



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН:
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ДИСЦИПЛІНИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ТА ОБЛАДНАННЯ ПІДГОТОВКИ СЕРЕДОВИЩ
ТА ОТРИМАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,
спеціалізацією «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних
виробництв»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Реологічні властивості неньютонівських рідин: лабораторний практикум з дисципліни Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання біотехнологічних матеріалів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.Р. Степанюк, Г.К. Іваницький – Електронні текстові дані (1 файл: 1,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 21.02.2019 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 1 від 28.01.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН: ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ДИСЦИПЛІНИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ПІДГОТОВКИ СЕРЕДОВИЩ ТА ОТРИМАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Укладачі: *Іваницький Георгій Костянтинович*, докт.техн.наук., пр.н.с.
Степанюк Андрій Романович, канд.тех. наук, доц.

Відповідальний редактор *Корнієнко Я.М.*, докт. тех. наук, професор

Рецензенти: *Сокольський О.Л.*, канд.тех. наук, доц.

У збірнику лабораторних робіт коротко викладено матеріали для проведення лабораторних робіт: “Дослідження реологічних властивостей розчинів полімерів”, а також “Види та групи, до якої відноситься досліджувана неньютонівська рідина”. До лабораторних робіт наведено теоретичні відомості, опис експериментальної установки, методику проведення експерименту, методику обробки результатів експерименту, контрольні запитання та перелік посилань.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИНІВ ПОЛІМЕРІВ	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ВИДИ ТА ГРУПИ, ДО ЯКИХ ВІДНОСИТЬСЯ ДОСЛІДЖУВАНА НЕНЬЮТОНІВСЬКА РІДИНА	6
3 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	7
3.1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РЕОЛОГІЇ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН	7
3.2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО ВІСКОЗИМЕТРА ...	14
4 ОПИС ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ.....	19
5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	21
6 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
7 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЇ РОЗЧИНУ ПОЛІМЕРУ.....	25
8 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
7 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ	30
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	34
ДОДАТОК А.....	35
ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ЗВІТУ	37
ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗМІСТУ ЗВІТУ	38

ВСТУП

Вивчення реологічних властивостей розчинів полімерів дуже важливе для розвитку методу інженерного розрахунку в області тепло- та масообміну, та для визначення енергетичних витрат в технологічних процесах. Знання цих властивостей забезпечує можливість обґрунтованого підходу проектування нового обладнання для виготовлення полімерних матеріалів.

Тому необхідно приділяти велику увагу засвоєнню теоретичних знань у практичному відпрацюванні лабораторних робіт.

Матеріал вказівок викладений за авторами [1-4].

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИНІВ ПОЛІМЕРІВ

Мета та основні задачі роботи

Метою даної роботи є експериментальне визначення таких реологічних параметрів, як в'язкість, швидкість зсуву, напруга зсуву в залежності від температури розчинів полімерів.

У зв'язку з поставленою метою можна сформулювати такі завдання дослідів:

1. Експериментально визначити в'язкість розчинів полімерів у залежності від температури, швидкості зсуву та напруги зсуву.
2. На основі експериментальних даних побудувати криві течії для двох значень температури
3. Апроксимувати криву течії в області нелінійно в'язкої течії степеневим законом, визначити коефіцієнти консистенції, показник неньютонівської поведінки досліджуваних розчинів в залежності від температури та температурний коефіцієнт.
4. Побудувати реологічні рівняння.
5. Виконати аналіз результатів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ВИДИ ТА ГРУПИ, ДО ЯКИХ ВІДНОСИТЬСЯ ДОСЛІДЖУВАНА НЕНЬЮТОНІВСЬКА РІДИНА

Мета та основні задачі роботи

Метою даної роботи є експериментальне визначення виду і групи в'язких, стаціонарних неньютонівських рідин, до яких відноситься досліджувана рідина.

У зв'язку з поставленою метою можна сформулювати такі завдання дослідів:

1. Експериментально визначити в'язкість рідини у залежності від температури, швидкості зсуву та напруги зсуву.

2. На основі експериментальних даних побудувати криві течії для двох значень температури

3. Апроксимувати криву течії в області нелінійно в'язкої течії степеневим законом, визначити коефіцієнти консистенції, показник неньютонівської поведінки досліджуваних розчинів в залежності від температури та температурний коефіцієнт.

4. Побудувати реологічні рівняння та на базі отриманих залежностей побудувати апроксимаційні криві.

5. Виконати аналіз результатів та визначити до якого виду та групи, відноситься досліджувана неньютонівська рідина.

3 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ РЕОЛОГІЇ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН

Матеріал розділу викладений за авторами [1-4].

Згідно закону в'язкості Ньютона:

$$\tau_{zc} = \mu \cdot \frac{du_x}{dy}, \quad (1)$$

напруга внутрішнього тертя, що виникає між шарами рідини при її течії, або напруга зсуву τ_{zc} , прямо пропорційна градієнту швидкості, або швидкості зсуву du_x/dy . *Швидкість зсуву du_x/dy надалі будемо позначати символом j .*

Коефіцієнт пропорційності μ в рівнянні Ньютона називається коефіцієнтом динамічної в'язкості, або просто в'язкістю.

Графічна залежність $\tau_{zc} = f(j)$ ньютонівських рідин має вигляд прямої лінії, що проходить через початок координат (пряма 1 на рисунку 1), а тангенс кута нахилу цієї прямої дорівнює величині в'язкості μ при заданих значеннях температури та тиску. Закон в'язкості Ньютона справедливий для всіх газів та однорідних не полімерних рідин.

Однак є велика кількість важливих для промисловості матеріалів, поведінку яких не можна описати рівнянням Ньютона, і які мають назву неньютонівських рідин. При заданих значеннях температури і тиску в'язкість неньютонівських рідин не залишається постійною, а залежить від величини швидкості зсуву j . Тому для ньютонівських рідин, представлених на рисунку 1, графічні залежності τ_{zc} від j , *які називають кривими течії*, є криволінійними.

У загальному вигляді криві течії описуються аналітичною залежністю

$$\tau_{zc} = f(du_x/dy), \text{ або } \tau_{zc} = f(j)$$

Як видно з рисунка 1, криві течії у неньютонівських рідин різних типів якісно відрізняються за характером.

При заданих значеннях температури і тиску в'язкість неньютонівських рідин не залишається постійною, а змінюється в залежності від швидкості зсуву,

його тривалості, або «передісторії» рідини, а також від конструкції апарату. Неньютонівські рідини можна розділити на три великі групи:

- в'язкі стаціонарні рідини;
- в'язкі нестаціонарні тиксотропні та реопектичні рідини;
- вязкопружні або максвелловські рідини.

В'язкі, або стаціонарні неньютонівські рідини.

1. Для цих рідин крива течії $\tau_{zc} = f(j)$ не залежить від часу. До групи стаціонарних неньютонівських рідин відносяться **бінгамівські в'язкопластичні рідини**, для яких криві течії описуються рівнянням Бінгама-Шведова (пряма 2 на рисунку 1):

$$\tau_{zc} = \tau_0 + \mu_{nl} \cdot j, \text{ якщо } \tau_{zc} > \tau_0, \text{ або } j = 0, \text{ якщо } \tau_{zc} < \tau_0. \quad (2)$$

Тут τ_0 - гранична напруга зсуву, а μ_{nl} - коефіцієнт пластичної в'язкості.

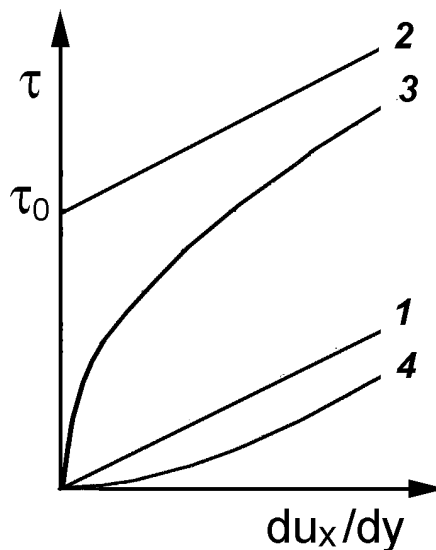


Рисунок 1 – Залежності між напругою зсуву і швидкістю зсуву (криві течії).

- 1 – ньютонівські рідини; 2 – бінгамівські пластичні рідини;
3 – псевдопластичні рідини; 4 – ділатантні рідини.

Під дією зсувних напруг бінгамівська рідина залишається нерухомою доти, поки величина зсувної напруги τ_{zc} не перевищить граничне значення τ_0 . При $\tau_{zc} > \tau_0$ бінгамівська рідина веде себе як ньютонівська рідина з постійним значенням в'язкості $\mu_{nl} = \text{const}$.

До бінгамівських рідин відносяться дрібнодисперсні суспензії, зокрема, глинисті і цементні промивні розчини, що застосовуються при бурінні нафтових та газових свердловин, масляні фарби, стічні грязі, мули, деякі пасти.

2. До групи в'язких, стаціонарних ньютонівських рідин відносяться також **псевдопластичні рідини**, у яких нахил кривих залежності $\tau_{zc} = f(j)$ **плавно зменшується із зростанням швидкості зсуву j** . Відповідно, коефіцієнт пропорційності між τ_{zc} та j , який називають **уявною, або ефективною в'язкістю μ_{ef}** , **поступово зменшується** по мірі підвищення швидкості зсуву (крива 3 на рисунку 1).

До псевдопластичних рідин відносяться високомолекулярні сполуки, розчини полімерів, суспензії асиметричних часток волокнистих матеріалів.

3. **Ділатантні рідини**, що входять до групи стаціонарних неньютонівських рідин відрізняються від псевдопластичних тим, що у них із збільшенням швидкості зсуву j нахил кривих залежності $\tau_{zc} = f(j)$, тобто ефективна в'язкість μ_{ef} , не зменшується, а **плавно зростає** (крива 4 на рисунку 1).

Такі криві течії, специфічні для ділатантних рідин, спостерігаються у концентрованих суспензій твердих частинок, а також у крохмальних клейстерів.

Криві течії псевдопластичних та ділатантних неньютонівських рідин можна представити у вигляді узагальненого співвідношення

$$\tau_{zc} = -\mu_{ef} \cdot j, \quad (3)$$

яке за формою співпадає із рівнянням (1) для ньютонівських рідин.

Якщо крива течії неньютонівської рідини представлена в графічному вигляді, величина ефективної в'язкості для будь-якого значення швидкості зсуву j_c визначається, як **нахил дотичної до кривої течії в точці $j = j_c$**

Тиксотропні і реопектичні неньютонівські рідини.

До другої групи належать неньютонівські рідини, у яких параметри τ_{zc} та j змінюються у часі. Для цих рідин умовна в'язкість μ_{ef} визначається не тільки градієнтом швидкості, але і тривалістю зсуву, тобто передісторією рідини.

Відповідно до характеру впливу тривалості зсуву на структуру рідини в цій групі розрізняють тиксотропні і реопектичні рідини.

Для тиксотропних рідин зі збільшенням часу впливу напруги зсуву певної величини структура руйнується і текучість зростає. Однак після зняття напруги структура рідини поступова відновлюється, і вона перестає текти. До таких рідин відноситься, наприклад, багато фарб, тиксотропні властивості яких полегшують їх нанесення і стримують стікання фарби, нанесеної на вертикальну поверхню. Легко побачити явище тиксотропії також на прикладі молочних продуктів, таких, як кисле молоко, йогурт, кефір, тощо, в'язкість яких зменшується при збовтуванні.

Реопектичні рідини відрізняються тим, що їх течія зі збільшенням тривалості впливу напруги зсуву знижується.

Вязкопружні, або максвелловські неньютонівські рідини.

До третьої групи відносяться вязкопружні, або максвелловські рідини, які течуть під дією напруги зсуву, а після зняття напруги частково відновлюють свою форму, подібно пружним твердим тілам. Такими властивостями характеризуються деякі смоли і речовини тістоподібної консистенції.

Умовні в'язкості всіх неньютонівських рідин зазвичай значно перевищують в'язкість води.

В даному лабораторному практикумі досліджуються неньютонівські рідини першої групи, а саме *в'язкі стаціонарні неньютонівські рідини*.

Криві течії неньютонівських рідин.

За визначенням ефективна в'язкість μ_{ef} кількісно дорівнює в'язкості умовної ньютонівської рідини, яка при даному градієнті швидкості зсуву на стінці вимірювального елемента мала б таку ж саму напругу зсуву.

Ефективну в'язкість μ_{ef} можна представити у вигляді функції швидкості зсуву $\mu_{ef} = f(j)$ або функції напруги зсуву $\mu_{ef} = f(\tau_{zc})$. Ці залежності

називають в'язко - швидкісними кривими течії, що показують, як змінюється ефективна в'язкість в залежності від швидкості зсуву чи від напруги зсуву.

Типовий характер в'язко–швидкісної кривої течії псевдопластичних рідин зображено на рисунку 2. При достатньо малих ($j < j_a$) та дуже великих ($j > j_b$) швидкостях зсуву псевдопластичні рідини поведуть себе як типова ньютонівська рідина. У кожній з цих двох областей псевдопластична рідина характеризується постійними, але різними за величиною значеннями в'язкості, які називають, відповідно, найбільшою μ_0 та найменшішою μ_∞ ньютонівською в'язкістю.

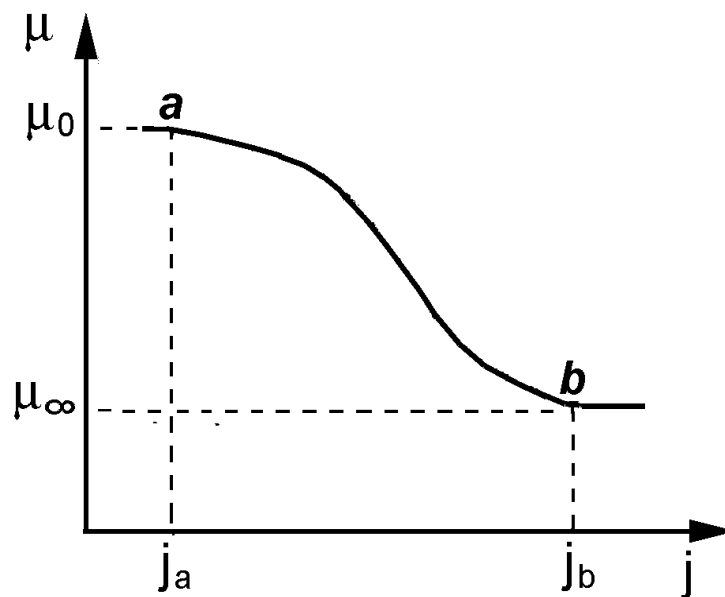


Рисунок 2 – Повна в'язко–швидкісна крива течії псевдопластичних рідин

Реологічне рівняння стану

Для апроксимації кривої течії неньютонівських рідин в інженерній практиці широко застосовують реологічне рівняння стану в формі степеневі залежності Оствальда - Вейля, яке записується у вигляді

$$\tau_{zc} = -K \left| \frac{du_x}{dy} \right|^{n-1} \cdot \frac{du_x}{dy}, \text{ або } \tau_{zc} = -K \cdot |j|^{n-1} j, \quad (4)$$

де K і n - константи.

Коефіцієнт консистентності K є мірою консистенції рідини і зростає із зменшенням її текучості. Параметр n характеризує ступінь неньютонівської поведінки рідини, або ступінь нелінійності кривих течії.

При $n=1$ рівняння (4) зводиться до закону в'язкості Ньютона, причому $K = \mu$. Якщо $n < 1$, рівняння (4) описує *поведінку псевдопластичних рідин*, а при $n > 1$ - *поведінку ділатантних рідин*.

З рівнянь (3) та (4) випливає, що ефективна в'язкість μ_{ef} пов'язана з коефіцієнтом консистентності K співвідношенням

$$\mu_{ef} = K \cdot j^{n-1}. \quad (5)$$

Визначення коефіцієнта консистентності K та показника степені n .

Для визначення параметрів K і n необхідно прологарифмувати обидві частини рівняння (5).

$$\ln \mu_{ef} = \ln K + (n-1) \cdot \ln j. \quad (6)$$

З рівняння (6) видно, що для неньютонівських рідин, які описуються рівнянням Оствальда-Вейля, залежність $\ln \mu_{ef} = f(\ln j)$ є прямою лінією.

Якщо в результаті вимірювання на віскозиметрі для двох значень швидкості зсуву неньютонівської рідини - j_1 та j_2 знайдено відповідні їм значення ефективної в'язкості μ_{ef1} та μ_{ef2} , то на основі рівняння (6) можна записати:

$$\ln \mu_{ef1} = \ln K + (n-1) \cdot \ln j_1;$$

$$\ln \mu_{ef2} = \ln K + (n-1) \cdot \ln j_2.$$

Віднімаючи від другої рівності першу, і враховуючи, що $K = \text{const}$, одержимо

$$\ln \mu_{ef2} - \ln \mu_{ef1} = (n-1) \cdot (\ln j_2 - \ln j_1),$$

звідки

$$n = 1 + \frac{\ln \mu_{ef2} - \ln \mu_{ef1}}{\ln j_2 - \ln j_1} = 1 - \frac{\ln \mu_{ef2} - \ln \mu_{ef1}}{\ln j_1 - \ln j_2} = 1 - \text{tg } \alpha. \quad (7)$$

Показник степені n визначається, як $1 - \text{tg } \alpha$, де α – кут нахилу кривої течії $\ln \mu_{ef} = f(\ln j)$, яка в логарифмічних координатах описується прямою лінією, до вісі абсцис. Звідси випливає, що $n - 1 = -\text{tg } \alpha$

При визначеному показнику степені n коефіцієнт консистентності K можна знайти з рівняння (6), наприклад, у вигляді формули

$$\ln K = \ln \mu_{ef2} + \operatorname{tg} \alpha \cdot \ln j_2 \quad , \quad (8)$$

де μ_{ef2} - знайдене в експерименті значення ефективної в'язкості, яке відповідає зсувній швидкості j_2 .

На рисунку 3 показано графічне визначення реологічних параметрів K і n із застосуванням рівнянь (7) та (8).

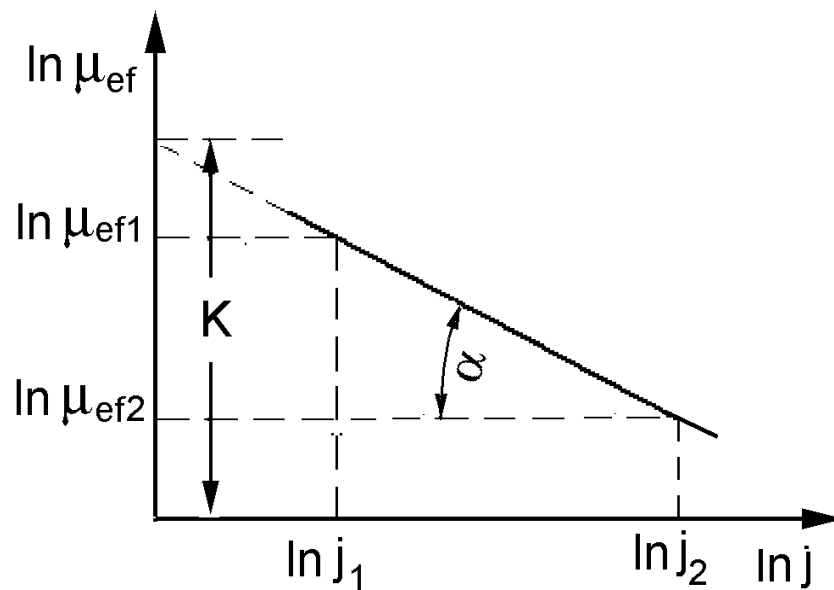


Рисунок 3 – До визначення реологічних параметрів K та n

Визначення температурного коефіцієнта

Залежність між коефіцієнтами консистентності K_1 та K_2 , визначеними в експерименті при заданих температурах, відповідно T_1 і T_2 , має вигляд

$$K_2 = K_1 \exp\left(-\beta \frac{T_2 - T_1}{T_1}\right).$$

Тоді температурний коефіцієнт β можна розрахувати по формулі

$$\beta = \ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) \cdot \frac{T_1}{(T_2 - T_1)} = \frac{(\ln K_1 - \ln K_2)N_1}{(T_2 - T_1)}. \quad (9)$$

Коефіцієнти консистентності K_1 та K_2 визначаються для двох значень температури в'язкої рідини – T_1 і T_2 .

Зсувна напруга τ_{zc} виникає, коли в одномірному потоці рідини, що тече через вузький канал в напрямку x , існує градієнт швидкості du_x/du в напрямку осі y , перпендикулярної напрямку потоку x . Така ситуація створюється, наприклад, при тангенціальній течії в'язкої рідини в кільцевому каналі між двома коаксіальними циліндрами, один з яких обертається із заданою кутовою швидкістю (так звана течія Куетта). За таким принципом працюють ротаційні віскозиметри для вимірювання реологічних характеристик ньютонівських та неньютонівських рідин.

3.2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО ВІСКОЗИМЕТРА

Ротаційні віскозиметри, або віскозиметри з коаксіальними циліндрами, складаються з двох співвісних вертикальних циліндрів, між якими міститься випробувана рідина, Один з циліндрів – нерухомий, а другий обертається з постійною кутовою швидкістю, наприклад, за допомогою падаючого вантажу. У деяких типів приладів обертається внутрішній циліндр, а у інших - зовнішній.

Принцип роботи ротаційних віскозиметрів полягає в тому, що міру опору зсувній течії, тобто величину зсувної напруги τ_{zc} , можна визначити, вимірюючи *момент обертання M і швидкість обертання рухомого циліндра Ω* .

На рисунку 4 показано принципову схему ротаційного віскозиметра з коаксіальними циліндрами, де зовнішній циліндр нерухомий, а внутрішній обертається з кутовою швидкістю $\omega = \Omega/2\pi$ під дією прикладеної до його поверхні пари моментів сили $M = GR$, які утворюються завдяки силовій дії падаючого вантажу з вагою G .

При заданій *частоті обертання* внутрішнього циліндра Ω (число обертів в одиницю часу, об/с) *кутова швидкість* визначається, як $\omega = 2\pi\Omega$ (с⁻¹), а *лінійна швидкість* поверхні внутрішнього циліндру $v_1 = \omega \cdot r_1 = 2\pi\Omega \cdot r_1$ (м/с).

Зсувну течію в'язкої рідини в зазорі між циліндрами в горизонтальній площині зручніше описувати в циліндричній системі координат (r, φ) , де радіальна координата r і кутова координата φ визначають поточне положення

точки рідини. Частинки рідини всередині зазору рухаються по кільцевим траєкторіям і складова швидкості рідини в радіальному напрямку $v_r = 0$. Отже, швидкість рідини в зазорі між циліндрами визначається лише кутовою складовою v_φ . Як видно з рисунка 4, по мірі збільшення r величина швидкості v_φ зменшується від $v_\varphi = v_1 = \omega \cdot r_1$ при $r = r_1$ до $v_\varphi = 0$ при $r = r_2$. Величина швидкості зсуву j визначається градієнтом швидкості потоку v_φ вздовж координати r , тобто $j = dv_\varphi/dr$.

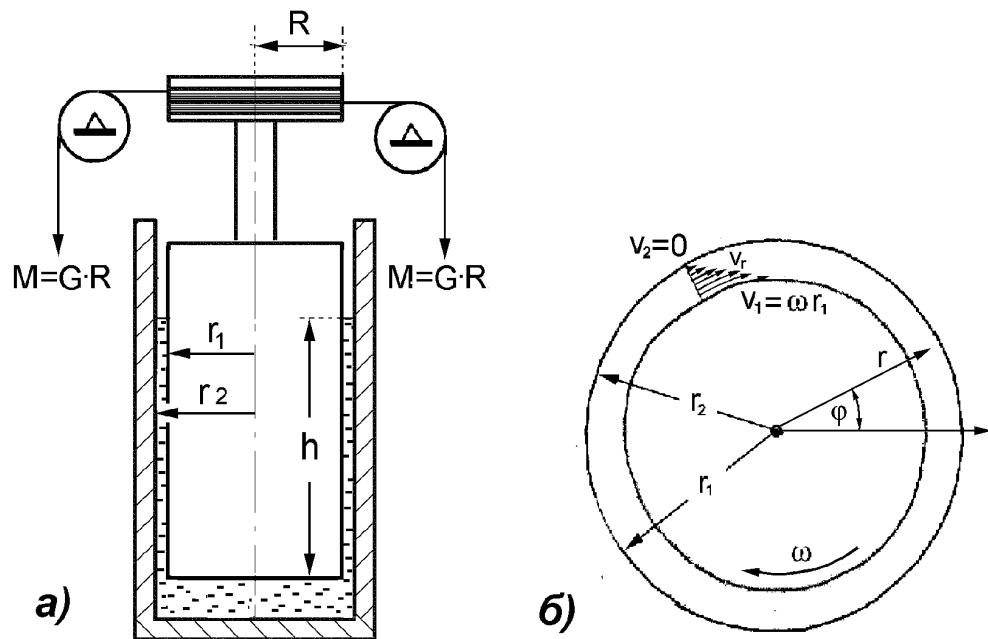


Рисунок 4 – Принцип роботи ротаційного віскозиметра з двома коаксіальними циліндрами.

а) загальна схема віскозиметра; б) характер зсувної течії в зазорі між циліндрами.

r_1 та r_2 - радіуси циліндра, що обертається, та нерухомого циліндру, відповідно;

h - змоченої поверхні рухомого циліндру; R - радіус шків, на який намотана нитка.

Визначення зсувної швидкості.

Величина швидкості v_φ в зазорі на відстані r від осі обертання

розраховується з диференційного рівняння $\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rv_\varphi) \right] = 0$. Це рівняння

можна проінтегрувати по r з відповідними граничними умовами: $v_\varphi = \omega \cdot r_1$ при

$r = r_1$ та $v_\varphi = 0$ при $r = r_2$.

В результаті одержимо рівняння зміни швидкості по ширині зазору

$$v_{\varphi}(r) = \omega \cdot r_1 \frac{(r_2^2 - r^2)}{(r_2^2 - r_1^2)} r. \quad (10)$$

Швидкість зсуву j змінюється по ширині зазору у відповідності з рівнянням

$$j(r) = \frac{dv_{\varphi}}{dr} = 2\omega \cdot r_1^2 \frac{1}{r^2} \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right). \quad (11)$$

Підставивши в рівняння (11) значення $r = r_1$, визначаємо величину швидкості зсуву безпосередньо на границі з поверхнею внутрішнього циліндра

$$j(r_1) = 2\omega \cdot \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) = 4\pi\Omega \cdot \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right). \quad (12)$$

Для розрахунку з формули (12) зсувної швидкості потоку на границі з рухомим циліндром $j(r_1)$ необхідно застосовувати **кутову швидкість** $\omega = 2\pi\Omega$. Частота обертання циліндра $\Omega = N/\Delta\tau$ визначається в експерименті шляхом реєстрації секундоміром проміжку часу $\Delta\tau$, за який циліндр здійснив задане число обертів N .

Визначення напруги зсуву.

Внутрішній циліндр ротаційного віскозиметра обертається під дією моменту сили M , прикладеного до його поверхні. Оскільки під дією моменту сили циліндр обертається не з прискоренням, а рухається з постійною кутовою швидкістю, це означає, що на поверхню циліндру діє рівний за величиною, але протилежний за напрямом момент сили з боку рідини. Цей протилежний момент сили, який також прикладений до поверхні внутрішнього циліндру, створюється завдяки опору в'язкої рідини обертанню циліндра. Момент сили, прикладений до циліндра з боку рідини розраховується за формулою

$$M = F \cdot r_1 = 2\pi r_1 \cdot h \cdot \tau_{zc}(r_1) \cdot r_1. \quad (13)$$

де $F = 2\pi r_1 \cdot h \cdot \tau_{zc}(r_1)$ – сила, що діє на поверхню циліндра з боку рідини, (Н);

$2\pi r_1 \cdot h = S_{\mu}$ – площа змоченої бокової поверхні внутрішнього циліндра, (м²);

h – висота змоченої поверхні внутрішнього циліндра, (м); $\tau_{zc}(r_1) = F/S_u$ – напруга зсуву потоку рідини на границі з поверхнею циліндра, або величина сили F на одиницю площі циліндра, ($\text{Н/м}^2 = \text{Па}$).

Величина напруги зсуви $\tau_{zc}(r_1)$ визначається з формули (13), як

$$\tau_{zc}(r_1) = \frac{M}{2\pi r_1^2 \cdot h}. \quad (14)$$

Отже, при заданому радіусі внутрішнього циліндра для визначення $\tau_{zc}(r_1)$ необхідно вимірювати висоту змоченої бокової поверхні циліндра h , а також прикладений до циліндра момент сили M .

Визначення моменту сили, прикладеного до циліндра з боку рідини.

Як зазначено вище, момент сили M , прикладений до циліндра з боку потоку рідини, дорівнює по величині моменту сили M , прикладеного до циліндра ззовні.

З показаної на рисунку 4 схеми віскозиметра видно, що внутрішній циліндр обертається під дією ваги падаючого вантажу G , яка через нитку передається шківу, котрий обертається разом з циліндром. При падінні вантажу шківу з радіусом R передається момент сили $M = G \cdot R$, а через шків цей момент сили передається циліндру з радіусом r_1 . Отже,

$$M = G \cdot R = F \cdot r_1. \quad (15)$$

(Зауваження. Для зменшення погрішності вимірювання в'язкості ротаційним віскозиметром треба враховувати додаткові витрати на тертя днища циліндра об рідину при його обертанні (так званий “крайовий ефект”). Для цього співвідношення (15) слід записувати у формі

$$M = G \cdot R = (F + F_{\text{дн}}) \cdot r_1, \quad (15a),$$

де $F_{\text{дн}}$ - сила тертя днища циліндра об рідину при його обертанні. Величина $F_{\text{дн}}$ залежить від форми днищ обох циліндрів та від відстані між днищами. Вплив кінцевого ефекту тим значніший, **чим більше радіус циліндра r_1 і чим менше його висота h . Поправкою на кінцевий ефект можна знехтувати, якщо $h/r_1 \geq 3$.**)

Визначення величини ефективної в'язкості.

Підставляючи в формулу (14) значення $M = G \cdot R$ з формули (15), запишемо

$$\tau_{zc}(r_1) = \frac{G \cdot R}{2\pi r_1^2 \cdot h}. \quad (16)$$

Згідно з рівнянням (3) криву течії в'язкої рідини можна представити у вигляді $\tau_{zc}(r_1) = \mu_{ef} \cdot j(r_1)$.

Підставляючи в рівняння (3) значення $\tau_{zc}(r_1)$ та $j(r_1)$, відповідно з рівнянь (14) та (12), одержимо

$$\frac{G \cdot R}{2\pi r_1^2 \cdot h} = \mu_{ef} \cdot 2\omega \cdot \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right),$$

звідки

$$\mu_{ef} = \frac{G \cdot R}{8\pi^2 r_1^2 \cdot h \cdot \Omega} \left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2} \right) = k_1 \frac{G}{\Omega}. \quad (17)$$

Тут k_1 - *стала віскозиметра*, яка включає лише відомі розмірні характеристики застосованого ротаційного віскозиметра, і яка визначається як

$$k_1 = \frac{R \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{8\pi^2 r_1^2 \cdot h \cdot r_2^2}. \quad (18)$$

Параметри G та Ω , що входять у формулу (17), визначаються в ході проведення дослідження на ротаційному віскозиметрі.

4 ОПИС ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ

Матеріал розділу викладений за авторами [1]. Реологічні характеристики розчинів полімерів досліджуються на ротаційному віскозиметрі типу РВ-8 у діапазоні швидкостей зсуву $j=2...300\text{c}^{-1}$.

Технічні характеристики приладу РВ-8.

1. Розміри вимірювального елемента РВ-8, мм:

радіус внутрішнього циліндра $r_1 = 15,05$;

радіус зовнішнього циліндра $r_2 = 19,05$;

радіус шківа, на який намотана нитка, $R = 22,35$.

2. Об'єм дослідного матеріалу між циліндрами – 35 см^3 .

3. Висота змоченої поверхні внутрішнього циліндра $h = 10\text{ см}$;

3. Діапазон вимірювання в'язкості – $0,5...100\text{ Па}\cdot\text{с}$.

4. Діапазон робочих температур – $293... 335\text{ К}$.

5. Потужність 500 Вт . Живлення змінним струмом 200 В , з частотою 50 Гц .

6. Маса - 15 кг .

Принципову схему установки показано на рисунку 5.

Установка складається з таких вузлів:

Вузол вимірювання моментів обертання, який в свою чергу складається з внутрішнього циліндра 13, що обертається, зовнішнього нерухомого циліндра 12, шківа 7. Цей вузол служить для виміру кутової швидкості внутрішнього циліндра.

Для підтримки постійної температури досліджуваної рідини віскозиметр РВ-8 споряджений термостатом, який складається з корпусу 15, нагрівача 10, водяного теплообмінника 8 і мішалки 6. Мішалка має привід від електродвигуна 5 змінного струму потужністю 2 Вт . Мішалка служить для підтримки однорідного температурного поля рідини в термостаті. Теплообмінник призначений для швидкого охолодження рідини в термостаті.

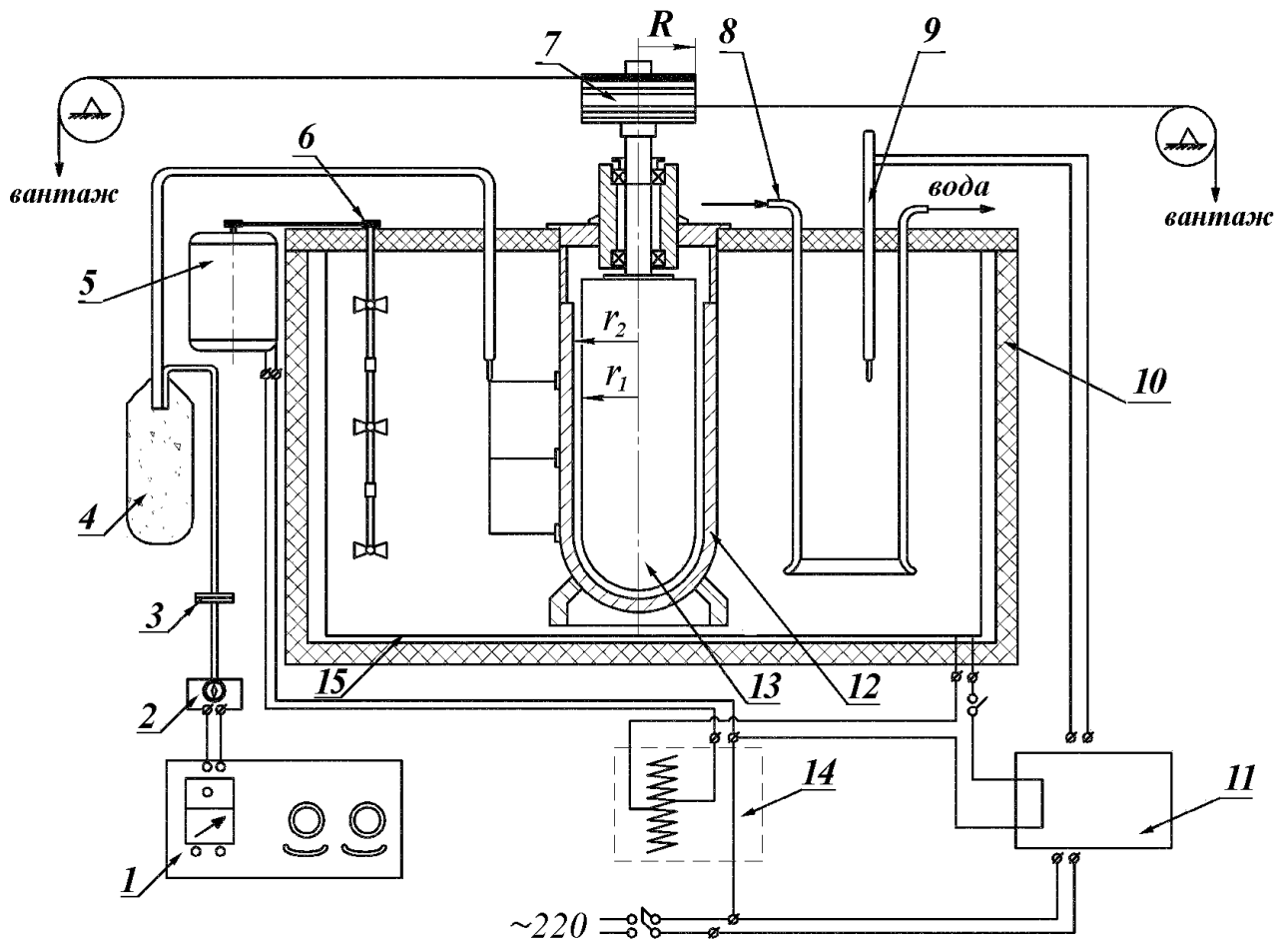


Рисунок 5 – Принципова схема установки

1 – вимірювальний прилад; 2 – багатопозиційний перемикач; 3 – муфта; 4 – посудина Дюара; 5 – електродвигун; 6 – мішалка; 7 – шків; 8 – водяний теплообмінник; 9 – контактний термометр; 10 – нагрівач; 11 – блок автоматичного регулювання; 12 – зовнішній циліндр; 13 – внутрішній циліндр; 14 – лабораторний трансформатор; 15 – корпус.

Вузол автоматичного регулювання температури 11, який в комплексі з контактним термометром 9 призначено для підтримки заданої температури досліджуваної рідини за час роботи, включає прибори контролю температури. Температура вимірюється мідь - константовими термопарами, холодний спай, яких знаходиться всередині посудини Дюара 4. Значення ТЕДС термопар через розбірну муфту 3 та багатопозиційний перемикач 2 поступає на вимірювальний прилад 1 типу ПП-63. Вузол служить для електроживлення блока автоматичного регулювання температури, електронагрівача термостата та електродвигуна, складеного з лабораторного трансформатора 14 типу ЛАТР.

5 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

1. Перед вмиканням перевірити наявність заземлення та рівень рідини в термостаті.
2. Роботу проводити тільки за інструкцією та у присутності викладача або лаборанта.
3. При виконанні роботи бути уважними: деталі що знаходились у термостаті (рухомий та нерухомий циліндри), мають високу температуру. При очищенні циліндра від розчину полімеру їх необхідно брати ганчір'ям.

6 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріал розділу викладений за авторами [1]. До початку вимірювань віскозиметр встановити горизонтально по рівню за допомогою установчих гвинтів. Потім перевірити силу тертя G_{mp} в підшипниках системи, що обертається, та в роликах, тобто в підшипниках вузла вимірювання обертових моментів. Для цього потрібно зняти чашечки та до ниток підвісити по черзі грузи з масою m_{mp} 0,5; 1; 1,5; 2 грами, поки не почне обертатися центральна вісь. Сила тертя в підшипниках повинна переборюватися моментом, який створює вантаж масою не більш двох грамів. Якщо сила тертя в підшипниках вища за допустиму, то підшипник вузла необхідно помити бензином та заново змастити, а потім відрегулювати притискною гайкою, після чого перевірити силу тертя. Записати масу m_{mp} до таблиці 1.

Визначити масу кожної з пустих чашок $m_{ч1}$ та $m_{ч2}$. Записати до таблиці 1 сумарну масу пустих чашок $m_{ч} = m_{ч1} + m_{ч2}$

Для завантаження досліджуваної рідини у нерухомий циліндр треба підняти корпус підшипників разом з внутрішнім циліндром та кришкою над термостатом і закріпити притискним гвинтом. У зовнішній нерухомий циліндр залити 35 мл досліджуваної рідини. Опустити корпус підшипників і встановити кришку на місце.

Якщо виміри проводяться при кімнатній температурі, необхідно визначити за допомогою термометра температуру рідини в термостаті. Значення температури T внести в таблицю 2.

Якщо вимірювання в'язкості виконується при більш високих температурах, треба увімкнути нагрівач термостата та привід мішалки. На контактному термометрі встановити необхідну температуру T . Контроль за прогрівом матеріалу виконується за допомогою потенціометра ПП-6. Нагрівання проводити протягом 20...25 хвилин, перевіряючи температуру рідини в термостаті через кожні 5 хвилин. Після того, як рідина в термостаті нагріється

до заданої температури, виключити нагрівач і перемішувати мішалкою рідину в термостаті ще 5-10 хвилин до повного нагрівання досліджуваної в'язкої рідини між циліндрами. Виміряти температуру рідини в термостаті і значення температури T внести в таблицю 2.

Після цього почати виконання замірів.

На кожну чашку помістити початкові наважки з масою по 0,5 г. Відпустити гальмо та за допомогою секундоміра визначити час $\Delta\tau$, за який шків (і внутрішній циліндр) здійснює задане число обертів N ($N=3\dots5$ обертів). Для кожної наважки виконати три заміри. По результатам трьох замірів $\Delta\tau$ визначити $\Delta\tau_{cp}$. Занести до таблиці 2 значення початкової маси наважки на одну чашку m_2 та час $\Delta\tau_{cp}$.

Потім встановити наступну наважку, додаючи на кожну чашку по 0,5 г, і при заданому числі обертів N визначити за трьома повторними вимірами значення $\Delta\tau_{cp}$.

Внести до таблиці 2 чергове значення маси наважки на одній чашці m_2 і відповідне їй значення $\Delta\tau_{cp}$. Заміри повторюються доти, поки швидкість обертання циліндра $\Omega = N/\Delta\tau$ не досягне швидкості близько 0,25 об/с. Кожного разу значення m_2 і $\Delta\tau_{cp}$ вносяться в таблицю 2. Температуру T потрібно вимірювати через п'ять хвилин протягом усього дослідження.

Після закінчення досліджень вимкнути нагрівач та привід мішалки. Підняти кришку термостата і викрутити нерухомий циліндр з корпуса підшипників. Очистити циліндри від дослідженої речовини та зібрати прилад у зворотній послідовності. Результати дослідів занести в робочу таблицю 2.

Зауваження:

1. Сумарну вагу наважки $G = (m_{mp} + m_{c1} + m_{c2} + 2m_2) \cdot g$, що визначає силу, прикладену до шківу, і яка входить у розрахункову формулу (17), можна записати у вигляді

$$G = 2m_2 g + (m_{mp} + m_{c1} + m_{c2}) \cdot g + 2m_2 g = G_{st} + G_2$$

де m - стандартна вага, незмінна за час дослідження, $G_2 = 2m_2 g$ - вага наважки, яка змінюється в процесі дослідження.

Значення G_{st} , визначене за результатами вимірювання m_{mp} , m_{q1} та m_{q2} , вноситься в таблицю 1. В таблиці 2 записуються чергові значення ваги наважки $G_2 = 2m_2 g$, визначенні при кожному вимірюванні, а в наступному стовпці – відповідні їм значення сумарної ваги $G = G_{st} + G_2$.

2. Для кожної з температур T_1 та T_2 досліджуваної рідини слід зробити окремі робочі таблиці 2.

3 *Всі параметри в таблицях мають бути представлені в системі СІ.*

7 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЇ РОЗЧИНУ ПОЛІМЕРУ

Об'єкт дослідження – в'язкі або стаціонарні неньютонівські рідини.

водний розчин КМЦ з концентрацією 30% ваг.

Установка для проведення досліджень – Ротаційний віскозиметр РВ-8.

Матеріал розділу викладений за авторами [1]. В таблиці 1 представлено технічні характеристики ротаційного віскозиметра РВ-8, а також параметри, які залишаються незмінними на протязі часу проведення дослідження.

(Заповнити таблицю 1).

Таблиця 1 – Технічні характеристики ротаційного віскозиметра

r_1 , м	r_2 , м	R , м	m_{mp} , кг	G_{mp} , Н	m_{c1} , кг	m_{c2} , кг	G_c , Н	G_{st} , Н	h , м	k_1 , м ⁻¹
15,05 $\times 10^{-3}$	19,05 $\times 10^{-3}$	22,35 $\times 10^{-3}$	10^{-3}	9,81 $\times 10^{-3}$					0,11	

Результати вимірювання занести до робочої таблиці 2 з урахуванням даних, наведених в таблиці 1.

В таблиці 2 представлено результати вимірювання сумарної сили G , прикладної до шківів, та відповідного числа обертів шківів Ω в залежності від маси наважки - для двох значень температури досліджуваної рідини між циліндрами - T_1 та T_2 .

(Заповнити таблицю 2)

Таблиця 2 – Результати вимірів

Температура розчину $T_1 = 22^\circ\text{C}$ (295 K)						
№ п/п	m_2 , кг	$G_2 = 2m_2 \cdot g$, Н	$G = G_2 + G_{st}$, Н	N , число обертів	$\Delta\tau_{cp}$, сек	$\Omega = N/\Delta\tau_{cp}$, об/с
1	$0,5 \cdot 10^{-3}$					
2	$1,0 \cdot 10^{-3}$					
3	$1,5 \cdot 10^{-3}$					
4						
5						
6						
...						
Температура розчину $T_2 = \text{ }^\circ\text{C}$ (K)						
№ п/п	m_2 , кг	$G_a = 2m_a \cdot g$, Н	$G = G_a + G_{st}$, Н	N , число обертів	$\Delta\tau_{cp}$, сек	$\Omega = N/\Delta\tau_{cp}$, об/с
1	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^{-3}$				
2	1					
3						
4						
5						
...						
...						

8 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Після проведення замірів та введення результатів досліджень у таблиці 2 для кожної з температур T_1 та T_2 необхідно виконати обрахунки для таблиці 3, в якій будуть міститися величини швидкості зсуву j , напруги зсуву τ_{zc} і ефективної в'язкості μ_{ef} , одержані на основі обробки результатів виміру параметрів G і Ω , представлених в таблицях 2, а також логарифми цих величин - $\ln j(r_1)$, $\ln \tau_{zc}(r_1)$ та $\ln \mu_{ef}$:

1. Перший стовпець таблиці 3 співпадає з першим стовпцем таблиці 2. В другу і в третю колонку таблиці 3 вносяться, відповідно, значення G і Ω , представлених в таблиці 2. В четвертій колонці таблиці 3 містяться значення $j(r_1)$, розраховані по формулі (12), відповідно, для кожного значення Ω . В п'ятій колонці містяться значення $\tau_{zc}(r_1)$, розраховані по формулі (16), відповідно, для кожного значення G . Шоста колонка таблиці 3 містить значення μ_{ef} , розраховані по формулі (17), для відповідних значень G та Ω . Останні три стовпці таблиці 3 містять логарифми цих параметрів.

Необхідно за результатами в таблиці 2, користуючись формулами (12), (16), та (17), внести результати обробки в таблиці 3, відповідно для двох значень температури – T_1 та T_2 .

Зауваження При виконанні обрахунків необхідно виконати перевірку за даними таблиці 1, чи можна при обробці результатів знехтувати в даній роботі поправкою на “крайовий ефект” у формулі 15а.

На основі даних, представлених в таблиці 3, для кожної температури по формулі (7) розрахувати величину показника степені n , а по формулі (8) - величину коефіцієнта консистентності K . Для цього треба з двох різних довільно вибраних рядків (наприклад, №2 і №5, або №3 і №8, або № 4 і №7) вибрати значення $\ln j(r_1)$ і відповідні їм значення $\ln \mu_{ef}$. Для кожної з таких трьох-чотирьох довільно вибраних пар розрахувати по формулі (7) показник n і величину $\text{tg } \alpha$, потім знайти середні значення n_{cp} і $(\text{tg } \alpha)_{cp}$. По формулі (8) для

тих же трьох-чотирьох пар розрахувати значення коефіцієнта консистентності K і по цим даним визначити середнє K_{cp} .

(Заповнити таблицю 3)

Таблиця 3 – Результати розрахунків параметрів $j(r_1)$, $\tau_{zc}(r_1)$ та μ_{ef} .

Температура розчину $T_1 = 22^\circ\text{C}$ (295 K)								
№ п/п	G , Н	Ω , об/с	$j(r_1)$, с^{-1}	$\tau_{zc}(r_1)$, Па	μ_{ef} , Па·с	$\ln j(r_1)$,	$\ln \tau_{zc}(r_1)$,	$\ln \mu_{ef}$
1								
2								
3								
...								
...								
Температура розчину $T_2 = \text{ }^\circ\text{C}$ (K)								
№ п/п	G , Н	Ω , об/с	$j(r_1)$, с^{-1}	$\tau_{zc}(r_1)$, Па	μ_{ef}	$\ln j(r_1)$,	$\ln \tau_{zc}(r_1)$,	$\ln \mu_{ef}$
1								
2								
3								
...								
...								

2. За даними таблиці 3 побудувати в графічному вигляді **повні** криви течії $\ln \mu_{ef} = f(\ln j)$ - для обох температур на одному графіку (див. рисунок 3). Визначити з графіка кут нахилу α , $\text{tg } \alpha$ та величину коефіцієнта консистентності K , як показано на рисунку 3. Для побудови повної кривої течії необхідно представити на осі абсцис увесь інтервал значень $\ln j$, визначених в лабораторній роботі.

Коефіцієнт консистентності K та показник степені n можна визначити за допомогою програми Microsoft Excel. (Див. Додаток А).

3. Після визначення коефіцієнтів консистентності K_{cp1} для температури розчину T_1 і K_{cp1} для температури розчину T_2 розраховуємо по формулі (9) температурний коефіцієнт β .

Результати розрахунку параметрів n_{cp} , K_{cp} для двох температур та параметра β представити у вигляді таблиці 4.

(Заповнити таблицю 4)

Таблиця 4 – Результати обробки

Температури	n_{cp}	$\text{tg } \alpha$	K_{cp}	$\ln K_{cp}$	β
T_1					
T_2					

Після знаходження температурного коефіцієнта β записуємо реологічні рівняння у вигляді

$$\tau_{\dot{\gamma}} = K_1 \cdot j^n \exp\left(-\beta \frac{T - T_1}{T_1}\right) \quad (19)$$

або

$$\tau_{\dot{\gamma}} = K_2 \cdot j^n \exp\left(-\beta \frac{T_2 - T}{T_2}\right) \quad (20)$$

Підставляючи отримані з досліду значення K_{cp1} , T_1 , n_{cp} і β або значення K_{cp2} , T_2 , n_{cp} і β записуємо реологічні рівняння. Проводимо аналіз отриманих результатів.

7 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Структура звіту

Звіт виконується згідно вимог ГОСТ 2.105-95.

Звіт з лабораторних робіт розпочинається титульним листом з надписом „Звіт з лабораторних робіт...” (додаток Б), наступним аркушем є „Зміст” (додаток В). Далі вкладаються виконані та захищені лабораторні роботи

Вимоги до форматування звіту

Текст звіту розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 1). Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

Приклад 1 – Оформлення заголовку

<p>Лабораторна робота 1 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИНІВ ПОЛІМЕРІВ</p> <p>Мета та задачі досліджень</p> <p>Метою лабораторної роботи є</p>

В нижньому колонтитулі лабораторної роботи на всіх аркушах вказується прізвище студента, ініціали та група (Приклад 2).

Приклад 2 – Нижнього колонтитула

Шевченко Я.М., група ЛН-81мп

Виклад тексту пояснювальної записки.

Оформлення розрахунків.

Необхідні розрахунки апаратів визначаються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.**

Оформлення додатків

При наявності в пояснювальній записці додатків їх виконують на аркушах формату А4. Додаток нумерують українськими літерами на першому аркуші додатку, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь. Кожний додаток розпочинається з нової сторінки посередині тексту словом додаток з вказівкою номера додатку. В наступній строчці розташовується заголовок додатку.

Текст кожного додатку при необхідності розділяють на розділи, підрозділи, які нумеруються окремо по кожному додатку. Додаток може мати свій зміст та перелік посилань. Ілюстрації і таблиці в додатках нумерують у межах кожного додатка.

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

Рекомендації щодо порядку захисту робіт

Звіт з лабораторної роботи розпочинається текстом «Лабораторна робота 1. Дослідження...», далі на аркуші розміщується мета та задачі лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості, опис дослідної установки та її схема, таблиці для записів відповідних результатів експериментів.

Кожна лабораторна робота після її проведення та виконання необхідних розрахунків захищається. Результати захисту вказуються на титульному аркуші лабораторної роботи та відповідною відміткою у журналі викладача. Для захисту лабораторної роботи студент повинен підготувати відповіді на контрольні запитання.

Зброшуровані лабораторні роботи вкладаються до папки на титульну сторінку якої наклеюється аркуш з заголовком „Звіт з лабораторних робіт” (додаток Б).

7 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Проаналізуйте поняття неньютонівська рідина.
2. Які неньютонівські рідини існують?
3. Які групи неньютонівських рідин існують?
4. Наведіть приклади неньютонівських рідин?
5. Проаналізуйте поняття в'язкі, або стаціонарні неньютонівські рідини.
6. Проаналізуйте поняття бінгамівські в'язкопластичні рідини.
7. Наведіть приклади бінгамівських в'язкопластичних рідин.
8. Проаналізуйте залежності між напругою зсуву і швидкістю зсуву (за кривими течії) для ньютонівських рідин.
9. Проаналізуйте залежності між напругою зсуву і швидкістю зсуву (за кривими течії) для бінгамівських пластичних рідин.
10. Проаналізуйте залежності між напругою зсуву і швидкістю зсуву (за кривими течії) для псевдопластичних рідин.
11. Проаналізуйте залежності між напругою зсуву і швидкістю зсуву (за кривими течії) для ділатантних рідин.
12. Проаналізуйте поняття псевдопластичні рідини.
13. Проаналізуйте поняття ділатантні поняття неньютонівські рідини,
14. Проаналізуйте поняття тиксотропні неньютонівські рідини.
15. Проаналізуйте поняття реопектантні неньютонівські рідини.
16. Проаналізуйте поняття вязкопружні або максвелловські неньютонівські рідини.
17. Обґрунтуйте методику визначення величини K .
18. Обґрунтуйте методику визначення величини n .
19. Обґрунтуйте методику визначення температурного коефіцієнта β .
20. Обґрунтуйте необхідність визначення температурного коефіцієнта β .
21. Обґрунтуйте необхідність у ротаційному віскозиметрі термостатичного пристрою.
22. Обґрунтуйте необхідність побудови реологічних рівнянь.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження реологічних властивостей розчинів полімерів. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи студентів спеціальності: 133 Галузеве машинобудування, спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв, освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст з дисципліни “Обладнання для синтезу і переробки полімерних матеріалів”: [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. М. П. Швед, А. Р. Степанюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 17с. <http://ci.kpi.ua/ru/обучение/электронная-библиотека/#place>

2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов - 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепечатано с изд. 1973 г. — М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. — 753 с., илл.

По темі «Визначення в'язкості ,зсувне напруження, зсувна швидкість»

Глава II Основы гидравлики. Общие вопросы прикладной гидравлики в химической технологии. *Пункт 2.* Некоторые физические свойства жидкостей. Вязкость.

По темі «Неньютонівські рідини»

Глава II Основы гидравлики. Общие вопросы прикладной гидравлики в химической технологии. *Раздел Б.* Гидродинамика. *Пункт 15.* Неньютоновские жидкости.

2. Теплофизические и реологические характеристики полимеров : справочник / под ред. Ю. С. Липатова. — К. : Наук. думка, 1977. — 244 с.

3. Пахаренко В. А. Наполненные термопласты : справочник / В. А. Пахаренко, В. Г. Зверлин, Е. М. Кириенко ; под общ. ред. акад. Ю. С. Липатова. — К. : Техніка, 1986. — 182 с.

4. Виноградов Г. В. Реология полимеров / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. — М. : Химия, 1977. — 440 с.

ДОДАТОК А

Реологічні параметри K та n можуть бути визначені за методом найменших квадратів на ПК. Для цього будується графік у програмі Microsoft Excel, вибирається для побудови тип діаграми “Точечная” (Рисунок 6). Як вісь абсцис вибирається значення $\ln j$, ординат відповідно – $\ln \mu_{ef}$.

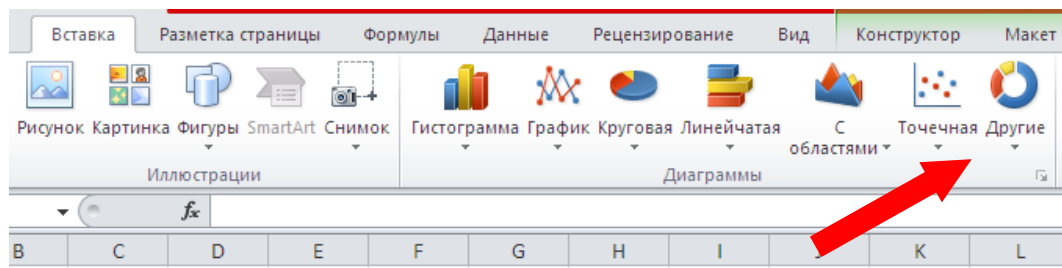


Рисунок 6 – Вибір типу діаграми

Для побудови апроксимаційної кривої необхідно виділити лівою клавішею “мишки“ криву, що описує залежність $\ln \mu_{i0} = f(\ln \gamma)$. Далі необхідно підвести стрілку до апроксимаційної кривої та правою клавішею “мишки“ викликати контекстне меню і вибрати закладку “Добавить линию тренда”, у цій закладі зробити три позначки на полі “Параметры линии тренда”:

- позначку на полі параметрів лінії тренда – “Линейная”, вказавши, що степінь поліноміального рівняння “2”;
- позначку на полі “показывать уравнение на диаграмме”
 - та позначку на полі “поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)” (Рисунок 7).

Після цього на графіку отримаємо дві лінії, перша – це крива, що описує результати експериментів, друга – це апроксимаційна крива, результатів експериментів. З рівняння апроксимації, враховуючи вираз (4) можна отримати величини параметрів K і n .

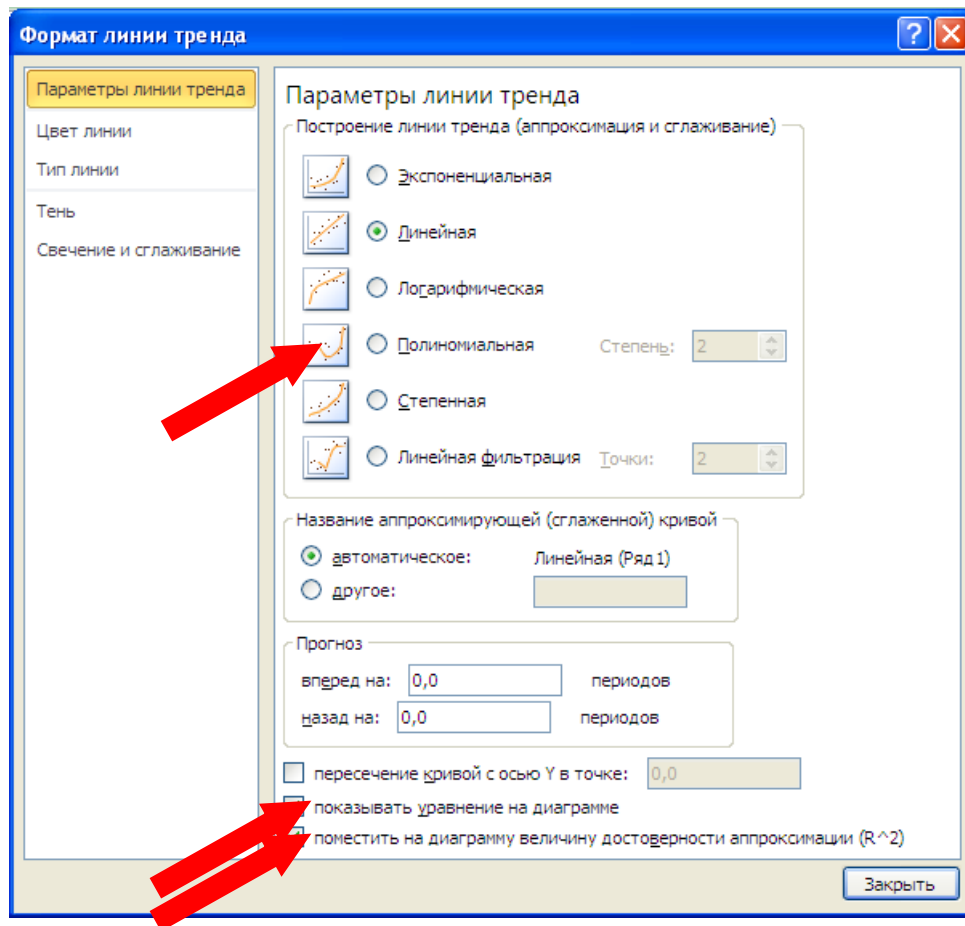


Рисунок 7 – Побудова апроксимуючої лінії

ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ЗВІТУ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗВІТ

з лабораторних робіт з дисципліни:

**«МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА
ОБЛАДНАННЯ ПІДГОТОВКИ СЕРЕДОВИЩ
ТА ОТРИМАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ
МАТЕРІАЛІВ»**

Студента(ки) V курсу, групи ЛН-71мн

Іванова Івана Івановича

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія»

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування»

СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування
обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Керівник доцент, к.т.н., Степанюк А.Р.

КИЇВ 2017

ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗМІСТУ ЗВІТУ

Зміст

Вступ	3
Лабораторна робота 1. Дослідження реологічних властивостей розчинів полімерів	10
Лабораторна робота 2. Види та групи, до яких відноситься досліджувана неньютонівська рідина	20