

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИДУ УПАКОВКИ РЕДИСУ МЕТОДОМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Є. В. ХМЕЛЬНИЦЬКА, кандидат технічних наук, доцент  
(Вищий навчальний заклад Укоопспілки  
«Полтавський університет економіки і торгівлі»)

**Анотація.** Метою статті є теоретичне обґрунтування вибору оптимального виду упаковки редису. Метод багатокритеріальної оптимізації ґрунтується на застосуванні механізму прийняття рішень за багатьма критеріями та дозволяє виключити вплив одиниць вимірювання показників і величин інтервалів допустимих значень кожного показника на вибір способу пакування (цільову функцію). Розглянуто проблему тривалого зберігання коренеплодів двох господарсько-ботанічних сортів редису з використанням різних видів пакувальних матеріалів і способів упакування. Вибір найкращого варіанта визначено за розрахунками методом багатокритеріальної оптимізації і підтверджено експериментальними дослідженнями збереженості якості товарної продукції. Оптимальним видом упаковки для тривалого зберігання коренеплодів редису сортів Червоний велетень та Червоний із білим кінчиком є варіант використання пакета поліетиленового з герметичними заціпками з товщиною плівки 30 мкм та лотка ПЕТ.

**Ключові слова:** редис, багатокритеріальна оптимізація, збереженість, упаковка, полімерна тара.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями.** Забезпечення населення протягом певного періоду року свіжими овочами – важливе завдання агропромислового комплексу. Особливо це актуально в період ринкових відносин на ринку України, які супроводжуються зменшенням асортиментом свіжої овочевої продукції вітчизняного виробництва та низькою її якістю.

Редис є цінною овочевою культурою, яка має харчове й лікувальне значення. Коренеплоди є джерелом легкозасвоюваних вітамінів, мінеральних солей та амінокислот, містить антибіотики, ефірні олії, які мають бактерицидні властивості. Гострий смак редису обумовлений гірчичними оліями (сінігрин і глікорапанін) [1].

Навесні якісний редис можна вирощувати до кінця травня, а восени, якщо сіяти в серпні, то збирати врожай у вересні-жовтні, залежно від строку посіву й сорту. Улітку прогалина в торгівлі, незаповнена редисом, становить три місяці, а після збирання врожаю в жовтні – 6 місяців.

Безперервне постачання редису населенню

можливе тільки за умови організації його вирощування в закритому ґрунті, тривалого зберігання і щоденного забезпечення магазинів свіжими коренеплодами зі сховищ. Однак про можливість зберігання редису тривалий час у літературі зустрічались протилежні думки, вітчизняні стандарти в цьому питанні значно відстають від досягнень науки й передового досвіду. Саме тому актуальною проблемою є наповнення ринку коренеплодами редису в період міжсезоння.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Деякі автори [3, 4] вважали, що тривале зберігання редису неможливе. У середині ХХ ст. активізувалася увага вчених до проблеми зберігання редису. З цією метою була проведена порівняльна оцінка зберігання редису в ящиках, у траншеях і котлованах парників перемішуванням із вологим піском і тирсою [5], у ящиках, обгорнутих поліетиленовою плівкою, у ящиках перемішуванням із вологим піском, у буртах і траншеях [6]. Під час зберігання в ящиках із перемішуванням із землею і піском збереглося 87 % коренеплодів, а без пакувальних матеріалів було 80 % в'ялих [7].

В останні роки для зберігання овочів усе більше застосовують поліетиленові плівки. Це пояснюється тим, що сховища з регульованого газового середовища (РГС) дороговартісні, їх в Україні обмаль, тим більше безпосередньо при супермаркетах та інших торговельних підприємствах. Для них більш доступно зберігати плодово-овочеву продукцію в модифікованому газовому середовищі (МГС), яку можна створити за допомогою поліетиленових упаковок, а зберігання в них плодовоовочевої продукції слід розглядати як особливий вид зберігання в газовому середовищі. У поліетиленових упаковках, також, в результаті життєдіяльності продукції створюється газове середовище з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  і пониженим  $\text{O}_2$ . Внутрішня концентрація газів залежить не тільки від структури й хімічного складу шкірки, а також і від температури та інтенсивності дихання об'єкта зберігання.

У процесі дихання навколо коренеплодів у поліетиленовому мішку наповнюється вуглекислий газ. Наповнення вуглекислого газу навколо об'єктів зберігання дещо менше ніж поглинання ним кисню. Ця невідповідність, за поясненням зарубіжних дослідників [8, 9], відбувається через те, що проникливість поліетилену відносно вуглекислого газу більша, ніж до кисню, а величина коефіцієнта дихання недостатньо велика. Через поглинання кисню, який знаходиться в поліетиленовому мішку, останній скорочується, якщо мішок запаяний або міцно зав'язаний, парціальний тиск азоту підвищується. Поліетилен проникливий для азоту, тому він поступово виходить із поліетиленового мішка, а плівка все більше притискається до продукції.

Наприклад, добре зберігається редис у кілограмових пакетах із поліетиленової плівки товщиною 40-60 мкм [10]. Але до цього часу не проводилися дослідження щодо зберігання редису з використанням сучасних пакувальних матеріалів дрібного фасування, з метою подовження строків його реалізації.

**Формування цілей статті (постановка завдання).** Мета дослідження – теоретично обґрунтувати вибір оптимального виду упаковки редису на основі методу переведення різнопланових показників у безрозмірні величини (метод багатокритеріальної оптимізації). Завдання полягає у встановленні комплексу хімічних показників якості, значення яких змінюються за різних видів пакування редису, із застосуванням методу багатокритеріальної оптимізації [2].

Метод багатокритеріальної оптимізації ґрунтується на механізмі прийняття рішень за багатьма критеріями. Він дозволяє виключити вплив одиниць вимірювання показників і величин інтервалів допустимих значень кожного показника на вибір способу пакування (цільову функцію).

Хімічними показниками якості (критеріями  $A_j$ ) редису сортів Червоний велетень і Червоний із білим кінчиком під час зберігання обрано вміст: вологи ( $A_1$ ) та сухих речовин ( $A_2$ ) [11]; загального цукру ( $A_3$ ) [12]; вітаміну С ( $A_4$ ) [13]; золи ( $A_5$ ) [14] та клітковини ( $A_6$ ) [15].

Варіантами упаковок ( $x_i$ ) обрано: за контроль –  $x_1$  – пакет із поліетиленової плівки товщиною 40 мкм (пакет із ПП-40);  $x_2$  – лоток ПЕТ;  $x_3$  – герметичний пакет із поліетиленової плівки товщиною 30 мкм із застібкою (герметичний пакет із ПП-30);  $x_4$  – лоток із пінополістиролу, закритий харчовою плівкою (лоток із пінополістиролу);  $x_5$  – картонна коробка.

Досліди з визначення збереженості коренеплодів редису в різних видах спожиткової тари проводилися в мережі продуктових супермаркетів ТОВ «Еко». У торговельну мережу коренеплоди редису постачалися згідно з умовами договору, який був заключений між ТОВ «Еко» та ТОВ «Полтава-сад». Дослідні зразки зберігалися в холодильних камерах типу ШХС-1,2 (холодильна шафа середньотемпературна, об'ємом 1 200 л, працює в температурних режимах від 0 до 8 °С) за температури 0-2 °С і відносної вологості повітря 90-95 %.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Для виключення впливу одиниць вимірювання проведено операцію нормування, тобто значення показників переведено в безрозмірні величини ( $f_j \rightarrow \tilde{f}_j$ ), для цього попередньо визначали:

– максимальне ( $f_j^+$ ) і мінімальне ( $f_j^-$ ) значення  $j$ -го критерію досліджуваних видів упаковок ( $x_i$ );

– оптимальне значення  $j$ -го критерію за умови: якщо оціночний критерій ( $f_j$ ) наближається до мінімального значення ( $f_j^{\text{opt}} \rightarrow \min$ ), то  $f_j^{\text{opt}} = f_j^-$ ; якщо оціночний критерій ( $f_j$ ) наближається до максимального значення ( $f_j^{\text{opt}} \rightarrow \max$ ), то  $f_j^{\text{opt}} = f_j^+$ .

Прагнення оптимального значення  $j$ -го критерію до  $\min$  чи  $\max$  враховується для вибору формули (1) або (2) під час проведення операції нормування:

$$\tilde{f}_j(x_i) = (f_j(x_i) - f_j^-) / (f_j^+ - f_j^-), \quad \text{якщо } f_j^{\text{опт.}} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\tilde{f}_j(x_i) = (f_j^+ - f_j(x_i)) / (f_j^+ - f_j^-), \quad \text{якщо } f_j^{\text{опт.}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\tilde{f}_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для  $j$ -го виду упаковки;

$f_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію для  $j$ -го виду упаковки у відповідних одиницях вимірювання;

$[f_j^+, f_j^-]$  – область допустимих значень  $j$ -го критерію порівнюваних видів упаковки.

Після нормування проведено розрахунок значень цільової функції ( $\varphi$ ) для кожного виду упаковки ( $x_i$ ) за формулою:

$$\varphi(x_i) = \sum^n | \tilde{f}_j(x_i) - \tilde{f}_j(x^u) | \rightarrow \min, \quad \begin{matrix} 0 \leq \tilde{f}_j(x_i) \leq 1 \\ \tilde{f}_j(x^u) = 1, \end{matrix} \quad (3)$$

де  $\varphi(x_i)$  – цільова функція  $i$ -го виду упаковки;

$n$  – кількість критеріїв;

$\tilde{f}_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для  $j$ -го виду упаковки;

$x^u$  – ідеальний сорт (з оптимальними значеннями критеріїв);

$f^e(x^u)$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для ідеального виду упаковки.

Доведення, чому  $\tilde{f}_j(x^u) = 1$ . Якщо  $f_j^{\text{опт.}} \rightarrow \max$ , тоді згідно з формулою (1)

$$\tilde{f}_j(x^u) = (f_j(x^u) - f_j^-) / (f_j^+ - f_j^-), \text{ оскільки } f_j(x^u) = f_j^{\text{опт.}} = f_j^+, \text{ то}$$

$$\tilde{f}_j(x^u) = (f_j^+ - f_j^-) / (f_j^+ - f_j^-) = 1/1 = 1. \quad (4)$$

Якщо  $f_j^{\text{опт.}} \rightarrow \min$ , то згідно з формулою (2)

$$\tilde{f}_j(x^u) = (f_j^+ - f_j(x^u)) / (f_j^+ - f_j^-), \text{ оскільки } f_j(x^u) = f_j^{\text{опт.}} = f_j^-, \text{ то}$$

$$\tilde{f}_j(x^u) = (f_j^+ - f_j^-) / (f_j^+ - f_j^-) = 1/1 = 1. \quad (5)$$

Вибір оптимального виду упаковки визначається за умови найбільшого наближення його цільової функції  $\varphi(x_i)$  до цільової функції ідеального виду упаковки  $\varphi(x^u)$ , яка дорівнює 0. Доведемо, що  $\varphi(x^u) = 0$ . Згідно з формулою (3)

$$\varphi(x^u) = \sum^n | \tilde{f}_j(x^u) - \tilde{f}_j(x^u) | = \sum^n | 1 - 1 | = 0.$$

Менша величина цільової функції упаковки  $\varphi(x_i)$  в діапазоні значень критеріїв дослідних варіантів констатує більшу придатність цього варіанта упаковки для зберігання коренеплодів редису. Результати досліджень і розрахунків стосовно вибору упаковки представлено в табл. 1 і 2. Дані наведено за двосторонньою альтернативно-критеріальною класифікацією: значення критеріїв характеризують вид упаковки ( $f_j$ ) та хімічні показники на кінець терміну зберігання ( $A_j$ ) в кількісному та безрозмірному вигляді.

Для сорту редису Червоний велетень (див. табл. 1) оптимальним видом упаковки для тривалого зберігання виявлено герметичний пакет із поліетиленової плівки товщиною 30 мкм із застібкою, оскільки значення цільової функції найменше – 2,19, що зумовило перший ранг для цього варіанта. До другого рангу належить лоток ПЕТ, що підтверджується значенням цільової функції  $\varphi(x_2) = 2,29$ . За комплексом показників найменш придатною для зберігання редису є картонна коробка.

Таблиця 1

**Значення цільових функцій  $\varphi(x_1) \dots \varphi(x_5)$  під час вибору оптимального виду упаковки для тривалого зберігання редису сорту Червоний велетень**

Вид упаковки (альтернативи)	Фізико-хімічні показники (критерії – $A_j$ )												$\varphi(x_i)$	Ранг
	вологість, % ( $A_1$ )		сухі речовини, % ( $A_2$ )		загальний цукор, % ( $A_3$ )		вітамін С, мг/100 г, ( $A_5$ )		зола, мг/100 г ( $A_6$ )		клітковина, % ( $A_7$ )			
	$f_1$	$f_1^e$	$f_2$	$f_2^e$	$f_3$	$f_3^e$	$f_4$	$f_4^e$	$f_5$	$f_5^e$	$f_6$	$f_6^e$		
Пакет із ПП-40 (контроль)	94,59	0,44	5,41	0,62	3,37	0,58	23,74	0,61	0,41	0,32	1,93	0,63	2,80	4
Лоток ПЕТ	94,42	0,40	5,58	0,70	3,64	0,69	23,91	0,63	0,53	0,59	1,99	0,60	2,29	2
Герметичний пакет із ПП-30	94,21	0,36	5,79	0,80	3,82	0,73	24,38	0,70	0,57	0,68	2,13	0,53	2,19	1
Лоток із пінополістиролу	94,36	0,39	5,64	0,73	3,31	0,55	23,87	0,63	0,54	0,61	1,78	0,71	2,38	3

Продовж. табл. 1

Вид упаковки (альтернативи)	Фізико-хімічні показники (критерії – $A_j$ )												$\varphi(x_j)$	Ранг
	вологість, % ( $A_1$ )		сухі речовини, % ( $A_2$ )		загальний цукор, % ( $A_3$ )		вітамін С, мг/100 г, ( $A_4$ )		зола, мг/100 г ( $A_6$ )		клітковина, % ( $A_7$ )			
	$f_1$	$f_1^e$	$f_2$	$f_2^e$	$f_3$	$f_3^e$	$f_4$	$f_4^e$	$f_5$	$f_5^e$	$f_6$	$f_6^e$		
Коробка картонна	95,05	0,54	4,92	0,38	2,96	0,40	21,63	0,31	0,38	0,25	1,52	0,85	3,27	5
$f_j^-$	92,52		4,12		2,01		26,53		0,27		1,24			
$f_j^+$	97,23		6,21		4,36		19,43		0,71		3,12			
$f_j(x^u)$		1		1		1		1		1		1		
$f_j^{opt.}$	97,23 <i>max</i>		6,21 <i>max</i>		4,36 <i>max</i>		26,53 <i>max</i>		0,71 <i>max</i>		1,24 <i>min</i>			

Для сорту редису Червоний із білим кінчиком (див. табл. 2) найкращим упакуванням для зберігання коренеплодів є лоток ПЕТ, цільова функція якого дорівнює 2,04. Друге та третє місця за рангом визначені для герметичного пакета з поліетиленової плівки товщиною 30 мкм із застіб-

кою і лотка з пінополістиролу, закритого харчовою плівкою. Картонна коробка виявилася і для цього сорту також непридатною для пакування. Отже, комплексний показник якості (ранг) характеризує вплив виду упаковки на збереженість хімічного складу коренеплодів редису.

Таблиця 2

**Значення цільових функцій  $\varphi(x_1) \dots \varphi(x_5)$  під час вибору оптимального виду упаковки для тривалого зберігання редису сорту Червоний із білим кінчиком**

Вид упаковки (альтернативи)	Фізико-хімічні показники (критерії – $A_j$ )												$\varphi(x_j)$	Ранг
	вологість, % ( $A_1$ )		сухі речовини, % ( $A_2$ )		загальний цукор, % ( $A_3$ )		вітамін С, мг/100 г, ( $A_4$ )		зола, м/100 г ( $A_6$ )		клітковина, % ( $A_7$ )			
	$f_1$	$f_1^e$	$f_2$	$f_2^e$	$f_3$	$f_3^e$	$f_4$	$f_4^e$	$f_5$	$f_5^e$	$f_6$	$f_6^e$		
Пакет із ПП-40 (контроль)	96,79	0,71	3,21	0,61	2,28	0,57	21,41	0,58	0,42	0,37	1,82	0,59	2,57	4
Лоток ПЕТ	96,64	0,68	3,36	0,69	2,26	0,59	21,64	0,64	0,54	0,68	1,91	0,68	2,04	1
Герметичний пакет із ПП-30	96,36	0,63	3,64	0,85	2,38	0,44	21,83	0,69	0,43	0,39	1,93	0,70	2,30	2
Лоток із пінополістиролу	96,66	0,69	3,34	0,68	2,33	0,51	21,58	0,62	0,54	0,68	1,68	0,46	2,36	3
Коробка картонна	97,06	0,77	2,94	0,46	2,12	0,77	20,92	0,46	0,34	0,16	1,43	0,21	3,17	5
$f_j^-$	93,14		2,12		1,93		19,12		0,28		1,21			
$f_j^+$	98,26		3,91		2,74		23,07		0,66		2,24			
$f_j(x^u)$		1		1		1		1		1		1		
$f_j^{opt.}$	98,26 <i>max</i>		3,91 <i>max</i>		1,93 <i>min</i>		23,07 <i>max</i>		0,66 <i>max</i>		2,24 <i>max</i>			

Метод багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимального виду упаковки під час зберігання підтверджується експерименталь-

ними дослідженнями, проведеними у трикратній повторюваності, щодо збереженості коренеплодів обох сортів (табл. 3).

Таблиця 3

## Збереженість сортів редису залежно від виду упаковки, %

Вид матеріалу та спосіб пакування	Термін зберігання, днів	Втрати маси коренеплодів за рахунок			Загальні втрати	Вихід товарної продукції	Середні втрати за один день зберігання
		природних втрат	абсолютного браку	ушкоджених хворобами			
Червоний із білим кінчиком							
Пакет з ПП-40	92	9,6	1,4	6,1	17,1	82,9	0,19
Лоток ПЕТ	92	8,4	1,2	5,8	15,4	84,6	0,17
Герметичний пакет із ПП-30	92	7,9	0,9	5,3	14,1	85,9	0,15
Лоток з пінополістиролу	92	8,6	2,3	6,4	17,3	82,7	0,19
Коробка картонна	65	8,2	1,4	6,6	16,2	83,8	0,25
Червоний велетень							
Пакет із ПП-40	126	9,1	1,2	5,9	16,2	83,3	0,13
Лоток ПЕТ	126	8,2	1,1	5,6	14,9	85,1	0,12
Герметичний пакет із ПП-30	126	7,7	0,9	5,2	13,8	86,2	0,11
Лоток із пінополістиролу	126	8,7	2,4	6,5	17,6	82,4	0,14
Коробка картонна	92	8,3	1,5	6,7	16,5	83,5	0,18

Найбільший вихід товарної продукції після зберігання визначено за умови пакування редису сорту Червоний із білим кінчиком у герметичний пакет із поліетиленової плівки товщиною 30 мкм і лоток ПЕТ – 85,9 і 84,6 % відповідно, а для сорту Червоний велетень – 86,2 і 85,1 %. Указані варіанти дослідження характеризуються й найменшими середніми втратами в розрахунку на один день.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Під час проведення порівняльної оцінки результатів досліджень встановлено ранг для сортів Червоний велетень та Червоний із білим кінчиком, який характеризує вид пакування коренеплодів редису для тривалого зберігання.

Комплексний показник якості (ранг) характеризує вплив виду пакування на збереженість хімічного складу коренеплодів редису.

Застосування методу багатокритеріальної оптимізації дозволяє виключити вплив фактичних результатів вимірювання показників якості (хімічного складу) на вибір пакування редису.

Теоретичними розрахунками підтверджено, що оптимальним видом упаковки для тривалого зберігання коренеплодів редису сортів Червоний велетень та Червоний із білим кінчиком є варіант використання пакета поліетилено-

вого з герметичними заціпками з товщиною плівки 30 мкм та лотка ПЕТ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колтунов В. А. Технологія зберігання товарів / В. А. Колтунов. – Київ : КНТЕУ, 2014. – 431 с.
2. Теплицкий М. Г. Многокритериальный выбор комплексов технических средств для животноводства / М. Г. Теплицкий // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 6. – С. 25.
3. Боос Г. В. Редис / Г. В. Боос ; под ред. Д. Д. Брежнева // Зеленные овощные культуры. – Ленинград : Агропромиздат, 1967. – С. 98–107.
4. Сабуров Н. В. Хранение и переработка плодов и овощей / Н. В. Сабуров, М. В. Антонов, Е. П. Широков. – Москва : Изд-во с.-х. лит., журн. и плакатов, 1963. – 463 с.
5. Мкртчян В. С. Как хранить свежий редис зимой / В. С. Мкртчян, Р. В. Яблонская. –

- Москва : Из-во Мин-ва с.-х. СССР, 1951. – 198 с.
6. Дьяченко В. С. Овощеводство в специализированных хозяйствах. / В. С. Дьяченко, Н. И. Памелов. – Москва : Московский рабочий, 1964. – 200 с.
7. Дженеев С. Ю. Свежие овощи круглый год / С. Ю. Дженеев – Симферополь : Крымиздат, 1967. – 164 с.
8. Marcellin, P. 1971. La conservation des fruits en atmosphère contrôlée au moyen d'emballage de matière plastique. *Chim. Ind.-Génie Chim.* 104: 2141-2148.
9. Marcellin, P. et Leteinturier, J. 1964. Brevet Français no. 964.361 du Centre National de la Recherche Scientifique.
10. Сокол П. Ф. О длительном хранении редиса / П. Ф. Сокол, М. А. Скляревский // Хранение и переработка картофеля, овощей, плодов и винограда. – Москва : Колос, 1973. – С. 112–116.
11. Продукты переработки плодов и овощей. Определение сухих веществ или влаги : ГОСТ 28561-90. – [Введен 1991-01-01]. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.
12. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання цукру : ДСТУ 4954:2008. – [Чинний 2009-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 22 с.
13. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамин С : ГОСТ 24556-89. – [Введен 1990-01-01]. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.
14. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы, щелочности, общей и водорастворимой золы : ГОСТ 25555.4-91. – [Введен 1992-01-01]. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.
15. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой клетчатки. Ускоренный вариант : ГОСТ 13496.2-91. – [Введен 1992-04-01]. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 14 с.
- ### REFERENCES
1. Koltunov, V. A. (2014). *Tekhnolohiya zberihannya tovariv*. Kyiv : KNTEU, 431.
  2. Teplytskyj, M. H. (1989). Mnohokryteryal'nyj vybor kompleksov tekhnicheskikh sredstv dlia zhyvotnovodstva. *Tekhnika v sel'skom khoz'jajstve*, 6, 25.
  3. Boos, H. V., Brezhneva, D. D. (1967). *Redys. Zelennye ovoschnye kul'tury*. – L., Ahropromyzzdat, 98–107.
  4. Saburov, N. V., Antonov, M. V., Shyrovkov, E. P. (1963). *Khraneniye y pererabotka plodov y ovoschej*. Moscow : Yz-vo s.-kh. lyt., zhurn. y plakatov, 463.
  5. Mkrtch'ian, V. S., Yablonskaia, R. V. (1951). *Kak khranyt' svezhyj redys zymoij*. Moscow : Yz-vo Myn-va s.-kh. SSSR, 198.
  6. D'iachenko, V. S., Pamelov, N. Y. (1964). *Ovoshevodstvo v spetsyalyzovannykh khoz'jajstvakh*. Moscow : Moskovskiy rabochiy, 200.
  7. Dzheneev, S. Yu. (1967). *Svezhye ovoschy kruhlyj hod*. Symferopol': Krymyzzdat, 164.
  8. Marcellin, P. (1971). *La conservation des fruits en atmosphère contrôlée au moyen d'emballage de matière plastique*. *Chim. Ind.-Génie Chim.*, 104, 2141–2148.
  9. Marcellin, P. et Leteinturier, J. (1964). *Brevet Français*, 964.361 du Centre National de la Recherche Scientifique.
  10. Sokol, P. F., Skliarevs'kyj, M. A. (1973). *O dlytel'nom khraneniyy redysa. Khraneniye y pererabotka kartofelia, ovoschej, plodov y vynohrada*. Moscow : Kolos, 112–116.
  11. *GOST 28561-90. Produkty pererabotky plodov y ovoschej. Opredeleniye sukhykh veschestv yly vlahy*. (1990). Moscow : Yzd-vo standartov, 10.
  12. *DSTU 4954:2008. Produkty pereroblennia fruktiv ta ovochiv. Metody vyznachannia tsukriv*. (2009). Kiev : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 22.

13. GOST 24556-89. *Produkty pererabotky plodov y ovoschej. Metody opredeleniya vityamyn S.* (1990). Moscow : Yzd-vo standartov, 10.
14. GOST 25555.4-91. *Produkty pererabotky plodov y ovoschej. Metody opredeleniya zoly, schelochnosti, obschej y vodorastvorymoj zoly.* (1991). Moscow : Yzd-vo standartov, 7.
15. GOST 13496.2-91. *Korma, kombykorma, kombykormovoe syr'e. Metody opredeleniya syroj kletchatky. Uskorennij varyant.* (1991). Moscow : Yzd-vo standartov, 14.

**Е. В. Хмельницька**, кандидат технічних наук, доцент (Вище навчальне закладення Уко-опсоюзу «Полтавський університет економіки і торгівлі»). **Обоснование оптимального вида упаковки редиса методом многокритериальной оптимизации.**

**Аннотация.** Целью статьи является теоретическое обоснование выбора оптимального вида упаковки корнеплодов редиса. Метод многокритериальной оптимизации основывается на применении механизма принятия решений по многим критериям и позволяет исключить влияние единиц измерения показателей и величин интервалов допустимых значений каждого показателя на выбор способа упаковки (целевую функцию). Рассмотрена проблема длительного хранения корнеплодов двух хозяйственно-ботанических сортов редиса с использованием различного вида упаковочных материалов и способов упаковки. Выбор наилучшего варианта определен расчетным путем методом многокритериальной оптимизации и подтвержден экспериментальными исследованиями сохранности качества товарной продукции. Оптимальным видом упаковки для длительного хранения корнеплодов редиса сортов Красный великан и Красный с белым кончиком является вариант использования пакета полиэтиленового с герметическими защипами с толщиной пленки 30 мкм и лотка ПЭТ.

**Ключевые слова:** редис, многокритериальная оптимизация, сохраняемость, упаковка, полимерная тара.

**Y. Khmelnytskaya**, PhD, Associate Professor (Poltava University of Economics and Trade). **Substantiation of optimum type of packaging radish methods of multicriteria optimization.**

**Annotation.** The aim of the article is theoretical substantiation of the choice of the optimal packing of root crops of radish. A method of multicriteria optimization based on the application of the mechanism of decision-making in many criteria and allows to eliminate the influence of units of measurement and sizes of the intervals of acceptable values of each indicator for the choice of packaging method (target function). Chemical quality indicators (criteria  $A_j$ ) varieties of radish, Red giant, Red with a white tip when storing the chosen content: moisture ( $A_1$ ) and dry matter ( $A_2$ ), total sugars ( $A_3$ ), vitamin C ( $A_4$ ), ash ( $A_5$ ), and fiber ( $A_6$ ). Options of packages ( $x_j$ ) as follows: for control –  $x_1$  – package of plastic film with a thickness of 40  $\mu\text{m}$  (pack PP-40);  $x_2$  – tray PET;  $x_3$  – sealed bag of polyethylene film of thickness 30  $\mu\text{m}$  with clasp (sealed pack of PP-30);  $x_4$  – tray of polystyrene, closed with plastic wrap (tray of polystyrene);  $x_5$  – cardboard box. To exclude the influence of measuring units, a normalization operation was performed, ie the value of the indices was translated into dimensionless quantities ( $f_j \rightarrow \bar{f}_j$ ). After valuation, the target function ( $\varphi$ ) for each type of package ( $x_j$ ) is calculated. The choice of the optimal type of packaging is determined by the fact that its target function  $\varphi(x_j)$  is most approximated to the objective function of the ideal package type  $\varphi(x^0)$  equal to 0. The smaller value of the target packing function  $\varphi(x_j)$  in the range of values of the criteria of the experimental variants states that this is more suitable A variant of packaging for storing radish roots. For the radish variety, Red giant is the optimal kind of packaging for long-term storage, a sealed bag of 30  $\mu\text{m}$  thick polyethylene film with a buckle has been detected since the value of the target function is at least 2,19, which resulted in the first rank for this variant. To the second rank is the PET tray, which is confirmed by the value of the target function  $\varphi(x_2) = 2,29$ . The complex of indicators for the least suitable for storage of radishes is a cardboard box. Reddish Red radish with a white tip is the best packaging for root crop storage, with a PET tray with a target function of 2,04. The second and third places in rank are defined for a sealed package of polyethylene film with a thickness of 30 microns with a buckle and a foam polystyrene tray, closed with a food film. Cardboard packaging also turned out to be unsuitable for packaging. The multicriteria optimization method for choosing the optimal type of packaging during storage is confirmed by experimental studies carried out in triple repetition, concerning the preservation of the root crops of both varieties. The largest yield of commodity products after storage is determined by packaging red radish Red with a white tip in a sealed package of 30  $\mu\text{m}$  thick polyethylene film and PET tray – 85,9 %

and 84,6 % respectively, while for the Red Giant – 86,2 and 85,1 %. At the same time, these variants of the experiment are characterized by the smallest average losses for one day. Thus, the method of multi-criteria optimization has established the best types of packages for long-term storage of radishes. The optimal kind of packaging for long-term storage of radish root crops of Red Giant and Red with a white tip is the option of using a packet of polyethylene with sealing flaps with a film thickness of 30  $\mu\text{m}$  and using the PET tray.

**Keywords:** radish, multicriteria optimization, storage capacity, packaging, polymer packaging.