


Лекція №2  
**ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ В РЕОЛОГІЇ**

**Мета:** ознайомлення із класифікацією дисперсних систем і класифікацією структур дисперсних систем; розгляд видів і форм зв'язку вологи з харчовим матеріалом; вивчення методів визначення масової частки вологи в харчових продуктах.

**План**

- 2.1. Класифікація дисперсних систем.
- 2.2. Класифікація структур дисперсних систем.
- 2.3. Види та форми зв'язку вологи з харчовим матеріалом.
- 2.4. Методи визначення масової частки вологи в харчових продуктах.

 **Ключові терміни та поняття:** дисперсійне середовище, дисперсна фаза, фаза, золь, гель, пил, дим, твердий аерозоль, рідкий аерозоль, суспензія, емульсія, піна, туман, тверда суспензія, сплав, тверда емульсія, пористе тверде тіло, тверда піна, коагуляційні структури, конденсаційно-кристалізаційні структури, тиксотропія, криві течії або деформування (реограми), хімічний зв'язок, фізико-хімічний зв'язок, фізико-механічний зв'язок, адсорбційна волога, осмотична волога, вільна волога, зв'язана волога.

### **2.1. Класифікація дисперсних систем**

Класичними об'єктами інженерної фізико-хімічної механіки є дисперсні системи, що складаються з двох чи більше фаз.

**Дисперсні системи** (лат. *dispersio* – розсіювання + грец. *systema* – комплекс, або організоване ціле) – гетерогенна система, що складається з безперервного рідкого, твердого або газоподібного середовища (дисперсійне середовище), в якому розподілена велика кількість малих частинок однієї або декількох речовин і дисперсної фази. У них **дисперсійним середовищем** є безперервна фаза, **дисперсною фазою** – роздрібнена фаза, що складається з частинок, які не контактують одна з одною.

**Фаза** – сукупність гомогенних частин системи, обмежених від інших частин фізичними поверхнями розділу.

Класифікацію харчових дисперсних систем продуктів, яка не враховує дисперсність і тип контактів між фазами, подано в таблиці 1.

При визначенні реологічної поведінки продукту (див. табл. 1) класифікаційні дані дозволяють віднести його до тієї чи іншої групи: сипучих, рідинно- і твердоутворювальних (залежно від концентрації дисперсної фази) або твердих.

Рідинноутворювальні продукти в реології називають **золями**, а твердоутворювальні продукти – **гелями**.

Таблиця 1 – Класифікація харчових дисперсних систем продуктів

Дисперсійне середовище	Дисперсна фаза	Назва системи	Приклади продуктів (у тому числі сировина, напівфабрикат)
1	2	3	4
Газ	Тверда	Пил, дим, твердий аерозоль	Сухий порошок (або борошно) в повітрі при пневмотранспортуванні
	Рідка	Туман, рідкий аерозоль	Дисперсія молока в розпилювальній сушарці, екстракт кави в розпилювальній сушарці
Рідина	Тверда	Суспензія	Плодоовочеві або фруктові соки з м'якоттю, сиркова маса, ковбасний фарш
		Золь	Какао-маса
	Рідка	Емульсія	Масло у воді, молоко, майонез
	Газоподібна	Піна	Крем, збиті вершки, білкова піна
Тверде тіло	Тверда	Тверда суспензія, сплав	Заморожене м'ясо, макаронні вироби, шоколад, карамель
	Рідка	Тверда емульсія	Вершкове масло, маргарин
		Пористе тверде тіло, заповнене рідиною	Овочі, фрукти
Газоподібна	Пористе тверде тіло, тверда піна	Сир, морозиво, бізе, сухарі	

Продукти в таблиці 1 віднесені до тієї чи іншої системи за найголовнішими ознаками.

Наприклад, ковбасний фарш після кутерування являє собою суспензію, насичену повітряними бульбашками, тобто трифазну систему.

Наприклад, вершкове масло залежно від температури можна віднести до різних систем. Механічний вплив (різання, збивання, перемішування) також може викликати перехід з одного виду дисперсії в інший.

Складні дисперсні системи харчових продуктів подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Складні дисперсні системи харчових продуктів

Дисперсійне середовище	Дисперсна фаза	Приклади продуктів
1	2	3
Кристалічна форма какао-масла	Кристали цукру, тверді частинки какао, пухирці повітря	Шоколад
Кристалічна водяниста фаза	Пухирці повітря, краплі жиру, білкові макромолекули	Морозиво
Крохмальний і білковий гель	Пухирці повітря, частково кристалічні молекули крохмалю, частинки висівок	М'якуш хліба
Целюлоза, білкова оболонка	Крапельки рідини, пухирці повітря, крохмальні зерна	Фрукти, овочі, картопля, зерно, олійне насіння
Білкові макромолекули	Краплі рідини, кістки, краплі жиру	М'ясо

## 2.2. Класифікація структур дисперсних систем

Структура (внутрішня будова продукту) та характер взаємодії між окремими її елементами (частинками) визначаються хімічним складом, біохімічними показниками, температурою, дисперсністю, агрегатним станом і певними технологічними чинниками.

Структури дисперсних систем у стані термодинамічної рівноваги за П.А. Ребіндером розподіляються на дві групи:

**1. Коагуляційні структури**, в яких взаємодія між елементами відбувається через тонкий шар дисперсійного середовища й обумовлена силами Ван-дер-Ваальса. Ці структури можуть виявляти властивості неньютонівських рідин (тиксотропію, реопексію, в'язкопружність і пластичність). Термодинамічно стабільні системи, в яких із поверхнею частинок міцно з'єднані фрагменти молекул, здатні без втрати цього зв'язку розчинятись у дисперсійному середовищі.

Дисперсійне середовище знаходиться у зв'язаному стані. Коагуляційні структури володіють здатністю до самовільного відновлення після руйнування (**тиксотропія**). Наприклад, тиксотропія властива дисперсним системам і виявлена у багатьох напівфабрикатах і продуктах харчової промисловості.

Наростання міцності після руйнування відбувається поступово, зазвичай до первинної міцності. Товщина прошарків певною мірою залежить від вмісту дисперсійного середовища. При збільшенні його вмісту значення зсувних властивостей зазвичай зменшуються, а система із твердоутворювальної переходить у рідинноутворювальну. При цьому ступінь дисперсності, тобто

переважаючий розмір частинок, навіть при постійній концентрації фази впливає на стан системи та її міцність.

При зневодненні коагуляційних структур (при збільшенні вмісту дисперсної фази) міцність їх підвищується, але після певної межі вони втрачають зворотно-тиксотропну здатність. Відновлюваність структури зберігається в пластично-в'язкому середовищі, коли руйнування просторового каркаса відбувається без порушення суцільності.

При найбільшому ступені ущільнення структури та найменшій товщині прошарків рідкого середовища відновлюваність і пластичність зникають, крива міцності залежно від вологи дає злам. При цьому контакти частинок залишаються ще точковими; вони можуть переходити у фазові шляхом спікання або зрощення при значному підвищенні температури.

Для опису довговічності структури, наприклад, желатину й альбуміну під дією навантаження процес руйнування розглядається як термомеханічний, коли завдяки тепловому впливу долається енергетичний бар'єр (енергія активації), послаблений впливом механічного напруження.

При утворенні коагуляційних структур у багатьох продуктах харчової промисловості суттєву роль відіграють поверхнево-активні речовини та й розчинені у воді білки, які виконують роль емульгаторів і стабілізаторів, тобто систем, що утворюються й можуть істотно змінювати їх структурно-механічні характеристики.

Вони сильно змінюються за умов нагрівання, введення ПАР, зміни кислотності та інших впливів.

**2. Конденсаційно-кристалізаційні структури**, що виникають під час зчеплення однотипних елементів на межі фаз. Такі структури мають відносно високу міцність, пружність і крихкість. Після руйнування вони не відновлюються.

Конденсаційно-кристалізаційні структури властиві натуральним продуктам, проте можуть утворюватись із коагуляційних структур при видаленні дисперсійної фази в розчинах.

У процесі утворення ці структури можуть мати ряд перехідних станів: коагуляційно-кристалізаційні, коагуляційно-конденсаційні. Їх утворення характеризується безперервним наростанням міцності.

**Характерними ознаками конденсаційно-кристалізаційних структур є:**

1) велика, порівняно з коагуляційними структурами, міцність, яка обумовлена високою міцністю самих контактів;

2) відсутність тиксотропії та незворотний характер руйнування;

3) висока крихкість і пружність через жорсткий скелет структури;

4) наявність внутрішніх напружень, які виникають у процесі утворення фазових контактів, що в подальшому призводять до перекристалізації та самовільного зниження міцності аж до порушення суцільності (наприклад, розтріскування при сушці).

Таким чином, вигляд структури продукту обумовлює його якісні й технологічні показники та поведінку в процесах деформування. Для їх опису використовують криві течії або деформування (реограми), які зв'язують між

собою напруження та швидкість деформації (або деформацію). Характер реограм, як правило, дає можливість віднести даний реальний продукт до того чи іншого виду реологічних тіл.

### 2.3. Види та форми зв'язку вологи з матеріалом

Більшість продуктів харчової промисловості в тих або інших кількостях містять воду. Вода в більшості систем є дисперсійним середовищем та значною мірою визначає структуру продукту. Тому вид або форма зв'язку вологи з продуктом визначає технологічні показники продукту та його структурно-механічні характеристики.

П.О. Ребіндер запропонував класифікацію **видів зв'язку вологи з матеріалом**:

**1. Хімічний зв'язок** (іонний, молекулярний) – зв'язок, обумовлений іонними й молекулярними взаємодіями в точних кількісних співвідношеннях.

Матеріалами з хімічним зв'язком вологи є:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (іонний зв'язок) і  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (гідратна вода, молекулярний зв'язок). Для порушення цього зв'язку потрібно застосовувати прожарювання або хімічний вплив. Вона різко відрізняється за своїми властивостями від вільної.

**2. Фізико-хімічний зв'язок** (адсорбційний, осмотичний) – зв'язок, обумовлений адсорбцією вологи в гідратних оболонках або осмотичним утриманням у клітинах у певних співвідношеннях. Волога виділяється з матеріалу випарюванням, десорбцією (адсорбційна) або внаслідок різниці концентрацій (осмотична).

**Адсорбційна волога** міцно утримується на поверхні та в порах матеріалу. Ця волога зумовлює диспергування часток і пластифікацію системи. Вона звичайно властива структурам коагуляційного типу, проте може існувати й у структурах інших типів.

**Осмотична волога** викликає набрякання матеріалу (тіла); властива клітинним структурам.

Адсорбційна волога потребує для свого видалення значно більших витрат енергії, ніж волога набрякання.

Присутність адсорбційної, осмотичної вологи особливо характерна для колоїдних, полімерних і рослинних матеріалів.

**3. Фізико-механічний зв'язок** (волога в капілярах і макрокапілярах, волога змочування) – зв'язок, обумовлений утриманням вологи в осередках структури (імобілізаційна), в мікро- та макрокапілярах прилипанням її до поверхні тіла (змочування) в певних співвідношеннях. Виділяється з матеріалу випарюванням або механічними способами (віджиманням, центрифугуванням тощо).

Основна маса води перебуває у вільному стані та не змінює своїх властивостей.

Виокремлюють **вільну та зв'язану** вологу в харчовому матеріалі.

**Вільна волога** – волога, швидкість випарювання якої з матеріалу дорівнює швидкості випарювання води з вільної поверхні.

**Зв'язана волога** – волога, швидкість випарювання якої з матеріалу менша від швидкості випарювання води з вільної поверхні.

Наприклад, при збільшенні вмісту вологи її надлишок перестає бути пов'язаним із харчовим продуктом і мимовільно відділяється від продукту в процесі відстоювання, розшарування тощо.

Форми зв'язку вологи в харчових продуктах:

- 1) колоїдна форма (фізико-хімічна зв'язана волога);
- 2) капілярно-пориста форма (фізико-механічна зв'язана волога);
- 3) колоїдно-капілярно-пориста форма (фізико-хімічна зв'язана волога та фізико-механічна зв'язана волога). Наприклад, м'ясний фарш, сиркова маса тощо.

#### **2.4. Методи визначення масової частки вологи в харчових продуктах**

Методи визначення вологи поділяються на дві групи – **прямі та непрямі** (рис. 2).

**Прямі методи** ґрунтуються на розділенні матеріалу на суху речовину й воду з використанням тепла, безводних розчинників і хімічних реактивів.

**Непрямі методи** ґрунтуються на вимірюванні зміни фізичних величин і властивостей, функціонально пов'язаних із вологістю матеріалів.

### **? Контрольні питання**

1. Що являють собою дисперсні системи? Чим відрізняється дисперсійне середовище від дисперсійної фази?
2. Розкрийте сутність поняття «фаза».
3. Як у реології називаються рідинноутворювальні та твердоутворювальні продукти?
4. Перерахуйте дисперсійні середовища та дисперсійні фази.
5. Надайте класифікацію харчових дисперсних систем. Наведіть приклади систем.
6. На які структури можна розподілити харчові продукти згідно із класифікацією П.А. Ребіндера?
7. Розкрийте сутність тиксотропії. Поясніть, як вона відбувається.
8. Назвіть характерні ознаки конденсаційно-кристалізаційних структур.
9. Надайте класифікацію видів зв'язку вологи з матеріалом (за П.О. Ребіндером).
10. Як класифікується волога в харчовому матеріалі?
11. Укажіть форми зв'язку вологи у продуктах.
12. Назвіть методи визначення масової частки вологи в харчових продуктах. Охарактеризуйте їх та вкажіть 1-3 методики.

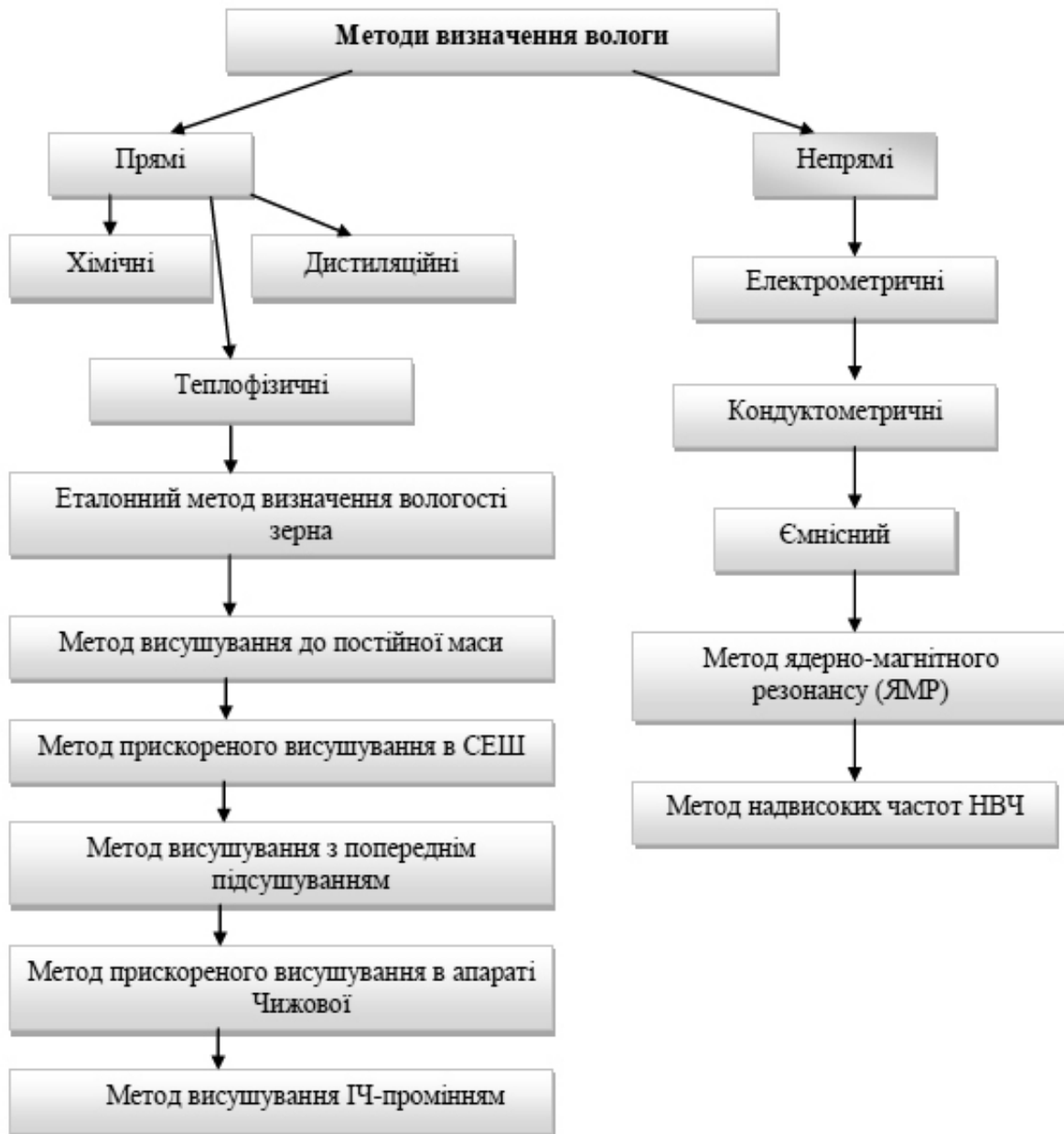


Рисунок 2 – Методи визначення масової частки вологи в харчових продуктах

### Практичне завдання

1. Наведіть приклади харчових продуктів відносно основної класифікації дисперсних систем.