

Зберігання зерна в металевих сховищах

М.Я. Кирпа, доктор сільськогосподарських наук
Інститут зернового господарства УААН, м. Дніпропетровськ

Наведено техніко-технологічну оцінку нових металевих зерносховищ, виявлено особливості зберігання зерна в них. З метою підвищення надійності і стабільності зберігання рекомендовано проводити термозахист та герметизацію сховищ за допомогою полімерних матеріалів. У разі герметизації вологість зерна кукурудзи має бути на рівні 9–11 %, що підвищує термін зберігання страхових і резервних фондів та забезпечує їх якість.

В Україні останнім часом зростає кількість металевих сховищ для зберігання зерна. Їх безперечними перевагами є високі техніко-експлуатаційні показники: швидке будівництво на основі використання збірних, завчасно підготовлених елементів, широкий типорозмірний ряд, механізація завантажувально-розвантажувальних робіт, можливість герметизації, контроль за режимами зберігання. Це дозволяє оперативно будувати сховища в нових місцях, найбільш сприятливих для операцій зі зерном, проводити його заготівлю, переробку, відвантаження на різноманітний транспорт, у тому числі з метою експортного постачання. Металеві сховища можуть мати і високий рівень утилізації, наприклад у разі їх заміни чи інших непередбачуваних обставин.

Але все ж металеві сховища не є принципово новими в технологіях зберігання, оскільки їх раніше використовували у вигляді оперативних чи накопичувальних місткостей в складі механізованих потокових ліній для приймання, очищення і сушіння врожаю зерна [1]. Проте все частіше металеві сховища, у тому числі збільшеної місткості, рекомендуються для зберігання зерна, хоча б з метою притримати його і одержати більш високу ціну [2–3].

У зв'язку з цим виникає проблема технології зберігання зерна в металевих сховищах. Проблема торкається низки питань: які культури можна в них зберігати, параметри збереження, допустимі терміни зберігання тощо. Аналіз опублікованих матеріалів показує, що технологія зберігання зерна в металевих сховищах повністю не відпрацьована і не може бути механічно перенесена з іншого досвіду. Слід також зважати на конкретні погодно-кліматичні умови і місце будівництва, оскільки сховища експлуатуються, як правило, на відкритих незахищених майданчиках і зазнають значної дії зовнішніх факторів.

Не визначені динаміка зміни температури і вологості зерна у сховищі відносно зовнішніх коливань, газовий склад в зерновій масі, якість продукції в процесі зберігання. Не виявлені особливості підготовки зерна до зберігання в металевих сховищах: його допустима вологість, чистота, рівень ушкодження та інші показники залежно від призначення продукції. Відсутні дані щодо

можливості зберігання насіннєвого зерна і його допустимих термінів. Не конкретизовані терміни експлуатації металевих сховищ залежно від інтенсивності їх використання, погодно-кліматичних умов, рівня оснащення.

На наш погляд, усі ці обставини будуть неминуче виникати в ході експлуатації металевих сховищ, тому слід провести їх більш широке кваліфіковане вивчення, виявити вплив важливих факторів на якість зерна, розробити науково обґрунтовану технологію його зберігання.

Відомо, що найбільше значення в технологіях зберігання має температурний режим. По-перше, температура має бути достатньо низькою для того, щоб обмежити дихання зерна, а також життєдіяльність мікроорганізмів і шкідливих комах у зерновій масі. Тобто безпечно допустимий рівень температури не повинен перевищувати 5–10 °С залежно від культури та вологості зерна. По-друге, бажано, щоб температура була стабільною, оскільки при її значних коливаннях провокується розвиток мікроорганізмів і шкідників, з'являється конденсат вологи між шарами зерна, тобто створюються умови для самозігрівання, навіть при зберіганні в сухому стані. Тому **метою** нашої роботи було оцінити техніко-експлуатаційні показники нових металевих зерносховищ, визначити в них вплив умов зберігання та температурного режиму на якість зерна кукурудзи, удосконалити конструкцію зерносховищ.

Методика досліджень. Якість зерна кукурудзи в процесі зберігання визначали за показниками вологості, чистоти та вмісту основного зерна, рівня травмованості, кислотності, схожості відповідно до чинних методів ДСТУ і ГОСТ. Температурний режим, що складався в різних шарах насипу в зерносховищі, вимірювали за допомогою дистанційної термометрії. Температуру атмосферного повітря встановлювали за даними Дніпропетровського центрального гідрометеобюро.

Результати досліджень. Встановлено, що в нерегульованих умовах звичайного сховища температурний режим значно залежав від температури навколишнього середовища. Нами проаналізована температура, яка може складатися в період збирання, заготівлі і зберігання зерна кукурудзи на прикладі умов Придніпровського регіону (Дніпропетровська область). Залежно від особливостей року і досягання кукурудзи, збирання зерна в ньому може розпочинатися з третьої декади вересня, вестися в жовтні і закінчуватися в грудні. Сховища більшою мірою можуть завантажуватися в жовтні–грудні, тобто період постійного зберігання також припадає на ці календарні терміни.

Аналіз показав, що середня температура повітря в межах 8–10 °С, яка вже є допустимою для зберігання зерна, складалася в Дніпропетровській області починаючи з другої декади жовтня (табл. 1).

Але за багаторічними даними така температура припадала раніше на першу декаду, тобто зараз спостерігається суттєве потепління клімату, що слід враховувати при зберіганні зерна у сховищах, які більш залежні від зовнішніх умов. У цілому підвищення температури відбулось на 0,9–4,2 °С за період заготівлі і зберігання зерна кукурудзи порівняно з багаторічними показниками. Характерною особливістю періоду було і різке коливання температури між

максимальною і мінімальною. У середньому за роки досліджень різниця становила 20 °С, а в окремих випадках температура сягала 25–26 °С.

1. Температура повітря в період заготівлі і зберігання зерна кукурудзи за даними Дніпропетровського ЦГМ, 2004–2007 рр.

Місяць	Декада	Температура, °С				
		максимальна	мінімальна	середня	багаторічна середня	відхилення від норми
Вересень	III	29,6	9,6	17,2	13,0	+4,2
Жовтень	I	27,2	2,0	13,2	10,8	+2,4
	II	18,1	-2,5	9,5	8,8	+0,7
	III	20,6	-4,5	8,3	5,8	+2,5
Листопад	I	14,7	-7,0	4,5	3,6	+0,9
	II	12,2	-6,7	3,6	2,5	+1,1
	III	15,2	-10,8	1,6	1,3	+0,3
Грудень	I	10,6	-9,3	2,3	-0,6	+2,9
	II	9,2	-11,5	0,5	-2,6	+3,1
	III	9,2	-12,0	-1,4	-2,8	+1,4
Січень	I	8,1	-14,2	-0,8	-4,0	+3,2

Тенденція до підвищення температури повітря особливо посилилася в 2006–2008 рр. Потепління було значним; навіть в зимово-весняний період зберігання зерна середньодобова температура повітря зростала на 0,9–9,8 °С порівняно з багаторічною. Посилювалася також різниця між максимальним і мінімальним значеннями температури повітря, вона досягала 23–24 °С.

Відмічені коливання зовнішньої температури суттєво впливали на температурний режим, який складався всередині металевого зерносховища (табл. 2). Проте вплив був неадекватний і залежав від конструкції і ступеня термозахисту зерносховища.

У сховищі зі стінками, що мали шар поліуретану, температура зерна була більш помірною і поступово знижувалася внаслідок охолодження. Наприклад, протягом перших 32 діб зберігання, температура зерна знижувалася в межах 9–5 °С, а за такий же наступних період – в межах 5,4–1,5 °С. У сховищі без термозахисту температура значно коливалась як в бік підвищення, так і зниження. В окремі періоди зберігання температура зерна підвищувалася до 16,4 °С і знижувалася до 2,5 °С залежно від коливання зовнішньої температури. При цьому максимальне підвищення спричинювалося не лише зміною зовнішньої температури, а й фізіологічними процесами в зерні – розвитком мікрофлори, активізацією шкідників в умовах потепління, що тривало протягом 8 діб.

Встановлено певний інерційний хід температури у сховищі відносно зовнішніх значень. У середньому інерція складала 1–2 доби, тобто температура зерна в різних шарах насипу на такий час могла не співпадати з температурою

атмосферного повітря залежно від її рівня та швидкості зміни, а також товщини насипу.

2. Динаміка температури в процесі зберігання зерна кукурудзи в металевих сховищах, жовтень–грудень 2006 р.

Місяць	Тривалість зберігання, доба	Температура, °С		
		повітря	у сховищі	
			з термозахистом	без термозахисту
Жовтень	4	8,6	-	-
	8	5,4	8,2	6,4
	12	3,8	-	-
	16	12,9	7,0	5,0
	20	10,5	-	-
Листопад	24	5,2	7,8	16,4
	28	-3,5	-	-
	32	7,2	5,2	2,6
	36	5,8	-	-
	40	7,3	5,4	-7,0
	44	-0,5	-	-
	48	5,7	3,8	2,5
	52	3,6	-	-
Грудень	56	3,1	2,2	4,0
	60	1,4	-	-
	64	0,4	1,5	2,5

Радіальна товщина насипу зерна у сховищі, в якому відбувалися порівняно швидкі зміни внаслідок зовнішніх температурних коливань, складала 0,3–0,6 м. На більшій глибині зміна температури була менш помітною, проте вона закономірно підвищувалась або ж знижувалася залежно від загального характеру зберігання зерна.

Температурні зміни в радіальних шарах призводили до суттєвого змінення режиму зберігання у верхній частині насипу зерна. Тут підвищувалася температура і спостерігалася відпотівання зерна порівняно з нижніми шарами насипу. Примусова аерація зернового стовпа рекомендованими невеликими об'ємами повітря (20–30 м³/год на 1 т зерна) також не давала позитивного наслідку і, навпаки, прискорювала переміщення теплого, насиченого вологою повітря у верхню частину сховища. При контактуванні такого повітря з верхнім, порівняно холодним шаром на поверхні зерна відбувалося конденсація вологи.

Температурний режим, який складався в металевих сховищах, значно впливав на якість зерна (табл. 3). При зберіганні у сховищі з термозахистом

основні показники якості зерна (вологість, чистота, кислотність, життєздатність) практично не погіршувалися впродовж 60 діб порівняно з контрольними даними. У сховищах без термозахисту встановлено підвищення вологості, кислотності та зниження життєздатності зерна, особливо у верхніх шарах насипу. Дещо збільшувалася травмованість зерна внаслідок переміщення його норіями.

3. Якість зерна кукурудзи після різних способів зберігання в металевих сховищах

Показник якості зерна	Контроль *	Спосіб	
		термозахист	без термозахисту
Вологість, %	13,4	13,1	14,5
Чистота, вміст основного зерна, %	98,0	98,2	98,0
Травмованість, %	41,0	49,0	48,2
Температура, °С:	10,2	10,2	10,2
- при завантаженні	-	8,1–11,2	6,1–16,8
- пристінний шар	-	12,5–12,8	17,8–20,7
- центральна частина	-	4,7	14,6
- різниця між шарами			
Кислотність, град	3,3	3,3	4,1
Життєздатність (схожість), %	94,0	92,0	82,0
* На початку зберігання.			

Отже, стабільно низька температура, яка складалася в металевому зерносховищі внаслідок його термозахисту, забезпечувала надійне зберігання високоякісного зерна впродовж 60 діб. Однак зерно при завантаженні у сховище повинне мати температуру не вище 9–10 °С. Така температура в Придніпровському регіоні настає в другій–третьій декадах жовтня, коли звичайно збирають і заготовляють зерно кукурудзи. Подальше охолодження і зниження температури зерна можна вже забезпечити за рахунок природних факторів, тобто вентиляванню зовнішнім повітрям.

Відомо, що якість зерна залежить не тільки від температурного режиму зберігання. Здебільшого вона може змінюватись через вплив таких важливих абіотичних факторів, як вологість і стан зерна, доступ кисню до нього, ступінь герметичності сховища. Особливо відчутним є поєднання різних факторів. Наприклад, зерно кукурудзи, що мало вологість 9–11 % та перебувало в герметичному стані, тривалий час зберігало високу якість, незважаючи на значне коливання температури при цьому [4]. У наших дослідах посівні та врожайні якості насіння кукурудзи у такий спосіб зберігалися протягом 3–5

років, а в звичайних умовах (вологість зерна 14–16 % і негерметична упаковка) лише 1–2 роки.

Ефект герметизації полягав у тому, що між зерном і навколишнім середовищем практично призупинявся газо-вологообмін, тому вологість зерна залишалася стабільно низькою протягом всього періоду зберігання. За обмеження доступу кисню та низької вологості знижувалася також інтенсивність всіх фізіологічних процесів, тому зернова маса перебувала в режимі ксероанабіозу і була стійкою при зберіганні.

Висновки

Металеві зерносховища є високотехнологічним місцем розміщення в них зерна різних культур. Проте зберігати зерно в цих сховищах необхідно з урахуванням властивостей окремих культур, а також конструктивно-технологічних особливостей сховища. У першу чергу слід враховувати температурний режим, який складається в процесі зберігання, та показники якості зерна: вологість, ступінь ушкодження, чистоту тощо. Контролювати якість зерна та режим зберігання необхідно насамперед у верхній частині металевих сховищ, де складаються найбільш нестабільні, несприятливі умови.

Надійність і тривалість зберігання зерна можна підвищити за рахунок термозахисту сховищ і нанесення на його стінки теплозахисного шару. За такого вдосконалення температура у сховищі є більш постійною і незалежною від зовнішніх атмосферних коливань, що позитивно впливає на тривалість зберігання і якість зерна.

Перспективним напрямом є також герметизація металевих зерносховищ, особливо в разі зберігання сухого зерна. Для кукурудзи рекомендується режим герметичного стану за вологості зерна 9–11 %, який є особливо ефективним у разі тривалого зберігання високоякісного насіння та зерна страхових і резервних фондів.

Бібліографія

1. Мельник Б.Е., Лебедев В.Б., Винников Г.А. Технология приемки, хранения и переработки зерна. – М.: ВО “Агропромиздат”, 1990. – 367 с.
2. Вобликов Е.М. Технология элеваторной промышленности. – Ростов-на-Дону: “МарТ”, 2001. – 192 с.
3. Вобликов Е.М., Станкевич Г.Н. Современные системы хранения зерна // Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск, 2005. – № 5(71). – С. 36–38.
4. Кирпа М.Я. Зберігання насіння кукурудзи та його якість // Вісник Полт. держ. с.-г. ін-ту. – Полтава, 2000. – № 5. – С. 5–7.

Выделение L- α -лецитина из фосфатидного концентрата подсолнечного масла

М.В. Луценко, кандидат технических наук

О.В. Кузнецова, магистр

Е.С. Ковалева, ассистент

К.А. Мельников, доктор технических наук

Встановлено, що, добуваючи фосфатидилхолін зі знежиреного фосфатидного концентрату, екстракцію на початковій стадії доцільно проводити за вагових співвідношень знежиреного фосфатидного концентрату та етанолу як 1:2; час контакту фаз 5–10 хв, число екстракцій не має перевищувати трьох. Збільшення вагового співвідношення знежиреного фосфатидного концентрату та етанолу до 1:3 і тривалості екстрагування до 15 хв збільшує частку інших фосфоліпідів у L- α -лецитині.

Современные тенденции усовершенствования ассортимента продуктов питания могут быть успешно решены за счёт повышения объема производства биологически активных добавок (БАД) продуктов, которые занимают пограничную область между традиционными продуктами питания и фармацевтическими препаратами.

Одной из перспективных натуральных БАД являются фосфолипиды, источником которых служит фосфатидный концентрат, получаемый в качестве условного “отхода” при гидратации растительного масла в процессе его очистки. К наиболее биологически активным компонентам фосфолипидов относится L- α -лецитин, входящий в состав обезжиренного фосфатидного концентрата. L- α -лецитин применяется в медицинских целях при ряде заболеваний нервной системы, астеническом синдроме, анемии, артериальной гипотензии и переутомлении.

Проблемой получения биологически активных добавок из фосфатидных концентратов растительных масел активно занимаются ученые Кубанского государственного технологического университета. Однако такие их разработки, как фосфолипидный продукт “Фито-Тонус”, БАД “Витол”, масложировой продукт, имеющий иммуномодулирующие свойства, и др. представляют собой смесь фосфолипидов растительных масел [1–4]. В Украинском государственном химико-технологическом университете проводились исследования по выделению отдельных фракций фосфолипидов из фосфатидного концентрата растительных масел [5]. Полученные продукты имели повышенное содержание жира, ибо извлекались непосредственно из фосфатидного концентрата без его предварительного обезжиривания.

Целью наших исследований явилась разработка технологии выделения L- α -лецитина из обезжиренного фосфатидного концентрата.

Обезжиривание фосфатидного концентрата проводили изопропиловым спиртом в диапазоне температур 50–80 °С при соотношении фосфатидный концентрат и изопропиловый спирт как 1:2 на начальной стадии, а далее – 1:1 [6].

Обезжиренный фосфатидный концентрат относится к пищевому лецитину и имеет определенный состав (табл. 1). В обезжиренных фосфатидах преобладают фосфатидилхолин (лецитин) и фосфатидилэтаноламин (кефалин). Из всех обезжиренных фосфолипидов целевым продуктом является фосфатидилхолин (L- α - лецитин).

1. Компонентный состав обезжиренных фосфолипидов

Компонент	Температура обезжиривания, °С			
	50	60	70	80
Фосфатидилсерин	13,0	13,5	14,0	14,0
Фосфатидилинозитол	14,2	14,3	14,3	15,0
Лизофосфатидилхолин	0,3	0,3	0,4	0,4
Фосфатилхолин	28,2	28,0	27,6	26,8
Фосфатидилэтаноламин	24,3	24,4	24,8	25,2
Лизофосфатидилэтаноламин	0,3	0,3	0,2	0,2
Фосфатидилглицерол	4,3	4,2	3,9	3,9
Дисфатидилглицерол	6,3	6,6	6,9	6,5
N-ацилфосфатидилэтаноламин	1,6	1,1	0,6	0,7
Фосфатидная кислота	7,5	7,3	7,3	7,3

L- α -лецитин экстрагировали из обезжиренного фосфатидного концентрата этанолом в соотношении весовых частей обезжиренного фосфатидного концентрата и этилового спирта как 1:1; 1:2; 1:3 на начальной стадии, а далее для уменьшения растворимости фосфатидилэтаноламина (кефалина) в этиловом спирте как 1:1. Ранее нами было установлено, что для предотвращения инактивации L- α -лецитина процесс экстрагирования следует проводить в температурном интервале 50–60 °С [7, 8].

В табл. 2 приведены экспериментальные данные о различной продолжительности экстрагирования обезжиренного фосфатидного концентрата этиловым спиртом при различном весовом соотношении фосфатидного концентрата и этилового спирта (Q:L), температуре 50–60 °С.

Экстрагирование обезжиренного фосфатидного концентрата этиловым спиртом позволяет не только извлечь весь L- α -лецитин, но и частично другие фосфолипиды. Особенно это касается тех опытов, где время экстрагирования возрастает до 10–15 мин и соотношение обезжиренного фосфатидного концентрата и этанола достигает 1:3.

Для некоторых образцов выделенных L- α -лецитинов был проведен анализ фракционного состава методом тонкослойной хроматографии [9].

2. Экстрагирование обезжиренного фосфатидного концентрата этанолом

Время экстрагирования, мин	Соотношение Q:L (весовые части на начальной стадии 1:1)	Число экстракций	Вход L- α -лецитина, %
5	1:1	1	10,13
		2	20,30
		3	25,40
		4	26,65
	1:2	1	11,40
		2	21,80
		3	29,00
		4	30,0
	1:3	1	13,1
		2	24,10
		3	33,20
		4	34,50
10	1:1	1	9,80
		2	18,90
		3	23,10
		4	25,90
	1:2	1	11,90
		2	21,50
		3	27,70
		4	30,10
	1:3	1	13,70
		2	25,10
		3	33,90
		4	35,92
15	1:1	1	11,94
		2	19,10
		3	30,10
		4	32,67
	1:2	1	13,20
		2	23,40
		3	32,90
		4	34,33
	1:3	1	14,80
		2	26,30
		3	34,50
		4	36,2

Для сравнения взяты только опыты, проведённые при следующих условиях экстрагирования:

♣ весовое соотношение обезжиренного фосфатидного концентрата и этанола 1:2 на начальной стадии, а далее 1:1;

♣ время экстрагирования 5, 10 и 15 мин (табл. 3).

Полученные данные подтверждают, что при извлечении фосфатидилхолина из обезжиренного фосфатидного концентрата экстракцию

целесообразно проводить при весовых соотношениях обезжиренного фосфатидного концентрата как 1:2 на начальной стадии, время контакта фаз при экстрагировании 5–10 мин; число экстракций не должно превышать трех. Увеличение соотношения обезжиренного фосфатидного концентрата и этанола до 1:3 и продолжительности экстрагирования до 15 мин приводит к увеличению доли других фосфолипидов в экстрагированном этанолом L-α-лецитине.

3. Фракционный состав L-α-лецитина

Содержание фосфолипидов, %	Время экстрагирования, мин											
	5				10				15			
	Число экстракций											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Фосфатидилхолин	98,7	99,0	97,4	92,0	99,2	99,0	99,0	87,4	88,8	90,4	86,1	78,8
Лизофосфатидилхолин	1,3	1,0	1,2	4,1	0,4	0,5	0,5	5,1	5,4	6,1	6,1	6,0
Фосфатидилэтанолламин	-	-	1,4	2,1	0,3	0,4	0,3	2,4	1,8	2,0	1,5	3,6
Фосфатидилсерин	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
Фосфатидные кислоты	-	-	-	0,4	-	-	-	1,5	1,3	1,2	1,8	2,0
Полифосфатидные кислоты	-	-	-	0,5	-	-	-	0,8	1,0	-	1,6	3,0
Фосфатидилинозитол	-	-	-	0,7	-	-	-	2,0	1,2	-	2,4	3,0
Неидентифицированные	-	-	-	0,1	-	0,1	0,2	0,5	0,3	0,1	0,3	3,3

Выводы

1. Для извлечения L-α-лецитина из фосфатидного концентрата необходимо предварительно обезжирить фосфатидный концентрат.

2. Обезжиренный фосфатидный концентрат представляет собой сложную смесь различных фосфолипидов, в которой L-α-лецитин составляет 27–28 %.

3. Экстракцию L-α-лецитина из обезжиренного фосфатидного концентрата целесообразно проводить этиловым спиртом при весовых соотношениях обезжиренного фосфатидного концентрата и этилового спирта 1:2 на начальной стадии, а далее – 1:1; время контакта при экстракции 5–10 мин, число экстракций – 3.

4. Содержание фосфатидилхолина в экстрагированном L-α-лецитине достигает 98–99 %.

Библиография

1. Фосфолипидная биологически активная добавка “Витол” / Е.О. Герасименко, Е.А. Бутина, И.Н. Бондаренко, Е.В. Грушенко // Индустрия

продуктов здорового питания – 3 тысячелетие: человек, наука, технол., экономика: Тезисы докл. Междунар. научн.-практич. конф. (24–25 февраля 1999, г. Москва). – М., 1999. – Ч. 1. – С. 94–95.

2. Папаян К.В., Войтенко Н.Н., Тимофеев Т.И. Фосфолипидный продукт “Фито-Тонус”, его состав и назначение // Тезисы докл. Всерос. студ. научной конф. – Краснодар, 1998. – С. 94–95.

3.. Линия и технология получения фосфолипидной биологически активной добавки “Витол” / Е.О. Герасименко, Е.А. Бутина, И.Н. Бондаренко, В.Н. Черкасов / Тр. Кубанск. гос. технологич. ун-та: Научный журнал, 1995. – С. 252–254.

4. Пат. 2153260 Россия МКИ⁷ А 23 D 9/00. Масложировой продукт, имеющий иммуномодулирующие свойства / С.А. Еременко, Р.А. Ханферян, Е.П. Корнена, Е.О. Герасименко и др.; ООО Учеб.-науч.-производств. фирма “Липиды”. – № 99106375/13; Заявл. 30.03.1999; Оpubл. 27.07.2000 г.

5. Пат. 36577 Украина МКИ⁶ С 07 F 9/10. Спосіб виділення лецитину з знежиреного фосфатидного концентрату / К.О. Мельников, О.І. Школа, А.П. Анисимов. – № 2000010061; Заявл. 05.01.2000; Оpubл. 16.04.2001 р.

6. Пат. 59244 А Украина МКИ⁶ СО 7 F 9/10. Спосіб виділення фосфоліпідів із фосфатидного концентрату / К.О. Мельников, І.В. Торубаров, О.І. Школа та ін.; Дніпропетровський державний аграрний університет. – № 200212140294; Заявл. 19.12.2002; Оpubл. 18.08.2003 р.; Бюл. 8.

7. Пат. 6685 А Украина МКИ⁶ СО 7 F 9/10. Спосіб виділення лецитину із знежиреного фосфатидного концентрату / К.О. Мельников, М.В. Кобзар; Дніпропетровський державний аграрний університет. – № 2003098480; Заявл. 15.09.2003; Оpubл. 17.05.2004 р.; Бюл. 5.

8. Кобзар М.В., Мельников К.О. Характеристика та склад фосфоліпідів соняшникової олії // Вестник национального технического университета “ХПИ”. – Харьков, 2005. – С. 99–105.

9. Vaskovsky V.E., Terekhova T.A. HPTLC of phospholipid mixtures containing phosphatidylglycerol // I. High Resol Chromatogr. & S.C. – 1979. – V.2. – P. 671–672.

Математичне моделювання теплообміну в мікрохвильовій технології переробки продукції АПК

В.О. Яковенко, кандидат фізико-математичних наук
Академія митної служби України, м. Дніпропетровськ

Побудована математична модель сушіння сільськогосподарської продукції з використанням енергії мікрохвильового електромагнітного поля і урахуванням фазових перетворень у матеріалі. Отримані поля температур у вологій і сухій областях матеріалу, закон руху межі фазового перетворення, числова реалізація моделі.

Ефективність роботи агропромислового комплексу, з огляду на його сезонність, багато в чому визначається терміном переробки сировини і напівфабрикатів. Одним з розповсюджених методів збереження і переробки такої сировини є сушіння. Тому з'являється необхідність у розробці нових способів сушіння, які б забезпечували високу якість готового продукту, створювали умови для переробки зібраного врожаю без втрат, сприяли автоматизації і значній інтенсифікації цього процесу, зниженню питомих енерговитрат [1–3].

Інтенсифікація процесу сушіння сировини за поліпшеної якості готового продукту створює можливість застосовувати енергію мікрохвильового електромагнітного поля [4, 5].

Нагрівання матеріалів енергією мікрохвильового електромагнітного поля має низку переваг: можливість скорочення тривалості процесу сушіння за рахунок збільшення потужності теплового потоку в порівнянні з конвективним сушінням на звичайних режимах; рівномірне нагрівання матеріалу, що сприяє збільшенню швидкості сушіння. Низька інерційність пристроїв, використовуваних як джерело мікрохвильової енергії; можливість автоматизації процесу сушіння; порівняно легке регулювання величини теплового потоку; значне поліпшення санітарних умов виробництва; можливість одержання ефекту стерилізації [6]. Інтенсивний розігрів матеріалу мікрохвильовою енергією приводить також до того, що за певних умов температура поверхні матеріалу виявляється нижчою за температуру внутрішніх шарів, тоді відбувається додаткове прискорення міграції вологи до поверхні матеріалу шляхом термодифузії.

Таким чином, невирішеним залишається розв'язання задач в областях з рухомими межами під дією мікрохвильового нагрівання та узагальнення отриманих результатів. Тому актуальним є побудова математичних моделей адекватно описуючих такі процеси. Саме це й стало **метою** нашого дослідження.

Розглянемо нестационарний процес теплообміну в умовах фазового перетворення “рідина–пар”, що виникає під дією надвисокочастотного нагріву. Такий процес визначимо системою нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка складається з рівнянь Максвелла і рівнянь теплопровідності такого виду:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}; & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau}; & \operatorname{div} \vec{D} &= 0; & \operatorname{div} \vec{B} &= 0; \\ D &= \varepsilon(t)E; & B &= \mu(t)H; & j &= \sigma(t)E; \\ \frac{\partial(c_i \rho_i t_i)}{\partial \tau} + \vec{V}_i \vec{\nabla} t_i &= \operatorname{div}(\lambda_i \vec{\nabla} t_i) + q(t_i, \vec{E}), \end{aligned}$$

де E, H – вектори напруженості електричного та магнітного полів відповідно; D, B – вектори електричної та магнітної індукції відповідно; j – щільність струму провідності; $\varepsilon_i = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon' - i\sigma / \omega$, μ – абсолютні діелектрична і магнітна проникності матеріалу відповідно; σ – провідність матеріалу; ω – кругова частота; c_i, ρ_i, λ_i – коефіцієнт теплоємності, щільність і коефіцієнт теплопровідності матеріалу, що залежать від температури i -ої фази відповідно; V_i – вектор швидкості переміщення i -го матеріалу; ∇ – оператор Гамільтона; $q = 0,5\omega\varepsilon'tg\delta|E|^2$ – питома поглинена потужність; t_i – температура i -го матеріалу; $tg\delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ – тангенс кута діелектричних втрат матеріалу.

Наведена система рівнянь доповнюється початковими та граничними умовами, а також умовою на межі розділу фаз “рідина–пар”.

Зазначимо, що розв’язок наведеної системи рівнянь пов’язаний з труднощами не тільки обчислювального характеру, але й принциповими. Таке твердження ґрунтується на такому: умови на межі розділу фаз є нелінійними, сформульована модель є багатомірною відносно просторових змінних, електрофізичні параметри матеріалів залежать від температури і є наближеними, алгоритми розв’язку таких задач вимагають обґрунтування та використання необхідних комп’ютерних технологій. Тому розглянемо спрощену модель процесу, реалізацію якої можна провести методами комп’ютерного моделювання. Для такої моделі слід довести її адекватність відомим моделям або порівняти отримані результати з експериментальними.

Вважатимемо, що мікрохвильове електромагнітне поле знаходиться в стані термодинамічної рівноваги з областю сушіння і характеризується однорідністю і ізотропністю, тобто всі можливі напрямки його поширення всередині області є рівноможливими.

Тоді всередині матеріалу буде існувати електромагнітне поле зі щільністю енергії U [7]

$$U = 1/2 (\varepsilon_0 E^2 + \mu_0 H^2), \quad (1)$$

де E і H – вектори напруженості електричного і магнітного полів; ε_0 – електрична постійна; μ_0 – магнітна постійна.

Щільність енергії U можна представити у вигляді розкладання за частотою ω або довжиною хвилі λ

$$U = \int_0^{\infty} U_{\omega} d\omega = \int_0^{\infty} U_{\lambda} d\lambda, \quad (2)$$

де $U_\omega d\omega$ та $U_\lambda d\lambda$ – об’ємна щільність енергії випромінювання, що припадає на інтервал частот $[\omega, \omega + d\omega]$ і інтервал довжин хвиль $[\lambda, \lambda + d\lambda]$.

Основне завдання полягає в знаходженні функції

$$U_\omega = U_\omega(\omega, T), \quad (3)$$

де T – температура матеріалу.

Для побудови математичної моделі процесу надвисокочастотного сушіння матеріалу в області з рухливою границею розглянемо вологі фракції твердої діелектричної речовини, що, відповідно до технології, повинні бути піддані впливові енергії електромагнітного поля надвисоких частот з виділенням теплової енергії $S / c\rho_1$ і подальшим сушінням.

На поверхні $z = 0$ кожній частці матеріалу передається тепла енергія випромінювання, щільність потоку якого дорівнює $q(\tau)$, унаслідок чого на відкритій поверхні $z = l$ відбуваються випарювання і віднесення в навколишнє середовище як пари, що утворилася на цій поверхні, так і пари, що утворилася всередині матеріалу і транспортується через нього. Перенос пари, що утворилася, через закриту $z = 0$ поверхню неможливий. Межа фазового перетворення $\xi(\tau)$ визначає змінну товщину сухої області.

З огляду на рівняння, що описують термодинаміку діелектриків [8], математичне формулювання задачі зведене до такої системи рівнянь [9]:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2}; \quad (0 < z < \xi(\tau));$$

♣ суха область: $T_1(0, z) = \varphi_1(z); \quad (4)$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=0} = q(\tau); \quad T_1(\tau, \xi(\tau)) = \varphi_2(\tau);$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} + \frac{\alpha \vec{E}^2}{c\rho_1};$$

♣ волога область: $(\xi(\tau) < z < l); \quad T_2(0, z) = \varphi_1(z); \quad (5)$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=l} = (1 - \varepsilon)q(\tau); \quad T_2(\xi(\tau), \tau) = \varphi_2(\tau);$$

♣ на межі областей: $\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=\xi} - \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=\xi} =$

$$= m(\tau)\varepsilon + (c_2\rho_2 - c_1\rho_1)\varphi_2(\tau) \frac{d\xi}{d\tau} \quad (6)$$

$$T_1(\xi(\tau), \tau) = T_2(\xi(\tau), \tau); \quad (7)$$

$$\xi(0) = \xi_0,$$

де ε – критерій фазового перетворення рідини в пар [10]; T – температура; τ – час; $\varphi(\tau)$, $m(\tau)$ – будь-яка безперервна функція часу; $q(\tau)$ – щільність потоку енергії випромінювання; z – осьова координата; a – коефіцієнт температуропровідності; λ – коефіцієнт теплопровідності; ρ щільність; c – питома теплоємність.

Для розв’язання отриманих рівнянь з відповідними крайовими умовами (2)–(5) застосуємо метод кінцевих інтегральних перетворень, що є найбільш

зручним для розв'язку задач такого типу. Застосовуючи інтегральне перетворення з рухливою, залежною від часу межею інтегрування, одержимо системи звичайних диференціальних рівнянь щодо перетворених функцій.

Кінцеве інтегральне косинус-перетворення Фур'є з перемінною верхньою межею і формула зворотання визначаються відповідно виразами:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{1n}(\tau) &= \int_0^{\xi(\tau)} T_1(\tau, z) \cos \alpha_n z / \xi dz \\ T_1(\tau, z) &= \frac{2}{\xi} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{1n}(\tau) \cos \alpha_n z / \xi \end{aligned} \quad (8)$$

де $\alpha_n = \pi(2n-1) / 2$; $\cos \alpha_n z / \xi$ – “миттєві” власні функції.

Коефіцієнти зображень $\tilde{T}_{1n}(\tau)$ визначимо зі системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{T}_{1n}}{d\tau} &= \frac{1}{2\xi} \frac{d\xi}{d\tau} \sum_{m=1}^{\infty} \omega_{nm} \tilde{T}_{1m} - \left(\frac{\alpha_n}{\xi} \right)^2 \times \\ &\times a_1 \tilde{T}_{1n} + a_1 \left[\frac{q(\tau)}{\lambda_1} - (-1)^n \varphi_2(\tau) \right]; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{1n}(0) &= \int_0^{\xi(0)} \varphi_1(z) \cos \alpha_n z / \xi(0) dz \\ \omega_{nm} &= - \frac{(-1)^{n-m} 4\alpha_n \alpha_m}{\pi^2 (n-m)(n+m-1)}; \\ &(n \neq m); \omega_{nm} = 1; (n = m) \end{aligned}$$

Розподіл температури у вологій області описується рівнянням

$$T_2(z, \tau) = \frac{2}{1-\xi} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{2n}(\tau) \sin \frac{\alpha_n}{1-\xi} (z-\xi) \quad (10)$$

де коефіцієнти ряду мають вигляд

$$\tilde{T}_{2n}(\tau, z) = \int_{\xi}^l T_2(z, \tau) \sin \frac{\alpha_n}{1-\xi} (z-\xi) dz$$

Для їхнього визначення скористаємося системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{T}_{2n}}{d\tau} &= \frac{2}{1-\xi} \frac{d\xi}{d\tau} \sum_{m=1}^{\infty} \bar{\omega}_{nm} \tilde{T}_{2m} + \left(\frac{\alpha_n}{1-\xi} \right)^2 a_2 \tilde{T}_{2n} + \\ &+ a_2 \left[\frac{(-1)^n (1-\varepsilon) q(\tau)}{\lambda_2} + \frac{\varphi_2(\tau)}{1-\xi} \right] + \frac{2 \int \vec{E}^2 dz (1-\xi)}{\pi c \rho_1 (2n-1)}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{2n}(0) &= \int_{\xi(0)}^l \varphi_1(z) \sin \frac{\alpha_n}{1-\xi(0)} (z-\xi(0)) dz; \\ \omega_{nm} &= (-1)^{n-m+1} \bar{\omega}_{nm}; (n \neq m); \omega_{nm} = 1; (n = m). \end{aligned}$$

Закон руху межі фазового перетворення визначимо з умови енергетичного балансу ізотермічної поверхні розподілу фаз [8]:

$$\begin{aligned} & \lambda_2 \frac{2}{(1-\xi)^2} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \tilde{T}_{2n}(\tau) + \\ & + \lambda_1 \frac{2}{\xi^2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \alpha_n \tilde{T}_{1n}(\tau) = \\ & = m(\tau) \varepsilon + (c_2 \rho_2 - c_1 \rho_1) \varphi_2(\tau) \frac{d\xi}{d\tau}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\xi(0) = \xi_0. \quad (13)$$

Коефіцієнти $\tilde{T}_{1n}(\tau)$, $\tilde{T}_{2n}(\tau)$ зображень і профіль поверхні розподілу фаз $\xi(\tau)$, а отже, і температурні функції T_1 і T_2 можуть бути визначені шляхом спільного розв'язання систем диференціальних рівнянь (9), (11) і рівняння (12) з відповідними початковими умовами (13).

Зв'язок зміни температури у вологому і сухому матеріалі залежно від частоти і напруженості електричного поля, коли $r = r_k$, можна одержати, використовуючи температурні поля (8), (10) і координати векторів електромагнітного поля [11]:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial T_1(\tau, z)}{\partial \tau} \right)_z = \Omega_T f((\kappa^2 - \beta^2) \times \\ & \times A \left[Z_n(hr) - \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J_n(hr) \right] \cos\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times \\ & \times (n\varphi - \omega\tau); \quad \left(\frac{\partial T_1(\tau, z)}{\partial \tau} \right)_\varphi = \Omega_T f\left(\beta \frac{n}{r} A \times \right. \\ & \times \left[-Z_n(hr) + \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J_n(hr) \right] \sin\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times \\ & \times (n\varphi - \omega\tau); \quad \left(\frac{\partial T_1(\tau, z)}{\partial \tau} \right)_r = \Omega_T f(-\beta h A \times \\ & \times \left[Z'_n(hr) - \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J'_n(hr) \right] \sin\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times \end{aligned}$$

♦ суха область $\times (n\varphi - \omega\tau)$,

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = & -\frac{2\dot{\xi}(\tau)}{\xi^2(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{1n}(\tau) \cos \frac{\alpha_n z}{\xi(\tau)} + \frac{2}{\xi(\tau)} \times \\ & \times \sum_{n=1}^{\infty} \dot{\tilde{T}}_{1n}(\tau) \cos \frac{\alpha_n z}{\xi(\tau)} + \frac{2\dot{\xi}}{\xi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{1n}(\tau) \alpha_n \sin \frac{\alpha_n z}{\xi}; \end{aligned}$$

де $n=1$

$$\left(\frac{\partial T_2(\tau, z)}{\partial \tau}\right)_z = \Omega_T f((\kappa^2 - \beta^2) \times$$

$$\times A \left[Z_n(hr) - \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J_n(hr) \right] \cos\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times$$

$$\times (n\varphi - \omega\tau); \left(\frac{\partial T_2(\tau, z)}{\partial \tau}\right)_\varphi = \Omega_T f\left(\beta \frac{n}{r} A \times\right.$$

$$\times \left[-Z_n(hr) + \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J_n(hr) \right] \sin\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times$$

$$\times (n\varphi - \omega\tau); \left(\frac{\partial T_2(\tau, z)}{\partial \tau}\right)_r = \Omega_T f(-\beta h A \times$$

$$\times \left[Z'_n(hr) - \frac{Z_n(hr_1)}{J_n(hr_1)} J'_n(hr) \right] \sin\left(\zeta \frac{\pi}{z_2} z\right)^2 \cos 2 \times$$

◆ волога область $\times (n\varphi - \omega\tau)$,

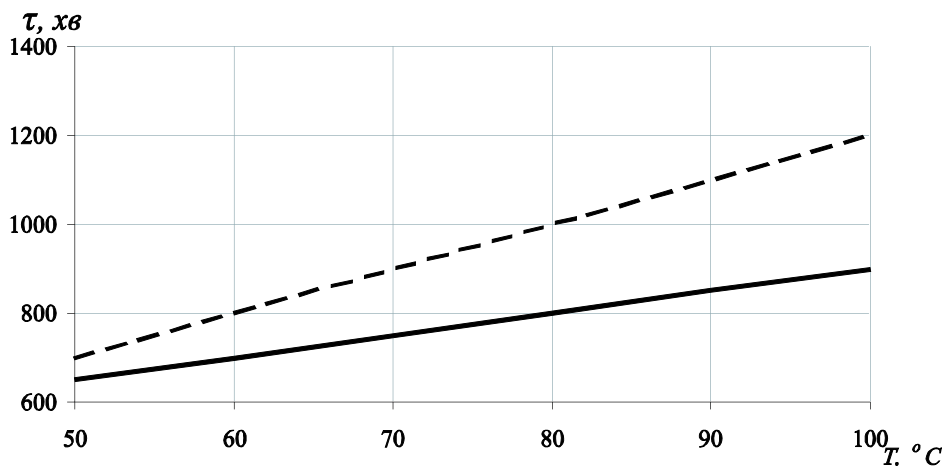
$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \frac{2\dot{\xi}(\tau)}{(1-\xi(\tau))^2} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{2n}(\tau) \sin \frac{\alpha_n}{1-\xi(\tau)} \times$$

$$\times (z - \xi(\tau)) + \frac{2}{1-\xi(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{2n}(\tau) \sin \frac{\alpha_n}{1-\xi(\tau)} \times$$

$$\times (z - \xi(\tau)) + \frac{2}{(1-\xi(\tau))^3} \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{T}_{2n}(\tau) \cos \frac{\alpha_n}{1-\xi(\tau)} \times$$

де $\times (z - \xi(\tau)) \alpha_n (\dot{\xi}(\xi - 1) + \dot{\xi}(z - \xi))$.

Результати числової реалізації отриманої математичної моделі наведені на
рисунок



Залежність тривалості сушіння від температури:

— — розрахункова з урахуванням фазових перетворень;
----- — без урахування фазових перетворень [5]

Як впливає з порівняння середніх за обсягом сировини температур, з урахуванням фазового перетворення, швидкість нагрівання вища, а отже, таке нагрівання є енергетично економічним. Крім того, можливість подачі мікрохвильової енергії в цьому випадку нагрівання в окремі інтервали часу розділена паузами, дозволяє більш ефективно використовувати одночасно й інші способи нагрівання.

Отже, одержані значення температур у сухій і вологій областях, їхній зв'язок з частотою електромагнітного поля, а також закон руху межі фазового перетворення дозволяють визначити оптимальну робочу частоту процесу термообробки для певного режиму сушіння матеріалу.

Бібліографія

1. *Морозов Г.А.* Микроволновые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: современные достижения и новые подходы // Антенны. – 1998. – Выпуск 1(40). – С. 88–97.
2. *Колпаков Н.Д., Глянько В.Т., Лузганова С.В.* Практика использования СВЧ-энергии для переработки промышленных и сельскохозяйственных продуктов // Труды “МКТТА-95”. – Харьков, 1995. – С. 103.
3. *Морозов Г.А.* Развитие экологически чистых СВЧ-технологий в производстве продукции сельского хозяйства // Межвузовский сборник “Радиоэлектронные устройства и системы”. – Казань, 1996. – С. 106–111.
4. Математические модели процессов микроволновой обработки продуктов сельскохозяйственного производства / *О.Ш. Даутов, Л.Я. Замалетдинова, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников* // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 1996. – № 4. – С. 28–33.
5. О применении нетрадиционных методов сушки плодов косточковых / *А. Лупашко, Г. Дикусар, О. Настас* и др. // Сборник трудов IX МНТК. – Донецк, 2002. – Т. 2. – С. 143–146.
6. *Глуханов Н.П.* Физические основы высокочастотного нагрева. – Л.: Машиностроение, 1989. – 56 с.
7. *Пюшнер Г.* Нагрев энергией сверхвысоких частот: Пер. с англ. М.: Энергия, 1968. – 175 с.
8. *Лыков А.В.* Теплообмен. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
9. *Яковенко В.О.* Моделювання процесу надвисокочастотного сушіння пористих діелектричних матеріалів // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 2 (34). – С. 107–111.
10. *Красников В.В.* Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 223 с.
11. *Яковенко В.О.* Моделювання теплових процесів у реакційній камері при спалюванні вугільного пилу під дією енергії надвисоких частот // Міжнар. науково-техн. конф. пам'яті академіка НАН України В.І. Моссаковського “Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій”. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2007. – С. 370–371.

Алгоритм пошуку технічних рішень процесів післязбиральної обробки зерна

В.С. Кошулько, аспірант
Ю.О. Чурсінов, доктор технічних наук

Стверджується, що етапи алгоритму пошуку технічних рішень процесів післязбиральної обробки зерна взаємопов'язані між собою, визначають рівень вибору технологічності машин. Доведено, що ефективні машинні технології для післязбиральної обробки зерна можуть бути створені тільки в разі розв'язання кожного з етапів і коли їх спільний розв'язок відповідає висунутим критеріям.

Зростання складності проблеми розробки високоефективних машинних технологій та технічних засобів післязбиральної обробки обумовлено необхідністю виконання комплексу складніших вимог зі забезпечення максимального збереження зернового та високої якості насінневого матеріалу за мінімальних витрат енергії та засобів.

Одним із ефективних способів підвищення технічного рівня машин та вдосконалення технологій є розробка нових, більш ефективних методів проектування. Оскільки до кожної зерноочисної машини висуваються вимоги мінімальних втрат насіння у відходи та мінімального травмування за максимального відокремлення домішок. Головним у процесі розробки машин вважається вибір таких їх ознак, які найкраще зможуть реалізувати агробіологічні та технологічні вимоги.

Ознаками створюваних нових технічних рішень процесів післязбирального обробітку зерна можуть слугувати характеристики якісних та кількісних його властивостей. Кількісні характеристики являють собою параметри машини та технології. Технічні рішення характеризуються певною множиною ознак, що відображають їх властивості на всіх етапах періоду експлуатації. Основною множиною ознак є показники призначення, категорії якості, показники технологічності, рівень уніфікації та стандартизації, показники естетичності, ергономічності, екологічності, характеристики конкурентоспроможності, умов експлуатації, технічного обслуговування та ремонту, показники економічності. На початку восьмидесятих років ці питання досліджував А.В. Альтерман а його наступниками які підняли питання покращення умов роботи зерно-насіннеочисних машин та пошуку нових технічних рішень в цій галузі, в дев'яностих роках В.І. Аніскін та В.М. Дринча. Тому після аналізу наукових літературних джерел **метою** наших досліджень стало розробити алгоритм пошуку нових технічних рішень, саме процесів післязбиральної обробки зерна.

Процес створення перспективних машинних технологій, технічних засобів очистки та сортування зернових матеріалів, інших технологій R_s може складатися з двох етапів:

$$R_s = R_1 + R_2. \quad (1)$$

Перший етап R_1 – розробка нових способів сепарування. Він базується на основі загальних технологій, які включають декілька окремих процесів, у тому числі створення способів сепарування для реалізації окремих технологічних процесів робочих органів, тобто тих, що входять до складу основної технології.

Другий етап R_2 – проектування та виробництво, тобто впровадження нових технологічних рішень у машинні лінії.

Обидва етапи є взаємопов'язаними між собою, визначають рівень машин та технологій, що розробляються. Причому ефективні машинні технології можуть бути створені тільки за єдиної умови: рішення кожного з етапів, їх сукупності будуть оптимальними щодо критеріїв що розробляються. Невдале рішення на будь-якому з етапів створення машин виключає можливість отримати ефективну технологічну відповідь. Відзначимо, що навіть поява евристичного рішення на кожному з етапів, але не сумісних або недостатньо сучасних також заважає появі перспективних машинних технологій.

Сьогодні в нашій країні і за кордоном практично відсутні алгоритми створення технічних рішень, необхідних для реалізації наступних поколінь машинних технологій. Одна з головних причин виникнення такого стану полягає в тому, що кожне новостворене технологічне рішення в більшості випадків базується на вже існуючих рішеннях. Тобто кількість створюваних технологічних рішень переходить до нескінченності. Якоюсь мірою ця нескінченність прогнозується за допомогою різноманітних моделей, ефективність яких, зазвичай, є недостатньою для проектувальників та виробників.

Пошук, розробку технологій і технічних засобів для очистки та сортування зернових матеріалів здійснюють шляхом поетапного або концептуального [2, 3] опису (розпізнавання) розроблюваних технологій та машин

$$OT_1 = \{A, P\}. \quad (2)$$

Математичні моделі способів сепарування та пристроїв для їх реалізації за такого опису включають множину цілей A (якість сепарування, втрати насіння) та множину ознак P (енергоємність процесів сепарування, вартість обробки), що характеризують об'єкт у цілому на всіх етапах його життєвого циклу.

Оскільки опис A містить множину цілей, яким повинно задовольняти нове (створюване) технологічне рішення, то

$$OT_2 = A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}. \quad (3)$$

Функціонування технічного рішення оцінюється математичними моделями з множиною ознак P , які характеризують взаємодію машин та технологій з досліджуваним матеріалом, а також залежностями ознак P від зміни стану H об'єкта (перехід на іншу культуру тощо)

$$OT_3 = \{P, H\}. \quad (4)$$

Структурний опис технологій та технічних засобів для очистки й сортування зерна визначається через математичні моделі, що складалася з

елементів, відтворюючи суть способу (послідовність подачі матеріалу на різноманітні сепаруючі робочі органи) або пристрою E (живильник-дозатор, сепаруючий робочий орган, приймальники продуктів відокремлення), ознаки P , що характеризують пристрій та спосіб сепарування на всіх етапах життєвого циклу, різноманітні варіанти технологій сепарування Q , які можуть бути реалізовані створюваними сепараторами

$$OT_4 = \{E, P, Q\}. \quad (5)$$

Параметричний опис машин та технологій уявляється через множину технологічних та конструктивних параметрів p_i

$$OT_5 = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n\}. \quad (6)$$

Тоді процес створення перспективних зерно-насіннеочисних машин, як перехід від одного опису технічного рішення до іншого, було реалізовано у такий спосіб:

$$R_1 = OT_1 \Rightarrow OT_2 \Rightarrow OT_3 \Rightarrow K \Rightarrow OT_n. \quad (7)$$

Оптимальний варіант технологій обґрунтовували шляхом відображення на множині критеріїв зрізу добутку бінарних відношень: множини критеріїв та множини ознак, множини ознак та множини технічних рішень. Позначимо:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множина ознак;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина машин, що розробляються;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина критеріїв.

Тоді функція розробки F може бути виражена як

$$F \cdot M[\psi \cdot o \cdot \varphi(A \cdot o)] \rightarrow V. \quad (8)$$

де φ, ψ – бінарні відношення між елементами множин відповідно A і P , P і X . При цьому $\psi \subset (A \cdot P)$; $A_0 \subseteq A$; $\psi \subset (P \cdot X)$.

Встановити бінарне відношення φ та ψ означає, що потрібно вказати не ті упорядковані пари декартового добутку, які знаходяться у відношенні φ_0 та ψ_0 відповідно. Бінарні відношення φ (між множинами A та P) під час розробки означають відношення між цілями та ознаками, а бінарне відношення ψ (між P та X) – між ознаками та технічними рішеннями. Оскільки кожній меті може відповідати декілька ознак, то підмножина p_i , з якою a_i перебуває у відношенні φ , є зрізом через елемент a_i .

Якщо для розробки конкретного технічного рішення вибрана підмножина A_0 множини цілей A , можна знайти зріз через A_0 [1, 2]

$$\varphi(A_0) = (p \vee a) [a \in A_0 \wedge (a, p) \in \varphi]. \quad (9)$$

Аналогічно

$$\psi(A_0) = (x \vee p) [p \in P_0 \wedge (p, x) \in \psi], \quad (10)$$

де $\psi(A_0)$ – зріз множини P з підмножини P_0 .

$$\psi \circ \varphi = ((a, x) \vee) [(a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi]. \quad (11)$$

Відомо, що добуток бінарних відношень являє собою множину упорядкованих пар (a, x) , для яких існує елемент p множини P , з яким a перебуває у відношенні φ .

Виразимо зріз добутку з підмножини A_0 так [4]:

$$\psi \circ \varphi(A_0) = ((a, x) \vee) \times \\ \times [(a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi \wedge a \in A_0]. \quad (12)$$

Відображення зрізу добутку бінарних відношень на множину оцінок означає функцію, визначену на множині $\varphi_0 \psi(A_0)$. Вона приймає значення на множині V . Кожен елемент множини V при цьому являє собою в загальному випадку n -мірний вектор, компонентами якого є вартісні характеристики, характеристики корисності та ін..

Вираз (8) використовується як цільова функція розробки технічного рішення, яку в результаті виконання операцій оптимізували,

$$(F M (\psi_0 \circ \varphi (A_0))) \rightarrow V \rightarrow opt. \quad (13)$$

Бінарні відношення між агротехнологічними вимогами й ознаками технологій та машин для очистки і сортування зерна, що створюються можна представити у вигляді таблиці чи матриці відповідностей:

$$\|C_{i,j}\| = \begin{bmatrix} P_1 P_2 \wedge P_m \\ C_{11} C_{12} \wedge C_{1m} a_1 \\ C_{n1} C_{n2} \wedge C_{nm} a_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

Рядки матриці відповідають агротехнологічним критеріям технологій та машин, що створюються, а стовпчики – основним ознакам. У чарунках на перехресті рядків та стовпчиків проставляють: +1 – ознака відповідає меті, а для її досягнення показники повинні бути збільшені; -1 – ознака відповідає цілі та негативно впливає на її досягнення, а для досягнення максимальних значень мети показники повинні бути зменшені; 0 – ознака не відповідає меті.

На основі цільового опису і матриці відповідностей визначаємо концептуальний опис. Він включає в себе вираз необхідності розробки, мету ранжируваної послідовності та ознаки, що відповідають основним цілям,

$$OT_2 = \{ \alpha_0 [\alpha_1 ((P) | (\alpha_1, P) \in \varphi), \\ \alpha_2 ((P) | (\alpha_2, P) \in \varphi, A, \alpha_n ((P) | (\alpha_n, P) \in \varphi)] \}$$

Формула [4] складного виразу, що визначає необхідність в розробці нового технологічного рішення, має вигляд:

$$Y = Y_1 \wedge Y_3 \wedge Y_4 \wedge (Y_5 \vee Y_2), \quad (16)$$

де Y_1, Y_2 – відповідно наявність технологій очистки і сортування та технічних засобів для їх реалізації в нашій країні та закордоном; Y_3 – можна відмовитися від створюваного рішення; Y_4 – отримання господарського ефекту від застосування нового об'єкта; Y_5 – можна придбати створюване рішення за кордоном.

Область визначення функції (16) така: $Y=(0, 1)$, де 0 – розробка не потрібна; 1 – розробка потрібна.

Після складання концептуального опису об'єкта технічного рішення переходимо до функціонального опису, який включає функціональні елементи, що являють собою кінцеву множину деталей, вузлів, компонентів, призначене для виконання певної функції, а також ознаки об'єкта технічного рішення. Функціональні елементи вступають у взаємозв'язок, забезпечуючи єдність технічної системи. Графічне відображення функціональних елементів у вигляді вершин та зв'язків між ними у вигляді ребер складають граф $G = L \{E, V\}$, де E – множина функціональних елементів (вершин); V – множина зв'язків (ребер).

У сільськогосподарських машинах зв'язки в більшості випадків свідчать лише про підпорядкованість функціональних елементів, які перебувають на різних ієрархічних рівнях, а всі функціональні елементи – це непересічні множини технологій та машин, що входять до них, тому граф набуває форми дерева. У разі об'єднання технічних рішень в одне загальне дерево потрібно стежити за сумісністю функціональних елементів та їх ознак. Під сумісністю розуміється така спільність елементів та їх ознак, що забезпечує можливість їх взаємодії. Розширення множини технічних рішень, що належать до технології або машини в цілому, здійснюють за окремими їх елементами з використанням різноманітних джерел, включаючи авторські свідоцтва та патенти. Розширені множини технічних рішень дозволяють виявити на дереві технологічні рішення, які володіють патентною новизною. Однак саме дерево несе лише інформацію про структуру технічних рішень та про їх конструктивні ознаки. Тому дерево потрібно доповнити засобами формального відображення відношень на множинах технічних рішень їх функцій та ознак.

Скористаємося для цього матрицею відповідностей, рядки якої відповідають функціональним елементам, а стовпчики – ознакам з повної її підмножини. Матриця зображена на множині значень: $1 \dots k, 0, -1, \dots, m$, де k, m – кількість функціональних елементів, відповідно покращуючих або погіршуючи відповідні ознаки. При цьому k та m є величинами рангів, тобто ступенем впливу функціональних елементів на ознаки.

Вибір технічних рішень здійснюють, використовуючи дерево технічних рішень, на основі якого вибирають декілька варіантів машини, яку розробляють з урахуванням концептуального та функціонального опису. Головна умова вибору технічного рішення – максимум суми значень (розраховуються з матриці відповідностей) функціональних елементів, з яких складається технічне рішення.

Ефективність алгоритму пошуку технічних рішень визначається в першу чергу потужністю множини (базами даних) існуючих технологій та технічних рішень зерно-насіннеочисних машин для післязбиральної обробки зернових матеріалів.

Результативність другого етапу R_2 залежить від технічних рішень, отриманих на стадії першого етапу R_1 , однак не визначається ним.

На другому етапі за допомогою спеціально створеної інтегрованої комп'ютерної системи технологічного та технічного забезпечення післязбиральної обробки зерна та підготовки насіння визначали оптимальні варіанти реалізації технічних рішень, отриманих на першому етапі. При цьому в автоматизованому режимі формулювали оптимальні рішення машин та технологій, а також оцінювали їх техніко-економічну ефективність.

Висновки

За одержаними даними про вихідні параметри зернового (насінневого) матеріалу, умови виробництва, показники якості кінцевого продукту, а також про технічні засоби дослідження зерноочисних машин розроблений комплекс технічних рішень. Він дозволяє:

- розраховувати технології післязбиральної обробки зерна та підготовки насіння до надійного зберігання;
- вибрати оптимальні параметри сепаруючих машин та допоміжного обладнання, необхідного для післязбиральної обробки зерна;
- оптимізувати варіанти з вибором раціональних технологічних рішень і надавати детальну техніко-економічну та енергетичну оцінку оптимальному варіанту.

Бібліографія

1. *Валиев Х.Х.* Технологический процесс, основные параметры и режимы работы высокопроизводительного оборудования для предварительной очистки зернового вороха: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Ленинград–Пушкин, 1982. – 198 с.
2. *Дворянкин А.М., Половинкин А.И., Соболев А.Н.* Методы синтеза технических решений. – М.: Наука, 1977. – 188 с.
3. *Жук Д.К.* Построение современных систем автоматизированного проектирования. – К.: Наукова думка, 1983. – 205 с.
4. *Пензов Ю.Е.* Элементы математической логики и теории множеств. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1968. – 986 с.