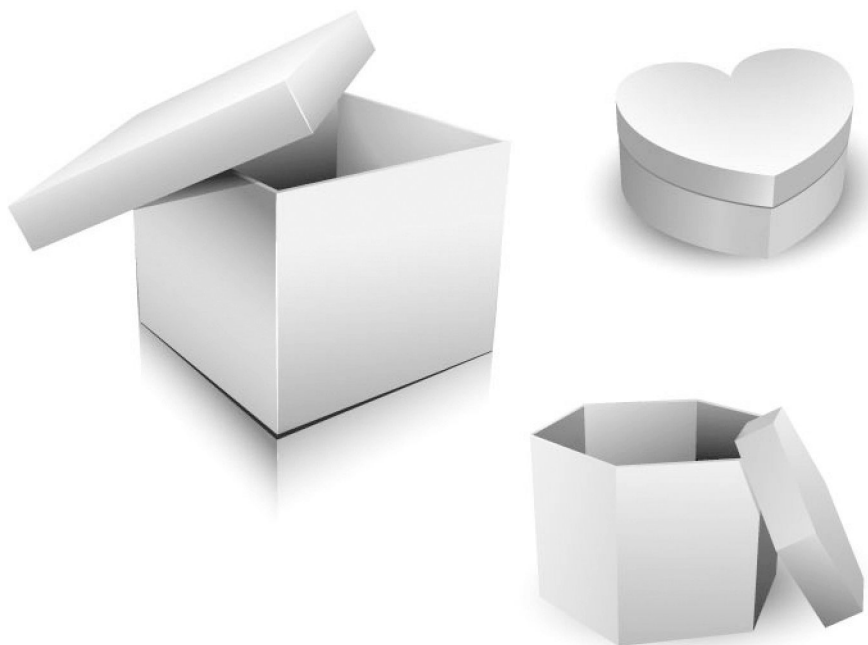


**Міністерство освіти і науки України
Клуб пакувальників України
Національний університет харчових технологій
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»**

**Матеріали доповідей
Х Науково-практичної конференції
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«Новітні технології пакування»**

Додаток до журналу «Упаковка®»



Київ — 2014

Динаміка та особливості виділення парогазової фази за вакуумного пакування

О.О. Бойко, А.І. Соколенко, д.т.н., С.А. Бут, к.т.н., НУХТ, м. Київ

Зниження тиску в упаковці знижує розчинність газів у рідкій фазі та температуру її кипіння. За умови досягнення певних значень тиску починається виділення розчиненої газової фази у формі адіабатного кипіння. Це у свою чергу стане причиною утворення диспергованої газової фази в об'ємі рідкої фази продукту. За певної частоти їхнього видалення можливе інтенсивне спінювання продукту, яке супроводжується потраплянням часток продукту на місце герметизації упаковки. У подальшому це призводить до проблем із герметизацією упаковки.

Метою цих досліджень є визначення залежностей, які б характеризували інтенсивність процесу виділення парогазової суміші під час зниження тиску в упаковці.

У ході проведення дослідження використовувалися методи математичного моделювання та загальні фізичні закони (Менделєєва-Клапейрона, Гей-Люсака, Генрі та ін.). Серед використаних узагальнень та припущень є наступні: всі газопарові бульбашки виникають на стінках упаковки та поверхні твердих часток, які розчинені в рідкій фазі продукту, газопарова бульбашка має форму кулі.

Інтенсивність виділення бульбашок визначається наступним набором параметрів: час існування бульбашки на поверхні, на якій вона утворилася, кількість бульбашок в об'ємі продукту, частота виникнення та час її спливання. У першому наближенні час існування газової бульбашки на поверхні, де вона утворилася, можна знайти за наступним виразом:

$$\tau_0 = \frac{V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}}}{K_{\text{диф}}} = \frac{V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}} S_{\text{газ}}^{\text{газ}}}{Q_{\text{газ}}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{нрх}}^{\text{нрх}}$ — загальний об'єм бульбашок, які не відірвалися від поверхні, на якій вони виникли;

$K_{\text{диф}}$ — коефіцієнт дифузії;

$S_{\text{газ}}^{\text{газ}}$ — загальна площа поверхні бульбашок;

$Q_{\text{газ}}$ — кількість газової фази, яка виділяється в одиницю часу.

Частота утворення газових бульбашок складає:

$$u = \frac{1}{\psi \tau_0}, \quad (2)$$

де ψ — коефіцієнт, який враховує час між відривом газової бульбашки від поверхні та утворенням у цьому ж місці нової.

Кількість зародків бульбашок N , які утворюються в загальному об'ємі рідини, за умови рівномірного розподілення центрів зародкоутворення:

$$N = VN^1 = \frac{bVK_D}{R_{\text{min}}^4} \left(\frac{8\pi\sigma_{p-\varepsilon}}{kT} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

де V — об'єм рідкої фази, яка знаходиться в ємкості;

N^1 — кількість зародків бульбашок, які утворюються в одиниці об'єму рідини;

b — коефіцієнт пропорційності, який враховує властивості рідини (розчину);

K_D — аналог коефіцієнту дифузії;

$R_{\min}$ — мінімальний радіус виникнення газової бульбашки;

σ_{p-g} — поверхневий натяг на межі поділу фаз рідина-газ;

k — постійна Больцмана;

T — абсолютна температура.

Враховуючи те, що більшість упаковок мають незначний розмір, то часом спливання бульбашки в ньому можна знехтувати.

Випаровування води обмежується двома факторами — енергетичним потенціалом матеріального потоку та парціальним тиском водяних парів в об'ємі газової бульбашки.

Загальний тепловий потік від розчину до об'єму бульбашки визначається залежністю:

$$Q_{ep} = N_{заe} q_{ep} = (N + N_{пух}) \frac{r \rho_{газ} R_{пух}}{\tau_0}, \quad (4)$$

де N — кількість зародків бульбашок, які утворюються в загальному об'ємі рідини;

$N_{пух}$ — кількість бульбашок, які спливають;

r — теплота пароутворення;

$\rho_{газ}$ — густина газової фази;

$R_{пух}$ — радіус газової бульбашки;

τ_0 — час існування газової бульбашки на поверхні, де вона утворилася.

Парціальний сукупний тиск пари залежить від маси водяної пари, яка випаровується в об'єм бульбашки, і визначається за наступною формулою:

$$P_{парц} = \frac{m_{пар}}{M} = \frac{\partial K_{вин}^1}{M \partial \tau} S_{пух}^{заe}, \quad (5)$$

$\frac{\partial K_{вин}^1}{\partial \tau}$

де $\frac{\partial K_{вин}^1}{\partial \tau}$ — швидкість випаровування речовини в замкнений простір;

M — молекулярна маса речовини;

$S_{пух}^{заe}$ — загальний об'єм бульбашок, які спливають, та тих, що не відірвалися від поверхні, на якій утворилися.

Швидкість випаровування речовини в замкнений простір можна визначити за рівнянням Ленгмюра-Кнудсена:

$$K_{вин}^1 = \alpha (P_{парц}^{нас} - P_{парц}^{пот}) \sqrt{\frac{M_{вин}}{2\pi RT}}, \quad (6)$$

де α — коефіцієнт випаровування, який враховує чистоту розчину та умови випаровування;

$P_{парц}^{нас}$ — парціальний тиск насичення парів речовини за тиску $P_{пух}$ та температури T ;

$P_{парц}^{пот}$ — поточне значення парціального тиску в об'ємі газової бульбашки;
 $M_{вин}$ — молекулярна маса речовини, яка випаровується.

$$\alpha = \sqrt{\frac{M_{вин}}{M_{розч}}}, \quad (7)$$

де $P_{розч}^0$ та $P_{вин}^0$ — тиск чистих парів розчинника та речовини, яка випаровується, при температурі T ;

$M_{розч}$ — молекулярна маса розчинника.

Загальну інтенсивність винесення парогазової фази з продукту визначається залежністю:

$$\alpha = \frac{u \cdot N \cdot V_{сер}^1}{\tau} = \frac{\pi u \cdot N \cdot R_{сер}^2}{\tau_0}, \quad (8)$$

де τ — час існування газопарової бульбашки в об'ємі продукту;

$R_{сер}$ — середній радіус однієї бульбашки.

Під час знаходження середнього радіуса газової бульбашки $R_{сер}$ використаємо припущення, що інтенсивність його зростання не змінюється в часі. Відповідно до цього припущення $R_{сер}$ можна визначити за формулою:

$$R_{сер} = \frac{R_{min} + 0,5D_n}{2} = \frac{\sigma_{p-z}}{k\Delta C} + 0,009\theta \left(\frac{\sigma_{p-z}}{\rho_p - \rho_z} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

де R_{min} — мінімальний радіус виникнення газової бульбашки;

D_n — діаметр газової бульбашки на момент відриву від поверхні, на якій він виник;

σ_{p-z} — поверхневий натяг на межі поділу фаз рідина-газ;

k — константа Генрі;

ΔC — пересичення розчину газом (надлишкова концентрація газу в розчині);

θ — краєвий кут між бульбашкою та поверхнею нагрівання (для сталевих ємкостей та густого матеріального потоку цей параметр буде знаходитися в межах 35–40 ° (0,611–0,698 рад) [2]);

ρ_p — густина рідкої фази;

ρ_z — густина газової фази.

Висновки

Виконано аналіз інтенсивності видалення парогазової фази з рідкої фази продукту, який пакується в герметичну вакуумовану упаковку. Виведено залежності, які дають можливість оцінити геометричні параметри газових бульбашок, час їхнього існування, об'єм газової фази, яка видаляється за час τ , загальну площу поверхні масо- та енергообміну. Одержано залежності, які дозволяють визначити маси газової та парової фази, що видаляються з продукту під час зниження тиску.

Література

1. *Reynes E.G.* / E.G. Reynes, G. Thodos // *AIChE J.* — 1962. — Vol. 8. — P. 357.
2. *Богданов О.С.* Физико-химические основы флотации / О.С. Богданов, А.М. Гольман, И.А. Мелик-Гайказян и др. — М.: Наука, 1983. — 264 с.
3. *Соколенко А.І.* Інтенсифікація масообмінних процесів у харчових і мікробіологічних технологіях: Монографія / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, О.Ю. Шевченко. — К.: Люксар, 2008. — 443 с.