусу збільшується). Сипучість зернової маси враховують під час вибору розмірів, форми, кутів нахилу різних вузлів зерносушарок (коробів, самопливних труб, випускних пристроїв та ін.).

7. *Шпаруватість зернової маси* – відношення об'єму міжзернового простору до всього об'єму, що займає зернова маса. Зернова маса в свою чергу залежить від форми та розмірів зернин основної культури, стану її поверхні, засміченості зернової маси, способу укладання зерна. Чим більші зернини, тим більша шпаруватість зернової маси.

8. *Аеродинамічні властивості* матеріалу характеризуються швидкістю вітання, тобто величиною відносної швидкості повітряного потоку. Завдяки різниці в швидкостях вітання вдається видалити з основної культури домішки та відокремити легке насіння від важкого.

9. *Колір* насіння різних культур та сортів неоднаковий, завдяки чому по різному відбивають сонячні промені. Цю властивість використовують в якості поділу суміші.

10. *Гідравлічний опір зернового шару* – залежить від товщини шару, що продувається, швидкості та параметрів повітря, шпаруватості зернової маси, а також стану (шорсткості) поверхні зернин.

Зміна фізико-механічних властивостей насіння ріпаку пов'язана як з зміною вологості насіння так і від сортових ознак (табл.1) [13, 14].

Таблиця 1

Основні фізико-механічні властивості насіння ріпаку

Властивість	Сорт								
	Український (озимий)		Східносибірський (озимий)			Світоч (озимий)			
Вологість ріпаку, %	6,2	7,8	6,0	17,4	23,4	6,0	16,6	23,4	
Маса 1000 насінин, г	4,8	5,2	5,2	5,48	5,56	3,7	3,75	4,45	
Насіпна щільність, кг/м ³	688	667	662	656	641	600	600	597	
Кут природ. укусу, град	24	26	20°15'	20°50'	21°10'	31°20'	32°22'	32°57'	
Кут зовнішнього тертя спокою	по сталі	0,283	0,285	0,287	0,466	0,510	0,292	0,315	0,322
	по алюмінію	-	-	-	-	-	0,237	0,325	0,328
	по пластмасі	0,356	0,309	-	-	-	0,194	0,364	0,401
	по гумі	0,302	0,396	0,466	0,499	0,625	0,262	0,352	0,364
Коефіцієнт тертя руху	0,321	0,262	-	-	-	0,338	0,400	0,418	
Пористість шару, %	67,53	68,51	-	-	-	56,7	58,5	59,7	
Шпаруватість,%	32,47	31,49	-	-	-	43,3	41,5	40,3	



З збільшенням вологості з 6 до 23,4% приводить до збільшення майже всіх властивостей насіння ріпаку: маси 1000 насінин на 9 – 20%, кута природного укусу на $1^{\circ}30'$, кута зовнішнього тертя спокою в залежності від поверхні на 1,1 – 2 рази, коефіцієнта тертя руху на 24% та пористості шару на 3 – 5%. Кожен сорт озимого ріпаку має свої особливості за фізико-механічними властивостями, що видно із наведених характеристик в табл. 1.

Крім біологічних реакцій, в насінні під час сушіння можуть відбуватись структурно – механічні зміни: ущільнення або розрив оболонки, розтріскування ядра та ін. – зміна цих показників пов'язана з хімічним складом зерна.

Середній хімічний склад насіння ріпаку свідчить, що озимий ріпак більше ярового за вмістом олії на 4,92%, та менше за вмістом білку на 1,31% (табл.2) [15].

Таблиця 2

Середній хімічний склад ріпаку, % за масою

Хімічний склад	Олія	Білки	Вуглеводи	Клітковина	Вода	Зола
Ріпак озимий	45,27	25,03	14,54	6,27	5,2	3,69
Ріпак яровий	40,35	26,34	14,95	5,37	5,8	5,37

Вміст мінеральних речовин, вітамінів та енергетична цінність насіння ріпаку мають важливе значення при збалансованому харчуванні [15]. За мінеральним вмістом речовин (табл. 3.) ріпак має найбільший вміст калію 979 мг та фосфору 840 мг, а також багатий на кальцій, магній.

Енергетична цінність ріпаку становить 2071 кДж.

Таблиця 3

Вміст мінеральних речовин і енергетична цінність на 100 г. маси ріпаку

Мінеральні речовини						Енергетична цінність, кДж
Na	K	Ca	Mg	P	Fe	
міліграми						
139	979	454	311	840	63	2071

Використання неприпустимо жорстких режимів зневоднення чинить необоротні процеси, що приводить до погіршення якості насіння. Неприятливі умови зміни технологічних властивостей зерна можуть розпочатися не тільки через перегрівання, а й через неприпустимо швидке видалення вологи, що призводить до порушення мікро – і макроструктури тканини зерна. Разом з тим, неприпустимо також пересушування зерна нижче встановленої рівноважної вологості насіння, бо це призводить до значних витрат енергії та до погіршення біохімічних властивостей зерна.

Рівноважна вологість ріпаку збільшується при зниженні температури та підвищенні відносної вологості повітря (табл.4) [16,17].

Таблиця 4

Рівноважна вологість насіння ріпаку

Температура, °C	Відносна вологість повітря, %									Автор
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
20	4,06	4,5	5,0	5,94	6,87	8,12	9,87	13,12	20,06	Піхлер Х. Дж.
40	2,18	2,81	3,37	4,06	5,0	6,12	7,5	9,48	15,0	
60	1,25	1,75	2,06	2,56	3,25	4,06	5,0	7,5	11,25	
80	0,62	0,75	0,94	1,25	1,87	2,5	3,43	5,0	9,37	
25	–	–	4,9	5,7	6,6	7,4	8,8	11,9	17,4	Аніскін В.І.
3	–	–	–	–	9,4	9,7	10,5	11,3	–	Берегова О.М.
15	–	–	–	–	7,0	7,8	9,0	10,0	–	
20	–	8,2	9,4	10,7	11,9	13,2	14,9	16,9	19,2	
30	–	7,9	9,0	10,1	11,2	12,4	13,9	15,9	18,3	

Для насінневого зерна – його росту – важливу роль відіграє зародок, тканини якого складаються з живих клітин. Живильні речовини для зародка надходять з ендосперми. У зв'язку з цим при сушінні зерна важливу роль має напрямок руху потоку вологи; якщо потік рідини направлений зсередини, то водорозчинені живильні речовини переносяться з ендосперми до зародку. Тому необхідно створювати такі режими, при яких термічний потік вологи в рідкому стані направлений зсередини до поверхні і зона випаровування розташовується по можливості ближче до зовнішньої поверхні зернівки.



Вода має важливе значення для життєздатності зерна, але надлишкова волога сприяє його псуванню. На практиці зустрічаються з «сирим» зерном підвищеної вологості, при збиранні врожаю при дощі. Так для насіння ріпаку сухим зерном вважають зерно до 8% (табл. 5) [18].

Таблиці 5

Класифікація стану зерна по вологості за ДСТУ 4966:2008

Культура	Вологість зерна, %					сире – вище
	сухе – до	Середньої сухості		Вологе		
		вище	до	вище	до	
Ріпак	8	8	10	10	12	12

Вивчення теплофізичних характеристик насіння ріпаку – характеризується наступними параметрами: питома теплоємність c , коефіцієнт теплопровідності λ та коефіцієнт температуропровідності a , що змінюються в процесі тепло – та масообміну (табл. 6, 7) [17,19]. Від їхніх значень залежать резерви інтенсифікації процесу сушіння.

Таблиця 6

Теплофізичні характеристики насіння ріпаку

Сорт	Вологість W , %	Температура t , °C	Насипна щільність ρ , кг/м ³	Питома теплоємність c , Дж/(кг·К)	Коеф. теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Коеф. температуропровідності $a \cdot 10^8$, м ² /с	Автор
Світоч	6	22	633	1062	0,075	11,1	Берегова О.М.
		62	633	1363	0,230	27,8	
	10	22	622	1215	0,093	12,3	
		36	622	1237	0,101	13,9	
		44	622	1389	0,160	18,5	
	15	24	614	1498	0,128	13,9	
		36	612	1781	0,121	11,1	
	20	24	600	2045	0,136	11,1	
36		600	2107	0,179	13,9		
Не вказано	0	18	553	2244	0,160	12,89	Пабіс С.
Торх	5,54	2	712	1397	0,095	10,14	Мойсей Э.Б.
		19	711	1481	0,103	9,47	
	19,64	2	649	1807	0,112	9,42	
		19	628	1812	0,120	9,00	
Arlo	3,95	25 – 90	722	1503	0,105	9,67	Тімберс Г.Э.
Oro	3,62		659	1537	0,098	9,67	
Echo	7,87		657	1838	0,133	10,17	
Arlo	8,07		727	1830	0,140	10,52	
Oro	8,4		639	1792	0,126	11,00	

Таблиця 7

Формули розрахунку питомої теплоємності та коефіцієнта теплопровідності насіння ріпаку

Вологість ріпаку W , %	Температура T , К	Питома теплоємність c , Дж/(кг·К)	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Автор
0...27	283...323	$c = 1553 + 28,8 \cdot W$	–	Муэйбауре В.
0,75...19,64	292	$c = 1356 + 32,0 \cdot W$	–	Мойсей Э.Б.
0...28,5	283...293	$c = 1244 + 58,7 \cdot W$	$\lambda = 0,16 + 0,006 \cdot W$	Шарма С. К.
0...40	291	$c = 2244 + 4,186 \cdot W$	$\lambda = 0,16 \cdot (1 + 2,668 \cdot W)$	Пабіс С.
4,4...8,1	330	–	$\lambda = 0,063 + 0,0095 \cdot W$	Шерер Р
6,1	277...305	–	$\lambda = 0,0066 + 0,000366 \cdot T$	Біланський В.К.
8,0		–	$\lambda = 0,156 + 0,000366 \cdot T$	
11,6		–	$\lambda = -0,088 + 0,000769 \cdot T$	
12,8		–	$\lambda = -0,039 + 0,000634 \cdot T$	
5...22	278...329	–	$\lambda = 0,067 + 0,00215 \cdot W + 0,00157 \cdot T$	Шерер Р



3. Виклад основного матеріалу

З наведених даних досліджень теплофізичні характеристики насіння ріпаку залежать від температури теплоносія та вологості матеріалу, а також від сортових ознак. Наведені формули розрахунку питомої теплоємності та коефіцієнта теплопровідності насіння ріпаку від вологості матеріалу та температури теплоносія.

На початку процесу сушіння, коли прогриваються поверхневі шари насіння, вологість їх вища за рівноважну. Тому волога з поверхні зернини починає випаровуватися і виходить у вигляді пари в зовнішнє середовище. В середині зернини виникає градієнт концентрації вологи, під дією якого волога у вигляді рідини пересувається до поверхні. У міру її поглиблення середня температура зернини підвищується, а температура її поверхні наближається до температури агента сушіння. При цьому змінюється також механізм перенесення вологи в зернині: волога із центра доходить до зони випаровування у вигляді рідини, а від цієї зони до поверхні зернини вона рухається вже у вигляді пари.

Нарешті настає момент, коли кількість вологи, яка надходить із зернини до поверхні, досягає такого значення, при якому її вологовміст дорівнює гігроскопічному. Цей момент на кривій сушіння є першою критичною точкою.

Описаний механізм руху вологи всередині зернини спостерігається лише при відносно низьких температурах агента сушіння та невеликій швидкості сушіння. В разі інтенсифікації сушіння поверхня випаровування починає поглиблюватися всередину зернини з самого початку процесу, причому вологовміст зони випаровування наближається до значення рівноважного вологовмісту.

Прогрівання зернини зумовлює появу в ній не тільки градієнта вологості, а й градієнта температури, під дією якого також усередині зернини рухається волога. Цей її рух називають термовологопровідністю, або термодифузією. Термовологопровідність є причиною руху вологи в напрямку теплового потоку. При конвективному сушінні градієнт температури чинить потік вологи від поверхні зернини до її центра, тобто протилежний потоку вологи, зумовленому градієнтом вологовмісту. Термовологопровідність у цьому разі перешкоджає руху вологи із зернини до її поверхні. При охолодженні зернини напрямки потоків вологопровідності та термовологопровідності збігаються.

Рівняння теплопереносу:

$$Q = k_T \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau, \quad (1)$$

де $k_T = f(\lambda, \alpha)$ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); Δt – різниця температур; F – площа контакту, м²; τ – час.

Рівняння масопереносу в формі рівняння сушіння

$$-\frac{dW^c}{d\tau} = k \cdot (W^c - W_p^c), \quad (2)$$

де $k = f(\alpha_{з.м.}, \alpha_{вн.диф.})$ – коефіцієнт сушіння, с⁻¹; $\alpha_{з.м.}$ – коефіцієнт зовнішнього масообміну, м²/с (функція парціального тиску); $\alpha_{вн.диф.}$ – коефіцієнт внутрішньої дифузії, м/с (функція температури нагрівання зерна).

У капілярно-пористих тілах волога може переміщуватись:

– в вигляді пари шляхом:

а) ефузії – коли середня довжина вільного пробігу більше радіуса капіляра, тобто молекули пари проходять через мікрокапіляр ($r < 10^{-5}$ см) незалежно в вигляді молекулярного пучка;

б) дифузії – коли середня довжина вільного пробігу не більше радіусу капіляра ($r \geq 10^{-5}$ см), швидкість дифузійного переносу не залежить від розміру капіляра, а зростає з збільшенням температури зерна і зниженням тиску повітря в зовнішньому середовищі.

Якщо під час сушіння інтенсивність утворення пари більша, ніж швидкість її перенесення із зони випаровування в зовнішнє середовище, то волога всередині зернини може рухатися завдяки градієнту загального тиску.

Зерно – вологоінерційний матеріал, процес сушіння його обмежується внутрішнім перенесенням вологи. Тому при будь-яких засобах інтенсифікації цього процесу слід домагатися певної відповідності між інтенсивністю випаровування вологи з поверхні зерна та внутрішнім вологоперенесенням. Найраціональніше використовувати такі методи та режими сушіння, коли водночас з інтенсифікацією зовнішнього термовологообміну досягається збільшення швидкості внутрішнього вологоперенесення, при якому зона випаровування розташовується якомога ближче до зовнішньої поверхні зернини. Тому для інтенсифікації процесу сушіння необхідно збільшувати коефіцієнт дифузії вологи попереднім нагріванням зерна.



В табл. 8 наведені фактори інтенсифікації сушіння зерна, які дозволяють визначити основні напрямки прискорення процесу сушіння насіння ріпаку.

Таблиця 8

Фактори інтенсифікації процесу сушіння зерна

Фактори інтенсифікації		Інтенсифікуючі дії												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Збільшення рухомої сили	Збільшення різниці вологовмісту теплоносія і зерна		♦		♦									
	Збільшення різниці температур теплоносія і зерна		♦											
Збільшення кінетичних коефіцієнтів	Збільшення коеф. теплопровідності зерна	♦				♦								
	Збільшення коеф. тепловіддачі від теплоносія до зерна	Зменшення товщини аеродинамічного шару							♦			♦	♦	
		Зменшення товщини дифузійного шару							♦	♦		♦	♦	
	Збільшення коеф. сушіння	Зменшення парціального тиску пари в теплоносії				♦								
		Збільшення коеф. масопередачі	♦		♦		♦	♦				♦		
Збільшення поверхні контакту зерна з теплоносієм	Організація розрихленого, псевдозрідженого або завислого шару									♦				
	Організація падаючого шару зерна	Зменшення об'ємної концентрації зерна							♦					
		Збільшення швидкості теплоносія								♦				
	Активація поверхні зерна					♦		♦		♦				

Інтенсифікуючі дії

1	Попереднє нагрівання сирого зерна	7	Турбулізація течії теплоносія
2	Осцилюючий процес «нагрівання-охолодження»	8	Збільшення швидкості теплоносія
3	Зміна пористості і числа капілярів	9	Перемішування зернового шару
4	Зниження вологовмісту теплоносія	10	Збільшення швидкості зерна
5	Акустичні дії, вібрація	11	Імпульсна зміна швидкості теплоносія
6	Електричні і магнітні поля		

4. Висновки

Приведені результати досліджень з визначення фізико-механічних, хімічних, гігроскопічних та теплофізичних властивостей насіння ріпаку. Знання цих властивостей дає можливість характеризувати насіння ріпаку як об'єкт дослідження.

Інтенсивність процесу сушіння насіння ріпаку досягається через збільшення рухомої сили, кінетичних коефіцієнтів та поверхні контакту зерна з теплоносієм.

Інтенсивність процесу сушіння насіння ріпаку вимагає запровадження низькотемпературних режимів сушіння і основним фактором інтенсифікації є зниження вологовмісту теплоносія.

**Список використаних джерел**

1. Naumann Barbara Fitch. Bioengineered oilseed acreage escalating . INFORM: Int. News Fats, Oils and Relat. Mater. 1999. Vol. 8, № 8. P. 804–806, 808–811.
2. Щербаков В.Я., Фесенко І.В., Неруцький С.Т. Ріпак на півдні України: проблеми та перспективи вирощування. Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. праць. 1999. Вип. 3 (6). С. 334–339.
3. Черешинська Н. Ми повинні навчити селян заробляти гроші. Пропозиція. 2000. № 6. С. 22–23.
4. <http://www.minagro.kiev.ua> – офіційний сайт Міністерства аграрної політики України.
5. Гауе О., Шіхерт А. Вирощування озимого ріпаку – економічні результати справді переконливі. Пропозиція. 2005. №6. С. 36–37.
6. Перцев М.І., Дмитрієвський Д.І., Рибачук В.Д. та ін. Допоміжні речовини в технології ліків: вплив на технологічні, споживчі, економічні характеристики і терапевтичну ефективність: навч. посіб. для студ. вищ. фармац. навч. закл. Харків: Золоті сторінки, 2010. 600 с.
7. Андросчук С.Т., Мостіпан Т.В., Дзюба Л.П. Все про ріпак. Методичні вказівки. Кіровоград : КІАПВ УААН, 2006. 27 с.
8. Венжик С., Цива-Бенко К. Польський кормовий ринок. Комбикорма. 1999. № 8. С.11.
9. Конеченков А. Біопаливо для України. Зелена енергетика. 2007. № 1. С. 10–11.
10. Ефективність та доцільність використання біодизельного палива в Україні. Пропозиція. 2005. № 10. С. 36–39.
11. Редзюк А., Рубцов В., Гутаревич Ю. Чи є перспектива у використанні ріпакової олії як моторного пального в Україні? Пропозиція. 1999. № 5. С. 55–56.
12. Матиєнко А. Ф. Рапс – культура більших можливостей. Земледелие. 2000. № 1. С. 38–39.
13. Овсянникова Л., Орлова С., Гончарук Г. Для ефективного очищення насіння ріпаку й гірчиці від важковідокремлюваних домішок. *Зерно і хліб*. 2007. № 2. С. 24–25.
14. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. *Вісник харківського державного університету сільського господарства*. 2001. Вип. 5. С. 282–287.
15. Подпрятков Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М., Хилевич В. С. Зберігання і переробка продукції рослинництва : Навч. посібник. К.: Мета, 2002. 495 с.
16. Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна : монографія. Київ: видавництво ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с.
17. Берегова О. М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. *Холодильна техніка і технологія*. 2001. № 2 (71). С. 49–51.
18. ДСТУ 4966:2008. Насіння ріпаку для промислового перероблення. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
19. Берегова О. М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. *Холодильна техніка і технологія*. 2001. № 2 (71). С. 49–51.
20. ДСТУ 4138 – 2002 . Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування схожості насіння. К.: Держспоживстандарт. 2003. С. 10–14.

References

- [1] Naumann Barbara Fitch. Bioengineered oilseed acreage escalating . INFORM: Int. News Fats, Oils and Relat. Mater. 1997. Vol. 8, № 8. P. 804–806, 808–811.
- [2] Shcherbakov V.Ya., Fesenko I.V., Nereutskyi S.T. Rape in the south of Ukraine: problems and prospects of cultivation. Agrarian Bulletin of the Black Sea Coast: Collection. of science works 1999. Issue 3 (6). P. 334–339.
- [3] Chereszynska N. We must teach peasants to earn money. Offer. 2000. No. 6. P. 22–23.
- [4] <http://www.minagro.kiev.ua> – the official website of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine.
- [5] Gaue O., Shichert A. Cultivation of winter rapeseed - the economic results are really convincing. Offer. 2005. No. 6. P. 36–37.
- [6] Pertsev M.I., Dmytrievskiy D.I., Rybachuk V.D. etc. Excipients in drug technology: impact on technological, consumer, economic characteristics and therapeutic effectiveness: training. manual for students higher pharmacy education closing - Kharkiv: Golden Pages, 2010. 600 p.
- [7] Androshchuk S.T., Mostipan T.V., Dziuba L.P. All about rapeseed. Methodical statements. Kirovograd: KIAPV UAAN, 2006. 27 p.
- [8] Venzhik S., Tsiva-Benko K. Polish feed market. Compound feed. 1999. №. 8. P.11.



- [9] Konechenkov A. Biofuel for Ukraine. Green energy. 2007. No. 1. P. 10-11.
- [10] Effectiveness and expediency of using biodiesel fuel in Ukraine. Offer. 2005. No. 10. P. 36–39.
- [11] Redzyuk A., Rubtsov V., Gutarevich Yu. Proposition. 1999. No. 5. P. 55–56.
- [12] Matienko A.F. Rapeseed is a culture of great opportunities. Agriculture. 2000. No. 1. P. 38–39.
- [13] Ovsyannikova L., Orlova S., Goncharuk G. For effective cleaning of rapeseed and mustard seeds from difficult-to-separate impurities. Grain and bread. 2007. No. 2. P. 24 – 25.
- [14] Beregova O. M., Stankevich G. M. Follow-up to the process of drying and repackaging. Bulletin of the Kharkiv State University of the Silesian State. 2001. VIP. 5. S. 282–287.
- [15] Podpryatov G.I., Skaletska L.F., Senkov A.M., Khilevich V.S. Storage and processing of plant products: Education. Manual. K.: Meta, 2002. 495 p.
- [16] Snezhkin Y.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Chalayev D.M. Heat pump grain dryer for seed grain. Monograph. Kyiv: Polygraph-Service LLC publishing house, 2012. 154 p.
- [17] Berehova O.M. Influence of humidity and temperature on thermophysical characteristics of rapeseed. Refrigeration equipment and technology. 2001. No. 2 (71). P. 49–51.
- [18] DSTU 4966:2008. Rapeseed seeds for industrial processing. Specifications. - K.: Derspozivstandard of Ukraine, 2010. 12 p.
- [19] Berehova O.M. Influence of humidity and temperature on thermophysical characteristics of rapeseed. Refrigeration equipment and technology. 2001. No. 2 (71). P. 49–51.
- [20] DSTU 4138 – 2002. Seeds of agricultural crops. Methods of analyzing seed germination. - K.: Derzhspozhivstandart. 2003. P. 10–14.

STUDY OF THE PROPERTIES OF RAPESEED AS A DRYING OBJECT

The study of the properties of rapeseed as an object of drying involves knowledge of physico-mechanical, hygroscopic, chemical and thermophysical, characteristics. The physico-mechanical properties of seeds include: size and shape, aerodynamic properties, surface condition, specific gravity, porosity and flowability of the grain mass, packing density of the grain mass, bulk and absolute weight, color, hydraulic resistance.

The chemical and mineral composition of rapeseed was analyzed, it is rich in oil content (40-45%), proteins (25-26%), and also rich in potassium (979 mg) and phosphorus (840 mg). Hygroscopic characteristics include studies of the equilibrium humidity of rapeseed under the influence of relative humidity and air temperature. The need to dry rape to 8% reduces biochemical processes in the middle of the material, which improves the quality and does not spoil the seeds. Thermophysical characteristics increase with an increase in the temperature of the coolant and the moisture content of rapeseed. Formulas for calculating the specific heat capacity and thermal conductivity coefficient of rapeseed from the humidity of the material and the temperature of the heat carrier are given. To determine the qualitative characteristics of rapeseed, a method of determining biochemical parameters is presented. Determining biochemical indicators such as germination and germination energy of rapeseed before and after drying allows finding rational regimes. Determined factors of intensification during drying of rapeseed are as follows: increase in driving force, increase in kinetic coefficients, increase in the contact surface of the grain with the coolant. An increase in driving force due to an increase in the difference in moisture content and temperature of the coolant and grain. An increase in the kinetic coefficients is achieved due to an increase in the coefficients of heat transfer, thermal conductivity and drying. An increase in the contact surface of the grain with the coolant is possible due to the activation of the surface and the creation of a loose, pseudo-liquefied or suspended grain layer.

Key words: *physico-mechanical, chemical, thermophysical, properties, rapeseed, intensity.*

F. 2. Table. 8. Ref. 20.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Пазюк Вадим Михайлович – доктор технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (вул. Булаховського, 2, корп. 2, м. Київ., 03164, Україна, e-mail: vadim_pazuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4955-1941>).

Vadym Paziuk – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Research Fellow of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine (2 Bulakhovsky St., Building 2, Kyiv, 03164, Ukraine, e-mail: vadim_pazuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4955-1941>).