

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

Методичні вказівки

до виконання лабораторного практикуму з дисципліни

«Методи контролю продукції в галузі»

Частина 1. Фізичні методи дослідження продовольчої сировини і харчової продукції

для студентів напряму підготовки:

6.051701 – «Харчові технології та інженерія» піднапрямку «Технологія харчування»

ХАРКІВ 2014

Обговорено і схвалено на засіданні кафедри енергетики та фізики протокол №____
від____

Завідувач кафедри енергетики
та фізики, проф.

_____ Погожих М.І.

Схвалено методичною комісією НН ІХТБ ХДУХТ

Протокол від. “ _____ ” _____ 20__ року № ____

“ _____ ” _____ 20__ року

Голова

_____ О.В. Самохвалова
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент:

доцент кафедри загальної та
харчової хімії, канд. тех. наук

_____ Самойленко С.О.

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму з дисципліни «Методи контролю продукції в галузі» призначені для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.051701 – «Харчові технології та інженерія» піднапряму «Технологія харчування». Виконання лабораторних робіт є обов'язковою складовою навчального процесу з цієї дисципліни. Лабораторний практикум необхідний студентам для опанування сучасними фізико-хімічними методами дослідження, які застосовуються під час аналізу продовольчої сировини і харчової продукції, для набуття студентами навичок та вмінь працювати з лабораторним устаткуванням.

Метою лабораторних занять є:

- закріпити теоретичний матеріал лекційного курсу;
- дати змогу детально ознайомитись з пристроями та характеристиками найбільш важливих приладів, які складають лабораторний практикум; ознайомити з методами вимірювання та основними приладами, які застосовують в лабораторії;
- навчити техніці безпеки експериментальних досліджень фізичних моделей та промислових зразків пристроїв;
- навчити вимірювати основні величини: довжину, час, тиск, температуру, масу;
- навчити використовувати різні методи аналізу і оцінювати похибки вимірювань;
- навчити робити висновки щодо виконаного дослідження та вміти аналізувати ступінь придатності досліджуваних пристроїв для рішення практичних завдань.

До кожної лабораторної роботи сформульовані завдання, наведені необхідні теоретичні відомості, надано принципові схеми приладів, наведено порядок виконання роботи та форми таблиць для запису отриманих дослідних даних. Крім того, надані контрольні запитання для самоперевірки та контролю з боку викладача.

Виконання кожної лабораторної роботи включає п'ять етапів: вивчення теоретичних положень майбутньої роботи, ознайомлення з приладом, проведення експерименту, обробки його результатів, складання та захист звіту.

Методичні вказівки допоможуть студентам оволодіти технікою фізичних розрахунків; навчать розв'язувати прикладні задачі, самостійно отримувати висновки із одержаних результатів та відповідати за них; будуть сприяти формуванню соціально-особистісних та інструментальних компетенцій, дослідницьких навичок, навичок роботи з комп'ютером, використання програмних засобів, Інтернет-ресурсів.

ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

До роботи в лабораторії допускаються студенти, які прослухали та вивчили розділи теоретичного курсу, де викладено матеріал з теми лабораторних занять, а також опанували вимоги техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт.

Кожен студент повинен заздалегідь підготуватись до лабораторного заняття, використавши лекційний матеріал, рекомендовану навчальну літературу та відповісти на питання, які дає викладач щодо теми заняття.

Ознайомитися з приладом, який використовується у лабораторній роботі та виконати необхідні вимірювання.

Кожна робота виконується з приладами, спеціально для неї призначеними.

Під час роботи з електровимірювальними приладами студент повинен слідкувати за тим, щоб вимірювана величина не перевищувала допустимих значень.

У випадку виникнення несправності чи аварійного стану установки студент повинен вимкнути її та сповістити викладача.

Після закінчення дослідження кожен студент повинен до вимикання установки або до припинення роботи з приладом пред'явити викладачу на підпис бланк з результатами спостережень. Якщо результати дослідів будуть визнані незадовільними чи зовсім не будуть пред'явлені викладачу, то у такому випадку робота не зараховується і знову призначається студенту до виконання.

Кожен студент до майбутнього лабораторного заняття повинен пред'явити викладачу окремий звіт з виконаної роботи, без якого студент не буде допущений до виконання наступної роботи.

У звіті необхідно привести результати спостережень, розрахунків та відповідні графіки, а також скласти висновок за результатами виконаної роботи.

Графіки рекомендується креслити з нанесенням масштабу на координатні вісі.

Зміст

Лабораторна робота №1. «Концентраційна спектрофотометрія розчинів»	6
Лабораторна робота №2. «Дослідження в'язкості неньютонівських рідин ротаційними віскозиметрами»	1 3
Лабораторна робота №3. «Визначення кількості вимороженої та невимороженої вологи харчової сировини низькотемпературним калориметричним методом»	2 2
Лабораторна робота №4. «Визначення якості харчових продуктів методом люмінесцентного аналізу»	3 1
Лабораторна робота №5. «Визначення коефіцієнтів тертя харчових матеріалів»	3 6

Лабораторна робота №1

КОНЦЕНТРАЦІЙНА СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ РОЗЧИНІВ

Мета роботи

1. Ознайомитися з фотометричним методом кількісного аналізу;
2. Вивчити та засвоїти практично метод фотометричного визначення концентрації забарвлених розчинів.

Прилади та матеріали

1. Фотометр фотоелектричний КФК-3;
2. Кювети;
3. Розчини.

Теоретичні відомості

Фотометричний метод кількісного аналізу ґрунтується на переведенні визначеного компонента у сполуку, яка поглинає світло; кількість цього продукту реакції встановлюють шляхом вимірювання світлопоглинання. Область застосування фотометричних методів аналізу практично не має обмежень, сьогоденню відомі досить прості фотометричні методи визначення майже всіх елементів або їх сполук. Для фотометричного визначення органічних компонентів найчастіше використовують реакції синтезу забарвлених сполук.

Залежно від характеру виникаючих змін виділяється кілька видів фотометрії (колориметрія, нефелометрія, флуориметрія, рефрактометрія, поляриметрія та інші). Фотометричні методи аналізу характеризуються високою чутливістю, яка досягає 10^{-4} - 10^{-6} % визначеного елемента у твердоподібних зразках та 10^{-5} - 10^{-7} % – у водяних розчинах.

До фотометричних методів найчастіше відносять спектрофотометричний та колориметричний методи. Вони ґрунтуються на загальному принципі – існуванні пропорційної залежності між світлопоглинанням будь-якої речовини, її концентрацією і товщиною поглинаючого шару. Але названі методи істотно відрізняються за тими завданнями, які можуть бути вирішені з їх допомогою.

У колориметричному методі як джерело освітлення використовується немонохроматизований потік променистої енергії видимої ділянки спектра. Тому цей метод застосовується тільки в концентраційному аналізі, тобто при визначенні концентрації речовини в розчині.

Завдання концентраційного аналізу вирішуються також і за допомогою спектрофотометричного методу, але на відміну від колориметричного методу в ньому використовується завжди монохроматичний потік променистої енергії різних ділянок спектра (видимого, ультрафіолетового, інфрачервоного). Це значно розширює можливості спектрофотометричного методу в порівнянні з колориметричним.

Спектрофотометрія є одним з найбільш важливих методів вивчення реакцій між речовинами у розчині, а також вивчення складу та будови сполук, впливу різних факторів на рівноваги між реагуючими речовинами.

Розглянемо основні закони світлопоглинання, на яких ґрунтуються фотометричні методи. При пропусненні світла через шар речовини його інтенсивність зменшується внаслідок взаємодії світлової хвилі з електронами речовини. В результаті взаємодії частина світлової енергії передається електронам речовини. Це явище одержало назву *поглинання світла*. Закон поглинання монохроматичного світла речовиною має наступний вигляд:

$$I_l = I_0 \cdot e^{-k_\lambda \cdot l}, \quad (1.1)$$

де I_l – інтенсивність світла, яке пройшло через шар речовини товщиною l ; I_0 – інтенсивність світла, яке падає на поверхню розчину; k_λ – монохроматичний

натуральний показник поглинання, який залежить від властивостей речовини. Цей вираз отримав назву *закон Бугера*. Він показує, що інтенсивність світла зменшується в геометричній прогресії, якщо товщина шару зростає в арифметичній прогресії. Натуральний монохроматичний показник поглинання k_λ є величиною, зворотною товщині розчину, на якому інтенсивність світла послаблюється у результаті поглинання середовищем в e разів.

В лабораторній практиці закон Бугера представляють звичайно як показникову функцію з основою 10:

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-k'_\lambda \cdot l}, \quad (1.2)$$

де $k'_\lambda = 0.43 \cdot k_\lambda$; k'_λ – монохроматичний молярний показник поглинання.

Монохроматичний натуральний показник поглинання розчину поглинаючої речовини в непоглинаючому розчиннику пропорційний концентрації C розчину (*закон Бера*):

$$k_\lambda = k_{1\lambda} \cdot C, \quad (1.3)$$

де $k_{1\lambda}$ – натуральний монохроматичний показник поглинання, віднесений до концентрації речовини.

Закон Бера виконується тільки для розбавлених розчинів. У концентрованих розчинах він порушується внаслідок взаємодії між близько розташованими молекулами поглинаючої речовини.

Підставляючи вираз (1.3) у рівність (1.2), отримуємо *закон Бугера-Ламберта-Бера*:

$$I_l = I_0 \cdot e^{-k_{1\lambda} \cdot C \cdot l}, \text{ або } I_l = I_0 \cdot 10^{-k'_{1\lambda} \cdot C \cdot l}. \quad (1.4)$$

Співвідношення $\tau = \frac{I_l}{I_0}$ називають *коефіцієнтом пропускання*, а величину

$D = \lg\left(\frac{l}{\tau}\right) = \lg\left(\frac{I_0}{I_l}\right)$ – *оптичною густиною* речовини (розчину). Тоді маємо:

$$D = k'_{l\lambda} \cdot C \cdot l. \quad (1.5)$$

Рівняння (1.5) справедливе тільки для розбавлених розчинів та є основою концентраційної колориметрії та спектрофотометрії – фотометричних методів визначення концентрації речовин у забарвлених розчинах в залежності від зміни інтенсивності світла внаслідок його поглинання при проходженні через досліджуваний розчин. При цьому звичайно визначають його оптичну густина. Для одержання достовірних результатів та збільшення їхньої точності вимірювання варто проводити їх у такій області довжин хвиль, для якої $k'_{l\lambda}$, а виходить, і D є максимальною. Вимірювання можуть бути отримані двома групами приладів: фотоелектроколориметрами або спектрофотометрами.

Фотоелектроколориметри – високоточні прилади, у яких світлові потоки, що пройшли через еталонний та досліджуваний розчини попадають на спеціальні приймачі – фотоелементи, а різниця сил струмів, яка виникає при цьому, фіксується гальванометром. У сучасних фотоелектроколориметрах отримання кінцевих кількісних результатів вимірювань спрощено застосуванням спеціальних мікро-ЕОМ.

Спектрофотометри – найбільш досконалий, хоча і більш складний прилад. В спектрофотометрі послаблення інтенсивності світлового потоку вимірюється також за допомогою фотоелементів, однак у нього наявна призма або дифракційна решітка, а також щілина. Це дозволяє виділити вузьку ділянку спектра, саме ту, з котрою "оптично реагує" забарвлена сполука. Істотною перевагою спектрофотометрів є можливість вивчення світлопоглинання в окремих ділянках спектра, тобто спостереження всього спектра поглинання, що дуже важливо для

правильного вибору оптичних умов вимірювання, а також для фізико-хімічних характеристик забарвлених сполук. Один з таких приладів типу КФК-3 застосовується в даній роботі.

Описання пристрою фотометра

Фотометр КФК-3 призначений для вимірювання коефіцієнтів пропускання та оптичної густини розчинів і прозорих твердих тіл в діапазоні довжин хвиль від 315 до 990 нм, а також, після попереднього градування, для вимірювання концентрації речовин у розчинах. У якості диспергуючого елемента у фотометрі використана дифракційна ґратка.

Принцип дії фотометра полягає у почерговому вимірюванні світлового потоку Φ_0 , який пройшов через розчинник або контрольний розчин, по відношенню до якого вимірюють, та потоку Φ_1 , який пройшов через досліджуване середовище. Світловий пучок із освітлювача падає у монохроматор через вхідну щілину та розкладається дифракційною решіткою у спектр. В монохроматичний потік випромінювання, який поступає із вихідної щілини, почергово вводять контрольний та досліджуваний зразки. В фотометрі КФК-3 світлові потоки Φ_0 та Φ_1 перетворюються в електричні сигнали U_0 і U_1 , які обробляє мікро-ЕОМ фотометра та представляє їх на цифровому табло у вигляді коефіцієнту пропускання (τ), оптичної густини (D), швидкості змінювання оптичної густини (A) та концентрації (C).

Коефіцієнт пропускання (τ) розчину, який досліджується визначається як відношення потоків чи сигналів

$$\tau = \frac{\hat{O}}{\hat{O}_0} \cdot 100\% = \frac{U - U_\delta}{U_0 - U_\delta} \cdot 100\% . \quad (1.6)$$

Оптична густина (D)

$$D = \lg \frac{l}{\tau} = \lg \frac{U_0 - U_\delta}{U - U_\delta} . \quad (1.7)$$

Швидкість змінювання оптичної густини (A)

$$\dot{A} = \frac{D_2 - D_1}{t}, \quad (1.8)$$

де $D_2 - D_1$ – різниця значень оптичних густин за часовий інтервал t у хвилину. Час t може набувати значень 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 та 9 хвилин.

$$\text{Концентрація } C = D \cdot F, \quad (1.9)$$

де F – коефіцієнт факторизації, який визначається експериментатором та вводить з цифрової клавіатури у межах від 0,001 до 9999.

Загальний вид приладу КФК-3 наведений на рисунку 1.1.

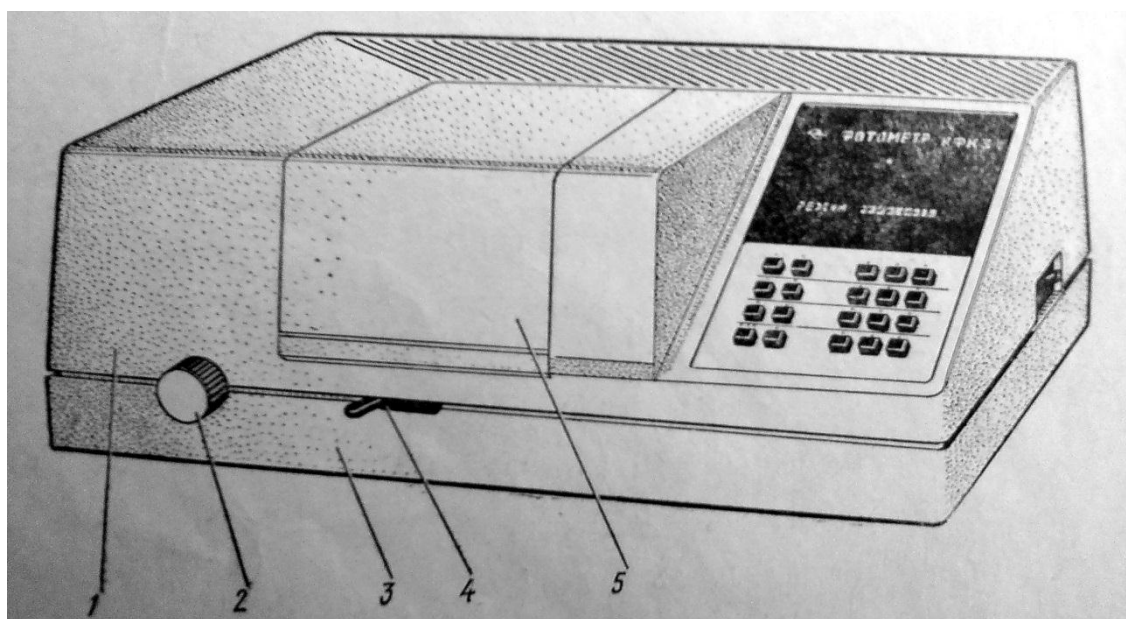


Рис. 1.1 – Загальний вид фотометра КФК-3

Фотометр виготовлений у вигляді одного блоку. На металевій основі 3 закріплені вузли фотометра, які накриваються кожухом 1. Відділення для кювет закривається знімною кришкою 5. До фотометру входять фотометричний блок, блок живлення, мікропроцесорна система. На боковій стінці фотометра розміщена вісь резистора (УСТ. 0) та тумблера (СЕТЬ). На задній стінці основи фотометра розміщена розетка для підключення до фотометра термодрукарського пристрою типу УТП-2.

До фотометричного блоку належать: освітлювач, монохроматор, відділення для кювет, кюветотримач, фотометричний пристрій. Конструкція механізму

освітлювача забезпечує переміщення лампи у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Монохроматор слугує для отримання випромінювання заданого спектрального складу й складається з корпусу, вузла вхідної щілини, сферичного, дзеркала, дифракційної ґратки, вузла вихідної щілини та синусного механізму.

Ручка 2 (див. рис. 1.1) слугує для повороту дифракційної ґратки крізь синусний механізм та установки необхідної довжини хвилі у нанометрах.

Відділення для кювет складається з корпусу, який за допомогою болтів закріплений до корпусу монохроматора. Праворуч на корпусі знаходиться карман з кришкою, в якому розміщено фотометричний пристрій. До фотометричного пристрою входить фотодіод та посилювач постійного струму. Посилювач постійного струму встановлюється у фотометр через з'єднувач.

До кюветотримача встановлюють кювети з розчинником (контрольний розчин) і досліджуваній розчин та розміщують їх у відділення для кювет. Кюветотримач встановлюють у відділення для кювет на столик таким чином, щоб дві маленькі пружини знаходились на передньому боці.

Введення до світового пучку однієї чи іншої кювети відтворюється обертанням рукоятки 4 до упору ліворуч або вправоруч. При встановленні рукоятки до упору ліворуч до світового пучку вводиться кювета з розчинником, при встановленні рукоятки до упору праворуч до світового пучку вводиться кювета з досліджуваним розчином.

При відкритій кришці відділення для кювет шторка перекриває світловий пучок.

Установлення довжин хвиль необхідно виконувати підводкою з боку коротких хвиль до найдовших. Чутливість фотометру в ультрафіолетовій області спектру – найменша, тому для отримання надійних результатів вимірювань області спектру 315 – 350 нм рекомендують оптичну густину розчину або зразка обирати не більш 1.

Добір кювет. Відомо, що чим товстіше шар рідини, через який проходить промінь світла, тим більше буде поглинання світлового пучка й тем вище показник оптичної щільності досліджуваного розчину. До колориметра додається набір

кювет, котрі відрізняються відстанню між робочими гранями, через які проходить світловий потік. Ця відстань (у мм) зазначена на одній з робочих граней. На бічній стінці кювети є мітка, до якої необхідно наливати рідину. При роботі з летучими розчинами кювети закривають спеціальними кришками.

До кожного приладу додається набір кювет з товщиною шару досліджуваного розчину від 1 до 50 мм. Добір кювет здійснюється таким чином, щоб оптична густина досліджуваного розчину не була нижче величини 0,15 і вище 0,7. Саме в цих межах найбільш точно виконується закон Бугера-Ламберта-Бера. Отже, при інтенсивному забарвленні розчину необхідно обрати кювети з меншою відстанню між робочими гранями, а при слабкому забарвленні – з більшою відстанню.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати фотометр КФК-3 до роботи.

1.1. Приєднати фотометр до мережі 220 В й включити тумблер МЕРЕЖА.

1.2. Натиснути клавішу ПУСК – на цифровому табло з'явиться символ "Г", відповідне до нього значення та значення довжини хвилі.

1.3. Стабільна робота фотометра забезпечується через 30 хв. після його вмикання.

1.4. Встановити у тримач кювети з розчинником або контрольним розчином, по відношенню до якого будуть проводитися вимірювання, та досліджуваний зразок №1. Кювету з розчинником або контрольним розчином встановити у більш віддалене гніздо кюветотримача, а кювету з досліджуваним розчином – у ближнє гніздо кюветотримача.

1.5. До світового пучку встановити кювету з розчинником (рукоятка 4 див. рис. 1.1 – ліворуч до упору). У разі вимірювання відносно повітря більш віддалене гніздо кюветотримача повинно бути вільним.

1.6. Встановити рукояткою 2 (див. рис.1.1) довжину хвилі, на якій проводять вимірювання розчину. Довжина хвилі буде видна на верхньому цифровому табло.

1.7. При закритій кришці відділення для кювет натиснути клавішу "Г". На нижньому цифровому табло ліворуч від мигаючої коми висвітиться символ "Г".

1.8. Натиснути клавішу "П" або "Е". Ліворуч від мигаючої коми висвітиться відповідно символ "П" або "Е", а праворуч від мигаючої коми – відповідно значення "100,0±0,2" або "0,000±0,002", що значить початковий відлік пропускання (100,0%) або оптична щільність (0,000) встановилась на фотометрі вірно. Якщо відліки "100,0±0,2" або "0,000±0,002" встановилися з великим відхиленням, натиснути на клавішу "Г", "П" або "Е" ще раз, витримуючи невелику паузу 3-5 с.

1.9. Відкрити кришку відділення для кювет та натиснути клавішу НУЛЬ, закрити кришку, натиснути клавішу "П" або "Е".

1.10. Рукою 4 (див. рис. 1.1) встановити праворуч до упору, при цьому до світового пучку вводиться кювета з досліджуваним розчином. Відлік на табло праворуч від мигаючої коми відповідає коефіцієнту пропускання або оптичній густині досліджуваного розчину.

1.11. Повторити операцію за п.п. 1.1– 1.10 три рази, обчислити середнє арифметичне значення вимірювальної величини.

1.12. Побудувати спектральну криву оптичної густини досліджуваного розчину, відкладаючи вздовж горизонтальної осі довжини хвиль у нанометрах, а вздовж вертикалі – оптичну густину.

2. Дослідити залежність оптичної густини розчину від довжини хвилі світла та визначити довжину хвилі (λ_0), при якій вона максимальна.

2.1. У кюветне відділення встановити кювети з контрольним розчином або розчинником і досліджуваними розчинами розчином (зразок №2).

2.2. Зняти показання в діапазоні від 350 до 670 нм з шагом 10 нм для цього повторити операції пп. 1.8-1.10.

2.3. Отримані результати занести в таблицю 1.1.

2.4. Побудувати графік залежності оптичної густини розчину від довжини хвилі світла $D = f(\lambda)$.

2.10. За графіком визначити довжину хвилі λ_0 , при якій відбувається найбільше поглинання розчину, що відповідає максимальній оптичній густині розчину, тобто $D(\lambda_0) = D_{max}$.

Таблиця 1.1.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
з/п											
λ, нм	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450
D											
№	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
з/п											
λ, нм	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560
D											
№	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
з/п											
λ, нм	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670
D											

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище поглинання світла?
2. Закон Бугера. Коефіцієнт пропускання й оптична густина речовини. Закон Бугера-Ламберта-Бера.
3. Спектр поглинання речовини. Молярний коефіцієнт поглинання. Фотометричні методи дослідження.
4. Назвіть прилади, які використовуються у фотометричному аналізі, та основні відмінності в їх характеристичі.
5. Метод спектрофотометрії, його переваги відносно інших методів.
6. Застосування колориметрії та спектрофотометрії у харчовій промисловості.

Лабораторна робота №2
ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН
РОТАЦІЙНИМИ ВІСКОЗИМЕТРАМИ

Мета роботи

1. Ознайомитися з методом віскозіметрії;
2. Вивчити та засвоїти практично метод віскозіметрії не ньютонівських рідин.

Прилади та матеріали

1. Віскозіметр ротаційний;
2. Коаксіальні циліндри;
3. Розчини.

Теоретичні відомості

1.1. Основні визначення

Реологія – це наука про в'язкопружні властивості різних реальних рідин складного походження – розчинів полімерів, харчових продуктів, будівельних матеріалів та ін. Причина реологічності – складний багатокomпонентний склад харчових продуктів, що включає тверді, рідкі та газоподібні складові. Активним елементом продуктів є рідина, часто це вода, від кількості якої суттєво змінюються реологічні властивості системи.

Застосування – розробка технології, практичні виміри та розрахунки реологічних параметрів харчових мас, що характеризують їх консистенцію, з метою контролю, прогнозування та покращення якості харчових продуктів; розрахунки механічного навантаження на приводи технологічного обладнання.

Різні речовини класифікують за формами фізичного існування, або за фазовими станами. Рідина є одним з таких станів речовини. У гідравліці рідинами називають речовини, які перебувають як власне у рідкому („краплинні рідини"), так і в

газоподібному фазових станах. Найважливішою властивістю рідини як речовини є здатність її неперервне деформуватися під дією навіть дуже малих дотичних напружень, які є функцією швидкості кутової деформації в ній.

Усі рідини характеризуються такими параметрами, як густина ρ , змочуваність δ , стисливість β , які залежать від температури T , тиску p та ін. Надзвичайно важливою властивістю рідин є в'язкість, яка характеризується двома коефіцієнтами - μ та ν , відповідно динамічним та кінематичним ($\mu = \nu \rho$).

Пружність — здатність тіла після деформування повністю відновлювати свою первісну форму або об'єм. Величини деформацій ε та γ визначаються через модулі пружності E та зсуву G за законом Гука:

$$\text{Лінійні } \varepsilon: \sigma = \varepsilon E \quad \text{зсувні } \gamma: \tau = \gamma G \quad (2.1)$$

Пластичність – здатність тіла під дією зовнішніх сил необоротно деформуватися без порушення суцільності. Пластична течія починається з границі текучості. У реології при появі при деякому напруженні зсувних деформацій тіл використовується поняття „граничне напруження зсуву” (ГНЗ) τ_0 .

В'язкість – здатність тіла чинити опір відносному зсуву її шарів. В'язка течія із швидкістю w реалізується в рідинах при наявності напруження зсуву τ і описується рівнянням Ньютона

$$\frac{P}{F} = \tau = \mu \frac{dw}{dz} = \mu \frac{d\gamma}{dt} = \mu \dot{\gamma} \quad \text{або} \quad \tau = \mu \dot{\gamma} \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с; $\dot{\gamma} = dw/dz = \text{grad } w$ – швидкість деформації або градієнт швидкості, с^{-1} ; τ – напруження зсуву, Па; P – сила опору між двома елементарними шарами, Н; F – площа поверхні між цими шарами, м^2 .

1.2. Неньютонівські рідини

За своїми реологічними властивостями рідини поділяються на *ньютонівські* та *неньютонівські*.

Ньютонівська поведінка (2.2) властива рідинам, в яких енергія в'язкісного тертя зумовлена взаємодією невеликих молекул. Час релаксації, що відповідає за поновлення зруйнованої при течії структури рідини, в ній досить малий й тому

величина в'язкості не залежить від величини напруження зсуву τ . Усі гази, рідини та розчини з невеликою молекулярною масою попадають в цю категорію.

Для *неньютонівських* рідин характерна складна структура – механічні суміші в розчиннику, колоїдні суспензії та рідинноскладаючі речовини зі значною молекулярною масою. Коефіцієнт в'язкості в них може залежати від багатьох структурних факторів, у тому числі від величини напруження зсуву та від часу. Якщо для ньютонівських рідин модуль зсуву $G = 0$, то для неньютонівських рідин він значно менший ніж у твердих тілах, але часто ненульовий – $G \neq 0$ та звичайно залежить від часу (звичайно якщо немає навантаження – зменшується у рідиноподібних та збільшується у твердоподібних рідинах).

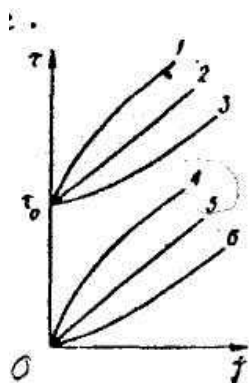


Рис. 2.1. Класифікація рідин: 1,3 - нелінійно в'язкопластичні рідини; 2 - в'язкопластична рідина (Бінгама); 4 – псевдопластична рідина; 5 – ньютонівська рідина; 6 - дилатантна рідина

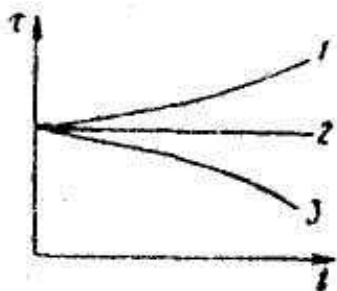


Рис. 2.2. Рідини, реологічні характеристики яких залежать від часу: 1 - реопектичні рідини, 2 - узагальнені ньютонівські рідини; 3 - тиксотропні рідини.

Класифікуючи неньютонівські рідини, їх поділяють на три великі групи. До першої належать в'язкі рідини, в яких швидкість кутової деформації або швидкість зсуву $\dot{\gamma}$, залежить тільки від прикладених дотичних напружень (τ). До таких рідин можна віднести псевдопластичні 4, дилатантні 6 та в'язкопластичні середовища 2 (рис. 2.1). Рідини, реологічна поведінка яких описується кривими, наведеними на рис. 1, часто називають узагальненими ньютонівськими рідинами.

До другої групи належать рідкі середовища, реологічні характеристики яких

залежать від часу (рис. 2.2). Наприклад, для рідин, які називаються *тиксотропними* – крива 3 (розчини полімерів) та реопектичними – крива 1 (білок, сметана), швидкість зсуву визначається не тільки значенням дотичного напруження, а й часом його дії.

Третя група – *в'язкопружні рідини*. Завдяки своїй течії такі рідини можуть тією чи іншою мірою виявляти як пружні, так і в'язкі властивості. Таким рідинам властива висока еластичність (наприклад, каучук).

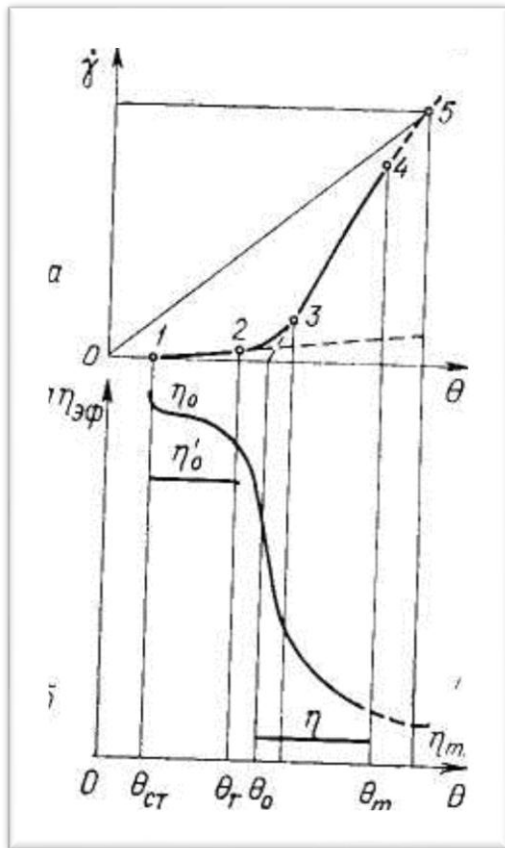


Рис. 2.3. Реологічна крива $\dot{\gamma} = f(\Theta)$ та $\eta_{\text{эф}}(\Theta)$ для твердоподібних систем (з ГНЗ $\tau_0, \eta = \mu, \Theta = \tau$): а - залежність градієнту швидкості від напруження зсуву; б - залежність логарифму ефективної в'язкості ($\eta = \mu = \tau/\dot{\gamma}$) від напруження зсуву; 0 – 1 ($\Theta_{\text{ст}} = \tau_0$) - зона пружних деформацій; 1-2 - зона початку течії з найбільшою ефективною і пластичною в'язкістю; 2-3 - початок зони лавинного руйнування структури; 3-4 - зона лавинного руйнування структури (течія з найменшою пластичною в'язкістю); 5 и вище - зона ньютонівської течії зі сталою в'язкістю η_m зруйнованої структури.

Рівняння $\dot{\gamma} = f(\tau)$ називається рівнянням стану (реограмою, кривою течії). У додатку 1 наведено найхарактерніші реологічні рівняння стану рідин. Ці рівняння працюють у невеликому діапазоні напружень – тобто локальні. Найчастіше визначають параметри за Оствальдом.

Реограма у великому діапазоні напружень більш складна – див. рис. 2.3.

1.3 Механічні моделі поведінки неньютонівських рідин

Використовуючи механічні моделі, що описують закон Ньютона (в'язке тертя), закон Сен-Венана (сухе тертя) та закон Гука (ідеально пружне тіло), описують поведінку неньютонівських рідин створюють механічну модель

механічного середовища й отримують його математичний опис (див. рис. 2.4.).

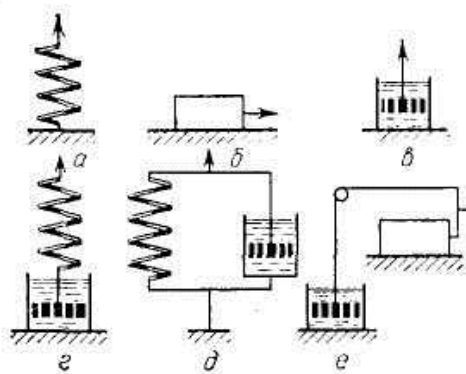


Рис. 2.4. Механічні моделі найпростіших реологічних тіл: *a* – пружного (пружина); *б* – пластичного (пари тертя ковзання); *в* – в'язкого (циліндр і поршень із отворами); *г* – пружно – в'язкого з релаксацією деформацій (модель Максвелла); *д* – те ж саме, з релаксацією напружень (модель Кельвіна-Фойгхта); *е* – пластично-в'язкого

Величина в'язкості залежить від структури рідкого середовища і часто відображує фізико-хімічні явища, які в них спостерігаються. Існують кілька теорій, які пояснюють властивість в'язкості, зокрема, неньютонівських рідин. Температурна залежність в'язкості рідин найчастіше описується теорією Ейрінга:

$$\nu = \mu / \rho = A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right), \quad (2.3)$$

де E_a – мольна енергія активації течії рідини. Вона дорівнює середній енергії, що потрібно для пересування молекул у нове положення під дією зовнішніх сил. Вона зростає пропорційно кількості зв'язків та їх силі, розміру молекул. За допомогою енергії активації пояснюється ефект зменшення в'язкості при великих швидкостях руху рідини, їх зміни з часом та великі значення енергії активації для полімерних систем та, відповідно, сильне зменшення в'язкості з нагрівом.

Додавання у водний розчин інших речовин може зміцнювати його зв'язки та структуру або руйнувати. Величина енергії активації при цьому відповідно зростає або зменшується. Більші значення енергії активації E_a відповідають більш стабільній структурі продукту. Згідно (2.3), для більшої величини енергії активації E_a в'язкість швидше змінюється з температурою.

Для дослідження в'язкості існують різні *віскозиметри* – капілярні, кулькові, ротаційні, вібраційні, ультразвукові та інші. Для дослідження пружних характеристик існують різні прилади – пенетрометри, пластометри, віброметри та ін.

2. Ротаційний віскозиметр

Для виміру великих величин в'язкості, що притаманна харчовим продуктам, потрібні значні механічні напруження. Тому на капілярних віскозиметрах потрібно створювати значний тиск, точно вимірювати об'єм рідини, що витікає. Непрозорість та неньтонівські характеристики течії рідин створюють додаткові проблеми для вимірів. Для повторюваності результатів розміри частинок у рідині повинні бути у 10 разів меншими за величину зазору або капіляру віскозиметру.

Для виміру великих величин в'язкості будь-яких продуктів найбільш зручні ротаційні віскозиметри. В них обертається з частотою ω перше тіло – це найчастіше циліндрична ємність з робочою рідиною, а у середині цієї ємності знаходиться друге тіло, що приймає через рідину момент обертання. За формою ці тіла бувають циліндричні, конічні, напівсферичні, плоскі та змішаної форми.

За даними виміру моменту обертання M , часу обертання T та розмірів цих тіл визначають в'язкість рідини. Робочі формули:

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}; \quad \tau = \frac{M}{2\pi lr^2} = \frac{M}{2V}; \quad M = K\alpha; \quad \dot{\gamma} = \frac{\omega R^2}{R^2 - r^2} = \frac{R^2}{R^2 - r^2} \cdot \frac{2\pi}{T}, \quad (2.4)$$

де: l , r – довжина та радіус робочого (внутрішнього) циліндра, V – його об'єм, R – радіус зовнішнього циліндра, α – кут повороту циліндру в поділках приладу, K – пружна стала вимірювальної пружини, що гальмує робочий циліндр. За малого зазору між циліндрами $\delta = R - r \ll R$ одержимо формулу для швидкості зсуву плоского шару $\dot{\gamma} \approx \omega R/\delta = w/\delta$.

Ротаційні віскозиметри дозволяють змінювати у широкому інтервалі величини напруження зсуву за допомогою регулювання частоти обертання циліндрів та зазору між ними. Тому вони мають широкий діапазон вимірювань в'язкості, дозволяють одержати більш-менш повну реограму продукту, що досліджується. Точність вимірів в'язкості складає 1...3 % для ньютонівських рідин, похибки зростають у 2...3 та більше разів для неньютонівських рідин.

Виміри здійснюються через 0,5...5 хвилин після зміни режиму виміру на приладі – тобто після встановлення рівноваги у системі (більшому за час релаксації). За зміною величини в'язкості від часу можна встановити вид рідини (рис. 2.2):

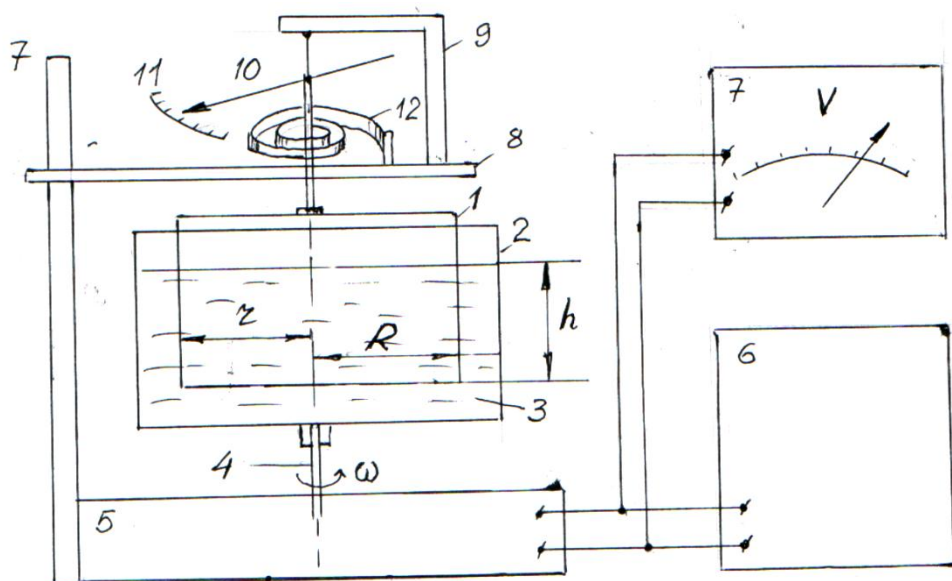
тиксотропна (розчини полімерів) або реопектична (білок, сметана), у яких швидкість зсуву визначається не тільки значенням дотичного напруження, а й часом його дії. Змінюючи напруження зсуву можна одержати повну реограму продукту (рис. 2.3) у прямому та зворотному напрямках. Ці рідини характеризуються також наявністю механічного гістерезису, що зумовлений зміною структури рідини. За одержаною реограмою можна встановити вид даної рідини – ньютонівська або неньютонівська та її підтип.

Ротаційні віскозиметри не використовують для вимірів у твердоподібних рідинах, тому що при цьому порушуються умови їх роботи - великі навантаження при $\omega \approx 0$, неможливість стаціонарного режиму для точного виміру ГНЗ.

Опис лабораторної установки

До складу лабораторної установки входить лабораторний ротаційний віскозиметр, блок живлення приводу, вольтметр, секундомір.

Схема установки



Вимірювальний циліндр 1 поміщено у робочій циліндр (ємність) 2 з рідиною 3. Вісь 4 робочого циліндру обертається з керованою частотою ω із допомогою керованого двигуна та черв'ячної передачі блоку приводу 5. Напруга на двигуну регулюється ручкою на блоці живлення 6 та вимірюється вольтметром 7. На стійці 7 розташована вимірювальна площадка 8 із опорою 9, до якій підвішене

вимірювальний циліндр 1. Кут повороту стрілки 10 по шкалі 11 визначається моментом обертання, що передається через рідину між циліндрами 1 і 2 та залежить від пружної сталої пружини 12.

Параметри установки: циліндри $R = 35$ мм, $r = 26$ мм, $h = 12$ мм, калібрування пружини: $m = 5$ г, $R_k = 50$ мм, $\alpha_k = 47$. Стала пружини: $K = mg R_k / \alpha_k$.

Математична обробка експериментальних даних проводиться за допомогою калькуляторів або ПЕОМ із пакетами Excel, MathCad та ін.

Порядок виконання роботи

1. Перевірити схему, комплектність установки, її готовність до роботи.
2. Підготувати робочу рідину. Помістити її у робочу ємність та включити прилад.
3. Провести виміри в'язкості та занести їх до таблиці. Змінюючи напругу на двигуні у 1,3...1,5 рази, регулювати час обертання циліндру приладу при збільшенні числа обертів за хвилину, а по закінченні - і при зменшенні числа обертів приладу виміряти час обертання робочого циліндру T . Знайдені для кожного виміру значення занести до табл. 1. Розрахувати всі параметри.
4. Побудувати реограму рідини $\tau(\gamma)$ (графік 1). Використовуючи значення γ , τ , μ побудувати криві течії при збільшенні числа обертів та при зменшенні числа обертів валу приводу, а також залежність в'язкості від γ (графік 2).
5. Провести повний реологічний аналіз отриманих графіків. Визначити приналежність речовини, яка досліджується до тієї або іншої реологічної групи. Оцінити наявність гистерезиса на кривій течії. Проаналізувати характер руйнування структури речовини використовуючи поняття про повну реологічну криву. Дати структурно-механічну оцінку речовини (твердоутворена або рідинноутворена речовина).
6. Визначити тип реограми продукту за графіком 3 із залежності $\ln\eta$ від $\ln\tau$. Розрахувати індекс течії n у рівнянні Оствальда за величиною нахилу графіку.

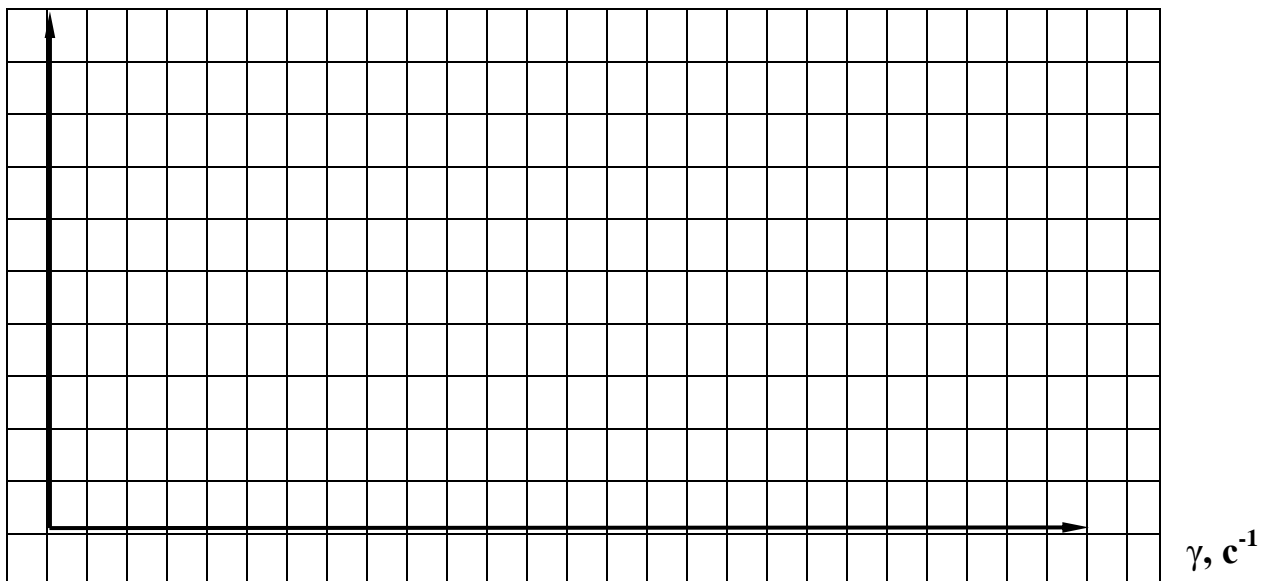
Таблиця 1. Результати експерименту та розрахунків

№ з/п	Період обертання Т, с	Показ приладу, α	Швидкість зсуву, γ, с ⁻¹	Напруження зсуву τ, Па	lnγ	lnτ	Ефективна динамічна - в'язкість μ _{ef}
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

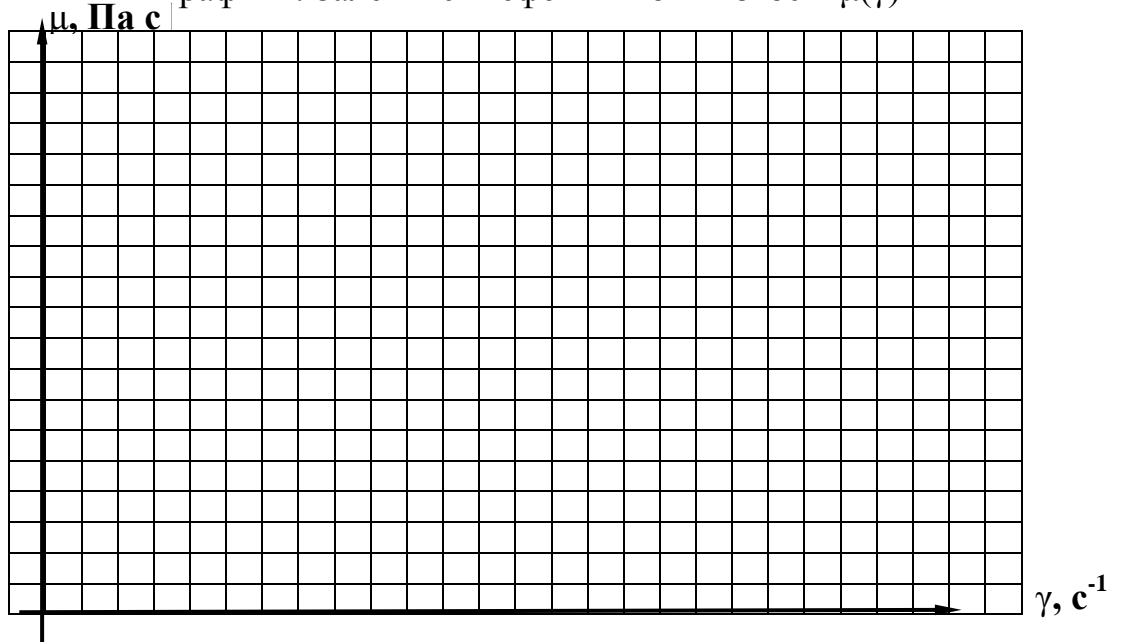
Побудувати:

τ, Па |

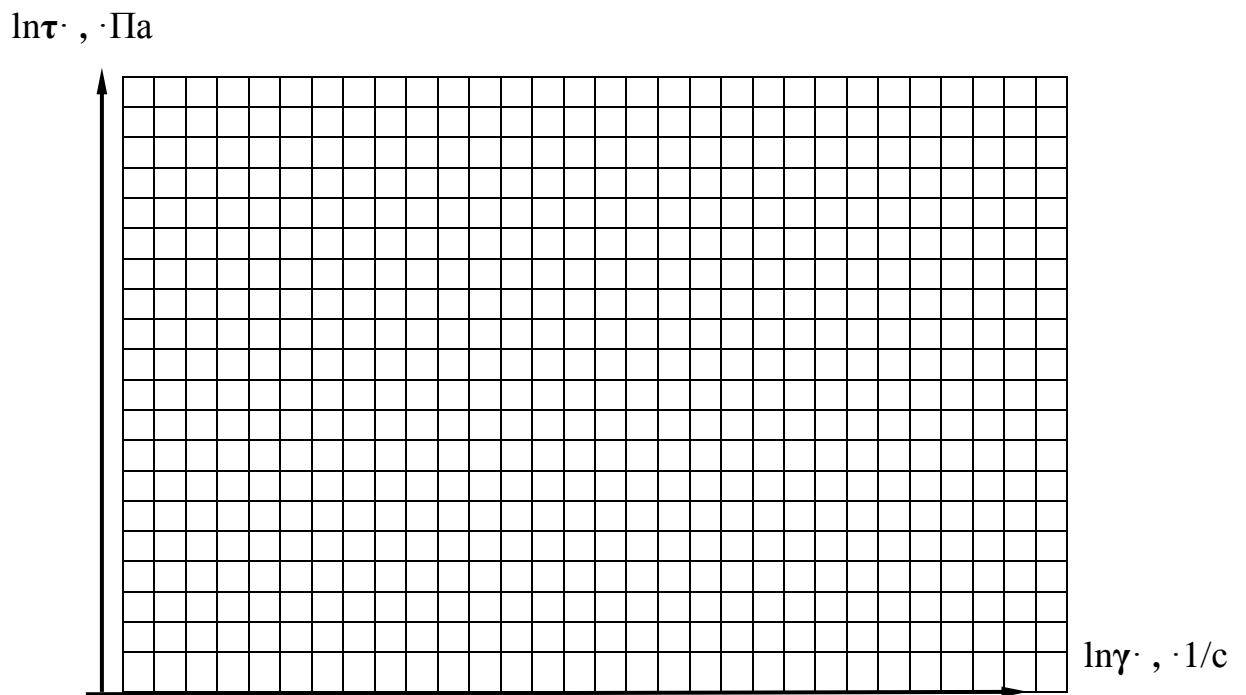
Графік 1. Реограма продукту – залежність τ(γ)



Графік 2. Залежність ефективної в'язкості $\mu(\dot{\gamma})$



Графік 3. Розрахунок індексу течії n .



Розрахунки

Розрахунок індексу течії n з реограми за Освальдом:

$$n = \frac{\Delta \ln \tau}{\Delta \ln \dot{\gamma}} =$$

Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Схема та принцип дії установки.
3. Результати експерименту та розрахунків.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення в'язкості рідини. Від яких факторів вона залежить?
2. Що таке напруження зсуву та швидкість зсуву?
3. Ньютонівські та неньютонівські рідини. Дати їм характеристику.

Рівняння Ньютона, Освальда та Бінгама.

4. Що таке крива течії, повна реологічна крива та ефективна в'язкість?
5. Що таке в'язкопружність та чим вона характеризується?
6. Що таке межа текучості (ГНЗ), коли вона спостерігається?
7. Які існують структурно-механічні характеристики неньютонівських рідин?
8. Які реологічні механічні моделі використовують для характеристики неньютонівських рідин?
9. Призначення ротаційних віскозиметрів.
10. Конструкція робочих поверхонь ротаційного віскозиметру в залежності від виду рідини та параметрів, що вимірюються.
11. Результати експерименту та розрахунків. До якої типу рідин належить рідина?

Лабораторна робота №3
ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВИМОРОЖЕНОЇ ТА НЕВИМОРОЖЕНОЇ
ВОЛОГИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ
КАЛОРИМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи

Визначення кількості вимороженої та невимороженої вологи харчової сировини.

Прилади та матеріали

1. низькотемпературний калориметр;
2. ПК;
3. волога харчова сировина.

Теоретичні відомості

Більшість харчових продуктів є капілярно-пористими колоїдними системами, у яких волога має різні форми зв'язку з сухою речовиною. Поведінка, структура і властивості вологи у вологому матеріалі є вихідними даними під час розробки технології виробництва харчових продуктів. Одним із способів дослідження вологи харчової сировини та продуктів є спосіб заснований на аналізі даних отриманих під час фазових переходів в даних об'єктах. До таких способів відноситься низькотемпературний калориметричний метод.

У термодинаміці фазою називається сукупність однорідних, однакових за своїми властивостями частин системи. Пояснимо поняття фази на наступних прикладах. У закритій посудині перебуває вода й над нею суміш повітря й пари води. У цьому випадку ми маємо справу із системою, що складається із двох фаз:

одну фазу утворює рідка вода, другу – суміш повітря й пара води. Якщо у воду додати кілька шматочків льоду, то всі ці шматочки утворять третю фазу. Різні кристалічні модифікації будь-якої речовини також являють собою різні фази. Так, наприклад, алмаз і графіт є різними твердими фазами вуглецю.

За певних умов різні фази тієї ж самої речовини можуть перебувати в рівновазі одна з одною, стикаючись між собою. Рівновага двох фаз може мати місце лише в певному інтервалі температур, причому кожному значенню температури T відповідає цілком певний тиск p , за якого можлива рівновага. Таким чином, стани рівноваги двох фаз будуть зображатися на діаграмі (p, T) лінією

$$p = f(T) \quad (3.1)$$

Три фази однієї тієї ж речовини (тверда, рідка і газоподібна, або рідка й дві тверді) можуть перебувати в рівновазі тільки за певних значень температури й тиску одночасно, яким на діаграмі (p, T) відповідає точка, яка називається потрійною. Ця точка лежить на перетині кривих рівноваги фаз, узятих попарно (рис.3.1).

У термодинаміці доводиться, що рівновага більш ніж трьох фаз однієї тієї ж речовини неможлива.

Перехід з однієї фази в іншу супроводжується поглинанням або виділенням деякої кількості теплоти, що називається прихованою теплотою переходу, або просто теплотою переходу. Існують переходи з однієї кристалічної модифікації в іншу, які не пов'язані з поглинанням або виділенням тепла. Такі переходи називаються фазовими переходами другого роду на відміну від звичайних

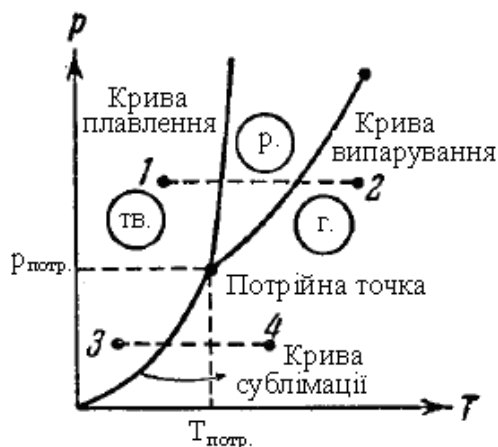


Рис. 3.1 – Потрійна точка

переходів, які називаються фазовими переходами першого роду. В даній лабораторній роботі розглядаються тільки переходи першого роду.

Перехід кристалічного тіла в рідкий стан відбувається при певній для кожної речовини температурі й вимагає витрати деякої кількості теплоти, яка називається теплою плавлення.

Якщо речовині, що спочатку знаходилась у кристалічному стані, передавати щосекунди визначену кількість теплоти, то зміна температури тіла буде такою, як показано на рис. 3.2. Спочатку температура тіла зростає. При досягненні температури плавлення $T_{пл}$ (точка 1 на рис. 3.2), незважаючи на те, що тілу як і раніше передається теплота, температура його перестає змінюватися. Одночасно починається процес плавлення твердого тіла, у ході якого речовина перетворюється в рідину. Після того як процес плавлення закінчиться і вся речовина повністю перейде в рідкий стан (точка 2 на рис. 3.2), температура знову почне підвищуватися.

Крива нагрівання аморфного тіла виглядає інакше (пунктирна лінія на рис. 3.2). При рівномірному підведенні теплоти температура аморфного тіла безупинно росте. Для аморфних тіл немає певної температури переходу в рідкий стан. Цей перехід відбувається безупинно, а не стрибком. Можна лише вказати інтервал температур, у межах якого відбувається розм'якшення тіла. Це пояснюється тим, що рідини й аморфні тіла відрізняються лише ступенем рухливості молекул (аморфні тіла являють собою сильно переохоложені рідини).

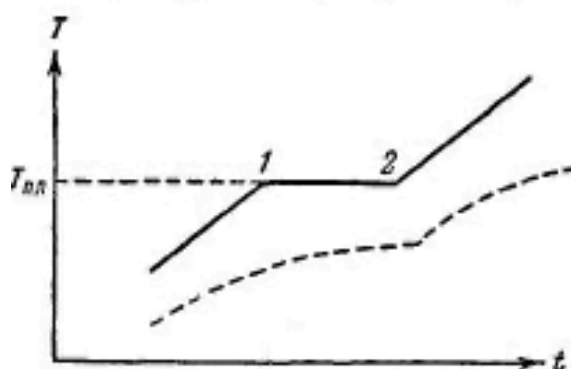


Рис. 3.2 – Температура речовини під час плавлення

Температура плавлення залежить від тиску. Перехід із кристалічного в рідкий стан відбувається за визначених умов, що характеризуються тиском і температурою. Сукупності цих значень відповідає крива на діаграмі (p, T) , яку прийнято називати кривою плавлення. Крива плавлення йде дуже круто. Для того, наприклад, щоб змінити на 1° температуру плавлення льоду, необхідно змінити тиск на 132 ат.

Точки кривої плавлення визначають умови, за яких кристалічна й рідка фази можуть перебувати в рівновазі одна з одною. Така рівновага можлива за будь-якого співвідношення між масами рідини й кристалів, тобто при значеннях об'єму системи, в межах від mV_m до mV_p , де m – маса системи, а V_m й V_p питомі об'єми твердої й рідкої фаз. Тому кожній точці кривої плавлення відповідає на діаграмі (p, V) відрізок горизонтальної прямої (рис. 3.3). Оскільки речовина в станах, зображуваних точками цього відрізка, має ту саму температуру, пряма 1 – 2 на

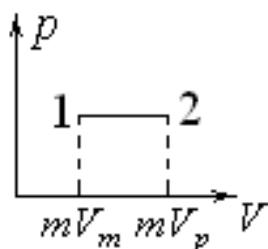


Рис. 3.3 – Діаграма (p, V) для процесу плавлення

рис. 3.3 являє собою ділянку ізотерми, що відповідає двофазним станам речовини.

Зворотний плавленню процес кристалізації протікає наступним чином. Під час охолодження рідини до температури, за якої тверда й рідка фази можуть перебувати в рівновазі при даному тиску (тобто до тієї ж температури, за якої відбувалося плавлення), починається одночасний ріст кристаліків навколо так званих зародків або центрів кристалізації. Розростаючись окремі кристаліки змикаються один з одним, утворюючи полікристалічне тверде тіло.

Центрами кристалізації можуть служити зважені в рідині тверді частки. Ретельно очищену від таких часток рідину можна охолодити нижче температури кристалізації без утворення кристаліків. Стан такої переохолодженої рідини є метастабільним. Досить потрапити в таку рідину порошок, для того щоб вона

розпалася на рідину й кристали, що перебувають за рівноважної температури. Однак у деяких випадках при великих переохолодженнях рухливість молекул рідини виявляється настільки незначною, що метастабільний стан може зберігатися дуже

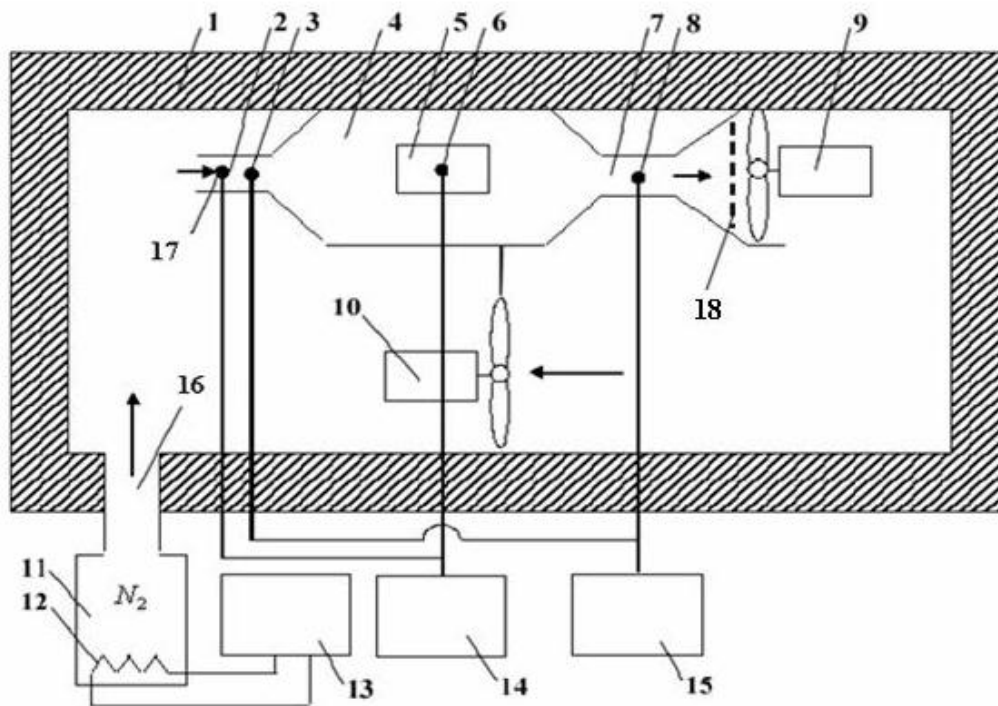


Рис. 3.4 – Принципова схема низькотемпературного калориметру:

1 – оболонка; 2, 7 – вхідний та вихідний отвори вимірювальної камери;

3, 8 – спаї диференціальної термопар; 4 – вимірювальна камера;

5 – досліджуваний об'єкт; 6, 17 – спаї термопар; 9, 10 – вентилятори;

11 – посудина Дьюара; 12 – нагрівач; 13 – автотрансформатор;

14, 15 – електронні самописи; 16 – вхідний отвір; 18 – заслінка

довго. Рідина в таких випадках має досить малу плинність і являє собою аморфне тверде тіло.

Процес кристалізації супроводжується виділенням такої ж кількості теплоти, яка поглинається при плавленні.

Для дослідження стану вологи в лабораторній роботі використовується низькотемпературний калориметр, схема якого представлена на рис. 3.4. Калориметрична камера 4, що є вимірювальною камерою, поміщається в оболонку

1. Як калориметрична камера, так і оболонка виконані із матеріалу з низькою теплопровідністю. Усередину вимірювальної камери поміщається досліджуваний об'єкт 5 – джерело явної та прихованої теплоти. Пара азоту потрапляє в камеру через отвір 2, а виходить через отвір 7, її подача здійснюється за допомогою вентилятора 9. Витрата пари азоту залежить від положення заслінки 18, яка знаходиться на виході з вимірювальної камери, та потужності нагрівача 12. Визначення різниці температур на вході і виході здійснюється за допомогою диференціальної термопари, один спай якої 3 знаходиться у вхідному отворі, а інший спай 8 – у вихідному. Температура об'єкта вимірюється за допомогою термопари 6. Сигнал від диференціальної термопари фіксується самописом безперервної дії 15, а сигнали від термопар 6 та 17 – самописом 14. Через отвір 16 із посудини Дьюара 11 в оболонку надходить пара азоту. Витрата азоту регулюється за допомогою електричного нагрівача 12, потужність якого регулюється автотрансформатором 13. Вхідна температура у вимірювальній камері реєструється термопарою 17. В оболонці 1 під вимірювальною камерою розміщується вентилятор 10.

Методика заснована на низькотемпературному калориметричному методі виміру кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації вільної вологи в харчовій сировині. Ідея методу полягає у вимірі сигналу диференціальної термопари, що реєструє зміну температури потоку холодного повітря, що омиває вологий матеріал.

Теорія методу заснована на рівнянні теплового балансу:

$$\int_0^{\tau} cL\rho(t_{вих} - t_{вх})d\tau = (c_v m_{невим.в} + c_o m_o) \Delta T_1 + m_{вим.в} (c_v \Delta T_2 + c_l \Delta T_3) + m_{вим.в}, \quad (3.2)$$

де c – питома теплоємність холодоносія (повітря), Дж/(кг·К);

L – об'ємна витрата холодоносія, м³/с;

ρ - густина холодоносія, кг/м³;

$t_{вих}$ – температура на виході із шару матеріалу, K ;

$t_{вх}$ – температура на вході в шар матеріалу, K ;

$c_{в}$ – питома теплоємність води, $Дж/(кг \cdot K)$;

$m_{невим.в}$ – маса невимороженої вологи, $кг$;

c_0 – питома теплоємність сухої речовини, $Дж/(кг \cdot K)$;

m_0 – маса сухої речовини, $кг$;

$m_{вим.в}$ – маса вимороженої вологи;

$c_{л}$ – питома теплоємність льоду, $Дж/(кг \cdot K)$;

r – питома теплота плавлення льоду, $Дж/кг$.

$$\Delta T_1 = T_0 - T_k, \quad (3.3)$$

$$\Delta T_2 = T_0 - 273, \quad (3.4)$$

$$\Delta T_3 = 273 - T_k, \quad (3.5)$$

де T_0 – початкова температура зразка, K ;

T_k – кінцева температура зразка, K .

Величини цих температур визначаються за допомогою термопар, спай якої розміщений у зразок.

Ліва частина рівняння (3.2) пропорційна площі під кривою зміни сигналу від диференціальної термопар з часом:

$$S_I = \int_0^{\tau} I^*(\tau) d\tau = \chi \int_0^{\tau} cL\rho(t_{вих} - t_{вх}) d\tau, \quad (3.6)$$

де S_I – площа під кривою сигналу від диференціальної термопар, $м \cdot с$;

χ – апаратний коефіцієнт, $(м \cdot с)/Дж$.

Калібрування сигналу від диференціальної термопар проводиться за результатами отриманими в процесі кристалізації чистої води для зразків різної маси. В результаті чого визначається масштабний коефіцієнт:

$$M_I = \frac{c_{\text{в}}\Delta T_2 + c_{\text{л}}\Delta T_3 + r}{S_I}, \quad (3.7)$$

де M_I - масштабний коефіцієнт, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}$.

Значення фізичних величин, що входять до формули (3.7) беруться з таблиць довідкових даних. Далі після проведення досліду по охолодженню зразка із заданим вологовмістом для даного виду харчової сировини обчислюється питома теплоємність сухих речовин:

$$c_0 = \frac{S_I \cdot M_I}{\Delta T}. \quad (3.8)$$

Шукані вологовмісти вимороженої та невимороженої води визначаються з рішення системи рівнянь:

$$(c_{\text{в}}w_{\text{невим.в}} + c_0)\Delta T_1 + w_{\text{вим.в}}(c_{\text{в}}\Delta T_2 + c_{\text{л}}\Delta T_3) + rw_{\text{вим.в}} = S_I M_I w \quad (3.9)$$

$$w_{\text{невим.в}} + w_{\text{вим.в}} = w, \quad (3.10)$$

звідки

$$w_{\text{вим.в}} = \frac{S_I M_I w - \Delta T_1 (c_{\text{в}}w + c_0)}{c_{\text{в}}\Delta T_2 + c_{\text{л}}\Delta T_3 + r - c_{\text{в}}\Delta T_1}, \quad (3.11)$$

$$w_{\text{невим.в}} = \frac{c_0\Delta T_1 + w(c_{\text{в}}\Delta T_2 + c_{\text{л}}\Delta T_3 + r - S_I M_I)}{c_{\text{в}}\Delta T_2 + c_{\text{л}}\Delta T_3 + r - c_{\text{в}}\Delta T_1}, \quad (3.12)$$

де $w_{\text{вим.в}}$ - відносний вміст вимороженої води, $\text{кг}/\text{кг}$;

$w_{\text{невим.в}}$ - відносний вміст невимороженої води, $\text{кг}/\text{кг}$;

w - загальний вологовміст зразка, $\text{кг}/\text{кг}$.

$$w_{\text{вим.в.}} = \frac{m_{\text{вим.в.}}}{m_0}, \quad (3.13)$$

$$w_{\text{невим.в.}} = \frac{m_{\text{невим.в.}}}{m_0}. \quad (3.14)$$

Методика проведення експерименту полягає в наступному. За допомогою нагрівача, що знаходиться в посудині Дьюара, в оболонку надходить пара азоту. Температура в оболонці залежить від швидкості випару азоту, що в свою чергу визначається потужністю нагрівача 12. Це дає можливість розширити діапазон робочих температур до значень близьких до температури рідкого азоту.

Внаслідок роботи вентилятора 9 пара азоту проходить через вимірювальну

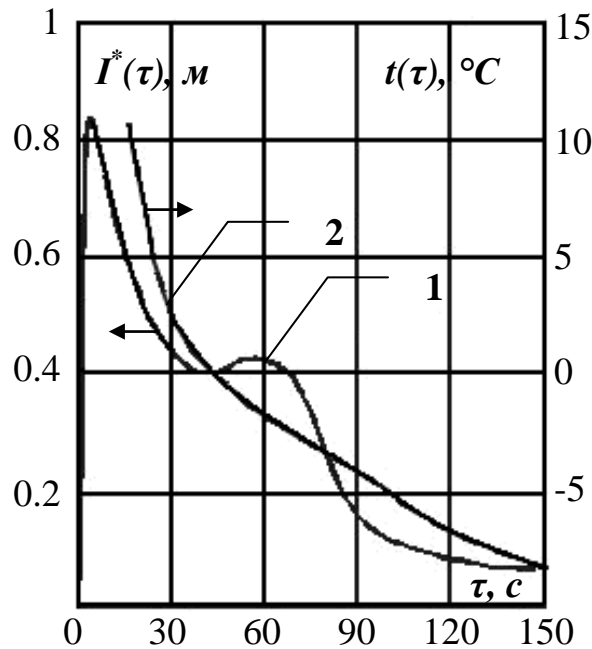


Рис. 3.5 – Приклад сигналів отриманих від реєструючих приладів: 1 – від диференціальної термопари; 2 – від термопари всередині зразка

камеру 4. Після того як сигнал від диференціальної термопари, що вимірює різницю температур на вході й виході вимірювальної камери, зникає, тобто зміщується в початкову точку, у робочу камеру вимірювальної установки розміщується ємність з досліджуваним зразком і включається самопис, що фіксує температуру зразка. Виміри закінчуються тоді, коли сигнал від диференціальної термопари зникає, тобто повторно зміщується в початкову точку.

На рис. 3.5 наведені характерні для досліджень криві, які реєструються самописами. Площа під кривою, що являє собою зміну різниці температур на вході й виході із часом, пропорційна кількості теплоти, що виділяє об'єкт при досягненні температури оболонки. Чутливість вимірювальної установки регулюється витратою пари азоту.

Виходячи з виду кривої, отриманої під час заморожування вологого об'єкта, її можна розділити на три характерні ділянки, відділені одна від іншої на рис. 3.6 пунктирними лініями.

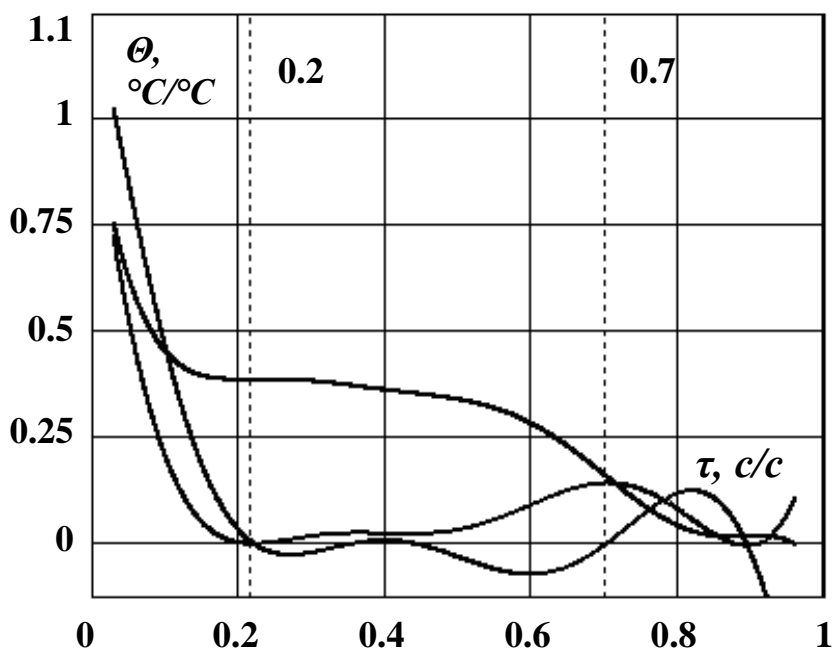


Рис. 3.6 – Апроксимаційна функція (1), перша (2) та друга (3) похідні від апроксимаційної функції для об'єкту з вологовмістом 5,8 кг/кг

Площа під першою ділянкою (I) пропорційна кількості теплоти, що виділяється під час охолодження об'єкта, який складається з води й сухих речовин, до температури кристалізації вільної вологи. Площа під другою ділянкою кривої (II) відповідає кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації вільної вологи, площа під третім (III) – кількості теплоти, що виділяється під час охолодження сухих речовин, зв'язаної вологи та льоду, що утворився при кристалізації вільної вологи, до кінцевої температури термостату. Охолодження тіла, як до температури кристалізації вільної вологи, так і після, відбувається по експоненціальній

залежності. Швидкість зміни даної функції в початковій точці має максимум, а в кінцевій – мінімум. Виходячи із цього, межею розділу вибирають лінію, що проходить через точку, в якій перша похідна від апроксимаційної функції має екстремум (рис.3.6). Значення моментів часу, за яких функція має відповідні екстремуми, визначаються по кореням другої похідної від апроксимаційної функції. Площі під різними ділянками кривої розраховувалися як інтеграл від апроксимаційної функції у відповідних межах.

Порядок виконання роботи

1. Для охолодження калориметра до робочої температури, яку вкаже викладач, увімкнути нагрівач 12 у посудині Дьюара та вентилятори 9, 10. Автотрансформатором 13 встановити робочу напругу на нагрівачі.

2. Після встановлення однакової температури на вході та виході вимірювальної камери спеціальну ємність, заповнену досліджуваним зразком, через отвір розмістити в калориметр.

3. Провести вимірювання до досягнення однакової температури на вході та виході вимірювальної камери. Вимкнути нагрівач 12 та вентилятори 9, 10.

4. За допомогою ПК оцифрувати отримані експериментальні дані та підібрати апроксимаційну функцію. Знайти першу та другу похідну від апроксимаційної функції. За коренями другої похідної знайти границі другої ділянки термограми (II).

5. За формулою (3.6), використовуючи дані отримані у попередньому пункті, визначити площу під другою ділянкою термограми.

6. За формулами (3.7), (3.8), (3.11)-(3.14) визначити абсолютну та відносну кількості вимороженої та невимороженої вологи досліджуваного об'єкту.

Контрольні запитання

1. Дати визначення поняттям: кристалічний та аморфний стан речовини, фазовий перехід першого та другого роду, потрійна точка, виморожена та невиморожена волога.

2. В чому полягають теоричні основи низькотемпературного калориметричного методу.

3. В чому полягає методика низькотемпературного калориметричного методу.

Лабораторна робота №4

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ

Мета роботи

1. Ознайомитися з явищем люмінесценції;
2. Вивчити та засвоїти практично метод люмінесцентного аналізу визначення якості харчових продуктів за допомогою люміноскопа ЛПК-1.

Прилади та матеріали

1. Люміноскоп ЛПК-1;
2. Кювети;
3. Досліджуваний зразок.

Теоретичні відомості

У природі існує випромінювання, яке відрізняється за своїм характером від всіх відомих видів випромінювання (теплого випромінювання, відбивання, розсіювання світла і т.д.). Це люмінесцентне випромінювання. Воно має такі особливості:

1. При одній і тій самій температурі люмінесцентне випромінювання має більшу інтенсивність порівняно із тепловим (для того ж спектрального інтервалу). Наприклад, багато люмінесцентних речовин дають видиме й ультрафіолетове

випромінювання при кімнатній температурі, у той час як теплове випромінювання тіл при цій температурі практично не містить ні ультрафіолетових, ні видимих променів.

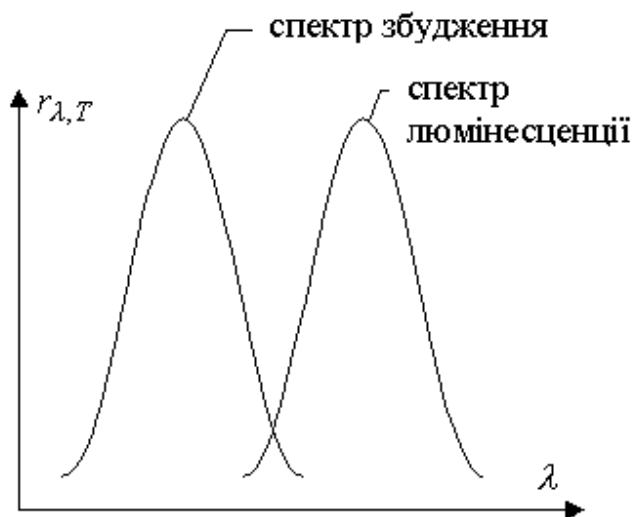
2. Люмінесцентне свічення речовин продовжується деякий час після припинення опромінення. Тривалість люмінесценції змінюється для різних речовин залежно від умов в широких границях від мільярдних часток секунди до багатьох годин і навіть діб. У першому випадку це флуоресценція ($t \leq 10^{-8} \text{ c}$), а в другому – фосфоресценція ($t > 10^{-8} \text{ c}$).

3. Люмінесценція є власне випромінювання тіл, кожна речовина має певний характерний для неї спектр люмінесценції.

Об'єднуючи всі ці ознаки, С.І. Вавілов дав таке визначення люмінесценції: *люмінесценція* – це оптичне випромінювання тіла, що є надлишковим над тепловим того самого тіла в даній спектральній області при тій же температурі, що має тривалість свічення більше 10^{-10} c , тобто не припиняється одразу після усунення причини, що викликала свічення.

Залежно від способу збудження люмінесценції розрізняють декілька її видів:

- свічення, що виникає під дією світлового випромінювання як видимого, так і більш короткохвильового (*фотолюмінісценція*);
- свічення, що виникає при електричних розрядах (*електролюмінісценція*);
- свічення, що збуджується ударами електронів (*катодолюмінісценція*);
- свічення, яке викликане хімічними перетвореннями всередині тіла (*хемілюмінісценція*).



Дослідне вивчення спектрів люмінесценцій показало, що вони відрізняються від спектрів збуджуючого випромінювання. Згідно з *правилом Стокса* спектр люмінесценції в цілому і його

Рис.4.1 – Спектр люмінесценції та спектр збудження

максимум завжди виявляються в довших хвилях порівняно зі спектром поглинутого випромінювання, здатного викликати цю люмінесценцію (рис.4.1).

Це правило з точки зору квантової теорії означає, що енергія $h \cdot \nu$ передавального фотона частково витрачається на неоптичні процеси, тобто

$$h \cdot \nu = h \cdot \nu_{\text{люм}} + \Delta E, \quad (4.1)$$

звідки $\nu_{\text{люм}} < \nu$, або $\lambda_{\text{люм}} > \lambda$, що і виходить із сформульованого правила.

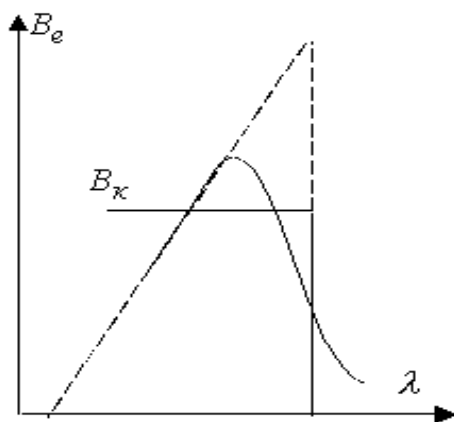


Рис.4.2 – Залежність енергетичного виходу від довжини хвилі

Основною енергетичною характеристикою люмінесценції є *енергетичний вихід*, відношення енергії, яка випромінюється люмінофором при повному висвічуванні, до енергії, поглинутої ним:

$$B_e = \frac{E_l}{E_n}, \quad (4.2)$$

а також *квантовий вихід* – відношення числа квантів N_l , випромінених речовиною до числа N_n поглинутих квантів:

$$B_k = \frac{N_l}{N_n}. \quad (4.3)$$

С.І. Вавілов встановив такий закон: величина енергетичного виходу спочатку росте пропорційно довжині хвилі збуджуючого світла, а потім швидко падає до нуля.

Пропорційне збільшення енергетичного виходу із збільшенням λ збуджуючого світла означає, що в цьому інтервалі довжин хвиль квантовий вихід люмінесценції залишається постійним (рис.4.2).

Явище люмінесценції отримало широке застосування в практиці, наприклад, *люмінесцентний аналіз* – метод визначення складу речовини за характерним для неї світінням. Цей метод, будучи досить чутливим, дозволяє виявляти наявність незначних домішок.

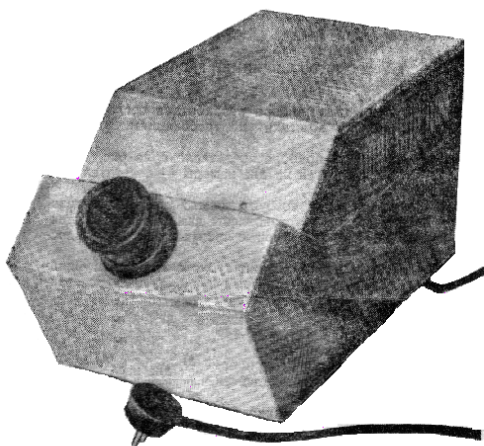


Рис.4.3 – Загальний вид люміноскопу

ЛПК-1

Одним з приладів, що використовуються для визначення якості харчових продуктів методом люмінесцентного аналізу, є люміноскоп ЛПК-1, загальний вигляд якого представлено на рисунку 4.3.

Люміноскоп призначений для визначення якості деяких харчових продуктів, належності м'яса до визначеного виду тварин, для проведення експертизи масел, жирів, меду та інших продуктів.

Методика дослідження складається з того, що досліджуваний об'єкт в кюветі із нелюмінесцуючого матеріалу розміщують в оглядову камеру приладу та спостерігають люмінесценцію. Довжина хвилі збуджуючого випромінювання 360 нм. Відмічають колір та інтенсивність люмінесцентного випромінювання. Оцінку кольору проводять візуально.

Порядок виконання роботи

1. Визначення виду м'яса:
 - 1.1. Куски м'яса розміром приблизно 50x50x10 мм розмістити в кюветі.
 - 1.2. Одночасно з досліджуваними зразками для порівняння люмінесценції в оглядову камеру люміноскопу розмістити зразок яловичини.

1.3. Зафіксувати колір яким люмінесцують досліджувані зразки та яловичина.

1.4. Порівняти з показниками люмінесценції приведеними в таблиці 4.1.

2. Дослідження фаршу:

2.1. Фарш розкласти в кюветі шаром товщиною близько 5 мм.

2.2. Розмістити кювету в оглядовій камері люміноскопу.

2.3. Зафіксувати колір складових частин фаршу.

2.4. Порівняти з показниками люмінесценції приведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Показники люмінесценції деяких видів свіжого м'яса

/п	Вид м'яса	Колір люмінесценції
	Яловичина	Темно-червоний або червоно-фіолетовий з оксамитовим відтінком
	Баранина	Темно-коричневий
	Свинина	Рожевий з коричневим відтінком
	Телятина	Світло-коричневий
	Кістки, хрящі, сухожилля	Блакитний
	Жир	Світло-жовтий

3. Дослідження жирів та масел:

3.1. Проби жирів та масел розмірами 15x15x5 мм розмістити в кювету.

3.2. При дослідженні кулінарних жирів та маргаринів поряд з досліджуваними зразками в оглядовій камері люміноскопу розмістити пробу вершкового масла.

3.3. Зафіксувати колір яким люмінесцують досліджувані зразки.

3.4. Порівняти отримані показники з показниками люмінесценції жирів та масел наведеними в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Показники люмінесценції жирів та масел

/п	Вид масла або жиру	Колір люмінесценції
	Масло вершкове	Від блідо-жовтого до яскраво-жовтого
	Маргарин вершковий	Білувато-рожевий
	Маргарин столовий	Білувато-рожевий
	Маргарин “Любительський”	Білувато-рожевий
	Маргарин “Російський”	Білувато-рожевий
	Маргарин “Екстра”	Матово-білий
	Маргарин особливий	Матово-білий
	Кулінарний жир “Український”	Інтенсивно-блакитний
	Кулінарний жир “Білоруський”	Інтенсивно-блакитний

4. Дослідження жирів, добутих із кондитерських виробів:

4.1. З виробу зняти верхню та нижню шкуринку, м'якуш масою 50 г нарізати мілкими кусочками, розмістити в колбу з притертою пробкою і залити 2-3-кратним об'ємом ефіру.

4.2. Колбу закрити пробкою та залишити на одну годину для екстракції жиру.

4.3. Отриману рідину злити у фарфорові чашки та розмістити на водяну баню при температурі 30-37°C для випаровування ефіру.

4.4. Чашки з жиром, що залишився, помістити в холодильник для застигання, після чого перенести в кювету.

4.5. В якості контролю одночасно з досліджуваними зразками дослідити зразки вершкового масла, маргарину та кулінарних жирів.

4.6. Порівняти отримані показники з показниками люмінесценції жирів та масел приведеними в таблиці 4.2.

5. Дослідження меду.

5.1. Мед внести в кювету шаром товщиною 5 мм.

5.2. В оглядовій камері люміноскопу поряд з досліджуваним зразком розташувати пробу натурального меду шаром тієї ж товщини.

5.3. Порівняти отримані показники з показниками люмінесценції натурального меду (натуральний мед світиться яскраво-жовтим кольором, фальсифікований – білуватим, синюватим).

Контрольні запитання

1. Що таке люмінесцентне випромінювання, його особливості?
2. Види люмінесценції?
3. Правило Стокса?
4. Що таке енергетичний та квантовий вихід?

Лабораторна робота №5

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ ХАРЧОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

1. Вивчити теоретичні основи руху вантажів у гравітаційному транспорті;
2. Засвоїти методику визначення коефіцієнтів тертя різних матеріалів.

Прилади та матеріали

1. Наклонні поверхні.
2. Транспортир.
3. Годинник.
4. Досліджувані тіла.

Теоретичні відомості

До харчових матеріалів у даній роботі будемо відносити сировину, напівфабрикати та готові харчові продукти.

У всіх галузях харчової промисловості широко використовується гравітаційний транспорт – це спускні жолоби, лотки, труби, каскадні й гвинтові спуски, тобто всі ті пристрої, у яких рух вантажу відбувається тільки під дією сили тяжіння. Такий спосіб використовується при подачі матеріалу в бункери, для переміщення від затворів і живильників до конвеєрів, при перевантаженні з конвеєра на конвеєр і таке інше.

Для переміщення сипучого й дрібнодисперсного матеріалу підходять спускні труби, для великошматкового матеріалу частіше використовуються спускні лотки, жолоби, гвинтові спуски. Штучний, плоскодонний вантаж (коробки, мішки, ящики, вантаж на піддонах) зручно переміщати по роликівих конвеєрах, які також відносяться до гравітаційного транспорту.

Переваги цього виду транспорту у відсутності приводного пристрою, невисокої вартості та простоті.

Недоліки: зношування внутрішньої поверхні конвеєра при русі вантажу ковзанням; руйнування, крихкість, можлива деформація вантажу при неправильно обраному куті нахилу конвеєра, утворення заторів при змінних умовах (наприклад, підвищена вологості матеріалу, що транспортується).

Для зниження впливу недоліків таких пристроїв необхідно правильно підібрати кут нахилу гравітаційного транспортуючого пристрою з урахуванням коефіцієнта тертя матеріалу.

Сила тертя ковзання спрямована убік, протилежний можливому руху тіла й досягає значення, що не перевищує певної межі.

Найбільша сила тертя ковзання F_{max} пропорційна нормальному тиску N тіла на поверхні й визначається законом Кулона.

$$F_{max} = f_0 \cdot N, \quad (5.1)$$

де f_0 – статичний коефіцієнт тертя ковзання.

Схема руху тіла по вертикальній поверхні представлена на рисунку 5.1.

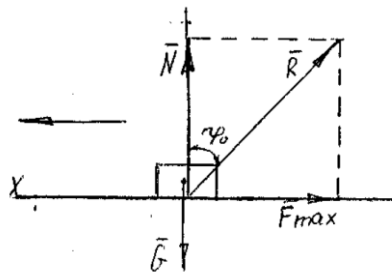


Рис. 5.1 – руху тіла вздовж вертикальної поверхні

Сила F_{max} відхиляє реакцію R від нормалі на кут φ . Тангенс кута φ тертя в спокої дорівнює статичному коефіцієнту тертя f

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{F_{max}}{N} = f_0 \quad (5.2)$$

Динамічний коефіцієнт тертя ковзання завжди менше статичного коефіцієнта f_0 та залежить від матеріалу дотичних тіл і їхньої шорсткості. Для абсолютно гладких тіл коефіцієнт $f = 0$, для реальних тіл $f > 0$.

Розглядаючи умови рівноваги реального шорсткуватого тіла на похилій площині, представлених на рисунку 5.2, доходимо висновку, що при куті нахилу α площини до горизонту більше ніж кут тертя в спокої φ тіло почне переміщатися в

напрямку осі X. У такий спосіб заміривши кут α , який дорівнює куту тертя φ та обчисливши значення $\operatorname{tg}\alpha$ визначимо коефіцієнт тертя ковзання в спокої.

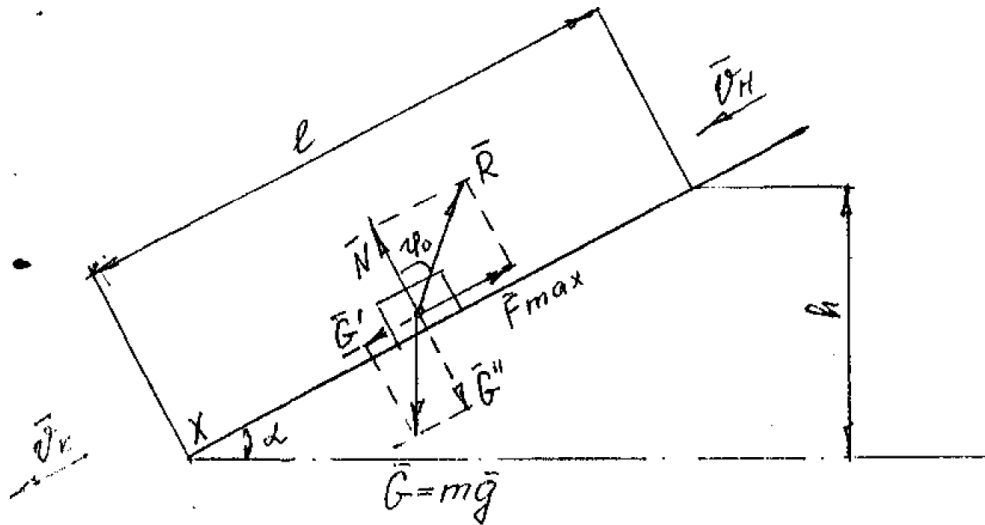


Рис. 5.2 – Умови рівноваги реального шорсткуватого тіла

Як сказано вище необхідною умовою переміщення вантажу вздовж спуска є перевищення кута нахилу α над кутом тертя вантажу. З умови рівноприскореного руху тіла при $\alpha > \varphi$ можна записати, що

$$mg = G \cdot \sin \alpha - f \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (5.3)$$

але $mg = \frac{G}{a}$, звідси динамічний коефіцієнт f тертя ковзання

$$f = \operatorname{tg}\alpha - \frac{a}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (5.4)$$

де a – прискорення руху тіла вздовж похилої площині при фіксованих значеннях відстаней S_0, S_1 і часу t .

$$\alpha = \frac{2S_1 + 2S_0 - 2(S_1 + 2S_0)^2 - S_1^2}{t_1^2} \quad (5.5)$$

Якщо прийняти масу вантажу m , початкову швидкість руху v_0 , а кінцеву v_k , то величину швидкості руху вантажу вздовж спуску можна визначити за теоремою про зміну кінетичної енергії:

$$\frac{mV_k^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mgh - mgfl \cos \alpha \quad (5.6)$$

враховуючи, що $h = l \cdot \sin \alpha$, швидкість на кінцевій ділянці визначається як

$$V_k = \sqrt{2gl(\sin \alpha - f \cos \alpha) + V_0^2}, \quad \text{або (5.7)}$$

$$V_k = \sqrt{2gh(1 - f \operatorname{ctg} \alpha) + V_0^2}, \quad (5.8)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання вантажу вздовж спуску.

Необхідно враховувати, що при великій довжині конвеєра швидкість руху може досягти такої величини, при якій можливе ушкодження вантажу.

При відомій початковій швидкості v_0 та заданій кінцевій швидкості v_k довжина спуска L , що забезпечує задану швидкість, визначиться з рівняння

$$L = \frac{2gh - v_k^2 + v_0^2}{2gf_0}, \text{ м} \quad (5.9)$$

Для зниження швидкості спуск роблять складовим, причому на одній ділянці при $\alpha > \varphi$ вантаж здобуває необхідну швидкість, на іншій, при $\alpha < \varphi$, забезпечується гальмування.

Опис лабораторної установки

Установка для визначення коефіцієнтів тертя різних матеріалів, представлена на рисунку 5.3, матеріал для випробування, секундомір.

Порядок виконання роботи

5.4. 1 Визначення статичного коефіцієнта тертя ковзання.

5.4.1.1 Встановити платформу в горизонтальне положення й помістити зразок у змінний лоток платформи.

5.4.1.2 Повертаючи гвинт 2 повільно збільшувати кут нахилу платформи доти, поки зразок під дією сили тяжіння не почне переміщатися.

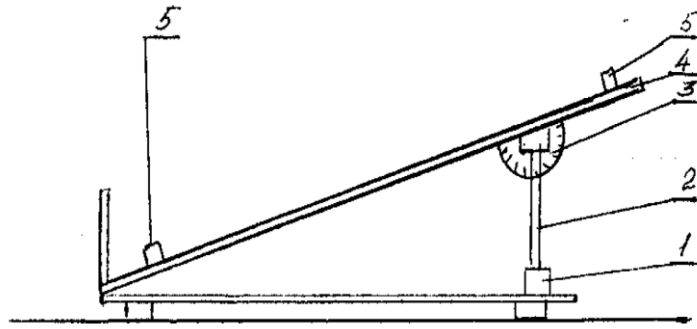


Рис. 5.3 – Установка для визначення коефіцієнтів тертя різних матеріалів:

1 - основа; 2 - гвинт; 3 - шкала; 4 - поворотна платформа зі змінними лотками; 5 – контакти

5.4.1.3 За шкалою транспортира визначити кут φ . Для кожного зразка дослід провести три рази й визначити середнєарифметичне значення кутів α .

5.4.1.4 За формулою (5.2) обчислити значення статичного коефіцієнта тертя ковзання досліджуваного матеріалу вздовж сталі, вздовж дерева, вздовж гуми.

5.4.2 Визначення динамічного коефіцієнта тертя ковзання.

5.4.2.1 Встановити платформу зі змінним лотком під кутом $\alpha > \varphi$, що забезпечує рівноприскорений рух матеріалу.

5.4.2.2 Встановити зразок у вихідне положення на відстані S_0 до першого контакту, потім дати можливість вільно сковзати вздовж лотка до другого контакту, тобто S_1 .

5.4.2.3 Зняти показання часу t за секундоміром й обчислити середнє значення t за трьома дослідями.

5.4.2.4 За формулами (5.4) та (5.5) обчислити значення динамічного коефіцієнта f тертя ковзання досліджуваного матеріалу вздовж сталі, вздовж дерева та вздовж гуми.

5.4.2.5 Досліди повторити не менш трьох разів.

5.4.3 Визначення кінцевої швидкості руху матеріалу.

5.4.3.1 За формулами (5.8) і (5.9) визначити кінцеву швидкість руху матеріалу й довжину конвеєра при заданих значеннях h .

5.4.3.2 Порівняти значення коефіцієнтів тертя різних матеріалів, подавши дані в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Значення коефіцієнтів тертя різних матеріалів

Досліджуваний матеріал	Коефіцієнт тертя ковзання f	
	Статичний	Динамічний
	вздовж сталі, дерева, гуми	вздовж сталі, дерева, гуми

Контрольні запитання

1. Які види гравітаційного транспорту використовуються в харчовій промисловості?
2. Призначення та галузь застосування гравітаційного транспорту.
3. Переваги та недоліки гравітаційного транспорту.
4. Можливості регулювання швидкості руху вантажу.
5. Шляхи зниження величини коефіцієнта тертя.
6. Опишіть роботу лабораторної установки.

Список літератури

1. Погожих М.І., Фощан А.Л., Цуркан М.М. Фізика і фізичні методи дослідження сировини та матеріалів: навчальний посібник. – Харків: ХДУХТ, 2008 р. – 279 с.
2. Кармазін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики : навчальний посібник – К.: Кондор, 2008 – 240 с.
3. Погожих М.І., Цуркан М.М., Пак А.О., Воронцова Ж.В. Фізика : начальний посібник. – Харків : ХДУХТ, 2012 р. – 266 с.
4. Погожих М.І., Пак А.О. Фізичні основи обробки сировини : навчальний посібник. – Харків : ХДУХТ, 2011 р. – 82 с.

Навчальне видання

Склали: **ВОРОНЦОВА ЖАННА ВАДИМІВНА**

ПАК АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ

ПАВЛЮК ІГОР МИКОЛАЙОВИЧ

Методичні вказівки

до виконання лабораторного практикуму з дисципліни

«Методи контролю продукції в галузі»

Частина 1. Фізичні методи дослідження продовольчої сировини і харчової
продукції

для студентів напряму підготовки:

6.051701 – «Харчові технології та інженерія» піднапрямку «Технологія
харчування»

Підп. до друку Формат 60x84 1/16

Папір офсет. Друк офс. Ум. друк арк. 2,3

Тираж прим. Зам.

Видавець та виготавлювач

Харківський державний університет харчування та торгівлі

61051 Харків, вул. Клочківська 333

Свідоцтво суб`єкта видавничої справи

ДК №2319 від 19.10.2005 р.
