

---

---

# НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ

---

---

УДК [621.1.016+536.2](075.8)+536.7

Л.В. Базюк, Г.О. Сіренко

## Тепло- і масообмін у хемічній технології. Лекція 1. Вступ. Загальні означення

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
буль. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна*

Спеціальний курс лекцій «Тепло- і масообмін у хемічній технології», розроблений на основі більшого за обсягом курсу «Технічна термодинаміка та теплопередача», є однією з базових дисциплін у хемічній технології і займає проміжне місце між хемічною і технічною термодинамікою та процесами і апаратами хемічної технології. Спеціальний курс лекцій адресується студентам спеціальності «Хемія» університетів класичного типу і буде корисний викладачам, які читають курс лекцій «Процеси і апарати хемічної технології», та науковцям, які досліджують теплофізичні властивості газів, рідин і твердих тіл. Літ. джерел 26.

Друкується за рішенням кафедри теоретичної і прикладної хемії (протокол №9 від 19.04.2010 р.).

**Ключові слова:** теплопередача, теплообмін, масообмін, теплопровідність.

*Методична розробка постуила до редакції 19.04.2010; прийнята до друку 12.05.2010.*

### Розділ 1. Теплопередача

#### 1. Вступ

##### 1.1. Загальні означення

• **Теплопередача** (або теплообмін) – вчення про *самочинні* (спонтанні) *необоротні* процеси розповсюдження енергії у формі тепла в середовищі (просторі). Під процесом розповсюдження тепла розуміють обмін внутрішніми енергіями між окремими елементами, частинами, об'ємами, шарами, тілами середовища, яке виокремлено з простору для розгляду і вивчення фізичних, фізико-хемічних і хемічних явищ та процесів.

• **Теплообмін** здійснюється трьома способами:

- 1) теплопровідністю;
- 2) конвекцією;
- 3) тепловим випромінюванням (теплогою радіацією).

• **Теплопровідність** – процес переносу тепла між тілами або частинами тіл при безпосередньому контакті, що обумовлений різницею температур між ними, внаслідок руху мікрочастинок (електронів, йонів, атомів, молекул надмолекулярних утворень) та коливаннями вузлів ґраток твердих тіл. Теплопровідність у чистому вигляді має місце між частинами твердих тіл, насамперед металів та металевих стопів.

• **Конвекція** – процес переносу тепла при переміщенні та змішуванні потоків, шарів, об'ємів крапельної рідини, газів, пари або частинок сипкого твердого тіла (текучого середовища) при наявності різниці температур між ними. При цьому процес переносу тепла безпосередньо пов'язаний з переносом самого середовища.

• **Теплове випромінювання** (теплова радіація) – процес розповсюдження тепла за допомогою електромагнітних хвиль, обумовлений лише *температурою* або ентропією стану та *оптичними властивостями* випромінюючих тіл (фізичним станом їх поверхонь та ступенем прозорості середовища, що їх розділяє. При цьому внутрішня енергія тіла або середовища переходить в енергію випромінювання. Процес перетворення внутрішньої енергії тіла в енергію випромінювання на поверхні вихідного тіла, переносу випромінювання через прозоре для нього середовище та його поглинання поверхнею іншого тіла або системою тіл і становить механізм теплообміну випромінюванням.

• У природі і техніці елементарні процеси переносу тепла теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням доволі часто відбуваються сумісно. Для спрощення математичного опису складного процесу теплообміну теплопровідність, конвекцію та

теплове випромінювання розглядають як складові цього процесу окремо.

- Конвекція тепла завжди супроводжується теплопровідністю. *Сумісний переніс* тепла за механізмами *конвекції і теплопровідності* носить назву *конвективно-кондуктивного теплообміну*.

- Конвективний теплообмін між потоками рідини, газу, пари або твердого сипкого тіла та поверхнею суцільного твердого тіла носить назву *конвективної тепловіддачі* або просто тепловіддачі.

- Сумісний переніс тепла за механізмами теплового випромінювання і теплопровідності носить назву *радіаційно-кондуктивного теплообміну*.

- Сумісний переніс тепла за механізмами теплового випромінювання і конвекції носить назву *радіаційно-конвективного теплообміну*.

- Так як переніс тепла теплопровідністю і конвекцією нероздільний процес, то сумісний переніс тепла за механізмами теплового випромінювання, теплопровідності і конвекції теж носить назву *радіаційно-конвективного теплообміну* або *радіаційно-кондуктивно-конвективного теплообміну*, або складного теплообміну.

- Процес передачі тепла від гарячої рідини до холодної через розділяючу їх тверду стінку носить назву власне *тепlopередачі*.

- Процеси теплообміну можуть відбуватися:
  - 1) в чистих речовинах і різних сумішах;
  - 2) при зміні або без змін агрегатного стану тіла;
  - 3) в однокомпонентних або багатокомпонентних системах;
  - 4) в однофазних або багатофазних системах;
  - 5) при конденсації пари з парогазової суміші;
  - 6) при випаровуванні рідини у парогазове середовище;
  - 7) при хемічних перетвореннях;
  - 8) між газовою сумішшю і поверхнею розділу фаз тощо.

- Процеси переносу тепла часто супроводжуються переносом маси, наприклад, при хемічних перетвореннях, конденсації пари з парогазової суміші, випаровування рідини в газову фазу тощо, що окрім теплообміну має місце і переніс пари, яка утворилася в парогазовій суміші. У загальному випадку переніс речовини здійснюється як *молекулярним, так і конвективним шляхом*.

- Сумісний переніс маси *молекулярним і конвективним шляхом* носить назву *конвективного масообміну*.

- При наявності масообміну процеси теплообміну ускладнюються. Тепло додатково може переноситися з масою дифундуючих

речовин. Сумісний переніс тепла і маси носить назву *тепломасообміну*.

- Переніс тепла в суміші різних речовин або однієї речовини може бути викликаний *не лише різницею температур*, але й неоднорідним розподілом інших фізичних величин. Наприклад, різницею тиску, різницею густини, різницею концентрацій компонентів суміші тощо. В останньому випадку це приводить до додаткового *молекулярного* переносу тепла, який носить назву *дифузного термoeфекту*. Переніс тепла, що обумовлений такими ефектами, порівняно малий і ним можна знехтувати.

- При теоретичному дослідженні теплообміну користуються певними *модельними* уявленнями про середовище, в якому мають місце теплообмінні процеси. Як правило, *нехтують дискретною* будовою середовища, вважаючи його *суцільним*, тобто користуються понятійним апаратом континууму.

- Розрізняють *однорідні і неоднорідні* суцільні середовища: в однорідних – фізичні властивості у різних точках об'єму однакові при рівних температурі і тиску; в неоднорідних – різні.

- Розрізняють *ізотропні та анізотропні* суцільні середовища: для ізотропних – фізичні властивості не залежать від обраного напрямку дослідження, для анізотропних – ці властивості є функцією напрямку дослідження.

- Суцільне середовище може бути *однофазним* або *багатофазним*, що складається з чистої речовини або суміші речовин, властивості яких можуть змінюватися в просторі неперервно або дискретно. Для багатофазного середовища, яке складається з однофазних частин, на межі розділу фаз властивості змінюються стрибком і, відповідно, стрибком змінюються процеси теплообміну.

- Вивчення простих і складних процесів переносу тепла і маси в різних середовищах і становить *завдання предмету* тепломасообміну.

## 1.2. Методи вивчення фізичних явищ тепло- і масообміну

- Явища тепло- і масопереносу можна описати і дослідити на основі феноменологічного і статистичного методів.

- *Метод* опису процесів, що не враховує *мікроскопічну структуру* речовини і розглядає її як *суцільне середовище* (континуум) носить назву *феноменологічного* методу.

- *Феноменологічний метод* дослідження дозволяє знайти деякі *співвідношення між параметрами*, які характеризують явище, що розглядається, *в цілому*. Феноменологічні закони мають *узагальнений характер*, а роль певного фізичного середовища враховують коефіцієнтами, які знайдені експериментальним шляхом.

• *Статистичний метод* оснований на вивченні фізичних явищ, виходячи з внутрішньої структури речовини. Середовище розглядається як певна фізична система, яка складається з великої кількості молекул, йонів або електронів із

заданими властивостями і законами взаємодії. *Отримання макроскопічних* характеристик за заданими мікроскопічними властивостями середовища і складає суть даного методу.

### Рекомендована література

#### Основна література

1. Сіренко Г.О., Базюк Л.В. Тепло- і масообмін у хемічній технології. – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2010.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 448с.
3. Кирилин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1968. – 472с.
4. Нашокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1980. – 469с.
5. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением /Пер. с англ. С.З. Сориц, Л.М. Сорокопуда. – Л.: Энергия, 1971. – 295с.

#### Додаткова література

1. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. – М.: Высшая школа, 1980. – 552с.
2. Бондарев В.А., Гринкевич Р.Н., Процкий А.Е. Общая теплотехника. – Минск: Вышэйша шк., 1967. – 320с.
3. Жуковский В.С. Технічна термодинаміка. – К.: Держтехвидав, 1953. – 442с.
4. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Кратный курс физической химии. – М.:Металлургия, 1979. – 368с.
5. Костенко Г.М. Технічна термодинаміка. – К.: Держтехвидав, 1958. – 420с.
6. Костерев Ф.М., Кушнырев В.И. Теоретические основы теплотехники. – М.: Энергия, 1978. – 360с.
7. Кузовлев В.А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / Под ред. Л.Р. Стоцкого. – М.: Высш. шк., 1975. – 303с.
8. Лариков Н.Н. Теплотехника. – М.: Стройиздат, 1985. – 432с.
9. Недужий И.А., Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача. – К.: Высш. шк., 1978. – 224с.
10. Остафійчук Б.К., Яцура М.М., Гамарник А.М. Фізика. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Ч.1. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2006. – 308с.
11. Поршаков Б.П., Романов Б.А. Основы термодинамики и теплотехники. – М.: Недра, 1988. – 300с.
12. Теплотехника /А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; под общ. ред. В.И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 432с.
13. Теплотехника / Б.И. Бахмачевский, В.Г. Зах, Г.П. Лызо и др.; под ред. А.А. Щукина, И.Н. Сушкина. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 605с.
14. Теплотехника / И.Т. Швець, В.И. Толубинский, А.И. Алабовский и др. – К.: Высш. шк., 1976. – 518с.
15. Теплотехніка / І.Т. Швець, В.І. Голубінський, М.Ф. Кіраковський та ін. – К.: Вища шк., 1969. – 588с.
16. Теплотехника /М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский, Ф.П. Казакевич; под ред. Г.А. Матвеева. – М.: Высш. шк., 1981. – 480с.
17. Теплотехника /А.А. Щукин, И.Н. Сушкин, Р.Г. Зах и др. – М.: Metallurgiya, 1973. – 480с.
18. Техническая термодинамика /Е.В. Дрыжаков, Н.П. Козлов, Н.К. Корнейчук и др.; под ред. В.И. Крутова. – М.: Высш. шк., 1971. – 472с.
19. Техническая термодинамика /Под ред. В.И. Крутова. – М.: Высш. шк., 1981. – 439с.
20. Техническая термодинамика /Под ред. А.С. Телегина. – М.: Metallurgiya, 1992. – 240с.
21. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1988. – 479с.

*Базюк Л.В.* – викладач кафедри теоретичної та прикладної хемії.

*Сіренко Г.О.* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної та прикладної хемії.

Рецензент

*Мідак Л.Я.* – кандидат хімічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.