

---

# ЗМІСТ

---

Вступ	6
<b>Розділ 1 Забруднення та основні природоохоронні процеси</b>	<b>8</b>
1.1. Показники якості навколишнього середовища	8
1.2. Джерела забруднення навколишнього середовища	16
1.3. Основні фізико-хімічні властивості речовин	20
1.4. Класифікація й принципи розрахунків природоохоронних процесів	35
Питання для самоконтролю	40
<b>Розділ 2 Явища перенесення речовини й енергії в процесах природоохоронної технології</b>	<b>42</b>
2.1. Основні визначення математичного аналізу	42
2.2. Загальні закономірності процесів перенесення речовин та енергії	45
2.3. Основні феноменологічні рівняння гідромеханіки суцільного середовища	47
2.4. Основні феноменологічні рівняння теплоперенесення у суцільному середовищі	57
2.5. Основні феноменологічні рівняння масоперенесення в суцільному середовищі	64
2.6. Початкові й граничні умови до задач перенесення	68
2.7. Подібність типових процесів природоохоронних технологій та основи моделювання	71
Питання для самоконтролю	83
<b>Розділ 3 Основи прикладної гідравліки</b>	<b>84</b>
3.1. Гідростатика. Основне рівняння гідростатики	84
3.2. Гідродинаміка. Основні характеристики руху рідин	89
3.3. Режими руху рідини	91
3.4. Закон Бернуллі для реальної рідини. Гідравлічний опір трубопроводів	94

3.5. Перетворення рівнянь Нав'є – Стокса. Гідродинамічна подібність	101
3.6. Розрахунок діаметра трубопроводу	105
3.7. Рух рідини через шари твердих тіл	106
3.8. Рух частинок у рідинах	114
3.9. Плівкова течія рідини	123
3.10. Неньютонівські рідини	127
Питання для самоконтролю	130

#### **Розділ 4 Теплові процеси 131**

4.1. Основні поняття	131
4.2. Передача теплоти теплопровідністю	133
4.3. Конвективний теплообмін	137
4.4. Перетворення рівняння Фур'є – Кірхгофа. Теплова подібність	139
4.5. Тепловіддача при вимушеній течії теплоносія	143
4.6. Природна (гравітаційна) конвекція	149
4.7. Теплообмін при конденсації пари	152
4.8. Тепловіддача при кипінні рідини	156
4.9. Теплообмін у системах із твердою фазою	160
4.10. Теплопередача	162
4.11. Теплове випромінювання	167
4.12. Розрахунок теплообмінних апаратів	172
Питання для самоконтролю	173

#### **Розділ 5 Масообмінні процеси 174**

5.1. Основні поняття	174
5.2. Елементарні види перенесення маси	175
5.3. Способи вираження складу фаз	180
5.4. Рівновага при масопередачі	182
5.5. Рівняння робочої лінії	185
5.6. Рівняння масовіддачі	187
5.7. Перетворення рівняння конвективного масоперенесення. Подібність дифузійних процесів	188
5.8. Моделі масовіддачі	189
5.9. Рівняння масопередачі	193
5.10. Об'ємні коефіцієнти масовіддачі й масопередачі	195
5.11. Рушійна сила процесів масопередачі	196
5.12. Масопередача під час руху частинок	197
5.13. Масообмін при плівковій течії рідини	202

5.14. Розрахунок основних розмірів масообмінних апаратів	205
5.15. Аналогія між процесами перенесення теплоти, маси та імпульсу	208
Питання для самоконтролю	210
<b>Розділ 6 Хімічні процеси</b>	<b>212</b>
6.1. Кінетика хімічних процесів	212
6.2. Хімічні процеси в гетерогенних системах	221
6.3. Матеріальний баланс хімічних процесів	225
6.4. Тепловий баланс хімічних процесів	225
6.5. Види хімічних реакторів, розрахунок хімічних реакторів	226
6.6. Високотемпературні хімічні реактори (печі)	230
Питання для самоконтролю	232
<b>Розділ 7 Біохімічні процеси</b>	<b>233</b>
7.1. Біологічне очищення стічних вод	233
7.2. Кінетика процесів біологічного очищення стічних вод	240
7.3. Біологічні реактори періодичної дії	243
7.4. Біологічні реактори безперервної дії	244
7.5. Аеробні процеси	245
7.6. Анаеробні процеси	247
Питання для самоконтролю	249
<b>Розділ 8 Механічні процеси</b>	<b>251</b>
8.1. Ступінь подрібнювання. Робота, витрачувана на подрібнювання	252
8.2. Стадії і схеми дроблення та подрібнювання	254
8.3. Класифікація матеріалів	256
Питання для самоконтролю	258
Список літератури	259
Предметний покажчик	263

## Вступ

Науково-технічна революція, загостривши суперечності між людиною й природою, зумовила необхідність розв'язання багатьох екологічних проблем.

Сьогодні, коли на всій планеті внаслідок діяльності людини відбуваються глобальні зміни як у живій, так і в неживій природі, особливо актуальною постає проблема захисту навколишнього середовища від забруднення техногенними викидами. Масштаби господарської діяльності людини й перетворення природних умов, вплив на навколишнє середовище та на здоров'я людини вимагають ефективного й цілеспрямованого здійснення наукових, технічних заходів у галузі охорони навколишнього середовища. Ці завдання покликані вирішувати природоохоронні технології.

Предметом курсу «Процеси та апарати природоохоронних технологій» є вивчення теорії основних фізико-хімічних процесів, методів їх раціонального апаратурно-технологічного оформлення, а також принципів будови й методів інженерного розрахунку апаратів і машин, які використовуються для проведення природоохоронних процесів.

Цей курс логічно пов'язує загальні закономірності математики, фізики, хімії з екологією. Вивчення основних закономірностей процесів природоохоронних технологій ґрунтується на знанні основних фізико-хімічних законів і ставить своїм завданням підготовку фахівців, здатних вирішувати питання захисту навколишнього середовища шляхом грамотної організації технологічних процесів, вибору й розрахунку високоефективного обладнання, розроблення та створення нових природоохоронних процесів, технологій й обладнання.

Місце курсу «Процеси та апарати природоохоронних технологій» у професійній підготовці випускника пов'язане зі створенням необхідної бази для розуміння фізико-хімічної сутності технологічних процесів захисту навколишнього середовища, а саме: процесів осадження, фільтрування, коагуляції, флокуляції, абсорбції, адсорбції, конденсації, флотації, рідинної екстракції, іонного обміну, електрохімічного окиснення й відновлення, електрокоагуляції та електрофлотації, піролізу, вогневого знешкодження тощо.

Мета курсу «Процеси та апарати природоохоронних технологій» — надати необхідні знання про основні методи й закономірності фізико-хімічних процесів захисту навколишнього середовища, основи технологій очищення пилогазових викидів, рідких скидів, утилізації й переробки твердих відходів.

Загальними завданнями курсу «Процеси та апарати природоохоронних технологій» є:

- набуття базових знань про фізико-хімічні процеси, які лежать в основі очищення відхідних газів, стічних вод й утилізації твердих відходів;
- формування практичних навичок розрахунків параметрів фізико-хімічних процесів захисту атмосфери, гідросфери та літосфери.

Курс «Процеси та апарати природоохоронних технологій» складається з таких розділів:

1. Теоретичні основи.
2. Процеси та апарати захисту атмосфери.
3. Процеси та апарати захисту гідросфери.
4. Процеси та апарати захисту літосфери.

Вивчення цих розділів допомагає визначити місце й роль даної дисципліни в системі вищої екологічної освіти, її зв'язок з іншими дисциплінами. У підручнику наводяться приклади взаємозв'язку захисту навколишнього середовища й фізико-хімічних дисциплін, класифікація основних методів і способів, фізико-хімічна сутність основних процесів захисту навколишнього середовища, основ природоохоронних технологій.

У результаті вивчення курсу студенти повинні:

- *знати:*
  - основні фізико-хімічні процеси очищення аерозолів, колоїдних систем, розчинів і стічних вод;
  - основні фізико-хімічні процеси, що лежать в основі утилізації твердих промислових відходів;
- *уміти:*
  - пояснити з наукових позицій явища, процеси, що відбуваються під час очищення газових викидів в атмосфері, стічних вод у гідросфері й твердих відходів у літосфері;
  - правильно вибрати метод і спосіб захисту атмосфери, гідросфери, літосфери в разі викидів й скидання в них промислових відходів;
  - оцінювати основні фізико-хімічні параметри процесів захисту навколишнього середовища.

# Забруднення та основні природоохоронні процеси

---

Основні технічні рішення проблеми захисту навколишнього середовища полягають в удосконаленні технологічних процесів з метою максимального запобігання викидів шкідливих речовин. Реальний шлях екологізації промислової технології – це поступовий перехід до мало-відхідних, а потім і безвідхідних замкнутих циклів, що надає можливість досягти раціонального природокористування й охорони навколишнього середовища.

Однак сучасний рівень розвитку техніки не дає можливості повністю запобігти викидів, і тому якість навколишнього середовища визначається здебільшого ефективністю обладнання, що використовується в природоохоронних технологіях.

## 1.1. Показники якості навколишнього середовища

*Забрудненням навколишнього середовища* називається зміна якості середовища, здатна викликати негативні наслідки. Вважається, що однакові агенти справляють однаковий негативний вплив незалежно від їхнього походження, тому пил, джерелом якого є природне явище (наприклад, пилові бурі), становить собою таку саму забруднюючу речовину, як і пил, що викидається промисловим підприємством, хоча останній може бути більш токсичним за своїм складом.

Розрізняють такі види забруднень навколишнього середовища:

1. *Механічне* – забруднення навколишнього середовища агентами, що справляють лише механічну дію без хіміко-фізичних наслідків.

2. *Хімічне* – зміна хімічних властивостей середовища, що чинять негативний вплив на екосистеми та технологічні пристрої.

3. *Фізичне* — зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплове), хвильових (світлове, шумове, електромагнітне), радіаційних і т.п. Наприклад, теплове забруднення відбувається здебільшого через промислові викиди нагрітого повітря, газів, що відходять, і води; може виникати і як вторинний результат зміни хімічного складу середовища.

5. *Біологічне* — проникнення в екосистеми видів тварин і рослин, не притаманних даним екосистемам.

а) Біотичне — поширення певних біогенних речовин на території, де вони раніше не спостерігалися.

б) Мікробіологічне:

- поява надзвичайно великої кількості мікроорганізмів, пов'язана з їхнім масовим розмноженням на антропогенних субстратах або в середовищах, змінених у ході господарської діяльності людини;
- набуття раніше нешкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей або здатності пригнічувати інші організми в угрупованнях.

Усі наведені види забруднень взаємозалежні, і кожне з них може спричинити виникнення інших. Зокрема, хімічне забруднення атмосфери може викликати підвищення вірусної активності, а отже, і біологічне забруднення.

Вміст тих чи інших забруднень навколишнього середовища регламентується чинним законодавством.

Відповідно до статті 33 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» під *нормуванням якості навколишнього природного середовища* розуміють діяльність зі встановлення нормативів гранично допустимих впливів на неї. Нормативи в галузі охорони навколишнього середовища — це установлені нормативи якості навколишнього середовища й нормативи допустимого впливу на нього, дотримання яких забезпечує стійке функціонування природних екологічних систем та збереження біологічного різноманіття. Закон кваліфікує забруднення навколишнього середовища як різновид несприятливих впливів, виходячи із припущення про існування допустимих норм шкідливих впливів на природу, що гарантують екологічну безпеку населення, збереження генофонду та забезпечують раціональне використання й відтворення природних ресурсів за умов сталого розвитку господарської діяльності. Нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у навколишньому природному

середовищі й рівні шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього є єдиними для всієї території України.

Екологічні нормативи в галузі охорони навколишнього середовища встановлюють гранично допустимі викиди й скиди в навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні допустимого шкідливого впливу на нього фізичних і біологічних факторів. Для оцінки забруднення навколишнього середовища використовуються такі нормативи:

- *нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) хімічних речовин*, у тому числі радіоактивних, інших речовин і мікроорганізмів, – нормативи, які встановлені відповідно до показників гранично допустимого вмісту хімічних речовин, у тому числі радіоактивних, інших речовин і мікроорганізмів у навколишньому середовищі й недотримання яких може призвести до забруднення навколишнього середовища, деградації природних екологічних систем;
- *нормативи допустимих фізичних впливів* – нормативи, які встановлені відповідно до рівнів допустимого впливу фізичних факторів на навколишнє середовище й за дотримання яких забезпечуються нормативи якості навколишнього середовища.

Критеріями якості навколишнього середовища служать гранично допустимі концентрації (ГДК), що є гігієнічними нормами. В Україні встановлені гігієнічні нормативи більш ніж для 1800 речовин та їх комбінацій, причому всі ці речовини віднесено до одного з чотирьох класів безпеки забруднюючих речовин (найбільш небезпечним є 1-й клас, найменш небезпечним 4-й).

Значення ГДК не несуть інформації про вплив забруднень на інші об'єкти та їх трансформації у біосфері. Однак вони мають важливе значення для вирішення організаційних проблем охорони навколишнього середовища.

**Атмосферне повітря.** Відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» *норматив якості атмосферного повітря* – це критерій якості атмосферного повітря, який відображає гранично допустимий максимальний вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі й за якого відсутній негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища.

Для повітря населених пунктів установлено два види ГДК:

- 1) *максимально разова ГДК* (ГДК<sub>м.р</sub>) – з метою попередження негативних рефлекторних реакцій (відчуття запаху, світлової чутливості очей і т.п.) у разі короткочасного впливу домішок (протягом 20 хв);



2) *середньодобова ГДК* ( $ГДК_{с.д.}$ ) – для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного й інших виглядів впливу домішок на організм людини; у цьому разі концентрація шкідливих речовин визначається в пробах, відібраних протягом 20–30 хвилин.  $ГДК_{с.д.}$  не повинна чинити на людину прямого або непрямого шкідливого впливу під час невизначено довгого вдихання. Це основний норматив оцінки стану атмосферного повітря із санітарно-гігієнічного погляду.

Найбільша концентрація  $C$  будь-якої шкідливої речовини в приземному шарі повітря за межами санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства не повинна перевищувати максимальної разової гранично допустимої концентрації:

$$C \leq ГДК_{м.р}. \quad (1.1)$$

У разі одночасної наявності в атмосфері кількох шкідливих речовин, що мають односпрямовану дію, їх безрозмірна сумарна концентрація має задовольняти умову:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (1.2)$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрація шкідливих речовин в атмосфері в одній і тій самій точці місцевості,  $мг/м^3$ ;

$ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$  – максимальні разові гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосфері,  $мг/м^3$ .

Допустимо, що в повітрі концентрація фенолу  $C_{\phi} = 0,345$   $мг/л$ , ацетону  $C_{ац} = 0,009$   $мг/л$ , а  $ГДК_{\phi} = 0,35$   $мг/л$ ,  $ГДК_{ац} = 0,01$   $мг/л$ . Таким чином, для кожної з речовин зазначене співвідношення є меншим 1:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} < 1; \quad \frac{C_2}{ГДК_2} < 1.$$

Оскільки ці речовини мають ефект сумачії, то загальне забруднення фенолом і ацетоном перевищить гранично допустиме, тому що

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} = 0,986 + 0,9 = 0,986 + 0,9 = 1,886 > 1.$$

Ефект односпрямованої дії (сумачії) має ряд шкідливих речовин:  $SO_2$  і  $NO_2$ ,  $SO_2$  і  $H_2S$ , сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна,

азотна), озон, формальдегід та інші (більше 30 найменувань речовин у різній комбінації одна з одною).

Для більш повної оцінки якості середовища використовують інший критерій: ГДЕН – *гранично допустиме екологічне навантаження*. Для повітря це ГДВ – гранично допустимий викид, г/с; для води ГДС – гранично допустимий скид, г/с. Ці величини характеризують навантаження, створюване підприємством на навколишнє середовище за одиницю часу, і мають бути обов'язково внесені до екологічного паспорту підприємства.

**Гранично допустимий викид в атмосферу (ГДВ)** – норматив, який встановлюється з умови, щоб вміст забруднюючих речовин у приземному шарі повітря від стаціонарного джерела або сукупності джерел не перевищував рівня забруднень, визначених нормативами якості повітря для населення, а також для тваринного та рослинного світу.

Для виявлення зв'язку між ГДВ і ГДК досліджують закономірності поширення домішок від їх джерел до зони впливу з урахуванням турбулентної дифузії в атмосфері.

**Природні води.** Під *забрудненням водних ресурсів* розуміють будь-які зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей води у водоймах через скидання у них рідких, твердих і газоподібних речовин, які заподіюють шкоду або можуть створити незручності, роблячи воду цих водойм небезпечною для використання, завдаючи збиток народному господарству, здоров'ю й безпеці населення.

Забруднення поверхневих і підземних вод можна поділити на такі типи:

- *механічне* – підвищення вмісту механічних домішок, властиве здебільшого поверхневим видам забруднень;
- *хімічне* – наявність у воді органічних і неорганічних речовин токсичної й нетоксичної дії;
- *бактеріальне і біологічне* – наявність у воді різноманітних патогенних мікроорганізмів, грибів і дрібних водоростей;
- *радіоактивне* – наявність радіоактивних речовин у поверхневих або підземних водах;
- *теплове* – скид у водойми підігрітих стічних промислових вод.

Якість природних вод залежить від складу й кількості розчинених і зважених речовин, мікроорганізмів, гідробіонтів, а також від температури, кислотності та інших фізико-хімічних показників.

Отже, оцінка якості води може здійснюватися за фізичними, хімічними, бактеріологічними й гідробіологічними показниками. У «Пра-

вилах охорони поверхневих вод від забруднення оборотними водами» наводиться визначення поняття «категорія якості води». **Категорія якості води** – це показник ступеня забруднення водного об'єкта, який визначається за сукупністю встановлених показників складу й властивостей води та дотримання якого є обов'язковим протягом певного часу.

У сфері використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів устанавлюються такі нормативи:

- 1) нормативи екологічної безпеки водокористування;
- 2) екологічний норматив якості води водних об'єктів;
- 3) нормативи гранично допустимого скиду забруднюючих речовин;
- 4) галузеві технологічні нормативи утворення речовин, що скидаються у водні об'єкти;
- 5) технологічні нормативи використання води.

Для оцінки можливостей використання води з водних об'єктів для потреб населення та галузей економіки встановлюються **нормативи екологічної безпеки водокористування**, які забезпечують безпечні умови водокористування, а саме:

- гранично допустимі концентрації речовин у водних об'єктах, вода яких використовується для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення;
- гранично допустимі концентрації речовин у водних об'єктах, вода яких використовується для потреб рибного господарства;
- допустимі концентрації радіоактивних речовин у водних об'єктах, вода яких використовується для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.

Для оцінки екологічного благополуччя водних об'єктів та визначення комплексу водоохоронних заходів встановлюється **екологічний норматив якості води**, який містить науково обґрунтовані значення концентрацій забруднюючих речовин та показники якості води (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні). При цьому ступінь забруднення водних об'єктів визначається відповідними категоріями якості води.

**Нормативи гранично допустимого скиду** забруднюючих речовин встановлюються з метою поетапного досягнення екологічного нормативу якості води водних об'єктів.

Для оцінки екологічної безпеки виробництва встановлюються **галузеві технологічні нормативи утворення речовин, що скидаються у водні об'єкти, та тих, що подаються на очисні споруди**, тобто нормативи гранично допустимих концентрацій речовин у стічних водах, що

утворюються в процесі виробництва одного виду продукції під час використання однієї й тієї самої сировини.

Для оцінки та забезпечення раціонального використання води у галузях економіки встановлюються **технологічні нормативи використання води**, а саме:

- поточні технологічні нормативи використання води – для існуючого рівня технологій;
- перспективні технологічні нормативи використання води – з урахуванням досягнень на рівні новітніх світових технологій.

Нормування якості води водного об'єкта здійснюється шляхом встановлення сукупності допустимих значень показників її складу та властивостей, у межах яких гарантуються безпечні умови водокористування і які встановлюються для води, що вживається для задоволення питних, господарсько-побутових і рекреаційних потреб, а також потреб рибного господарства. На ділянках водних об'єктів, які перебувають у межах населених пунктів, незалежно від цілей водокористування нормативи встановлюються як для води, що використовується для задоволення господарсько-побутових потреб.

Стандарти та нормативи якості води різні для водних об'єктів санітарно-побутового й рибогосподарського призначення. **Санітарно-гігієнічні нормативи якості води** – це науково обґрунтовані величини концентрації забруднюючих речовин і показники якості води (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні), які не впливають безпосередньо або опосередковано на життя й здоров'я населення; **рибогосподарські нормативи якості води** – науково обґрунтовані величини концентрації забруднюючих речовин і показники якості води, які не впливають на збереження й відтворення промислово цінних виглядів риб.

Розрізняють:

- ГДК<sub>В</sub> – гранично допустима концентрація речовини у воді водоїми господарсько-питного й культурно-побутового водокористування, мг/л. Ця концентрація не повинна справляти прямої або непрямої дії на організм людини протягом усього її життя, а також на здоров'я наступних поколінь і не повинна погіршувати гігієнічні умови водокористування, мг/л;
- ГДК<sub>В,Р</sub> – гранично допустима концентрація речовини у воді водоїми, що використовуються для рибогосподарських цілей, мг/л.