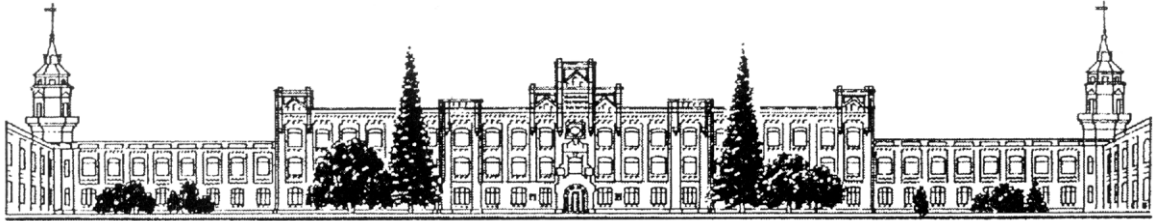


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»



**ТЕХНОЛОГІЯ ПАКУВАННЯ
ТА ЗБЕРІГАННЯ ПАКОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ.**
Практикум

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для підготовки студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,
спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»*

(денна форма навчання)

КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Є. Колосов. – Електронні текстові данні (1 файл: 0,789 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 37 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №2 від 31.10.2019 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол №8 від 23.09.2019 р.)

Електронне мережне навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ПАКУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ПАКОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ. Практикум

Укладачі: *Колосов Олександр Євгенович, д-р техн. наук, проф.*

Відповідальний редактор *Гондляр О.В., д-р техн. наук, проф.*

Рецензенти: *Степанюк А.Р., канд. техн. наук, доц.*

Призначення практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії пакування шляхом самостійного розрахунково-експериментального дослідження полімерних плівкових пакувальних матеріалів. Також важливим результатом виконання практикуму є підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів. Практикум містить описи 4 практичних завдань. Кожному практичному завданню передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження. Для кожного практичного завдання сформульована мета та вихідні умови, необхідні для його виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних розрахункових завдань. У кінці кожної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні запитання до кожної представленої теми. У кінці практикуму наведено перелік рекомендованої літератури до усіх тем.

ВСТУП

Даний практикум призначений для підготовки та проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Технологія пакування та зберігання пакованої продукції» для студентів, які навчаються за програмою підготовки студентів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» денної форми навчання.

1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття – це вид навчального заняття, на якому викладач організовує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентами відповідно до сформульованих завдань.

Основна мета практичного заняття — розширення, поглиблення й деталізація наукових знань, отриманих студентами на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів.

Завдання практичного заняття:

- підготовка до самостійного виконання практичних завдань;
- підготовка студентів до контрольних робіт (за наявності);
- набуття умінь застосування теоретичних знань на практиці;
- підготовка студентів до майбутньої практичної діяльності тощо.

Основною вимогою до проведення практичних занять є забезпечення розуміння студентами теоретичних основ і творчого виконання практичної роботи. Ефективність практичного заняття залежить від самостійності виконання роботи кожним студентом.

Перелік тем і зміст практичних занять визначаються робочою навчальною програмою дисципліни. Практичне заняття проводиться, як правило, з групою.

Практичні заняття можуть проводитися в аудиторії і в навчальних лабораторіях, оснащених необхідними технічними засобами навчання та обчислювальною технікою.

2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Робочою навчальною програмою дисципліни передбачено практичні заняття загальним обсягом дев'ять годин.

Дві останніх години практичних занять відводяться на захист протоколу з виконаних практичних занять.

Впродовж циклу практичних занять розглядається до чотирьох тем, обраних студентами за рекомендаціями викладача зі списку тем робочої навчальної програми дисципліни.

Безпосередньо перед виконанням практичних занять викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні розрахункової частини

На кожному практичному занятті розглядається підготовлений студентами протокол з попереднього практичного заняття. Оформлення протоколу про виконання практичного заняття сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

ТЕМА 1. ПРОЦЕС МАСОПЕРЕНОСУ В ПОЛІМЕРНИХ ПАКУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Мета роботи: ознайомитися з основними характеристиками процесу масопереносу в полімерних плівкових пакувальних системах.

1.1. Теоретична частина

Сучасна полімерна упаковка є ефективним засобом, що дозволяє створювати навколо упакованих всередині неї харчових продуктів штучне середовище з метою збільшення термінів їх зберігання. Штучне середовище всередині упаковки можна одержати, використовуючи інноваційні плівкові матеріали, які селективно пропускають певні гази і пари.

У найбільш загальному вигляді полімерний плівковий матеріал повинен бути:

- максимально вологонепроникним, кісненепроникним, непроникним до інертних газів (CO_2 , N_2), щоб зберегти модифіковану газову атмосферу всередині упаковки;
- світлонепроникним, щоб не ініціювати біологічні процеси в харчових продуктах;
- непроникним до парів ароматичних речовин, перешкоджаючи зміні ароматичних властивостей продукту та адсорбцію ними сторонніх запахів.

Здатність полімерної упаковки або плівкового матеріалу, з якого вона виготовлена, пропускати рідини, пари або гази визначається властивістю, яка називається *проникністю*.

Проникність газів і газових сумішей через непористу плівкову полімерну упаковку розглядають зазвичай в рамках механізму «розчинення – дифузія». При цьому припускають, що переміщення дифундуючої речовини (т.зв. *пенетрату* – у разі дифузії рідини або *пермеату* – у разі дифузії потоку газової суміші, що пройшов через плівкову полімерну упаковку) у полімерній матриці є результатом послідовних перескоків дифундуючих молекул з одного положення рівноваги в інше.

- 1) проникність з'єднань через полімерну плівкову упаковку;
- 2) сорбцію сполук полімерною плівковою упаковкою та
- 3) міграцію сполук з полімерної плівковою упаковки.

Проникність – це властивість полімерної упаковки або плівкового матеріалу, з якого вона виготовлена, пропускати проникаючі речовини у вигляді газів, парів (пермеатів) або рідин (пенетратів) через гомогенний (або гетерогенний) пакувальний матеріал.

На рис. 1.1 схематично зображені процеси дифузії, сорбції та проникності, що відбуваються в полімерному плівковому пакувальному матеріалі.

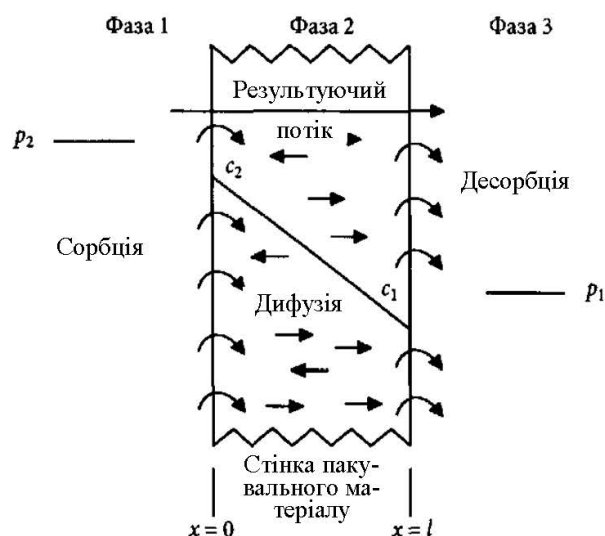


Рис. 1.1. Процеси сорбції, десорбції і дифузії через полімерний плівковий пакувальний матеріал: p – парціальний тиск газу (парів); c – концентрація проникаючої речовини в полімерному плівковому пакувальному матеріалі

При цьому вважається, що коефіцієнти дифузії D і розчинності K_p є основними параметрами, регулюючими процеси масопереносу в полімерних плівкових пакувальних системах. А в більшості випадків лімітуючим фактором процесу дифузії є сорбція і розчинення газу (пари) в прикордонному шарі полімерного плівкового матеріалу.

Для ізотропного матеріалу (тобто матеріалу, в якому властивості не змінюються залежно від напрямку вимірювання) та здійснення процесу дифузії тільки уздовж одного напрямку (що спостерігається в більшості пакувальних полімерних плівкових систем), перший закон Фіка можна записати в наступному вигляді:

$$J = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (1.1)$$

де J – швидкість потоку (витрата);

c – концентрація проникаючої речовини в полімерному плівковому матеріалі упаковки;

x – відстань (у напрямку дифузії);

D – коефіцієнт дифузії безпосередньо самої молекули дифундуючої речовини (дифезанта), що залежить від температури або концентрації.

Перший закон Фіка забезпечує спосіб обчислення сталої швидкості процесу дифузії, коли коефіцієнт дифузії D протягом процесу дифузії можна розцінювати як постійну величину ($D = const$), а концентрація c залежить тільки від обраної точки в полімерному плівковому матеріалі упаковки.

1.1.1. Сталий процес дифузії по товщині полімерного плівкового пакувального матеріалу і проникність

Розглянемо випадок плоского боку матеріалу полімерної плівкової упаковки товщиною ℓ , який контактує з обох сторін з проникаючою речовиною, концентрація якої з різних сторін матеріалу полімерної плівкової упаковки відрізняється (див. рис. 1.1).

При цьому початкові і граничні умови для одновимірного потоку дифундуючої речовини через полімерну пакувальну плівку товщиною ℓ формулюються таким чином. На поверхні, де $x = 0$, концентрація проникаючої речовини становить $c = c_2$, а на поверхні, де $x = \ell$, концентрація $c = c_1$.

Підставляючи ці умови в рівняння (1), отримуємо вираз для визначення швидкості потоку (витрати) проникаючої речовини J через будь-який поперечний переріз:

$$J = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = D \cdot \frac{p_2 - p_1}{\ell}. \quad (1.2)$$

Однак при дослідженнях процесу проникності легше виміряти парціальний тиск речовини в газовій фазі, оточуючої плівковий пакувальний матеріал, ніж концентрацію проникаючої речовини c в ньому. Як вказувалося вище, у разі низьких концентрацій можливо застосувати закон Генрі. Тому за рахунок використання рівняння (1.1) можна замінити концентрацію проникаючої речовини c парціальним тиском речовини в газовій фазі.

Таким чином, рівняння (1.2) приймає вигляд:

$$J = DS_c = \frac{q\ell}{A_0 t \Delta p}. \quad (1.3)$$

Оскільки швидкість потоку (витрата) J визначається кількістю q проникаючої речовини, переміщеної через одиницю площі поверхні A_0 за час t , тобто $J = q/(A_0 t)$, то, перетворюючи рівняння (1.3), отримуємо:

$$J = \frac{q}{A_0 t} = DS_c \cdot \frac{p_2 - p_1}{\ell} \Rightarrow K_p = DS_c = \frac{q\ell}{A_0 t \Delta p}, \quad (1.4)$$

де $\Delta p = p_2 - p_1$.

У рівнянні (1.4) був використаний новий параметр – коефіцієнт проникності K_p , який визначається як добуток значень коефіцієнта дифузії D і коефіцієнта розчинності S_c , тобто $K_p = DS_c$.

Оскільки K_p поєднує в собі вплив як коефіцієнта дифузії D , так і коефіцієнта розчинності S_c системи «проникаюча речовина – полімерна

плівкова упаковка», то цей коефіцієнт є індикатором бар'єрних характеристик матеріалу полімерної плівкової упаковки по відношенню до конкретної розглянутої проникаючої речовини.

Матеріал полімерної плівкової упаковки, що володіє низькими значеннями K_p по відношенню до конкретного проникаючої речовини, володіє хорошими бар'єрними характеристиками, так як тільки невелика кількість молекул проникаючої речовини буде передано через цей матеріал.

І навпаки, високе значення K_p вказує на погані бар'єрні властивості полімерного матеріалу плівкової упаковки.

Рівняння (1.4) є досить простим, але дуже корисним для проектування полімерних пакувальних плівкових матеріалів з необхідними і стійкими бар'єрними властивостями.

У табл. 1.1 представлені позначення, які використовуються для опису процесу проникності.

Таблиця 1.1. Позначення, використувані для змінних процесу проникності

умовне позначення	сутність умовного позначення
K_p —	коефіцієнт проникності
K_{p_0} —	коефіцієнт відносної проникності
t —	період часу, протягом якого здійснюється процес проникності (при постійних умовах)
ℓ —	товщина стінки полімерного плівкового пакувального матеріалу
p —	парціальний тиск газу або парів
Δp —	різниця значень парціального тиску вздовж товщини стінки полімерного плівкового пакувального матеріалу
A_0 —	площа поверхні полімерного плівкового пакувального матеріалу, через яку здійснюється процес проникності
Q —	кількість проникаючої речовини (маса або об'єм), переданої через площу поверхні A_0 полімерного плівкового пакувального матеріалу за час t
c —	концентрація проникаючої через полімерний плівковий пакувальний матеріал речовини
S_c —	коефіцієнт розчинності
D —	коефіцієнт дифузії

У реальності одиниці виміру цих змінних можуть зазначатися в різних системах одиниць: у британській, метричній або СІ. Основні одиниці вимірювань цих змінних представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Одиниці виміру, що використовуються при обчисленнях процесу проникності

позна-чення	змінна	використовувані основні одиниці виміру	одиниці виміру міжнародної системи одиниць СІ
q	кількість	г (для водяної пари), см ³ (для газів) (при с. у., тобто при стандартних умовах – STP: $T = 298$ °К, $p = 1$ атм), моль	кг
ℓ	товщина	см, міл	м
t	час	год, діб	с
A_o	площа поверхні	см ² , дюйм ² , 100 дюйм ²	м ²
p	парціальний тиск	атм, фунт/дюйм ² , см рт. ст., мм рт. ст.	Па
K_p	коефіцієнт проникності	<p>коефіцієнт проникності представляє собою об'єм газу, в см³, приведений до с.у., що пройшов через площу в 1 см² полімерної плівки товщиною 1 см за 1 с при перепаді парціального тиску газу в 1 см рт. ст.; виражається в одиницях, що представляють собою комбінацію вищезазначених одиниць виміру, наприклад:</p> $\left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{міл}}{\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм}} \right], \text{ чи } \left[\frac{\text{г} (\text{с.у.}) \cdot \text{міл}}{\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм}} \right], \text{ чи } \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}} \right]$ $\left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{атм}} \right], \text{ чи } \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см. рт. ст.}} \right], \text{ чи Барер, чи атосекунд (ас), чи моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$	

Справедливі наступні співвідношення між величинами коефіцієнта проникності K_p для різних одиниць вимірювань:

$$1 \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{атм}} \right] = 7,6 \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см. рт. ст.}} \right] = 760 \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм. рт. ст.}} \right] = 7,6 \cdot 10^{13} \text{ Барер};$$

$$1 \text{ Барер} = 10^{-10} \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см. рт. ст.}} \right] = 10^{-11} \left[\frac{\text{г} (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм. рт. ст.}} \right] =$$

$$= 0,76 \cdot 10^{-17} \text{ м}^3 (\text{н.у.}) / (\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}).$$

$$1 \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм}} \right] = 1 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм}} \right] = 2,36 \cdot 10^{-15} \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм.рт.ст.}} \right] = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ Барер};$$

$$1 \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{міл}}{100 \text{ дюйм}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм}} \right] = 2,36 \cdot 10^{-15} \left[\frac{\text{см}^3 (\text{с.у.}) \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм.рт.ст.}} \right] = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ Барер};$$

В системі СІ проникність виражається в таких одиницях:

$$\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}} \right], \text{ чи } \left[\frac{\text{м}^4}{\text{с} \cdot \text{Н}} \right], \text{ чи } \left[\frac{\text{моль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}} \right].$$

Причому щоб отримати числові значення коефіцієнта проникності K_P в одиницях СІ, тобто в моль/(с·м²·Па), слід значення коефіцієнта проникності K_P в (см³·см)/(см²·с·см рт.ст.) помножити на 3,36·10⁻⁶, а значення коефіцієнта проникності K_P , виражене (см³·см)/(см²·с·см рт.ст.), помножити на 4,425·10⁻⁸.

Крім коефіцієнта проникності K_P , для вираження бар'єрних характеристик полімерних матеріалів плівкової упаковки використовуються й інші параметри. Такими параметрами є **відносна проникність K_{Po}** , **швидкість передачі газу GTR** (англ. – *gass transmission rate*), **швидкість передачі водяної пари або паропроникність** (англ. - *water vapor transmission rate – WVTR*) і **товщина стандартного потоку N** .

Залежність між цими параметрами представлені на рис. 1.2.

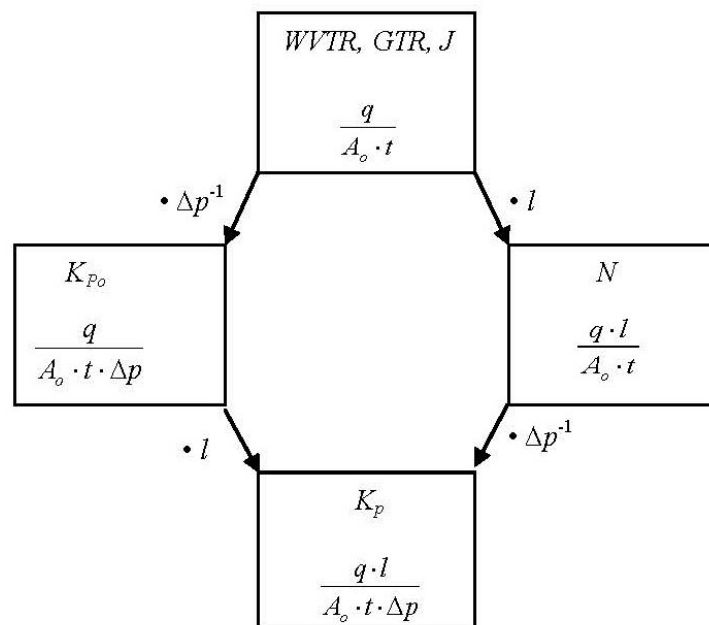


Рис. 1.2. Співвідношення між параметрами, використовуваними при обчисленнях процесу проникності $K_P, K_{Po}, WVTR, GTR$ і N

Швидкість передачі газу GTR являє собою кількість проникаючої речовини, що переноситься через одиницю площі поверхні A_o за одиницю часу t .

$$GTR = \left(\frac{q}{A_o t} \right). \quad (5)$$

Паропроникність $WVTR$ являє собою величину швидкості передачі газу GTR у вигляді водяної пари, тобто:

$$WVTR = \left(\frac{q}{A_o t} \right). \quad (6)$$

Обидва ці параметри представляють собою швидкість перенесення проникаючої речовини і позначаються символом J (див. рис. 1.2).

Величина швидкості перенесення водяної пари $WVTR$ пов'язана з величиною коефіцієнта проникності K_p наступною залежністю:

$$K_p = \left(\frac{q}{A_o t} \right) \cdot \frac{\ell}{\Delta p} = WVTR \cdot \frac{\ell}{\Delta p}. \quad (7)$$

Співвідношення між коефіцієнтом проникності K_p і швидкістю передачі газу GTR визначаються аналогічно, тобто:

$$K_p = \left(\frac{q}{A_o t} \right) \cdot \frac{\ell}{\Delta p} = GTR \cdot \frac{\ell}{\Delta p}. \quad (8)$$

При цьому для перетворення вимірних значень $WVTR$ або GTR у величину коефіцієнта проникності K_p необхідно всього лише помножити виміряну величину $WVTR$ або GTR на значення товщини використовуваної плівки пакувального матеріалу ℓ і розділити на величину різниці парціального тиску, використовуваної для вимірювання $WVTR$ чи GTR .

На рис. 1.3 показаний метод чашки для визначення швидкості передачі водяної пари $WVTR$ згідно стандартам Американського товариства з випробування та матеріалам ($ASTM$).

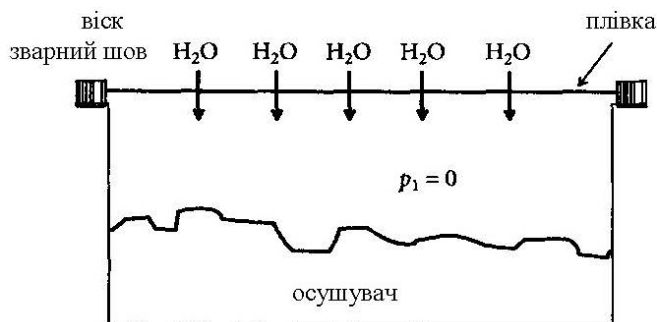


Рис. 1.3. Метод чашки для визначення швидкості передачі водяної пари $WVTR$ згідно стандартам $ASTM$

У довідковій табл. 1.3 представлені значення тиску насичених парів p_s води при різних температурах T .

Таблиця 1.3. Тиск насиченої пари p_s води в залежності від температури T

$T, ^\circ\text{C}$	$p_s,$ мм рт.ст.	$T, ^\circ\text{C}$	$p_s,$ мм рт.ст.	$T, ^\circ\text{C}$	$p_s,$ мм рт.ст.	$T, ^\circ\text{C}$	$p_s,$ мм рт.ст.	$T, ^\circ\text{C}$	$p_s,$ мм рт.ст.
-20	0,772	5	6,54	30	31,82	55	118,0	80	355,1
-19	0,850	6	7,01	31	33,70	56	123,8	81	369,7
-18	0,935	7	7,51	32	35,66	57	129,8	82	384,9
-17	1,027	8	8,05	33	37,73	58	136,1	83	400,6
-16	1,128	9	8,61	34	39,90	59	142,6	84	416,8
-15	1,238	10	9,21	35	42,175	60	149,4	85	433,6
-14	1,357	11	9,84	36	44,56	61	156,4	86	450,9
-13	1,486	12	10,52	37	47,07	62	163,8	87	468,7
-12	1,627	13	11,23	38	49,65	63	171,4	88	487,1
-11	1,780	14	11,99	39	52,44	64	179,3	89	506,1
-10	1,946	15	12,79	40	55,32	65	187,5	90	525,8
-9	2,125	16	13,63	41	58,34	66	196,1	91	546,1
-8	2,321	17	14,53	42	61,50	67	205,0	92	567,0
-7	2,532	18	15,48	43	64,80	68	214,2	93	588,6
-6	2,761	19	16,48	44	68,26	69	223,7	94	610,9
-5	3,008	20	17,54	45	71,88	70	233,7	95	633,9
-4	3,276	21	18,65	46	75,65	71	243,9	96	657,6
-3	3,566	22	19,83	47	79,60	72	254,6	97	682,1
-2	3,879	23	21,07	48	83,71	73	265,7	98	707,3
-1	4,216	24	22,38	49	88,02	74	277,2	99	733,2
0	4,579	25	23,76	50	92,51	75	289,1	100	760,0
+1	4,93	26	25,21	51	97,20	76	301,4		
+2	5,29	27	26,74	52	102,1	77	314,1		
+3	5,69	28	28,35	53	107,2	78	327,3		
+4	6,10	29	30,04	54	112,5	79	341,0		

Примітка: Перерахунок в СІ: 1 мм рт. ст. = 133,3 Па . 1 міл = $2,54 \cdot 10^{-5}$ м.

Залежність величини Δp від тиску насиченої пари p_s і різниці значень відносної вологості φ має вигляд:

$$\Delta p = p_s \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{\varphi_1}, \text{кПа.} \quad (9)$$

1.2. Розрахункові завдання

Завдання 1.

Значення $WVTR$ для плівки товщиною $\ell = 25$ мкм, виміряний з використанням Методу чашки $ASTM$ при температурі 38 °С і відносній вологості $\varphi = 90\%$, становить $0,1$ г/(добу·м²) (див. рис. 1.3).

Розрахуйте значення коефіцієнта проникності K_P при вищевказаних умовах.

Алгоритм розрахунку.

Спершу зробимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин (СІ).

З табл. 1.3 знаходимо значення тиску насиченої пари води при заданій температурі T .

Далі знаходимо різниця тисків Δp (у мм рт.ст.).

Насамкінець знаходимо коефіцієнт проникності полімерної плівковою структури K_P (у Барерах, а також у в атосекундах - ас).

Завдання 2.

Припустимо, що GTR кисню через ПЕ-плівку товщиною 1 міл становить $GTR = 3,5$ г / (год·м²) при різниці парціальних тисків вздовж товщини плівки $\Delta p = 30$ мм рт.ст.

Обчислити значення відносної проникності K_{Po} і коефіцієнта проникності K_P .

Алгоритм розрахунку.

1. Спершу зробимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин (в СІ).

2. Обчислюємо значення коефіцієнта відносної проникності K_{Po} і коефіцієнта проникності K_P .

Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

Література

1. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. пер. с англ. 2-го изд. под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб.: Профессия, 2011.– 560 с.
2. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.

3. Хэнлон Дж.Ф., Келси Р.Дж., Форсинио Х.Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение . – СПб: Профессия, 2006. – 632 с.
4. Голуб О.В. Упаковка и хранение пищевых продуктов [текст]: учебное пособие / О.В. Голуб, С.Б. Васильева. — Кемерово: КТИПП, 2005. – 148 с.
5. Черданцева А.А. Технология упаковочного производства [конспект лекций] / Черданцева А.А. – Кемерово: ГОУ ВПО КемТИПП, 2008. – 112 с.
6. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва [навчальний посібник] / Колосов О.Є. – Київ, ВПК «Політехніка», 2015. – 247 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть причини створення ізоляції внутрішнього простору упаковки з упакованим всередині неї продуктом від навколишнього середовища.
2. Назвіть основні механізми проникності полімерних плівок.
3. Що означає поняття «бар'єр» по відношенню до упаковки з упакованим всередині неї продуктом?
4. Які основні вимоги висуваються до полімерного плівкового пакувального матеріалу?
5. Наведіть визначення поняття «проникність» по відношенню до полімерного плівкового пакувального матеріалу.
6. Які основні методи використовують для виявлення негерметичності упаковки при дослідженні фазового переносу?
7. Які послідовно протікаючі процеси розглядаються при перенесенні речовини, що обумовлена активованою дифузією?
8. Які основні фізико-хімічні властивості полімерних плівкових матеріалів впливають на проникність полімерних плівкових матеріалів по відношенню до газів і парів?
9. Проаналізуйте сутність фізико-хімічних основ взаємодії упакованого продукту і полімерної упаковки.
10. На які типи можна класифікувати взаємодії з пакувальними матеріалами?
11. Проаналізуйте сутність поняття «проникність полімерної упаковки».
12. Що таке міграція стосовно полімерних пакувальних систем?
13. Назвіть деякі приклади мігруючих речовин в полімерних пакувальних системах.
14. За якими механізмами відбувається міграція речовин з полімерної плівкової упаковки в упакований продукт?
15. Що таке сорбція стосовно пакувальних систем?
16. Які існують закономірності при аналізі процесу сорбції?
17. Що таке термодинамічна рівновага полімерної пакувальної системи?
18. Що таке розинність стосовно до полімерних пакувальних систем?
19. Що таке коефіцієнт проникності і у яких одиницях він вимірюється?

ТЕМА 2. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА КОЕФІЦІЄНТ ПРОНИКНОСТІ

Мета роботи: ознайомитися з впливом температури на коефіцієнт проникності для процесу масопереносу в полімерних плівкових пакувальних системах.

2.1. Теоретична частина

Як коефіцієнт дифузії D , так і коефіцієнт розчинності S_c залежать від температури, і, як було визначено, підпорядковуються рівнянню Арреніуса:

$$\Gamma = \Gamma_0 \cdot e^{-E_a/(RT)}, \quad (2.1)$$

де Γ може бути представлений коефіцієнтами дифузії D або розчинності S_c ;

Γ_0 – коефіцієнт пропорційності (відомий як предекспоненціальний показник);

E_a – енергія активації;

R – універсальна газова постійна;

T – температура, °К.

Це рівняння справедливо і для коефіцієнта проникності K_p , який обчислюється як добуток D і S_c . Рівняння (2.1) справедливо для відносно невеликого діапазону температур. При здійсненні будь-якого фазового переходу полімеру, наприклад, при температурі склування $T_{ст}$, виникає неоднорідність, тому необхідно використовувати нові співвідношення.

Слід зазначити, що на підставі численних експериментальних даних було підтверджено, що рівняння Арреніуса (2.1), отримане теоретично для оборотних молекулярних хімічних реакцій, достовірно описує ряд більш складних хімічних і фізичних явищ (наприклад, зміну в'язкості, дифузію і сорбцію). Наприклад, кінетичні моделі температурної залежності основних реакцій втрати якості харчових продуктів, що нас цікавить найбільше, також підпорядковуються рівнянню Арреніуса.

Рівняння (2.1) може використовуватися для оцінки величини K_p при необхідній температурі, якщо відомі заздалегідь визначені в лабораторії значення при якійсь іншій температурі. Типовий вид графічної залежності, за якою можна визначити величину кута нахилу і точку перетину з віссю координат, представлений на рис. 2.1.

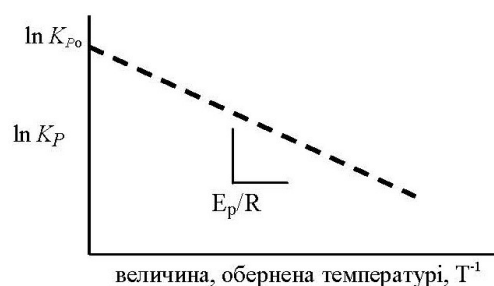


Рис. 2.1. Типова залежність коефіцієнта проникності K_p від температури T

Потім рівняння може використовуватися для прогнозування величини проникності при будь-якій температурі із заданого температурного діапазону.

Енергія активації E_a вказується в одиницях енергії на моль речовини, наприклад, в кал/моль або Дж/моль.

Залежно від одиниць її вимірювання універсальна газова стала R може мати кілька значень. Деякі найбільш часто використовувані значення і одиниці вимірювань R представлені в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Значення та одиниці виміру універсальної газової постійної R

значення R	одиниці вимірювання R
1,987	кал/моль·°К
8,314	Дж/моль·°К
82,06	атм·см ³ /моль·°К
0,0821	бар·літр/моль·°К
1,314	атм·фут ³ /моль·°К

Рівняння (2.1) можна записати спеціально у вигляді залежності коефіцієнта проникності K_p від температури T наступним чином:

$$K_p = K_{p0} \cdot e^{-E_a/(RT)}, \quad (2.2)$$

де E_a – енергія активації;

R – універсальна газова постійна;

K_{p0} – передекспонентний показник;

T – температура, °К.

Деякі значення K_p і E_a для різних полімерів представлені в табл. 2.2.

Після цього можна визначити співвідношення між значенням коефіцієнта проникності K_p , визначеним при одній температурі, і значенням коефіцієнта проникності K_p при іншій температурі за такими виразами:

$$K_{p1} = K_{p0} \cdot e^{-E_a/(RT_1)} \quad \text{и} \quad K_{p2} = K_{p0} \cdot e^{-E_a/(RT_2)}.$$

Таким чином, якщо розділити K_{p2} на K_{p1} і вирішити рівняння щодо K_{p2} , отримаємо такий вираз:

$$K_{p2} = K_{p1} \cdot e^{\frac{-E_p}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]} = K_{p1} \cdot e^{\frac{-E_p}{R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]}. \quad (5.3)$$

Рівняння (2.3) можна записати в наступному вигляді:

$$K_{p2} = K_{p1} \cdot f, \text{ где } f = e^{\frac{-E_a}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт f являє собою відношення K_{p2}/K_{p1} , тобто це коефіцієнт, з яким змінюється K_p при зміні температури від значення T_1 до значення T_2 .

Табл. 2.2. Значення коефіцієнтів проникності K_p при температурі 25 °С (крім випадків, які позначені окремо) та енергії активації E_a

полімер	коефіцієнт проникності K_p , см ³ (с.у.)·см/ [м ² ·діб·атм]				енергія активації E_a , кДж/моль			
	O_2	CO_2	N_2	H_2O	O_2	CO_2	N_2	H_2O
ПЕНП	19	83	6,4	600	43	39	49	34
ПЕВП	2,6	2,4	0,96	220	35	30	40	—
ПП	11	47	2,0	340	48	38	56	42
ПС, двоосноорієнтований	17,5	69	5,2	6300-7350	—	—	—	—
ПАН (марка <i>Вагас*</i>)	0,036	0,105	—	4300	—	—	—	—
Полівініловий спирт (при відносній вологості 0%)	0,058	0,081	—	—	—	—	—	—
СЕВС (при відносній вологості 0%) (32% етиленових ланцюгів)	0,06*	0,12*	0,003*	—	—	—	—	—
СЕВС (при відносній вологості 0%) (44% етиленових ланцюгів)	0,24*	0,88*	0,02*	—	—	—	—	—
Полівініліденхлорид (марка <i>Saran</i>)	0,022	0,14	0,003 9	61	67	52	70	46
Політетрафторетилен (марка <i>Teflon*</i>)	28	66	8,8	53	19	14	24	—
ПВХ непластифікований	0,30	1,1	0,078	1800	56	57	69	23
ПЕТФ, аморфний	0,22	0,80	0,39	850	32	18	33	2,9
ПЕТФ, ступінь кристалічності 40%	0,38	2,0	—	—	38	28	—	—
Полікарбонат (марка <i>Lexan</i>)	9,1	5,2	1,9	9100	19	16	25	—
Поліамід-6	0,19	0,76	0,046	—	44	41	47	—
Целофан (відносна вологість 76%)	0,058	0,47	0,049	—	—	—	—	—

* Примітка: При температурі 20 °С;
СЕВС – суміш етилену і вінілового спирту

Емпіричне правило полягає в тому, що при підвищенні температури проникність збільшується. Однак ступінь збільшення проникності для різних полімерів неоднакова. Найбільш сильний вплив підвищення температури здійснює на полімери з низькою проникністю. Орієнтовно можна вважати, що підвищення температури на кожні 5°C приводить до збільшення проникності K_p на 30–40%.

У той же час збільшення температури приблизно на 10 °С приводить до збільшення K_p у два рази, а при зменшенні температури приблизно на 10 °С відбувається зменшення K_p у два рази.

2.2. Розрахункові завдання

Завдання 1.

Було визначено, що величина коефіцієнта проникності K_p кисню для аморфного ПЕТФ при температурі 25 °С становить:

$$K_{p1} = 14 \text{ см}^3 \cdot \text{мл} / (\text{діб} \cdot 100 \text{ дюйм}^2 \cdot \text{атм}).$$

Необхідно визначити значення коефіцієнта проникності K_{p2} при температурі 50 °С.

Алгоритм розрахунку.

1. Робимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин (°С в К).
2. Знаходимо (у Барерах) значення коефіцієнта проникності K_{p1} при заданій температурі.
3. З табл. 2.2 визначаємо E_a .
4. Знаходимо E_a/R .
5. Знаходимо значення показника експоненти та самої експоненти.

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}; \quad e^{\frac{-E_a}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]}.$$

6. Знаходимо значення коефіцієнта проникності K_{p2} при шуканій температурі.

Завдання 2.

Розрахуємо значення коефіцієнта f для випадку проникності в полімерну плівкову упаковку, якщо величина енергії активації $E_a = 13,4$ ккал/моль, при зміні температури з $T_1 = 45$ °С до $T_2 = 4$ °С.

Алгоритм розрахунку.

1. Робимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин.
2. Знаходимо відношення:

$$\frac{E_a}{R}.$$

3. Знаходимо шуканий коефіцієнт ($f = K_{p2}/K_{p1}$).

Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

Література

1. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. пер. с англ. 2-го изд. под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб.: Профессия, 2011. – 560 с.
2. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
3. Хэнлон Дж.Ф., Келси Р.Дж., Форсинио Х.Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение. – СПб: Профессия, 2006. – 632 с.
4. Голуб О.В. Упаковка и хранение пищевых продуктов [текст]: учебное пособие / О.В. Голуб, С.Б. Васильева. — Кемерово: КТИПП, 2005. – 148 с.
5. Черданцева А.А. Технология упаковочного производства [конспект лекций] / Черданцева А.А. – Кемерово: ГОУ ВПО КемТИПП, 2008. – 112 с.
6. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва [навчальний посібник] / Колосов О.Є. – Київ, ВПК «Політехніка», 2015. – 247 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Обґрунтуйте, чому розмір молекули проникаючої речовини, а також хімічна спорідненість між проникаючим речовиною і полімером є важливими факторами, що визначають величину проникності.
2. Проаналізуйте вплив температури T на коефіцієнт проникності K_p .
3. Наведіть графічно типову залежність коефіцієнта проникності K_p від температури T .
4. Проаналізуйте емпіричне правило, яке полягає в тому, що при підвищенні температури проникність збільшується, проте ступінь збільшення проникності для різних полімерів неоднакова.
5. Обґрунтуйте, чому найбільш сильний вплив підвищення температури здійснює на полімери з низькою проникністю.

ТЕМА 3. ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ КРИЗЬ БАГАТОШАРОВІ СТРУКТУРИ ПЛІВКОВИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з методикою обчислення коефіцієнта проникності крізь багатошарові структури плівкових пакувальних матеріалів.

3.1. Теоретична частина

При виготовленні пакувальних матеріалів часто використовуються багатошарові структури. Обчислення коефіцієнта проникності через таку структуру може здійснюватися за рахунок вивчення масопереносу через окремі шари структури. На рис. 3.1 і в подальшому аналізі представлений випадок проникності через тришаровий матеріал.

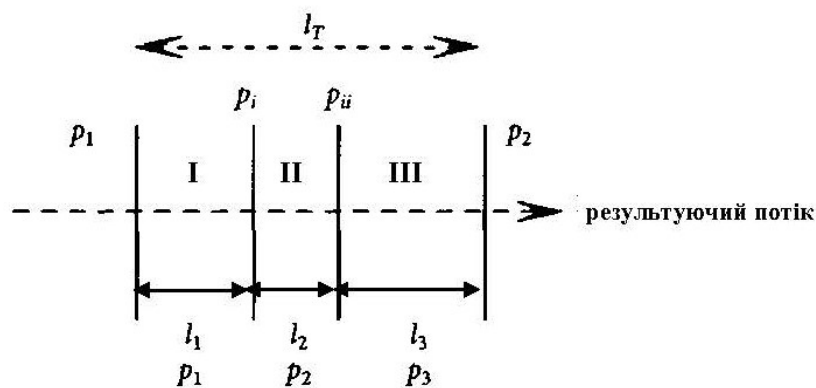


Рис. 3.1. Проникність через тришарову структуру плівкових пакувальних матеріалів

Передбачається, що матеріал знаходиться в сталому стані. Це означає, що кількість проникаючої речовини, що пройшла через кожен шар, є однаковою і рівною кількості речовини, що пройшла через всю структуру.

Значення різниці парціального тиску з різних сторін шарів обчислюються за такими виразами:

$$K_p = R_{SS} \frac{\ell}{A_o \Delta p} ;$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 ;$$

$$\Delta p_1 = p_i - p_1 ;$$

$$\Delta p_2 = p_{ii} - p_i ;$$

$$\Delta p_3 = p_2 - p_{ii} .$$

Таким чином,

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 .$$

Для всієї багат шарової структури (позначеної індексом «Т») можна записати наступний вираз:

$$K_{pT} = \frac{q\ell_T}{A_o t \Delta p_T}. \quad (3.1)$$

Можна також вирішити рівняння щодо Δp_T . У результаті виходить вираз

$$\Delta p_T = \frac{q\ell_T}{A_o t K_{pT}}. \quad (3.2)$$

Можна здійснити такі перетворення і для кожного окремого шару. Таким чином, оримують такі вирази:

$$K_{p1} = \frac{q\ell_1}{A_o t \Delta p}, \quad \Delta p_1 = \frac{q\ell_1}{A_o t K_{p1}};$$

$$K_{p2} = \frac{q\ell_2}{A_o t \Delta p}, \quad \Delta p_2 = \frac{q\ell_2}{A_o t K_{p2}};$$

$$K_{p3} = \frac{q\ell_3}{A_o t \Delta p}, \quad \Delta p_3 = \frac{q\ell_3}{A_o t K_{p3}};$$

Підсумувавши, одержимо такий вираз:

$$\Delta p = \frac{q\ell_T}{A_o t P_T} = \frac{q}{A_o t} \left(\frac{\ell_1}{K_{p1}} + \frac{\ell_2}{K_{p2}} + \frac{\ell_3}{K_{p3}} \right). \quad (3.3)$$

Таким чином, після перетворення рівняння (3.3) отримаємо:

$$\frac{\ell_T}{K_{pT}} = \frac{\ell_1}{K_{p1}} + \frac{\ell_2}{K_{p2}} + \frac{\ell_3}{K_{p3}}. \quad (3.4)$$

Знаючи товщину кожного окремого шару і значення K_p матеріалу цього шару, можна обчислити K_p (або швидкість передачі водяної пари) для всієї багат шарової структури. Вираз для структури, що містить n шарів, можна записати таким чином:

$$\frac{\ell_T}{K_{pT}} = \sum_{i=1}^n \frac{\ell_i}{K_{pi}}. \quad (3.5)$$

Це рівняння можна вирішити відносно K_{pT} . У результаті отримуємо такий вираз:

$$K_{pT} = \frac{\ell_T}{\sum_{i=1}^n \frac{\ell_i}{K_{pi}}}. \quad (3.6)$$

3.2. Розрахункові завдання

Завдання 1.

Розрахувати значення повного коефіцієнта проникності кисню для наступної багатошарової (чотири шари) структури:

№ шару	полімер	товщина ℓ , міл	коефіцієнт проникності K_p , см ³ ·міл/(100 дюйм ² ·діб·атм)
Шар 1	ПЕ	1,8	150
Шар 2	Полімід-6	1,0	2,6
Шар 3	ПВХ	1,2	18,0
Шар 4	ПП	2,0	150

Алгоритм розрахунку.

1. Знаходимо значення сумарної товщина багатошарової структури:

$$l_T = l_1 + l_2 + l_3 + l_4.$$

2. Знаходимо значення

$$\frac{\ell_T}{K_{pT}} = \frac{\ell_1}{K_{p1}} + \frac{\ell_2}{K_{p2}} + \frac{\ell_3}{K_{p3}} + \frac{\ell_4}{K_{p4}}.$$

3. Знаходимо кумулятивний коефіцієнт проникності багатошарової структури (у Барерах):

$$K_{pT} = \frac{\ell_T}{\sum \frac{\ell_i}{K_{pi}}}.$$

Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

Література

1. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. пер. с англ. 2-го изд. под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб.: Профессия, 2011. – 560 с.
2. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
3. Хэнлон Дж.Ф., Келси Р.Дж., Форсинио Х.Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение. – СПб: Профессия, 2006. – 632 с.
4. Голуб О.В. Упаковка и хранение пищевых продуктов [текст]: учебное пособие / О.В. Голуб, С.Б. Васильева. — Кемерово: КТИПП, 2005. – 148 с.
5. Черданцева А.А. Технология упаковочного производства [конспект лекций] / Черданцева А.А. – Кемерово: ГОУ ВПО КемТИПП, 2008. – 112 с.
6. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва [навчальний посібник] / Колосов О.Є. – Київ, ВПК «Політехніка», 2015. – 247 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Як здійснюють експериментальне визначення величини коефіцієнта дифузії?
2. Як здійснюють експериментальне визначення величини коефіцієнта і проникності?
3. Що таке багат шарові структури плівкових пакувальних матеріалів?
4. Як визначається коефіцієнт проникності K_p багат шарових структур плівкових пакувальних матеріалів?

ТЕМА 4. ОЦІНКА ТЕРМІНУ ПРИДАТНОСТІ ПРОДУКТУ, УПАКОВАНОГО В ПОЛІМЕРНУ УПАКОВКУ

Мета роботи: навчитися робити кількісну оцінку терміну придатності продукту, упакованого в полімерну упаковку.

4.1. Теоретична частина

4.1.1. Застосування оціночних рівнянь проникності

Хоча рівняння (1.4) є досить простим для визначення K_p , його можна використовувати для достовірної оцінки при вирішенні різних типів проблем, пов'язаних з використанням полімерних плівкових пакувальних матеріалів. Це рівняння пов'язує кілька змінних пакувальної системи: характеристики упакованого продукту q , p_1 і t ; параметри пакувального засобу K_p , A_o і K_{p0} ; умови навколишнього середовища p_2 і температуру T .

Нижче представлені деякі застосування зазначеного рівняння (1.4).

Вибір матеріалу, що використовується для виготовлення упаковки.

Для визначення найкращого співвідношення «ціна – якість» конкретних полімерних плівкових пакувальних матеріалів необхідно розглянути як механічні характеристики пакувального матеріалу, так і значення його проникності по відношенню до O_2 , CO_2 , N_2 , H_2O і парів органічних сполук.

Таблиці і діаграми значень K_p можуть допомогти фахівцеві з виготовлення полімерної плівкової упаковки вибрати найбільш підходящий матеріал. Однак слід дотримуватися обережності – більшість значень K_p є тільки приблизними, тобто їх не можна використовувати замість експериментально визначених значень K_p .

Обчислення кількості q газу (або пари), поглиненого або виділеного упакованим продуктом за певних умов: температура T , різниця значень тиску Δp і час t .

Шуканий розрахунок можна здійснити з використанням наступного виразу:

$$q = \frac{K_p t A_o \Delta p}{\ell}, \quad (4.1)$$

де q – кількість газу або пари (об'єм або маса);

K_p – коефіцієнт проникності пакувального матеріалу;

t – час (термін придатності або термін зберігання);

A_o – площа поверхні пакувального полімерного плівкового матеріалу, через яку здійснюється процес проникності;

ℓ – товщина пакувального полімерного плівкового матеріалу;

Δp – різниця значень тиску вздовж товщини стінки пакувального полімерного плівкового матеріалу.

Усі змінні і параметри вказуються за умов усталеного стану.

Оцінка терміну придатності.

Такі обчислення можливі, якщо відомо або заздалегідь задано (у вигляді цільового значення) кількість q проникаючої речовини, переданої через полімерний плівковий пакувальний матеріал (також повинні бути відомі значення K_p , A_o , Δp і K_{p0}).

Проникність може бути виражена у вигляді кількості води, втраченої (або поглиненої) упакованим продуктом, або загального об'єму кисню O_2 , прореагувавшего з певним упакованим продуктом, якщо відомі значення товщини ℓ , коефіцієнта проникності K_p , площі поверхні A_o і різниці тиску Δp .

Тоді термін придатності t дорівнює:

$$t = \frac{q\ell}{K_p A_o \Delta p}. \quad (4.2)$$

Якщо протягом терміну придатності продукту змінюється значення Δp , то рівняння (4.2) перетвориться до наступного вигляду:

$$t = \frac{1}{A_o K_p} \int_{q_1}^{q_2} \frac{dq}{dp}. \quad (4.3)$$

Вищезазначені рівняння (4.2) і (4.3) дозволяють отримати значення терміну придатності t у вигляді відрізка часу, протягом якого упакований продукт залишається в прийнятному або продаваному стані за певних умов зберігання.

Вищезазначені рівняння справедливі за таких умов:

- а) спостерігається швидке досягнення рівноваги між внутрішніми умовами полімерної плівкової упаковки і упакованим продуктом;
- б) затримка досягнення умови стійкого стану проникності через пакувальний матеріал не розглядається;
- в) температура T є постійною протягом усього періоду зберігання t ;
- г) концентрація c не впливає на значення K_p .

Розглянемо тепер оцінку терміну придатності продуктів, чутливих до дії вологи і кисню.

4.1.2. Оцінка терміну придатності харчового продукту, упакованого в полімерну плівкову упаковку

На першій стадії оцінки терміну придатності харчового продукту, упакованого в полімерну плівкову упаковку, необхідно визначити параметри, які можуть вплинути на втрату (повну або часткову) упакованим продуктом своєї якості. Продукт може втратити свою придатність при поглинанні їм вологи, окисленні, псуванні його під дією мікроорганізмів або поєднанні вищезазначених негативних впливів. Тому необхідно визначити, що може

викликати псування продукту, після чого розрахувати, коли саме це може статися (або станеться).

Перша оцінка терміну придатності, обумовленого поглинанням або виділенням летючого компонента, зазвичай здійснюється за припущення про постійність значення $\Delta\rho$ уздовж товщини стінки пакувального полімерного плівкового матеріалу. Точність такого припущення може мінятися залежно від природи упакованого продукту і пакувального плівкового матеріалу.

Для продукту будь-якого типу, який поглинає або виділяє воду, можна виміряти залежність вмісту вологи від відносної вологості ϕ або активності води, після чого детермінувати ізотерму вологості.

Як показано на рис. 4.1, ізотерми вологості, як правило, представляють собою криві сигмоїдальної форми. Однак для оцінки терміну придатності іноді можна використовувати тільки лінійну частину цієї кривої ізотерми вологості.

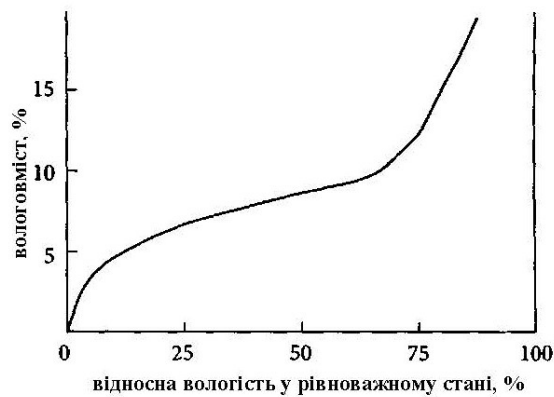


Рис. 4.1. Типова ізотерма сорбції вологи продукту будь-якого типу, який поглинає або виділяє воду

Якщо ж ізотерма сорбції вологи має **приблизно лінійний характер** у розглянутій області, то за рахунок використання рівняння (4.3) може бути отримано аналітичне рішення рівняння терміну придатності. У цьому випадку лінія ізотерми сорбції може бути представлена в наступному вигляді:

$$Y = a + b \cdot M_{\text{вол}}, \quad (4.4)$$

де Y – величина відносної вологості (ϕ);

$M_{\text{вол}}$ – вміст у продукті вологи.

Інтегруючи рівняння (4.3), отримуємо наступний вираз терміну придатності t :

$$t = \frac{\ell \cdot M_{np}}{K_p \cdot A_o \cdot p_s \cdot b} \ln \left(\frac{Y_0 - Y_{i,t=0}}{Y_0 - Y_{i,t}} \right), \quad (4.5)$$

де Y_0 – величина зовнішньої відносної вологості;

p_s – величина тиску;

Y_i – величина відносної вологості повітря порожнього простору всередині упаковки;

M_{np} – маса продукту в сухому стані.

Звідки максимальну площу поверхні упаковки A_o дорівнює:

$$A_o = \frac{\ell \cdot M_{np}}{K_p \cdot t \cdot p_s \cdot b} \ln \left(\frac{Y_0 - Y_{i,t=0}}{Y_0 - Y_{i,t}} \right), \quad (4.6)$$

4.2. Розрахункові завдання

Завдання 1.

Обчислити мінімальну товщину ℓ ПЕТФ, необхідну для забезпечення захисту упакованого продукту, якщо останній вважається непридатним після поглинання (і реагування) 0,005 % (мас./об.) кисню.

Конструкція пакувального плівкового матеріалу представляє собою контейнер місткістю 500 мл і площею поверхні $A_o = 400 \text{ см}^2$. В якості упакованого продукту використовується рідина на основі води.

Умови зберігання продукту: температура $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість $\varphi = 60\%$. Необхідний термін придатності (термін зберігання) складає $t = 6$ міс. **Необхідно розрахувати також величину втрати (виділення) вологи q у цьому пакувальному матеріалі після закінчення шестимісячного терміну.**

Величина коефіцієнта проникності води $K_{p \text{ H}_2\text{O}}$ для ПЕТФ складає $8,5 \cdot 10^4 \text{ см}^3 \text{ (с.у.)} \cdot \text{мкм}/\text{м}^2 \cdot \text{добу} \cdot \text{кПа}$.

Алгоритм розрахунку.

1) Перетворюючи рівняння (1.4) щодо товщини стінки пакувального матеріалу ℓ , отримуємо вираз для обчислення її величини:

$$\ell = \frac{K_p t A_o \Delta p}{q}. \quad (4.4)$$

2) Із довідкової літератури (або з умов завдання) визначаємо значення швидкості передачі кисню для ПЕТФ при шуканій температурі ($\text{см}^3 \text{ (с.у.)} \cdot \text{мкм}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу} \cdot \text{кПа})$).

3) Робимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин:

t (доб); A_o (м^2); $\Delta p = (\text{кПа})$, приймаючи, що $p_i = 0$, де p_i – парціальний тиск кисню в пакувальному матеріалі).

4) Для визначення величини втрати (виділення) вологи q необхідно перетворити величину поглинання 0,005% вологи протягом 6 міс у величину потоку [$\text{см}^3 \text{ (с.у.)}$].

5) Згідно (9), визначаємо величину Δp у залежності від тиску насиченої пари p_s і різниці значень відносної вологості φ_1, φ_2 .

З таблиці 1.3 значень тиску насичених водяних парів визначаємо, при температурі $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ величину тиску p_s (кПа).

Δp – це різниця значень тиску пари всередині упаковки-контейнера (при відносній вологості $\varphi_1 = 100\%$) і зовні нього (при відносній вологості $\varphi_2 = 60\%$).

б) Визначаємо мінімальну товщину ℓ ПЕТФ (мкм):

$$\ell = \frac{K_p t A_o \Delta p}{q}.$$

7) Обчислюємо кількість виділеної (втраченої) води q (см^3 рідкої води.)

Завдання 2.

Маса продукту в сухому стані становить $M_{np} = 80$ г, а величина $b = 9,0$ (кг продукту)/(кг H_2O). Продукт зберігається при температурі $T = 23$ °С і відносній вологості $\varphi = RH = 85\%$.

Початкове рівноважне значення відносної вологості продукту становить $RH_{i,t=0} = 20\%$, а кінцеве $RH_{i,t} = 70\%$.

Величина K_p пакувального матеріалу складає:

$$K_p = 4,0 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{мкм}}{\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{кПа}}.$$

Обчислити максимальну площу поверхні упаковки A_o , яка дозволить підтримувати значення відносної вологості продукту RH_i на рівні до 70% протягом терміну придатності $t = 100$ діб, якщо товщина стінки плівкового пакувального матеріалу складає $\ell = 53$ мкм.

Алгоритм розрахунку.

1. Спершу робимо перерахунок одиниць вимірювань заданих величин. M_{np} (кг); K_p (кг · мкм)/($\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{кПа}$); ℓ (мкм).

2. З довідкової таблиці 1.3 значень тиску насичених водяних парів визначаємо величину тиску p_s (кПа) при температурі $T = 23$ °С; $b = 9,0$.

3. Визначаємо значення

$$\ln \left(\frac{Y_0 - Y_{i,t=0}}{Y_0 - Y_{i,t}} \right);$$

що входить в формулу (4.5).

4. Визначаємо шукану максимальну площу поверхні полімерного плівкового пакувального матеріалу A_o (м^2), через яку здійснюється процес проникності, відповідно до рівняння (4.6).

Зміст протоколу

1. Ціль роботи.
2. Короткі відомості про явища, покладені в основу досліджуваного процесу.
3. Результати розрахунків. Відповідь.

Література

1. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. пер. с англ. 2-го изд. под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – СПб.: Профессия, 2011. – 560 с.
2. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
3. Хэнлон Дж.Ф., Келси Р.Дж., Форсинио Х.Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение. – СПб: Профессия, 2006. – 632 с.
4. Голуб О.В. Упаковка и хранение пищевых продуктов [текст]: учебное пособие / О.В. Голуб, С.Б. Васильева. — Кемерово: КТИПП, 2005. – 148 с.
5. Черданцева А.А. Технология упаковочного производства [конспект лекций] / Черданцева А.А. – Кемерово: ГОУ ВПО КемТИПП, 2008. – 112 с.
6. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва [навчальний посібник] / Колосов О.Є. – Київ, ВПК «Політехніка», 2015. – 247 с.

Контрольні запитання та завдання

1. Припустимо, що у Вас є наступна інформація щодо проникності гнучкої полімерної плівкової структури:

швидкість передачі водяної пари, виміряна при температурі $T = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості $\varphi = 95\%$, становить $1,2\text{ г/добу} = 0,05\text{ г/год}$.

Площа поверхні упаковки $A_o = 100\text{ дюйм}^2 = 64,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}^2$.

Товщина стінки пакувального матеріалу $\ell = 3\text{ міл} = 76,2 \cdot 10^{-6}\text{ м}$.

Розрахуйте і представте в одиницях СІ наступні параметри: швидкість передачі водяної пари $WVTR$, відносну проникність K_{ro} , товщину стандартного потоку N і коефіцієнт проникності K_p . Використовуйте наступні одиниці виміру (СІ): кг, с, Па, м.

2. Припустимо, що Вам необхідно спроектувати чотиришарову полімерну плівкову структуру. Величина кумулятивного (загального) коефіцієнта проникності кисню повинна становити $K_p = 30\text{ см}^3 \cdot \text{міл}/(\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм})$.

Розрахуйте необхідну товщину бар'єрного шару (шар № 2) і представте результат в мілах або в мкм.

№ шару	товщина, міл	коефіцієнт проникності K_p , $\text{см}^3 \cdot \text{міл}/(\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм})$
1	2,5	250
2	x	10
3	1,5	150
4	2,1	158

3. Коефіцієнт проникності O_2 через невідому полімерну плівку при температурі $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $K_p = 0,1\text{ см}^3 \cdot \text{мкм}/(\text{м}^2 \cdot \text{діб} \cdot \text{атм})$.

Обчисліть значення коефіцієнта проникності K_p при температурі $T = 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Для розрахунків використовуйте будь-яке «прийнятне» (з Вашої точки зору) значення енергії активації E_a .

4. Експериментальні значення, отримані за рахунок використання квазіізостатичного методу вимірювання проникності водяної пари, представлені нижче:

t , год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q , г	0	0,25	0,5	0,75	0,95	2,1	3,1	3,95	5,1	5,9	7,1

Площа поверхні комірки проникності становить $A_o = 100 \text{ см}^2$; товщина плівки $\ell = 1$ міл; значення $\Delta p = 20$ мм рт. ст. Зобразіть дані графічно і обчисліть значення коефіцієнта дифузії D і коефіцієнта проникності K_p (використовуйте наступні одиниці виміру: г, діб, атм, м^2 і міл).

5. Багатошарова структура має невизначений склад, але містить шар СЕВС (суміші етилену і вінілового спирту). Така багатошарова структура була піддана оцінці бар'єрних властивостей по відношенню до кисню з використанням апарату з безперервним потоком і повітря. Величина швидкості в сталому режимі R_s становить $2,0 \text{ см}^3/\text{діб}$. Площа поверхні $A_o = 100 \text{ см}^2$. Розрахуйте величину відносної проникності структури K_{p_o} в одиницях $\text{см}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Па})$.

6. Відомо, що ПЕВП (ПЕВЦ) володіє поганими бар'єрні властивості стосовно до вуглеводнів, таким, наприклад, як бензин. Використовуючи вищенаведений матеріал, поясніть, чому так відбувається і чому за рахунок здійснення фторування поверхні ПЕВП-контейнера (наприклад, автомобільного паливного бака) можна значно поліпшити бар'єрні властивості виробу на основі ПЕВП.

7. Як було описано раніше, міграція залишкового мономера з полімерної упаковки іноді може викликати серйозні проблеми. Однак міграція молекул самого полімеру практично ніколи не викликає таких проблем. Чому так відбувається?

8. Обчисліть величину збільшення (зменшення) температури, необхідної для збільшення вдвічі (або зменшення вдвічі) значення коефіцієнта проникності O_2 в аморфному ПЕТФ. Температура проникності становить $T_l = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

9. Для забезпечення захисту чутливого до дії вологи продукту Вам необхідно спроектувати полімерну плівкову упаковку, яка мала б наступні характеристики:

пакувальний матеріал	
характеристики пакувального матеріалу	значення
площа поверхні A_o :	200 см^2 ;
коефіцієнт проникності K_p :	$0,44 \text{ (г}\cdot\text{міл)} / (\text{м}^2\cdot\text{сут}\cdot\text{мм рт.ст.})$;
умови зберігання (T, φ):	температура $T = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість $\varphi = 90\%$;
товщина ℓ	$3,0$ міл;

упакований продукт	
характеристики упакованого продукту	значення
початкова рівноважна відносна вологість φ_0 :	15%;
кінцева рівноважна відносна вологість φ_1 :	80%;
ізотерма сорбції для продукту:	лінійна, при цьому $b = 16,0$ (г продукту)/(г H ₂ O);
вага продукту в сухому стані M_c	150 г.

Розрахуйте термін придатності (термін зберігання) в упаковці з використанням рівняння.

10. Припустимо, що необхідно спроектувати полімерну плівкову упаковку для зберігання картопляних чіпсів. Цей продукт чутливий до дії кисню, тому необхідно забезпечити його захист від прямого контакту з повітрям (вважаємо, що повітря містить 21 % кисню). При цьому продукт не має поглинути більше 0,02 % (мас./мас.) кисню.

Визначте товщину гнучкого пакувального матеріалу, який необхідно використовувати для упаковки цього продукту, грунтуючись на наступній інформації:

Маса продукту: 400 г;

Коефіцієнт проникності пакувального матеріалу

$K_p = 15,0$ см³·міл/(м²·діб·атм).

Передбачуваний термін придатності: $t = 6$ міс (180 діб) ;

Площа поверхні пакувального матеріалу: $A_o = 100$ дюйм².

11. Прозорий, чутливий до дії кисню фруктовий сік (вміст води становить 96 %, інше – концентрат) реагує з киснем навколишнього середовища і окислюється, внаслідок чого стає коричневим. Якщо сік поглине 0,01 % кисню (від власної ваги), то вже вважатиметься непридатним. Для запобігання процесу окислення продукт упаковується в полімерну плівку, що володіє певними бар'єрними властивостями.

Кількість соку 200 мл, густина – приблизно 1,0 г/см³. Пакувальний матеріал – ПЕТФ, що частково кристалізується; товщина $\ell = 1$ міл; загальна площа поверхні пакувального матеріалу – $A_o = 5 \times 5$ дюймів.

Умови зберігання: концентрація кисню $c = 21$ %, температура $T = 4$ °С, відносна вологість $\varphi = 30$ %.

Використовуючи задані умови, розрахуйте:

1) термін придатності продукту t ;

2) кількість води q_e , виділеної продуктом до кінця періоду зберігання.

Наведіть як мінімум дві обгрунтовані рекомендації щодо зменшення обчисленого в частині 1 завдання кількості виділеної води q_e на 20 % (зі збереженням терміну придатності t).

12. Припустимо, що Ви зіткнулася з проблемами, пов'язаними з терміном придатності випускаємих пластівців з фруктовим смаком. Ці проблеми пов'язані з неприпустимо великим зниженням запаху (аромату). Один з Ваших співробітників пропонує збільшити товщину використовуваної упаковки. Як Ви думаєте, чи буде такий підхід до вирішення проблем ефективним? Поясніть відповідь.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ НАВЧАЛЬНО-МЕТОЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Література

Базова

1. Хэнлон Дж.Ф., Келси Р.Дж., Форсинио Х.Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение . – СПб: Профессия, 2006. – 632 с.
2. Коган З.А., Рибакон Г.Д. Консервация и упаковка машиностроительной продукции. - М.: Машиностроение, 1973. – 264 с.
3. Соколенко А.И., Валиулин Г.Р., Юхно М.И. и др. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции на линиях розлива пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с.
4. Шредер В.Л., Пилипенко С.Ф. Упаковка з картону. - К.: ІАЦ Упаковка, 2004. - 148 с.
5. Пакувальне обладнання: В 3-х кн. Кн.3. Обладнання для обробки транспортних пакетів/ О.М. Гавва, А.П.Беспалько, А.І.Волчко. - К.: ІАЦ Упаковка, 2006. - 96 с.
6. Шредер В.Л. Картон. Тара и упаковка. – К.: Упаковка, 1999. – 192 с.
7. Соколенко А.И., Сторишко И.И., Ярьсько В.П. и др. Погрузочно-разгрузочное и транспортное оборудование в перерабатывающей промышленности. – К.: Урожай, 1990. – 148 с.
8. Машкина В.А. Тара и упаковка продуктов и товаров пищевых производств: Учеб. пособие. — М.: НПК "Поток", 2000. — 180 с.: ил.
9. Автоматизовані поточкові лінії: Метод. Вказівки до викон. розрахунково-графічних робіт для студ. спец. 7.090223 «Машини і технологія пакування» і 7.090264 «Машини і технології переробки використаної упаковки» напряму 0902 «Інженерна механіка» ден. форми навч. /Уклад. А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, К.В. Васильківський. – К.: НУХТ, 2003. – 13 с.
10. Федько В. П. Упаковка и маркировка: Учеб.-практ. пособие — М. : Экспертное бюро-М, 1998. — 240с.
11. Соколенко А. І., Яровий В. Л., Піддубний В. А., Васильківський К. В., Шевченко О. Ю. Моделювання процесів пакування: Підручник для студ. вищ. навч. закл. / Національний ун-т харчових технологій / А.І. Соколенко (ред.). — Вінниця : Нова Книга, 2004. — 271с.: рис., табл.
12. Гавва О.М. Пакувальне обладнання [текст]: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. – К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.
13. Сирохман І. В. Товарознавство пакувальних товарів і тари [текст]: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня. – К.: Центр учбової літератури, 2009. — 616 с.
14. Голуб О.В. Упаковка и хранение пищевых продуктов [текст]: учебное пособие / О.В. Голуб, С.Б. Васильева. — Кемерово: КТИПП, 2005. – 148 с.
15. Черданцева А.А. Технология упаковочного производства [конспект лекций] / Черданцева А.А. – Кемерово: ГОУ ВПО КемТИПП, 2008. – 112 с.

16. Колосов О.Є. Технологія пакувального виробництва (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. - 247 с. (Лист МОНУ №1/11-12071 від 29.07.2014р.).

17. Колосов О.Є. Технологія зберігання харчової продукції: неупакованої та упакованої із застосуванням полімерних плівкових матеріалів (навчальний посібник). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ КПІ, 2015. – 179 с. (Лист МОНУ №1/11-11495 від 22.07.2014р.)

18. Колосов О.Є. Технологія пакування продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання]. К.: НТУУ КПІ, 2016. - 208 с. Назва з екрана. Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14444>

19. Колосов О.Є. Технологія зберігання неупакованої та упакованої харчової продукції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання] К.: НТУУ КПІ, 2016. - 180 с. Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14443>

20. Сокольський О.Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23461>

21. Сокольський О.Л., Колосов О.Є. Пакувальне обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 41 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23460>

22. Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 35 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23467>

23. Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім.

Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 68 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23450>

24. Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції: Самостійна робота студентів з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 27 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23471>

Допоміжна

1. Сторіжко Й. І., Гавва О. М., Беспалько А. Г., Волчко А. І. Термінологічний довідник пакувальника / Валерій М. Кривошей (ред.). — К.: ІАЦ "Упаковка", 1999. — 79с.

2. Пакування сільськогосподарської продукції (овочі та фрукти) / Проект розвитку агробізнесу в Україні / А. Андрюшко, С. Бочаров. — К., 2002. — 32 с.

3. Математичне моделювання процесів пакування: Метод. вказівки до практ. занять для студ. спец. 7.090223 "Машини і технологія пакування" (спеціалізацією "Машини і технологія пакування харчових продуктів") денної форми навчання / Національний ун-т харчових технологій / А.І. Соколенко — К. : НУХТ, 2003. — 14с. : рис.

4. Надійність і довговічність обладнання (надійність і довговічність машин): Метод. вказівки до вивчення дисципліни та виконання контрольної роботи для студ. спец.:7090221 "Обладнання переробних і харчових виробництв", 6.090200 "Обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості", "Машини і технології пакування", 6.090500 "Холодильні машини та установки" денної та заочної форм навчання / Національний ун-т харчових технологій / Ю. Г. Сухенко. — К. : НУХТ, 2002. — 27 с.

5. Охорона праці в галузі: Метод. вказівки до викон. практ. занять "Вібрація. Вібраційний захист технологічного обладнання" для студ. спец. 7.090221 "Обладнання переробних і харчових виробництв", 7.090223 "Машини та технологія пакування", 7.090226 "Обладнання фармацевтичної та мікробіологічної промисловості", 7.090264 "Машини та технологія переробки використаної упаковки" напряму 0902 "Інженерна механіка" денної та заоч. форм навчання / Національний ун- т харчових технологій / Віктор Степанович Гуць (уклад.), Ольга Володимирівна Подсадна (уклад.) — К.: НУХТ, 2004. — 28 с. : рис., табл.

Інформаційні ресурси

Електронні ресурси з курсу «Технологія пакування і зберігання пакованої продукції», а саме:

- навчальну програму дисципліни;
- робочу навчальну програму кредитного модуля;
- методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи;
- методичні вказівки до виконання самостійної роботи

розміщено за адресою <http://cpsm.kpi.ua/mr.html>, а також у електронному кампусі.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Мета та основні завдання практичних занять	3
Рекомендації щодо підготовки та проведення практичних занять.....	4
ТЕМА 1. ПРОЦЕС МАСОПЕРЕНОСУ В ПОЛІМЕРНИХ ПАКУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ.....	5
1.1. Теоретична частина.....	5
1.1.1. Сталий процес дифузії по товщині полімерного плівкового пакувального матеріалу і проникність.....	7
1.2. Розрахункові завдання.....	13
ТЕМА 2. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА КОЕФІЦІЄНТ ПРОНИКНОСТІ.....	15
2.1. Теоретична частина.....	15
2.2. Розрахункові завдання.....	18
ТЕМА 3. ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ КРІЗЬ БАГАТОШАРОВІ СТРУКТУРИ ПЛІВКОВИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	20
3.1. Теоретична частина.....	20
3.2. Розрахункові завдання.....	22
ТЕМА 4. ОЦІНКА ТЕРМІНУ ПРИДАТНОСТІ ПРОДУКТУ, УПАКОВАНОВОГО В ПОЛІМЕРНУ УПАКОВКУ.....	24
4.1. Теоретична частина.....	24
4.1.1. Застосування оціночних рівнянь проникності.....	24
4.1.2. Оцінка терміну придатності харчового продукту, упакованого в полімерну плівкову упаковку.....	25
4.2. Розрахункові завдання.....	27
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ НАВЧАЛЬНО-МЕТОЧНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	32

Електронне мережне навчальне видання

Колосов Олександр Євгенович

**ТЕХНОЛОГІЯ ПАКУВАННЯ
ТА ЗБЕРІГАННЯ ПАКОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ.
Практикум**

*для підготовки студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,
спеціалізацією «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання»*

денної форми навчання

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*