

УДК 621.798

A. Semenov, V. Pidlisniy, N. Palilyul'ko, State Agrarian and Engineering University in Podilya

### INFLUENCE OF CORRELATIONS OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF PACKING IS ON THE INDEX OF SPECIFIC SURFACE

**Annotation.** Form of packing and correlation of her geometrical parameters determined by physical and chemical descriptions of products, level of requirements of relatively barrier properties, inflexibility and durability, presence or absence of thermal treatment, minimizations of charges of material on her creation, minimization of cost and that like.

Obviously, that time of heating and cooling time grow with growth of volumes of packing.

Especially prolonged these processes are for consistency products at which is limited or in general konvektivniy heat exchange. A decision value has a rev-up motion of these transients, the more so, that it is important not only from point of the productivity of technological equipment, and touches the high-quality indexes of products. If it is possible to limit to technology of conduct of processes time of heating of the pressurized packing due to packing of hot products, in the processes of cooling for consistency products unique and limiting is a process of transferra blends of warmth by a heat-conducting.

Correlation of power charges is answered by correlations in the change of packing volumes. Certainly, that correlation of time of transients other things being equals cube from correlation in the change of their volumes.

Thus, acceleration of heating of product of with diminishing of thermal resistance both in radial and in axial directions.

On the basis of principle of this position consider that the amount of thermal energy is perceived packing, equals the sum of energies, got through lateral and butt-end surfaces.

Does intensification of transients have that circumstance complication, that a heat exchange is limited to the coefficient of heat-conducting from the wall of packing to the product. Influence on the hydrodynamic mode in packing is searched on the way of the use of the potential fields of attractive and forces of inertia powers.

**Key words:** packing, treatment, products, heating, cooling.

О.М. Семенов, В.В. Підлісний, кандидати технічних наук, доценти,

М.І. Палилюлько, кандидат с.-г. наук, доцент ПДАТУ

### ВПЛИВ СПІВВІДНОШЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УПАКОВОК НА ПОКАЗНИК ПИТОМОЇ ПОВЕРХНІ

Форма упаковки і співвідношення її геометричних параметрів визначаються фізико-хімічними характеристиками продукції, рівнем вимог щодо бар'єрних властивостей, жорсткості та міцності, наявності або відсутності теплової обробки, мінімізацією витрат матеріалу на її створення, вартості тощо.

**Ключові слова:** упаковка, обробка, продукція, нагрівання, охолодження.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Задача, пов'язана з мінімізацією поверхонь апаратів, реакторів, місткостей по зберіганню газів, рідин тощо, завжди була на вістрі проблем, вирішуваних спеціалістами.

Широке використання методів теплової обробки фасованої продукції з метою пастеризації та стерилізації поставило на порядок денний задачу використання упаковок зі збільшеною питомою поверхнею, тобто поверхнею, віднесеною до об'єму упаковки. Очевидно, що в інтересах прискорення стадій нагрівання і охолодження упаковок бажано мати збільшену питому поверхню теплопередачі. З цієї точки зору значення мають не тільки форма, а й об'єм упаковки, оскільки площа поверхні останньої пропорційна квадрату лінійного розміру, а її об'єм – кубу.

У технологіях теплової пастеризаційної та стерилізаційної обробок витрати часу на процес в цілому пов'язані з часом нагрівання до заданої температури, витримки при заданій температурі та часом охолодження.

Числові значення часу нагрівання і охолодження продукції у цих схемах наведені у відповідних формулах пастеризації та стерилізації. Очевидно, що зі зростанням об'ємів упаковок зростає час нагрівання і охолодження продукції. Особливо подовженими ці процеси є для консистентної продукції, для якої обмеженим або навіть відсутнім є конвективний теплообмін. У таких умовах нагрівання продукції в упаковці здійснюється в основному за рахунок теплопровідності. Це ж саме відноситься і до охолодження упаковок після завершення пастеризації та стерилізації.

Тому ставиться задача пошуку шляхів, пов'язаних з можливістю інтенсифікації теплообміну щодо перехідних процесів нагрівання і охолодження герметизованих упаковок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питанню мінімізації площі поверхні упаковки, технічних реакторів, апаратів тощо присвячено значну кількість публікацій і добре відомо, що з цієї точки зору найкращою є форма сфери. Для тіла циліндричної форми мінімальній площині поверхні відповідає рівність діаметра і висоти тощо [1-5]. Сучасний математичний апарат у поєднанні з комп'ютерною технікою дає можливість для будь-якої простої форми або комбінацій з них дати відповідь щодо мінімізації поверхні.

Однак багатогранність технічних вимог щодо форм та їх геометричних параметрів інколи формує зовсім протилежну умову. Найчастіше це стосується забезпечення умов теплопередачі як за нагрівання, так і за охолодження. Першопричиною такої ситуації є те, що саме поверхня теплопередачі – один з головних чинників, на якому ґрунтується можливе прискорення теплових процесів.

Саме завдяки науковому обґрунтуванню поверхні теплопередачі стала можливою технологія високотемпературної короткочасної стерилізації (ВТКС). Очевидно, що тим більш можливою є високотемпературна короткочасна пастеризація продукції (ВТКП).

**Формулювання цілей статті.** Зважаючи на відомі переваги ВТКС і ВТКП, пошук форм і співвідношень геометричних параметрів упаковки, які приводять до зростання відношення площі поверхні до об'єму, яке в подальшому будемо називати питомою площею поверхні, залишається актуальним. Оскільки переваги тих чи інших тіл можна оцінити у порівнянні, то останні будуть стосуватися як добре відомих, так і менш вживаних форм.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** У загальній оцінці співвідношення конструктивного фактора теплообміну питомої поверхні упаковки має вид:

$$K_{n,y} = \frac{S}{V} = \frac{k_{np}}{l}, \quad (1)$$

де  $K_{n,y}$  – конструктивний фактор поверхні упаковки;

$S$  – площа поверхні упаковки;

$V$  – об'єм упаковки;

$k_{np}$  – приведений коефіцієнт форми упаковки;

$l$  – характерний розмір упаковки.

У формулі (1) через приведений коефіцієнт форми упаковки наведено лише односторонню форму впливу на конструктивний фактор поверхні упаковки. У відповідності до «законів» симетрії існує інший фактор впливу, пов'язаний з абсолютними розмірами упаковки (рис. 1).

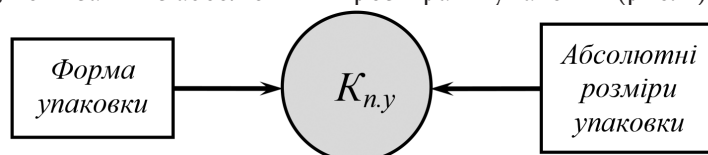


Рис. 1. Схема для оцінки впливу на конструктивний фактор упаковки.

Визначення конструктивного фактора поверхні упаковки в якості порівняльної характеристики досліджуваних об'єктів ґрунтується на відомому рівнянні Ньютона, яким характеризується теплообмін:

$$Q = kS\Delta t, \quad (2)$$

де  $Q$  – потужність теплового потоку;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі;

$\Delta t$  – температурний напір.

Величина потужності теплового потоку оцінюється формулою:

$$Q = \frac{E}{\tau}, \quad (3)$$

де  $E$  – кількість теплової енергії, яка передається упаковці;

$\tau$  – час здійснення процесу.

При цьому:

$$E = mc(t_{(к)} - t_{(н)}), \quad (4)$$

де  $m$  – маса упаковки;

$c$  – теплоємність продукту;

$t_{(к)}$  і  $t_{(н)}$  – відповідно кінцева і початкова температури продукту.

Оскільки через значення маси визначається об'єм продукту

$$V_{np} = \frac{m}{\rho}, \quad (5)$$

де  $\rho$  – питома маса продукту,

то формула (4) трансформується до виду:

$$E = V_{np}\rho c(t_{(к)} - t_{(н)}). \quad (6)$$

За відповідних підстановок одержуємо:

$$E = V_{np}\rho c(t_{(к)} - t_{(н)}) = kS\Delta t\tau. \quad (7)$$

Звідси знайдемо:

$$\frac{S}{V_{np}} = \frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(н)})}{k\Delta t\tau}. \quad (8)$$

Надалі у загальній частині дослідження будемо вважати, що об'єм продукту  $V_{np}$  і загальний об'єм упаковки  $V$  близькі і тому  $V_{np} \approx V$ :

$$\frac{S}{V} = \frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(н)})}{k\Delta t} \cdot \frac{1}{\tau}. \quad (9)$$

Оскільки до комплексу

$$\frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(н)})}{k\Delta t} = \beta, \quad (10)$$

входять тільки стабілізовані параметри для досліджуваної системи, то знайдемо:

$$\frac{S}{V} = \beta \frac{1}{\tau}; \quad \tau = \beta \frac{V}{S} = \frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(н)})}{k\Delta t} \cdot \frac{V}{S}. \quad (11)$$

Звідси витікає, що для ізооб'ємних упаковок за інших рівних умов час нагрівання (охолодження) упаковки обернено пропорційний площі її поверхні  $S$  (рис. 2).

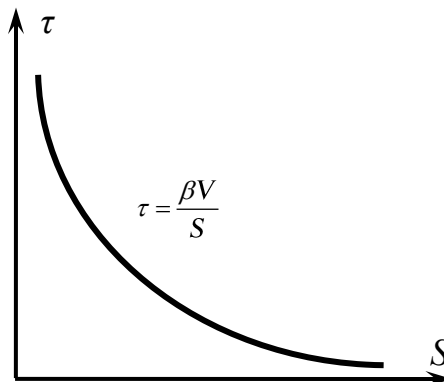


Рис. 2. Графік залежності часу нагрівання (охолодження) упаковки від площі її поверхні.

Умовам (2)-(11) відповідає ліва частина зв'язку на рис. 1 між формою упаковки і конструктивним фактором поверхні упаковки, якщо прийнята умова ізооб'ємності упаковок, тобто  $V = \text{const}$ .

Відхід від цього положення вказує на вплив абсолютних розмірів упаковок на умови теплопередачі. За такого переходу принципова роль починає належати коефіцієнту кратності переходу  $k_{кр}$ . Покажемо це.

Найчастіше використовуються такі форми упаковки, як призма, куб, паралелепіпед, піраміда, циліндр, конус, сфера, сферичний сегмент, тор тощо.

Стосовно кожної з них існують співвідношення геометричних параметрів, що мінімізують площу поверхні за стабілізованого об'єму. Відступ від останньої умови є важливим фактором як мінімізації питомої поверхні, так і навпаки зростання останнього показника. Для пояснення повернемося до формули (1). З неї видно, що існує ще малопомітний шлях до оптимізації, пов'язаний з масштабним переходом тих самих форм. Зупинимось на деяких з них.

Відомо, що сфера характеризується такими співвідношеннями:

$$S = \pi d^2; \quad V = \frac{1}{6} \pi d^3. \quad (12)$$

Тоді питома поверхня:

$$\frac{S}{V} = \frac{6}{d}. \quad (13)$$

Якщо за початкове значення відліку приймемо умовну одиницю, наприклад,  $d_{(1)} = 1 \text{ м}$ , то перехід його в зміні в сторону зменшення або збільшення врахуємо коефіцієнтом кратності  $k_{кр}$  геометричного параметра:

$$\frac{S}{V} = \frac{6}{k_{кр} d_{(1)}}. \quad (14)$$

Результати розрахунків питомої поверхні упаковки за заданими значеннями кратності  $k_{кр}$  наведено на рис. 3.

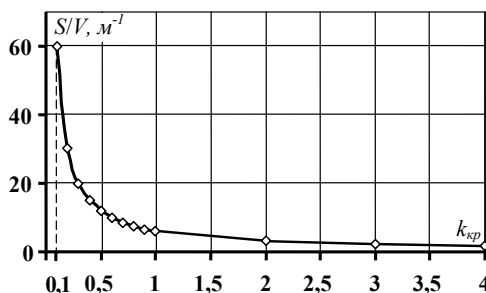


Рис. 3. Вплив коефіцієнта кратності на питому площу поверхні упаковки.

Оскільки на зміну питомої площі поверхні впливає тільки коефіцієнт кратності  $k_{кр}$ , то відповідні залежності будуть мати місце і для інших форм.

Так, для упаковки циліндричної форми запишемо:

$$S_u = \pi dh + \frac{\pi d^2}{2}; \quad V_u = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (15)$$

де  $h$  – висота циліндра.

Якщо прийняти  $h = d$  (як для циліндра з мінімізованою поверхнею), то:

$$S_u = \pi d^2 + \frac{\pi d^2}{2} = 1,5 \pi d^2; \quad V_u = \frac{\pi d^3}{4}. \quad (16)$$

Звідси визначаємо:

$$\frac{S_u}{V_u} = \frac{15 \cdot 4 \pi d^2}{\pi d^3} = \frac{6}{d} \text{ м}^{-1}. \quad (17)$$

Очевидно, що за умови  $h \neq d$  умова мінімізованої площі поверхні циліндра порушується і це порушення буде на користь зростання показника  $S_u/V_u$ . Приймемо  $h = \psi d$ , де  $\psi$  – коефіцієнт співвідношення геометричних параметрів. Тоді:

$$S_u = \pi d^2 \psi + \frac{\pi d^2}{2} = \pi d^2 (\psi + 0,5); \quad (18)$$

$$V_u = \frac{\pi d^3}{4} \psi; \quad (19)$$

$$\frac{S_u}{V_u} = \frac{4\pi d^2(\psi + 0,5)}{\pi d^3 \psi} = \frac{4\psi + 2}{d\psi}. \quad (20)$$

Якщо прийняти значення  $\psi = 1$ , то одержимо результат, що збігається з умовою (17).

Виконаємо чисельну оцінку впливів факторів. До співвідношення (17) введемо коефіцієнт кратності  $k_{кр}$  і отримаємо:

$$\frac{S_u}{V_u} = \frac{6}{k_{кр} d}. \quad (21)$$

Дані розрахунків за формулою наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Дані оцінки впливу коефіцієнта кратності  $k_{кр}$  на співвідношення  $S_u/V_u$ ,  $m^{-1}$**

$k_{кр}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$S_u/V_u$	60	30	20	15	12	10	8,57	7,5	6,67	6,0
$k_{кр}$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	20,0
$S_u/V_u$	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0	0,875	0,75	0,667	0,6	0,3

Таким чином, дані таблиці переконливо доводять, що зменшення розмірів циліндричних упаковок (як і сферичних), в яких співвідношення  $h = d$  мінімізує площу поверхні, приводить до швидкого зростання питомої поверхні  $S_u/V_u$  і відповідного зменшення часу їх теплової обробки.

Очевидно, що подібний характер повинен бути притаманним для тіл всякої форми, оскільки площа поверхні тіла пропорційна квадрату його лінійного розміру, а об'єм – кубу.

Вирішуючи задачу співставлення різних форм упаковок, прийmemo для зручності підрахунків  $V = 1 m^3$  і для такої умови обчислюємо значення  $d$  і  $a$  та співвідношення  $S/V$  (табл. 2).

Таблиця 2

**Порівняльні співвідношення геометричних параметрів**

Параметр	Сфера	Ікосаедр	Додекаедр	Циліндр	Октаедр	Куб	Тетраедр
$d$ , м	$\frac{1,241}{0,985}$	-	-	$\frac{1,084}{0,86}$	-	-	-
$a$ , м	-	$\frac{0,77}{0,612}$	$\frac{0,507}{0,4}$	-	$\frac{1,285}{1,06}$	$\frac{1}{0,794}$	$\frac{2,039}{1,618}$
$S/V$ , $m^{-1}$	$\frac{4,835}{6,091}$	$\frac{5,15}{6,485}$	$\frac{5,3}{6,735}$	$\frac{5,535}{6,977}$	$\frac{5,72}{6,934}$	$\frac{6}{7,557}$	$\frac{7,208}{9,085}$
Кратність зростання	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26

Для оцінки впливу кратності переходу визначаємо співвідношення геометричних параметрів також для випадку  $V = 1 m^3$  (дані чисельників), а у знаменниках при  $V = 0,5 m^3$ .

Порядок представлення даних упаковок різної форми у табл. 2 відповідає зростанню показника  $S/V$  (від сфери, для якої  $\frac{S}{V} = \frac{4,835}{6,091}$ ). Очевидно, що за показником пальми першості  $S/V$  перевагу має саме тетраедр.

Підрахунки величин  $d$  та  $a$  здійснювалися за використання відомих формул. Так, наприклад, для сфери із заданим  $V = 1 m^3$  маємо:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi}}, \quad (22)$$

а для тетраедра з  $V_m = 1 m^3$  одержуємо:

$$a = \sqrt[3]{\frac{12V}{\sqrt{2}}} = \sqrt[3]{\frac{12}{\sqrt{2}}}. \quad (23)$$

Записана у табл. 2 послідовність показує, як з переходом від однієї фігури до іншої змінюються можливості інтенсифікації теплопередавання. Так перехід від сфери до тетраедра приводить до зростання питомої поверхні у:

$$7,208 : 4,835 = 1,49.$$

Величина зростання залишається такою ж і для випадку  $V = 0,5 \text{ м}^3$ :

$$9,085 : 6,091 = 1,49.$$

Порівняння переваг ізооб'ємних куба і циліндра дає значення:

$$6 : 5,535 = 1,084;$$

$$7,557 : 6,977 = 1,084.$$

(24)

Таким чином, для вказаних фігур найменший час обробки відповідає тетраедру, а найбільший – сфері.

Повернувшись до табл. 2, відмітимо, що кратність зростання для всіх фігур при зменшенні об'єму у два рази становить величину 1,26. Числа 2 і 1,26 логічно пов'язані, оскільки

$$\sqrt[3]{2} = 1,25992 \approx 1,26,$$

що вказує на пропорційність об'єму кубу геометричного параметра.

**Висновки з даного дослідження.** Виконаний аналіз щодо вибору параметрів упаковок стосувався їх геометричних співвідношень, питомих площ поверхонь упаковок та можливостей інтенсифікації процесів обробки.

Задача пошуку співвідношень геометричних параметрів упаковок має подвійний кінцевий результат. З одного боку можливою і доцільною є постановка питання про мінімізацію поверхонь упаковок, з чим пов'язують мінімізацію витрат пакувальних матеріалів. Для різних форм упаковок співвідношення геометричних параметрів, що мінімізують їх площу за стабілізованих об'ємів, відомі. Але така мінімізація зменшує ефективну площу теплопередавання, що сповільнює процеси теплової обробки продукції в герметизованих упаковках. Ефективним напрямком у прискоренні процесів пастеризації (стерилізації) консистентної продукції є мініатюризація упаковок, за рахунок якої зростає питома поверхня теплообміну. Аналітичні залежності вказують на можливість суттєвого скорочення часу теплової обробки за рахунок збільшення питомої поверхні теплообміну.

Показано вплив на питому поверхню упаковки коефіцієнта кратності її геометричних розмірів. Встановлено взаємозв'язки між показниками питомої поверхні упаковок різної форми від коефіцієнтів кратності.

Показано, що зміни часу перехідних процесів нагрівання (охолодження) упаковок пропорційні кубічному кореню зі співвідношення їх об'ємів за умови стабілізованих величин коефіцієнтів теплопередавання.

#### Список використаних джерел

1. Рибак Г.М. та ін. Довідник по переробці плодів, ягід і винограду. – К.: Урожай, 1990. – 264 с.
2. Семенов О.М., Піддубний В.А., Соколенко А.І. Вибір геометрії упаковок // Упаковка. – 2006. – № 5. – С. 30-33.
3. Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. Моделювання процесів пакування. – Вінниця, Nova knyha. 2004. – 272 с.
4. Соколенко А.И., Українец А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевых производств. – Книга 2. – Теплофизические процессы. Энергосбережение. – К.: АртЭк. 2003. – 432 с.
5. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.

**Аннотація.** Форма упаковки и соотношения ее геометрических параметров определяются физико-химическими характеристиками продукции, уровнем требований относительно барьерных свойств, жесткости и прочности, наличием или отсутствием тепловой обработки, минимизацией расходов материала на ее создание, стоимости и тому подобно.

**Ключевые слова:** упаковка, обработка, продукция, нагревание, охлаждение.