

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Солопов Денис Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 81.121
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення приладу для контролю в'язкості рідин
(назва роботи)

(назва освітньої програми)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня Солопов Денис Андрійович
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник __Боднар Р.Т., канд. техн. наук, доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувачка кафедри ІВТЕМ

Доц. _____ **Цих В. С.**
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

м. Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Освітній рівень перший бакалаврський
Спеціальність 152-Метрологія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІВТЕМ

_____ В.С. Цих
« » 06. 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Солопов Денис Андрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Розроблення приладу для контролю в'язкості рідин __
Керівник роботи _Боднар Роман Тарасович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «07»05. 2025 року
№ 51/8

2. Строк подання студентом закінченого проекту (роботи) 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): діапазон вимірювання в'язкості рідин від 0 до 1 Па·с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): _аналіз методів визначення; теоретичне обґрунтування вибраного методу; розроблення структурної схеми приладу; розроблення методики проведення контролю; метрологічний аналіз; розроблення заходів охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):_теоретичні основи методу (А1); схема функціональна (А1); конструкція приладу (А1); _)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Кривенко Г.М.		

7. Дата видачі завдання_07.05.2025 р. _

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строки виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів визначення	07.05.25 –13.05.25	
2	Теоретичне обґрунтування методу	13.05.25– 20.05.25	
3	Розроблення структурної схеми приладу	20.05.25– 22.05.25	
4	Розроблення функціональної та електричної принципової схеми приладу	22.05.25– 30.06.25	
5	Метрологічний аналіз	01.06.25– 06.06.25	
6	Розроблення заходів охорони праці	07.06.25– 13.06.25	
7	Оформлення роботи	13.06.25– 16.06.25	

Здобувач освітнього ступеня

Солопов Д. А.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Боднар Р.Т. _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 51 сторінок, 12 рисунків, 4 таблиць, 1 додатків, джерел літератури, 5 аркушів креслення.

Об'єкт дослідження - нафтопродукти.

Мета роботи — розробка приладу для вимірювання в'язкості нафтопродуктів.

Метод дослідження - теоретичний.

Тема даної ї роботи; «Розробка приладу для контролю в'язкості рідин» містить 4 розділи.

У бакалаврській роботі проаналізовано методи контролю в'язкості. Вибрано та теоретично обґрунтовано капілярний метод контролю в'язкості. Розроблено електричну принципову, функціональну схеми приладу із необхідними розрахунками. Розраховано методику проведенні контролю. Визначено заходи для безпечних умов праці при проведенні.

Ключові слова:

В'язкість, віскозиметр, рідина, витрата.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 51 pages, 12 figures, 4 tables, 1 appendix, sources of literature, 5 sheets of drawings.

The object of the study is petroleum products.

The purpose of the work is to develop a device for measuring the viscosity of petroleum products.

The research method is theoretical.

The topic of this work; "Development of a device for controlling the viscosity of liquids" contains 4 sections.

The bachelor's thesis analyzes methods for controlling viscosity. The capillary method for controlling viscosity is selected and theoretically substantiated. An electrical schematic and functional diagram of the device with the necessary calculations is developed. The method for conducting control is calculated. Measures for safe working conditions during the test are determined.

Keywords:

Viscosity, viscometer, liquid, flow rate.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналіз існуючих методів вимірювання в'язкості	8
1.1 Капілярні віскозиметри	10
1.2 Віскозиметри з падаючим тілом (кулькові віскозиметри)	12
1.3 Ротаційні віскозиметри.....	15
1.4 Аналіз вибраного типу віскозиметра та постановка задач бакалаврської роботи.....	20
3» Розробка автоматичного капілярного віскозиметра.....	21
2.1 Теоретичне обґрунтування.	21
2.2 Розробка функціональної схеми проєктованого приладу	24
Розробка функціональної схеми приладу.....	28
X Розрахунок і розробка електричної принципової схеми	30
2.4.1 Розрахунок стабілізатора напруги на	33
Розрахунок диференціального підсилювача	35
2.4.4 Вдосконалені диференційні підсилювачі.....	37
2.6 Розробка методики роботи з приладом	41
3 Метрологічний аналіз.....	43
3.1 Розрахунок похибки.....	43
3.2 Метрологічне забезпечення віскозиметрів	44
3.3 Вплив тиску та температури на в'язкість рідин	46
3.4 Залежність в'язкості рідин від їх густини Вплив температури на в'язкість рідин	48
3.6 Вплив складу і зовнішніх умов на в'язкість рідини	49
4 Охорона праці.....	51
4.1 Значення охорони праці в забезпеченні безпечних і здорових умов праці і нормальної екологічної обстановки	51

4.2 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей виробничого середовища.....	52
4.3 Забезпечення нормальних умов праці	54
4.4 Розрахунок захисту від удару блискавки	58
4.5 Пожежна безпека.....	60
Висновки.....	64
Використанні літературні джерела.....	65
Додатки	
Бібліографічна довідка	

ВСТУП

У останні роки для обліку нафти широко застосовуються турбінні перетворювачі витрати, які зарекомендували себе як прилади непоганої якості для вимірювання витрати рідких середовищ.

Основні параметри турбінних перетворювачів (такі як діапазон витрати рідини в допустимих межах похибки).

При зміні в'язкості на різних виробництвах змінюється закономірність гальмування ротора силами поверхневого тертя, що приводить до збільшення чи зниження швидкості обертання ротора при зміні індексу в'язкості перекачуваної рідини.

Момент тертя рідини по поверхні лопаток є основним в сумі моментів опору обертання турбіни. Епюра розподілу швидкості потоку і коефіцієнт тертя в'язкості залежать від режиму протікання рідини. Тому дійсний ступінь впливу в'язкості і лінійність режиму для кожного турбінного перетворювача можуть бути визначені тільки калібровочними дослідженнями з використанням рідин різної в'язкості.

З введенням інформаційно-вимірювальних систем обліку нафти виникла необхідність постійного контролю за в'язкістю вимірюваної рідини. Це пов'язано з тим, що конструкції турбінних витратомірів, які не мають спеціальних пристроїв компенсації впливу зміни в'язкості, зберігають свої основні похибки лише при відношенні в'язкості вимірюваного середовища від середнього значення на 2...3 сСт. При більших коливаннях в'язкості як 10 сСт в імпульс-фактор турбінного перетворювача необхідно вносити поправку.

У даний час розроблені автоматичні віскозиметри, здатні працювати на потоці і мають уніфіковані електричні вихідні сигнали. Використання автоматичних віскозиметрів в інформаційно-вимірювальних системах дозволяє підвищити їх точність за рахунок використання «плаваючого» коефіцієнта, який залежить від фактичної в'язкості вимірюваної рідини.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ

В'язкість (внутрішнє тертя) - властивість поточних тіл (рідин і газів) надав&ш опір переміщенню однієї їх частини відносно другої. Основний закон в'язкісного потоку описується формулою Ньютона [1]:

$$F = \mu S \frac{dv}{dn}, \dots \dots \dots (1.1)$$

де F – тангенціальна (дотична) сила, що спричинює зсув шарів рідини (газу);
 S – площа внутрішнього тертя (площа шару, по якому відбувається зсув); dv/dn – градієнт швидкості v течії (швидкості зміни її від шару до шару) вздовж нормалі n .

Коефіцієнт пропорційності μ називають динамічною в'язкістю (іноді її позначають літерою η). Коефіцієнт μ характеризує опір рідини (газу) переміщенню її шарів. Величину, обернену динамічній в'язкості, називають плинністю $\varphi = 1/\mu$. плинністю $\varphi = 1/\mu$.

Поряд з поняттям динамічної в'язкості вживають поняття кінематичної в'язкості. Кінематична в'язкість — відношення динамічної в'язкості рідини до густини при тій же температурі:

$$\nu = \mu / \rho, \quad (1.2)$$

Ньютонівська рідина - це рідина, в'язкість якої не залежить від дотичного напруження і градієнта швидкості. Якщо відношення дотичного напруження до градієнта швидкості непостійне, рідина не є ньютонівською.

Одиниця динамічної в'язкості в системі СІ - Па с, в системі СГС - П (пуаз);
 одиниця кінематичної в'язкості в СІ - м²/с, в системі СГС - Ст (стокс).
 Співвідношення між названими одиницями: 1П=10¹ Па с, 1 Ст=10⁴ м²/с.

В'язкість рідин із збільшенням температури зменшується, а газів - збільшується. Динамічна в'язкість до тиску 20 МПа практично не залежить від тиску. В'язкість в загальному випадку не є адитивною фізичною властивістю.

Засоби вимірювання в'язкості називають віскозиметрами. На хіміко-технологічних процесах віскозиметри використовують тільки для вимірювання в'язкості рідин. В даний час розроблені автоматичні капілярні, ротаційні, вібраційні віскозиметри, віскозиметри з падаючим тілом, тощо.

При русі реальних рідин виникне внутрішнє тертя, яке проявляється у в'язкості. При ламінарному русі в'язкої рідини в трубі встановлюється параболічний розподіл швидкостей з максимумом вздовж центральної осі труби. Швидкість рідини біля стінок рівна нулю. Характер розподілу швидкостей в ламінарному потоці пояснюється тим, що зсув одного шару по відношенню до іншого зустрічає тангенсійний опір за рахунок сил внутрішнього тертя рідини. Опір зсуву є пропорційним швидкості зсуву, а не силі зсуву, як у твердих тілах.

Закон потоку Ньютона зв'язує тангенсійну силу, прикладену до рідини, і опору стаціонарного потоку рідини:

$$F_{\tau} = \mu S \frac{dv}{dx}, \quad (1.3)$$

де S – площа, до якої прикладена сила F_{τ} .

Якщо віднесли силу до одиниці площі з рівняння Ньютона, отримують для тангенційного напруження

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx}, \quad (1.4)$$

звідки

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dx}. \quad (1.5)$$

Значення μ являє собою коефіцієнт пропорційності, який залежить від природи рідини, це значення називається динамічною в'язкістю. В'язкість є мірою внутрішнього тертя рідини.

При великих швидкостях ламірна течія стає нестійкою, шари переміщуються і в потоці з'являються вихори, тобто ламінарний потік переходить в турбулентний.

Розподіл швидкостей в турбулентному потоці відрізняється від розподілу

швидкостей при ламінарному потоці – в трубі швидкості швидко ростуть біля стінок і мало змінюються в середній частині труби.

Перехід від ламінарного потоку до турбулентного визначається критичним значенням числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (1.6)$$

де ρ – густина; d – діаметр труби.

Дослідним шляхом встановлено, що в трубах цей перехід здійснюється при $Re=2400..2600$.

Віскозиметри, які дозволяють вимірювати в'язкість в абсолютних одиницях Па·с, поділяються на первинні і вторинні. В первинних віскозиметрах точно визначають розміри приладу, об'єм рідини, яка протікає, і напруження. Вони призначені для вимірювання в'язкості первинних (каліброваних) рідин і для вимірювання в'язкості решти рідин.

Абсолютні віскозиметри досить складні за конструкцією і використовуються головним чином для спеціальних фізико-хімічних досліджень. На практиці користуються вторинними віскозиметрами, в яких в'язкість вимірюється шляхом порівняння швидкості потоку досліджуваної рідини з еталонною, в'язкість якої виміряна на первинному віскозиметрі.

1.1 Капілярні віскозиметри

Принцип дії капілярних і віскозиметрів (віскозиметрів обтікання) оснований на закономірності проходження рідини через капіляр, який описується законом Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi d^4}{128 \mu l} \Delta P, \quad (1.7)$$

де Q – об'ємна витрата рідини; d та l – внутрішній діаметр і довжина капіляра; $\Delta P = P_1 - P_2$ – різниця тисків на кінцях капіляра.

При постійній об'ємній витраті рідини вираз (1.7) можна перетворити до

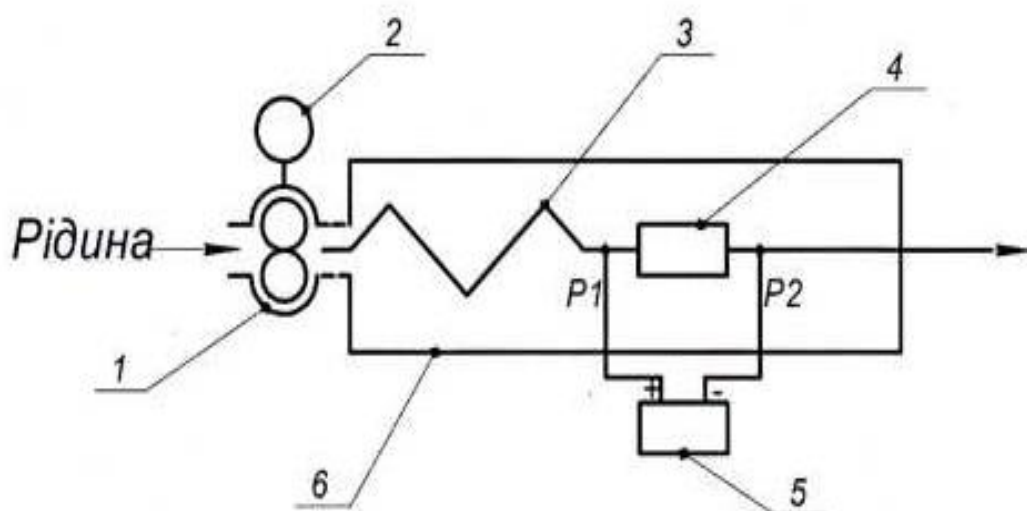
вигляду:

$$P_1 - P_2 = k\eta, \quad (1.8)$$

де k – постійний коефіцієнт для прийнятої витрати рідин.

З цього випливає, що для вимірювання динамічної в'язкості достатньо при постійній об'ємній витраті рідини вимірювати перепад тиску на капілярі.

На рис. 1.1 показана схема капілярного віскозиметра



1 – насос; 2 – двигун; 3 – змійовик; 4 – капіляр; 5 – дифманометр; 6 – корпус

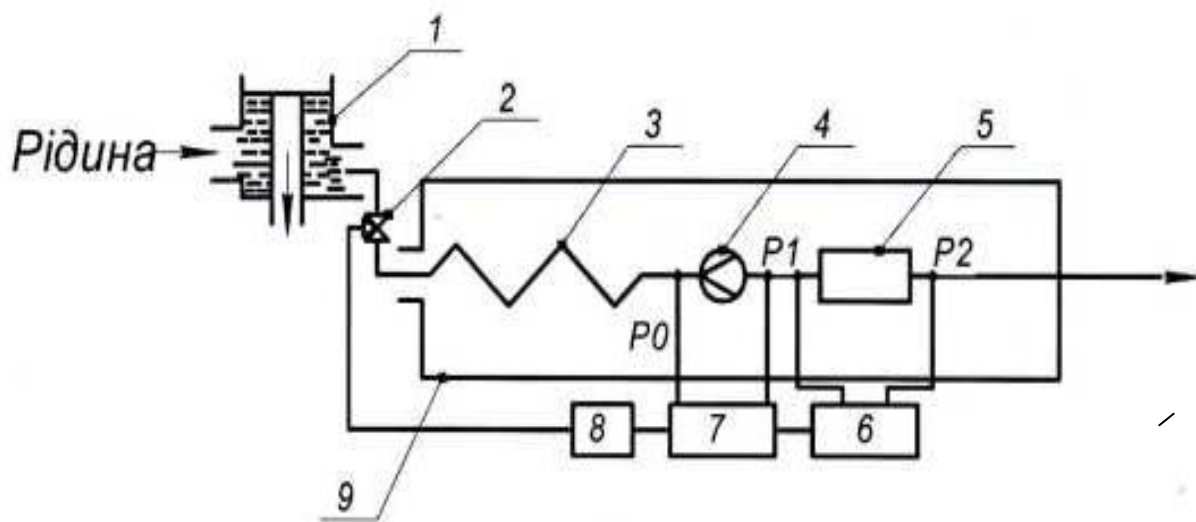
Рисунок 1.1 – Капілярний віскозиметр

У цьому віскозиметрі для створення постійної об'ємної витрати досліджуваної рідини використовується шестерний насос 1, який приводиться в рух синхронним двигуном 2. З насоса досліджувана рідина поступає в змійовик 3, де нагрівається до температури оливи, що заповнює термостат 6, а потім в капіляр 4, розміри якого вибирають в залежності від діапазону вимірюваних значень в'язкості. Перепад тисків шж капілярі вимірюється дифманометром 5 з пневматичним чи електричним уніфікованим вихідним сигналом, який пропорційний динамічній в'язкості досліджуваної рідини.

Температура в термостаті підтримується постійною і дорівнює $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи

100 °С. Клас точності віскозиметра 1,5-2,5 (в залежності від діапазону вимірювань).

У віскозиметрі, який показаний на рисунку 1.2, стабілізація об'ємної витрати досліджуваної рідини здійснюється пневматичною системою автоматичного рулювання.



- 1 – напірна ємність; 2 – виконуючий механізм; 3 – змійовик; 4 – діафрагма;
 5 – капіляр; 6 – дифманометр з пневматичним вихідним сигналом ;
 7 – дифманометр 8 – пневматичний регулятор; 9 – термостат

Рисунок 1.2 – Капілярний віскозиметр із стабілізацією витрати

Такий віскозиметр складається з діафрагми 4, дифманометра 7, пневматичного регулятора 8 і виконуючого механізму 2. Досліджувана рідина подається із напірної ємності 1 3 переливною трубкою. Можливість стабілізації витрати рідини таким чином базується на тому, що перепад тисків на діафрагмі ($P_0 - P_1$) практично не залежить від; динамічної в'язкості, а густина досліджуваної рідини (наприклад, нафтові оливи) змінюється в незначній мірі.

При таких умовах підтримка постійного перепаду ($P_0 - P_1$) забезпечує постійність об'ємної витрати досліджуваної рідини. Змійовик 3, діафрагма 4 і капіляр 5 розміщені в водяному термостаті 9, де підтримується температура,

яка рівна 100°C , за рахунок подачі в нього насиченої пари води при атмосферному тиску. Перепад тиску на капілярі вимірюється дифманометром 6 з пневматичним вихідним сигналом, що подається на пневматичний регулятор 8. Клас точності віскозиметра 2,5.

1.2 Віскозиметри з падаючим тілом (кулькові віскозиметри)

Принцип дії цих механічних віскозиметрів оснований на вимірюванні швидкості (чи часу) руху тіла (кульки) під дією сил тяжіння і тертя в досліджуваній рідині. Цей рух описується законом Стокса:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{gr^2}{\eta} (\rho_k - \rho), \quad (1.9)$$

де v – швидкість рівномірного падіння кульки; ρ_k – густина матеріалу кульки ($\rho_k > \rho$); r – радіус кульки.

Якщо врахувати, що густина досліджуваної рідини ρ міняється незначно і що вона в декілька разів менша густини ρ_k кульки, то вираз (1.9) можна перетворювати до вигляду:

$$v = \frac{k_1}{\eta}, \quad (1.10)$$

де $k_1 = \frac{2}{9} g(\rho_k - \rho)r^2$ – постійний коефіцієнт.

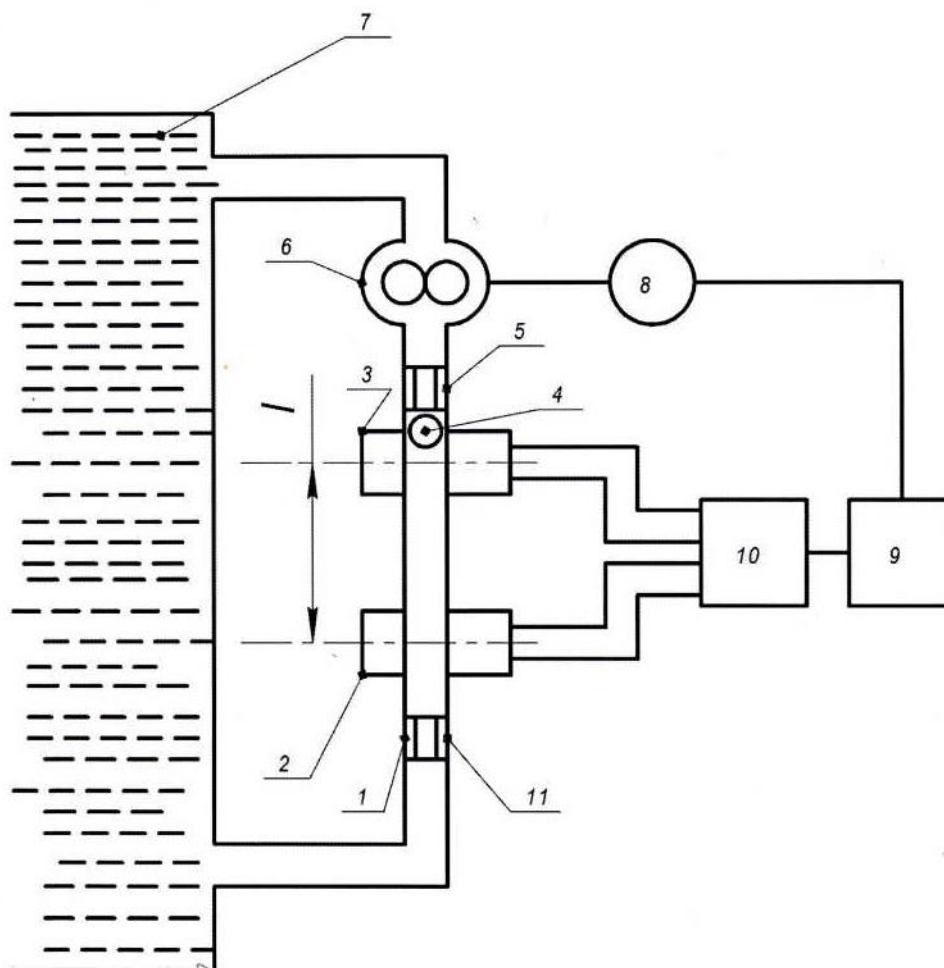
Зазвичай вимірювання швидкості зводиться до вимірювання відрізка часу τ , за який кулька, падаючи в-постійною швидкістю, проходить деякий постійний відрізок l між двома прийнятими мітками. В цьому випадку:

$$\tau = \frac{l}{v} = k\eta$$

де $k = \frac{1}{k_1}$ – постійний коефіцієнт.

На рисунку 1.3 показано схему кулькового віскозиметра циклічної дії. Досліджувана рідина із апарата 7 по трубопроводу насосом 6 прокачується по трубці 1 із немагнітного матеріалу довжиною l знизу вверху і при своєму русі піднімає кульку 4 від нижньої 11 до верхньої 5 сітки. При включенні двигуна 8 насоса (періодичне включення і виключення здійснюється блоком керування 9)

кулька падає в досліджувану рідину. За допомогою диференціальних трансформаторів 3 і 2 формуються електричні імпульси в момент часу, коли кулька проходить дві вибрані відмітки, які стоять одна від другої по висоті трубки на віддалі l .



1 – трубка; 2, 3 – диференціальні трансформатори; 4 – кулька; 5 – верхня сітка;
6 – насос; 7 – апарат; 8 – двигун; 9 – блок керування; 10 – вимірювач часових
інтервалів; 11 – нижня сітка

Рисунок 1.3 – Кульковий віскозиметр

З допомогою вимірювача часових інтервалів 10 вимірюється відрізок часу між вказаними імпульсами, значення якого і визначає динамічну в'язкість. Клас

точності віскозиметра 2.

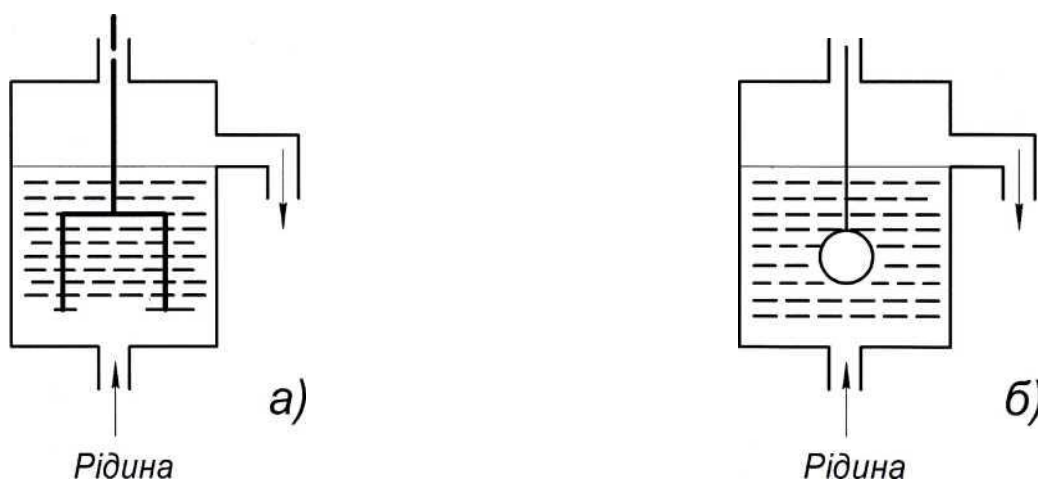
1.3 Ротаційні віскозиметри

Принцип дії цих механічних віскозиметрів оснований на вимірюванні крутного моменту, який виникає на осі ротора (циліндра, диска, тощо), зануреного у вимірюване середовище, при взаємному їх переміщенні. Даний крутний момент в загальному випадку описується виразом:

$$M = kv\eta, \quad (1.12)$$

де k – постійний коефіцієнт, який залежить від конструкції ротора віскозиметра; v – кутова швидкість обертання ротора (при постійній кутовій швидкості крутний момент визначає в'язкість рідини).

З великої кількості конструкцій елементів ротаційних віскозиметрів в автоматичних аналізаторах часто використовують конструкції, показані на рис. 1.4.

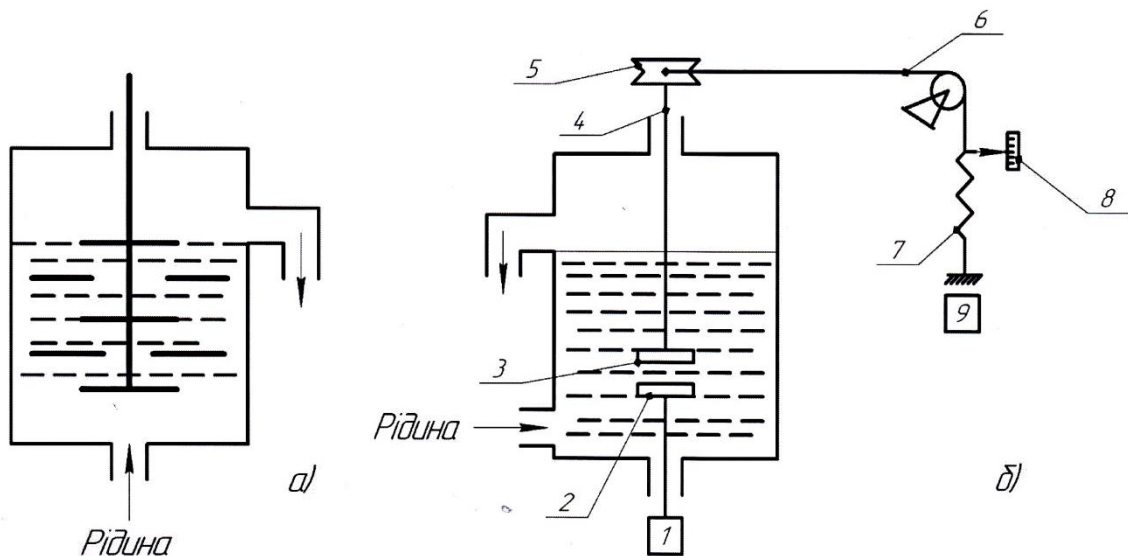


а - з обертовим циліндром; б - з обертовою кулькою

Рисунок 1.4 – Ротаційні віскозиметри

Віскозиметри, представлені на рис. 1.4, а-б та 1.5, а-б, об'єднує загальний принцип дії у відповідності з яким в'язкість визначається за моментом сили

тертя, яка виникає при обертанні тіла, зануреного в рідину. Таким тілом може бути може бути циліндр (рис. 1.4, а), кулька (рис. 1.4, б) чи диски, посаджені на спільний вал і розміщені між нерухомими шайбами (рис. 1.5, а). В віскозиметрах момент обертання, що створюється диском (рис. 1.5) чи циліндром (рис. 1.4), передається через рідину іншому диску чи циліндру.



а) – з парою рухомих дисків; б) – з рухомих та нерухомих дисками

Рисунок 1.5 – Ротаційні віскозиметри

Диску чи циліндру обертовий рух надається синхронним двигуном 1 (рис. 1.6).

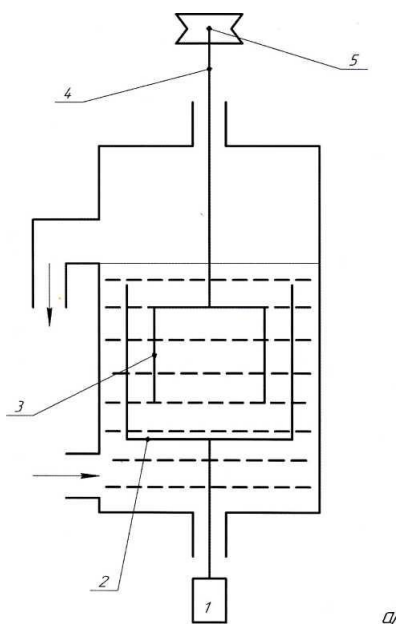


Рисунок 1.6 – Ротаційний віскозиметр із коаксіальними циліндрами

Крутний момент, що виникає на диску (циліндрі) 3, а відповідно, на шківі 5 насадженому на одному валу 4 з диском (циліндром) 3, є пропорційним динамічній в'язкості. Цей момент урівноважується силою пружної деформації пружини 7, з'єднаною з ниткою 6, яка прикріплена до до шківів 5. Значення деформації пружини можна побачити на шкалі 8. За допомогою перетворювача 9 сила пружної деформації пружини 7 перетворюється в уніфікований електричний чи пневматичний сигнал.

Характерною особливістю ротаційних віскозиметрів є широкий діапазон вимірюваних значень в'язкості (0,01 - 1000 Па с). Класи точності ротаційних віскозиметрів 1–2,5.

1.4 Аналіз вибраного типу віскозиметра та постановка задач бакалаврської роботи

Найбільш розповсюдженими є капілярні віскозиметри. Ці прилади відрізняються простотою, потребують малої кількості рідини для аналізу, дешеві і дають досить точні результати. До їх недоліку відноситься більша похибка вимірювання дуже в'язких рідин.

Ротаційні віскозиметри забезпечують однорідне поле напруження в рідині і дозволяють виміряти в'язкість і високою точністю. До їх недоліків слід віднести значну складність конструкції, а також накопичення в рідині дисипованого тепла. У капілярних прикладах це тепло йде разом з протікаючою рідиною. Ротаційні віскозиметри застосовуються переважно для вимірювання в'язкості дисперсних систем і високов'язких рідин.

До простих приладів відносяться також віскозиметри з падаючим тілом, бо з їх допомогою можна отримати хороші результати тільки у в'язких і досить однорідних рідинах.

У нафтовій промисловості в основному застосовуються капілярні віскозиметри, які використовуються при додатних температурах. Даний вид віскозиметрів легко автоматизувати, тому є доцільність його використання.

Задачами бакалаврської роботи є:

1. Проаналізувати існуючі методи вимірювання в'язкості.
 2. Теоретично обґрунтувати вибраний метод контролю в'язкості.
 3. Розробити функціональну та електричну принципову схеми автоматичного капілярного віскозиметра.
 4. Розробити методику проведення вимірювання в'язкості на спроектованому приладі.
- Здійснити метрологічний аналіз.
5. Розробити заходи з охорони праці.

2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО КАПІЛЯРНОГО ВІСКОЗИМЕТРА

2.1 Теоретичне обґрунтування

Розглянемо випадок, коли рідина протікає через циліндричну трубку малого діаметра, довжиною l , і радіусом R . Якщо на кінцях труби створена різниця тиску ΔP , то при ламінарному потоці кожна частинка буде рухатися паралельно осі циліндра і всі точки, що лежать в одному колі будуть мати однакову швидкість. Потік можна уявити собі як зміщення ряду циліндрів, які мають спільну вісь і різний радіус. Швидкість руху циліндра є функцією радіуса.

Сила, з якою тиск ΔP діє на циліндр з радіусом r , дорівнює:

$$S\Delta P = \pi r^2 \Delta P, \quad (2.1)$$

З рівняння Ньютона, сила внутрішнього тертя дорівнює [1]:

$$F = S\mu \frac{dv}{dr} = 2\pi r l \mu \frac{dv}{dr}, \quad (2.2)$$

З умови стаціонарності потоку, випливає, що [1]

$$S\Delta P = -F, \quad (2.3)$$

тоді

$$\pi r^2 \Delta P = -2\pi r l \mu \frac{dv}{dr}, \quad (2.4)$$

$$r\Delta P = -2l\mu \frac{dv}{dr}$$

Звідки градієнт швидкості рівний

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{r\Delta P}{2l\mu}, \quad (2.5)$$

Інтегруючи, знаходимо, що

$$V = -\frac{r^2\Delta P}{4l\mu} + C, \quad (2.6)$$

де

$$C = \frac{R^2\Delta P}{4l\mu}, \quad (2.7)$$

звідки

$$V = \frac{\Delta P}{4l\mu} (R^2 - r^2), \quad (2.8)$$

Це рівняння є рівнянням параболи, вісь якої співпадає з віссю труби. Об'єм цього параболоїда дорівнює об'єму рідини, що протікає за одиницю часу, тобто витраті Q . Підставивши значення V , маємо:

$$Q = \frac{\Delta P \pi}{2l\mu} \int_0^R (R^2 - r^2) r dr, \quad (2.9)$$

Після інтегрування в межах від $r = R$ до $R=0$ отримаємо:

$$V = \frac{\pi \Delta P R^4}{8l\mu} \cdot t, \quad (2.10)$$

Аналогічний вираз було знайдено дослідним шляхом Раганом і Пуазейлем, а виведений вираз носить назву рівняння Пуазейля [1]. З нього випливає, що витрата в'язкої рідини через труби при ламінарному потоці обернено пропорційна в'язкості. Для двох рідин при однаковому тиску і однакових розмірах існує відношення:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1 t_2}{V_2 t_1}, \quad (2.11)$$

Це відношення широко застосовують в віскозиметрії. Знаючи в'язкість однієї рідини, можна обчислити в'язкість другої, визначивши витрату обох рідин при постійній різниці тиску в одній трубці малого діаметра (капіляра).

Згідно рівняння Пуазейля, в'язкість не залежить від різниці тисків і розмірів трубки, через яку протікає рідина.

Капілярні віскозиметри складаються з трьох основних частин: резервуара для досліджуваної рідини, тонкої трубки-капіляра, і приймача рідини після капіляра. Напруження, яке обумовлює потік рідини, залежить від радіуса і довжини капіляра і різниці тиску, прикладеного до його кінців. Джерелом тиску служить вага стовпа досліджуваної рідини в приладі, тобто гідростатичний тиск, який подається на меніск рідини в віскозмітрі, або сукупність обох видів тиску.

В багатьох випадках капілярні віскозиметри виконуються у вигляді

скляної У-подібної трубки, в одне коліно якої впаяні резервуар і капіляр, в інше – приймач. Розповсюджені також піпеточні віскозиметри. В цих приладах капіляр введений в нижню трубку піпетки, а розширення є резервуаром. Ці прилади не мають суттєвих переваг перед У-подібними віскозиметрами, а деякі з них складні у виготовленні.

Залежно від положення капіляра розрізняють віскозиметри з вертикальними, горизонтальними та нахиленими капілярами. Більш розповсюдженими є перші, так як вони відрізняються компактністю і зручні для термостатування.

Вимірювання в'язкості в капілярних приладах ґрунтується на залежності Пуалейля (2.9), яка пов'язує в'язкість з витратою рідини. В більшості віскозиметрів витрата вимірюється по часу витікання певного об'єму рідини із резервуара через капіляр в приймач. Рідше вимірюють об'єм рідини, яка витікає за одиницю часу. Особливу групу капілярних приладів складають віскозиметри постійної витрати, в яких вимірюється витрата і відповідний їй тиск.

Капілярні віскозиметри з постійним тиском, як правило, виконуються зі скла, а віскозиметри постійної витрати – з металу і скла.

Немале значення має правильний підбір віскозиметра. Розміри віскозиметра підбирають з таким розрахунком, щоб виконувався ламінарний режим потоку в капілярі, час вимірювання вкладався в допустимих межах і вплив на рідину побічним, неврахованих впливів зводився до мінімуму. Одночасно прилад повинен бути зручний в використанні, легко термостатуватися і промиватися.

Радіус і довжина капіляра пов'язані з в'язкістю досліджуваної рідини. Для уникнення турбулентності, необхідно виконувати наступну умову [3]:

$$\frac{r^3}{l} \leq r Re_{\text{крит.}} \frac{v^2}{gh}, \quad (2.12)$$

де r – радіус капіляра;

l – довжина капіляра;

h – висота гідростатичного стовпа рідини в віскозиметрі;

$Re_{\text{крит.}}$ – критичне значення числа Рейнольдса.

Якщо рідина протікає під зовнішнім тиском, то формула (2.12) буде такою [1]:

$$\frac{r^3}{l} \leq 2Re_{\text{крит.}} \frac{\mu^2}{\rho P}, \quad (2.13)$$

де P – тиск;

ρ – густина рідини.

Чим довший капіляр, тим більша ймовірність точного вимірювання в'язкості. Капіляри віскозиметрів для визначення в'язкості еталонних рідин мають довжину 20...30 см і більше, такі прилади не є зручними для широкого використання, не рекомендується також користуватися капілярами коротшими за 8...10 см, найкращими є капіляри довжиною 10...15 см. Рекомендується підбирати такі розміри капіляра, щоб відношення довжини до діаметру складало не менше 130. Для рідин з високою в'язкістю це відношення понижують.

Розміри деталей віскозиметрів (довжина і радіус капіляра, об'єм резервуара) надбирають з таким розрахунком, щоб час вимірювання рідини знаходився в діапазоні 100...60 с.

Старанність виконання віскозиметрів істотно впливає на точність і відтворення вимірювань в'язкості. Найбільш важливими є наступні вимоги до деталей приладу: круглість поперечного перерізу капіляра віскозиметра і постійність його діаметра вздовж всієї довжини, відсутність заокруглень і перекосів капіляра, гладкість спайок скляних частин віскозиметра, плавністю переходів широких частин у вузькі і зворотних переходів, чіткість міток, що обмежують вимірюваний об'єм рідин.

Капілярні автоматичні віскозиметри безперервної дії використовуються дуже широко в різних областях промисловості.

2.2 Розроба принципу дії віскозиметра

Розглянемо віскозиметри безперервної дії, які призначені для вимірювання в'язкості ньютонівських рідин. Принцип дії віскозиметра полягає в вимірюванні перепаду тиску ΔP між входом і виходом капілярної трубки, через яку подається рідина з постійною витратою Q (рис. 2.1).

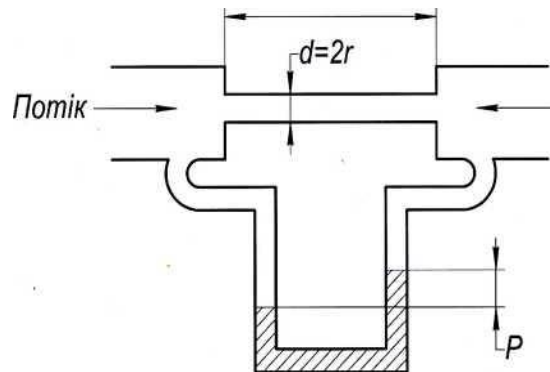


Рисунок 2.1 – Принцип дії віскозиметра

Використовуючи закон Пуазейля, перепад тиску P можна виразити наступним чином [1]:

$$P = \frac{8\mu (l+nR) Q}{\pi R^2} + \frac{mQ^2\rho}{8\pi(l+nR)}, \quad (2.14)$$

де μ – абсолютна в'язкість рідини;

π – постійна;

R – радіус капілярної трубки;

Q – витрата рідини, що проходить через капілярну трубку за одиницю часу;

ρ – густина рідини;

m, n – сталі, отримані дослідним шляхом.

Завжди $n < 1$. Якщо довжина капілярної трубки вибирається набагато більшою ніж радіус, то в рівнянні (2.14) довжина може бути виражена як $l = l + nR$. Крім того, якщо значення кожного члена вибирається таким, що

відношення між другим і першим членом правої частини рівняння буде меншим 2%, то другим членом можна знехтувати. Тоді рівняння буде мати вигляд:

$$\mu = \frac{\pi R^4 P}{8lQ} \quad (2.15)$$

З рівняння (2.15) випливає, що якщо застосувати насос постійної подачі і постійну Q , що подається по капілярній трубці за одиницю часу і вибрана відповідна довжина l капілярної трубки, то рівняння (2.15) буде мати вигляд:

$$\mu = C \cdot P, \quad (2.16)$$

де

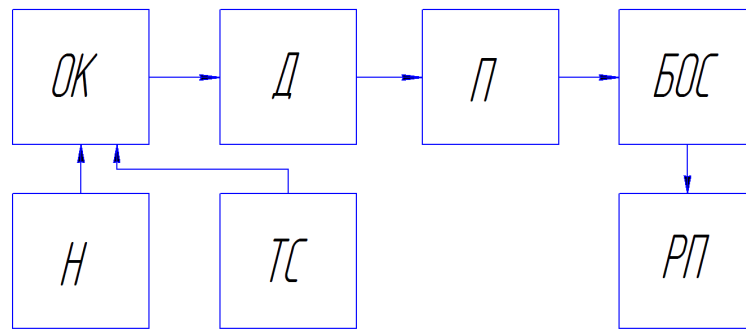
$$C = \frac{\pi R^4}{8lQ}.$$

З формули (2.16) випливає, що в'язкість μ можна визначити, вимірюючи перепад тиску P між двома кінцями капілярної трубки. Перепад вимірюється датчиком, після чого формується пневматичний чи електричний сигнал, пропорційний в'язкості.

2.3 Розробка структурної схеми приладу

На основі цих міркувань розроблена структурна схема приладу, яка приведена на рис. 2.2.

Розглянемо можливі варіанти принципів схем для нашого приладу. На рис. 2.2 вимірювана рідина як об'єкт контролю OK з постійною витратою подається в капілярну трубку за допомогою насоса H , який приводиться в дію синхронним двигуном.



ОК – об’єкт контролю; Н – насос; П – підсилювач, Д – диференційний давач тиску, БОС – блок обробки сигналів; ТС – термостат; РП – реєстраційний пристрій

Рисунок 2.2 – Структурна схема капілярного віскозиметра

Температура вимірюваної рідини підтримується сталою за рахунок проходження її через теплообмінник, який занурений в термостат *ТС* з нейтральною рідиною, температура яко підтримується з високою точністю за рахунок вбудованих систем підігріву і охолодження з неперервним перемішуванням.

Зміна діапазону вимірювання в’язкості здійснюється за рахунок заміни капілярних трубок.

Якість вимірювання в’язкості в немалій степені залежить від; роботи системи відбору проб. Може бути дві системи побудови відбору проб: одна - загальна, друга – для трубопроводів, де є пульсації тиску.

Принцип роботи віскозиметра – вимірювання перепаду тиску за допомогою давача тиску *Д* на двох кінцях капілярної трубки здійснюється при постійній витраті досліджуваної рідини. Зміна діапазону вимірювання в’язкості здійснюється за рахунок зміни капілярів, що забезпечує діапазон вимірювання в’язкості від 1 до 11000 П. У випадку необхідності, середня швидкість потоку і градієнт швидкості можуть встановлені безпосередньо відповідного діаметра капілярної трубки. Прилад дозволяє вимірювати в’язкість і не ньютонівських

рідин.

Вибір діапазону здійснюється за рахунок використання однієї з восьми капілярних трубок, які поставляються разом з приладом. Температура вимірюваного середовища може підтримуватися в діапазоні від кімнатної до $+135^{\circ}\text{C}$, що забезпечується вбудованою системою кондиціонування теплоносія, в яку занурена капілярна трубка.

Електричний сигнал з давача поступає на підсилювач П. Підсилений сигнал поступає в блок обробки сигналу БОС, в якому приводиться до величини пропорційної в'язкості рідини згідно робочої формули. Далі оброблений електричний сигнал поступає на реєструючий пристрій РП і висвічується на цифровому табло або поступає на вхідний порт комп'ютера для автоматизації процесу контролю.

2.4 Розрахунок і розробка електричної принципової схеми

Електричну принципову схему розроблено згідно функціональної схеми і представлено на кресленні БР.МТз-01.00.00.000 ЕЗ. Живлення вимірювальної схеми та блока індикації здійснюється за допомогою розроблених блоків живлення на інтегральних мікросхемах, розрахунок яких наведено нижче.

Сигнал, який знімається з давача тиску (позначеного на схемі як тензорезисторний міст R50 – R53) підсилюється за допомогою операційних підсилювачів, вимірювання температури в термостаті здійснюється за допомогою окремого блока термостабілізації. Потрібну температуру можна регулювати.

Блок індикації побудований на великій інтегральній схемі D20, на вхід якої за допомогою перемикача SA2 можна подавати сигнал як з блоку обробки вимірюваного сигналу в'язкості, так і з блоку вимірювання температури.

Для передачі даних на комп'ютер для збору інформації використовується інтерфейс на мікросхемі D15, з якого цифрові сигнали подаються на вихідне гніздо XS1.

2.4.1 Розрахунок стабілізатора напруги на мікросхемі серії 142ЕН

Вітчизняна промисловість серійно випускає малопотужні стабілізатори напруги в інтегральному виконанні серії 142.

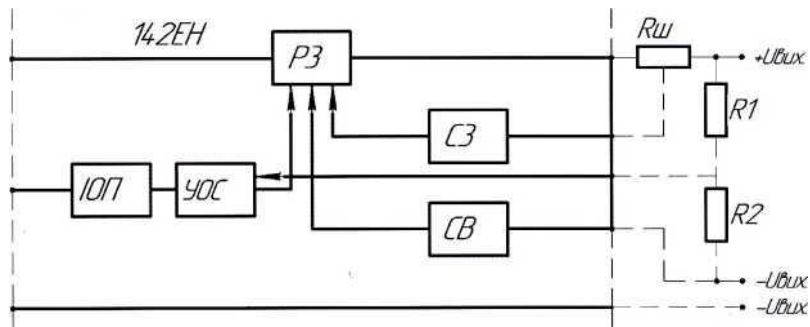
Інтегральний стабілізатор напруги серії 142ЕН представляє собою монолітну інтегральну мікросхему з основним функціональним призначенням – стабілізатор постійної напруги з регульованою вихідною напругою. За принципом дії стабілізатор відноситься до класу малопотужних низьковольтних компенсаційних стабілізаторів постійної напруги з регулюючим елементом, включеним послідовно з напругою, які працюють в безперервному режимі.

Стабілізатор (рис. 2.3, а) має регулюючий елемент РЕ, підсилювач зворотнього зв'язку ПЗЗ, джерело опорної напруги ДОН, схему захисту від перенагрузок до струму C_3 і схему виключення СВ.

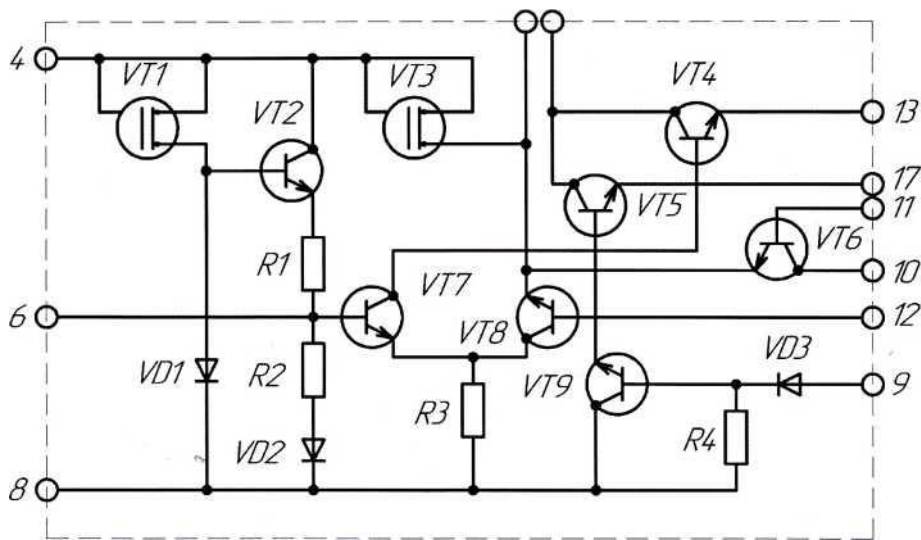
Для роботи схеми необхідні зовнішні елементи: резистор-датчик струмового захисту $R_{ш}$, розділювач напруги схеми порівняння $R_1 R_2$, який у випадку регульованої напруги може мати змінний резистор.

Регулюючий елемент – транзистор T_3, T_4 . Диференціальна схема підсилювача розбіжностей виконана на транзисторах T_6, T_7 і резисторі R_3 . Джерело опорної напруги – стабілітрон D_1 з напругою стабілізації 7,2 В. У низьковольтних стабілізаторах з вихідною напругою 3В потенціал бази T_6 не повинен перевищувати цієї величини.

$+U_{bx.och}$



а)



б)

а – функціональна схема; б – принципова схема

Рисунок 2.3 – Схеми інтегрального стабілізатора 142ЕН1А

Тому опорна напруга понижується ділянкою R_1 , R_2 до напруги 2,4...2,5 В. З метою компенсації температурного коефіцієнта напруги, який в точці А (рис. 2.4) дорівнює 4,2 мВ/°С, в схему включений діод D_2 , який має температурний коефіцієнт напруги, приблизно 2 мВ/°С протилежного знаку. Польові транзистори T_1 і T_2 в схемі виконують роль стабілізаторів струму.

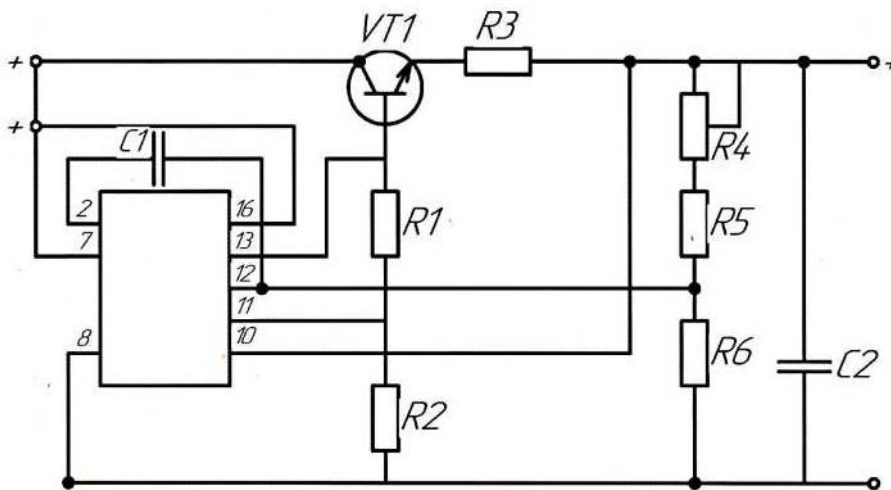


Рисунок 2.4 – Схема компенсаційного стабілізатора напруги з використанням мікросхеми 142 ЕН1А

Використання польових транзисторів для стабілізації струму зумовлено чисто механічними міркуваннями: схема стабілізатора струму на польовому транзисторі займає менше місця на підніжці і проста у виготовленні.

Транзистор T_1 стабілізує струм, що проходить через стабілітрон D_1 та забезпечує постійність його температурного коефіцієнта в різних температурних режимах. Транзистор T_2 , стабілізуючи струм, струм колектора транзистора T_7 збільшується коефіцієнт передачі сигналу розбіжності з підсилювача в базове коло регулюючого елемента. Таким чином, зводиться до мінімуму вплив зміни вихідної напруги на підсилювальне коло, що значно збільшує коефіцієнт стабілізації.

Транзистор T_9 в складі з зовнішнім резистором-датчиком струму утворюють схему захисту стабілізатора від струмових перегрузок. Транзистор T_8 дає можливість закрити регулюючий агрегат, що дозволяє комутувати вихідну напругу дистанційно чи використовувати його в схемі зовнішнього захисту.

Для виконання інтегральною схемою функцій стабілізатора підключення до її виводів, принципово є необхідними додаткові елементи (рис. 2.4).

Дільник зворотнього зв'язку R_5 , R_6 підключають паралельно навантаженню,

середню точку під'єднують до виводу 12. В випадку регульованої вихідної напруги в дільник включають змінний резистор. Величину струму через дільник включають 1 діл. рекомендується вибирати в межах 2...10 мА. Малий струм дільника понижує коефіцієнт стабілізації. Резистори дільників розраховують за формулами:

$$R_5 = \frac{(U_{\text{вих}} - 2,5)}{I_{\text{діл}}}, \quad (2.17)$$

$$R_5 = \frac{(15 - 2,5)}{5} = 2,5 \text{ Ом},$$

$$R_6 = \frac{2,5}{I_{\text{діл}}}, \quad (2.18)$$

$$R_6 = \frac{2,5}{5} = 0,5 \text{ Ом}.$$

Для уникнення самозбудження схеми до виводів 2.12 мікросхеми необхідну підключити конденсатор C_1 ємністю 0,1 мкФ. Паралельно нагрузці слід підключити електролітичний конденсатор C_2 ємністю не менше 10 мкФ, який підвищує стійкість стабілізатора і понижує його динамічний опір при імпульсних нагрузках.

Схема захисту від струму потребує зовнішнього дільника R_1 , R_2 . Опір R_1 приймають рівним 2 кОм, а опір R_2 визначають за формулою:

$$R_2 = \frac{(U_{\text{вих}} + 0,5) \cdot 10^3}{0,3}, \quad (2.19)$$

$$R_2 = \frac{(15 + 0,5) \cdot 10^3}{0,3} = 51,6 \cdot 10^3,$$

Поріг спрацювання схеми захисту від струму 1 обм. визначається опором зовнішнього резистора:

$$R_3 = \frac{0,5}{I_{\text{обм}}}, \quad (2.20)$$

$$R_4 = 0.1 \text{ мА} \pm 10\%$$

Керування стабілізатора здійснюється подачею на вивід 9 мікросхеми додатного напруження по відношенню до загального виводу 8. Керуючий

сигнал необхідно подавати через резистор R_4 , опір якого розраховують з умови протікання в колі включеного струму, що дорівнює $0,1 \text{ mA} \pm 10\%$.

Експлуатація мікросхеми серії 142ЕН має особливості; згідно технічних вимог гарантується захист мікросхеми лиш від короткого замикання, але не від перегрузок. Плавне збільшення струму навантаження вище номінального при деякому значенні приводить до спрацювання схеми захисту, але при цьому через регулюючий елемент протікає струм більший, ніж струм, який протікав би при короткому замиканні. Цей режим є найбільш небезпечний, так як потужність, що розсіюється на мікросхемі, перевищує допустиму.

Мікросхеми серії 142ЕН дуже критичні до коротко часових імпульсних перегрузок по струму і коротко часовим зворотнім перенапруженням.

2.4.2 Розробка стабілізатора напруги від 0,3 В до 27 В, 0,8 А

В інтегральних мікросхемах стабілізаторів напруги серії 142ЕН передбачена можливість підключення зовнішніх транзисторів, через які проходить основний струм навантаження, а мікросхема в такому випадку використовується тільки як схема керування (рис. 2.4). Вхідна напруга подається на мікросхему через виводи 4 і 6. При живленні силовим колом і керуванні від різних джерел значно підвищується коефіцієнт стабілізації.

В схемах з зовнішнім транзистором доречно виводи 16 і 4 об'єднувати і підключати його до додаткового джерела. Такий розподіл включення, особливо при низьких вихідних напругах, дозволяє збільшити ККД схеми в цілому.

Живлення мікросхеми з об'єднанням виводів 16 і 4 від окремого джерела також і з міркувань підвищення надійності. При перехідних процесах вхідна напруга силового кола може перевищувати обмежену допустиму для мікросхеми, що приведе до пробою мікросхеми.

Вивід 13 мікросхеми підключається до бази зовнішнього транзистора T_1 , куди підключають і резистор R_1 . Резистор-датчик схеми захисту від перегрузок по струму R_3 включають в коло емітера T_1 і з'єднують з виводом 10

мікросхеми. Конденсатор C_1 запобігає виникненню самозбудження стабілізатора. Конденсатор C_2 покращує динамічну характеристику при імпульсному характері навантаження і підвищує стійкість схеми.

2.4.3 Розрахунок диференціального підсилювача.

Диференційні підсилювачі призначені для підсилення різниці двох вхідних напруг. Стабілізація коефіцієнта підсилення диференційного підсилювача така ж, як і в інвертованому і неінвертованому підсилювачах, здійснюється за допомогою від'ємного зворотнього зв'язку. Найпростіший диференційний підсилювач зображений на рис. 2.6, а.

Розглянемо вихідну напругу як суму двох незалежних складових, одна з яких обумовлена сигналом U_1 , інша - сигналом U_2 , отримали:

$$U_{\text{вих}} = U_2 \frac{R_1}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1} = \quad (2.21)$$

Якщо приймемо, що

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (2.22)$$

То вихідна напруга буде змінюватися пропорційно різниці вхідних сигналів:

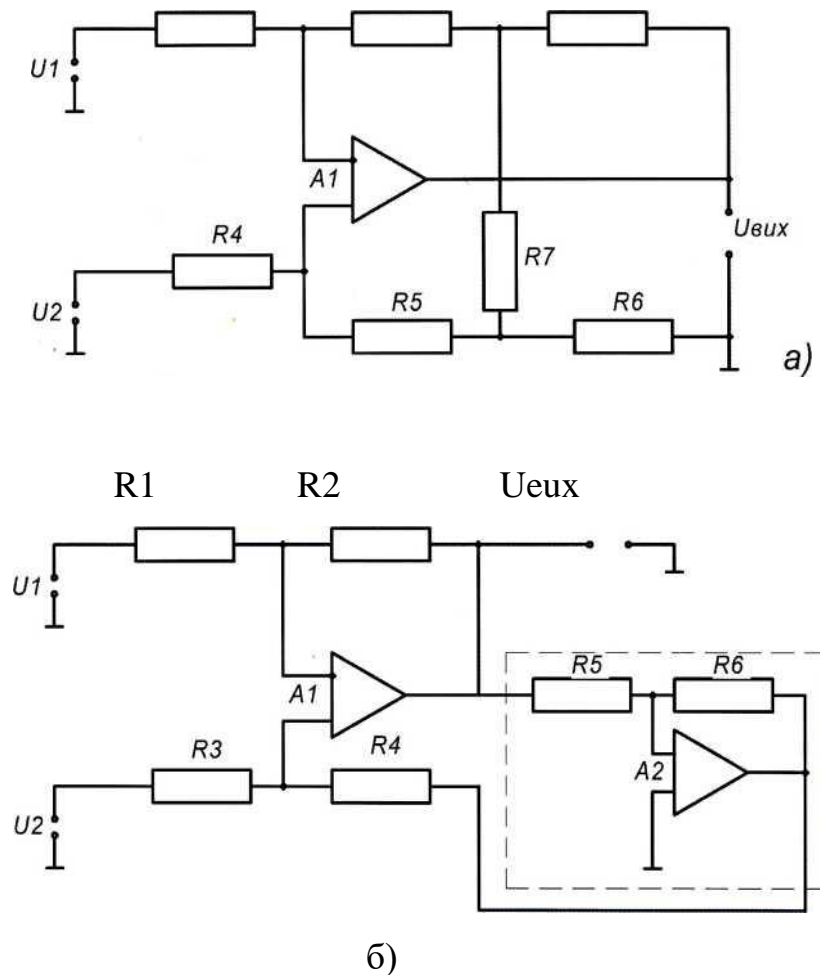
$$U_{\text{вих}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1}, \quad (2.23)$$

Вихідні опори r_{z1} і r_{z2} джерел вхідних сигналів U_1 і U_2 включаються послідовно з опорами R_1 і R_2 і впливають на коефіцієнти підсилення цих сигналів.

R1

R2

R3



- а – простий диференціальний підсилювач;
 б – покращений диференційний підсилювач

Рисунок 2.6 – Схеми диференційних підсилювачів

Якщо $r_{z1} \approx r_{z2}$, то приймаємо, що $R_3 = R_1$ і $R_4 = R_2$. В цьому випадку не рівніш нулю r_{z1} і r_{z2} впливає на коефіцієнт підсилення диференційного сигналу, що не буде приводили до порушення умови «диференційності» підсилювача, тобто коефіцієнт синфазного вхідного сигналу буде залишатися близьким до нуля.

При під'єднанні навантаження до диференціального підсилювача часто використовують чотирьохпровідну з'єднувальну лінію.

Недоліком таких підсилювачів є низькі (малі) вхідні опори і важкість регулювання коефіцієнта підсилення. Регулювати коефіцієнт підсилення

можливо тільки шляхом одночасної зміни опорів двох резисторів. В протилежному випадку буде порушена рівність (2.22).

Відомі декілька ускладнених схем диференціальних підсилювачів, в яких можлива регулювання підсилення за допомогою одного змінного резистора. Приклади подібних схем показані на рис. 2.6, а. Для підсилювача по схемі (рис. 2.6, а) при умові, що $R_H = R_1, R_5 = R_2, R_6 = R_3$, вихідна напруга визначається відношенням:

$$U_{\text{вих}} = (U_2 - U_1) \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1} + 2 \frac{R_2 R_3}{R_1 R_7} \right). \quad (2.24)$$

Регулювання коефіцієнта підсилення здійснюється зміною опором R_7 в підсилювачі по схемі (рис. 2.6, а).

При $R_1 = R_3, R_2 = R_4$

$$U_{\text{вих}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1-A} \quad (2.25)$$

де A – коефіцієнт підсилення підсилювача. В даному випадку цей інвертуючий підсилювач є $A = -\frac{R_6}{R_5}$.

2.4.4 Вдосконалені диференційні підсилювачі

Такі підсилювачі часто називають інструментальними підсилювачами. Вони мають високі входні опори по обох входах і забезпечують установку заданого коефіцієнта підсилення за допомогою одного змінного опорів.

Схема диференціального підсилювача показана на рис. 2.н, б.

Для цього підсилювача при $R_2/R_3 = R_5/R_4$ вихідну напругу можна знайти за формулою:

$$U_{\text{вих}} = (U_1 - U_2) * \left(\frac{R_2 + R_5}{R_1} + \frac{R_2}{R_3} + 1 \right) \quad (2.26)$$

В даному випадку коли $R_2 = R_3 = R_4 = R_5$ відношення (2.26) прийме вигляд:

$$U_{\text{вих}} = 2(U_1 - U_2) * \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \quad (2.27)$$

Даний підсилювач деколи застосовують без резисторів $R_1 (R_1 = \infty)$, то при цьому він втратить регулювання коефіцієнта підсилення різного сигналу $U_2 - U_1$ за допомогою одного резистора R .

2. 5 Розрахунок радіатора для охолодження

Для блока живлення розраховано радіатор для охолодження потужного транзистора.

Перегрів напівпровідникових приладів можна зменшити шляхом збільшення тепловіддачі поверхні, тобто установки приладу на радіатор. Для систем повітряного охолодження широко використовують наступні типи радіаторів: ребристі, пластинчаті, типу «краб» тощо. Найбільш ефективніші мають

Даними для проектування радіатора є: допустима температура робочої області t_p , розсіювана приладом потужність P , температура оточуючого середовища t_0 , внутрішній тепловий опір приладу між робочою областю і корпусом R_{BH} ; тепловий опір контакту між приладом і радіатором R_K . Теплова модель приладу з радіатором приведена на рисунку . Методика розрахунку:

1. Визначаємо перегрів місця кріплення приладу з радіатором

$$t_K - t_0 = (t_p - t_0) - P(R_{BH} + R_K) \quad (2.28)$$

де $R_K \approx 2,2 * 10^{-4}$

S_K – площа контактної поверхні, m^2 .

2. Визначаємо в першому наближенні середній перегрів основи радіатора

$$\Delta t_S = t_S - t_0 \approx 0,83(t_K - t_0) \quad (2.29)$$

3. Вибираємо тип радіатора. Ця процедура є емпіричною і вимагає знань порівняльної ефективності різних типів радіаторів. Питома потужність розсіювання $g = P/S_p$ задана і точка перетину параметрів Δt_S і g вказує область, якій відповідає визначений тип радіатора і умов охолодження.

4. Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі радіатора.

5. Знаходимо площу основи радіатора

$$S_P = L_1 L_2 = \frac{P}{\alpha_{cep} \Delta t_S} \quad (2.30)$$

6. Визначаємо середній перегрів основи радіатора у другому наближенні:

$$\Delta t_{Sp} = \frac{\frac{\Delta t_K S_K}{S_P}}{sh\left(p\sqrt{\frac{S_K}{S_P}}\right) ch^2 - \frac{P}{2} / \left(p - ch\left(p\sqrt{\frac{S_K}{S_P}}\right) + 1\right)^2} \quad (2.31)$$

де

$$p = \sqrt{B \left[1,5 - \left(\frac{sh(2\sqrt{B})}{2\sqrt{B}} + 1 \right)^{-1} \right]} \quad (2.32)$$

$$B = \frac{\alpha_{cep} * S}{\lambda_p \delta_p} \quad (2.33)$$

λ_p – теплопровідності матеріалу радіатора;

δ_p – товщина основи радіатора;

7. Визначаємо площу основи радіатора

$$\delta_{po} = \frac{P}{(\alpha_{cep} \Delta t_{so})}, \quad (2.34)$$

Розраховуємо параметри гольчато-штирьового радіатора для транзистора, що працює при температурі оточуючого середовища 60°C в умовах звичайного повітряного охолодження. Потужність розсіювання транзистора $3,2$ Вт, внутрішній тепловий опір $R_{вн} = 10$ К/Вт, максимально допустима температура р-п переходу $t_{p-n} = 150^\circ\text{C}$. Площа контакту транзистора з радіатором $S_K = 65,5 * 10^{-6}$ м².

1. Прийmemo робочу температуру р-п переходу $t_p = 140$ °C і визначимо допустимий перегрів контакту транзистора з радіатором

$$t_k - t_p = (140 - 60) - \left(\frac{3,2(10 + 2,2 * 10^{-4})}{65,5 * 10^{-6}} \right) = 37,25 \text{ K}$$

2. Визначимо середній перегрів основи радіатора

$$\Delta t_S = 0,83 * 37,25 = 30,92 \text{ K}$$

3. Вибираємо гольчато-пггирьовий радіатор з параметрами:

$$h = 15 \text{ мм}; S = 7 \text{ мм}; d = 2 \text{ мм}$$

4. Знаходимо з рисунку коефіцієнт тепловіддачі вибраного радіатора при $\Delta t_s = 31 \text{ K}$:

$$\alpha_{\text{ef}} 47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{K})$$

5. Визначаємо середній перегрів основи радіатора у другому наближенні. При цьому вибираємо в якості мшеріщу радіатора алюміній, у якого $\lambda_p = 208 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{K})$, в товщину основи $\delta_p = 2 \text{ мм}$. Тоді, підставивши дані, отримаємо $\Delta t_{s_0} = 34,1 \text{ K}$.

6. Уточнюємо площу основи радіатора:

$$S_{po} = \frac{3,2}{47 * 34,1} = 20 * 10^{-4} \text{ м}^2.$$

2.6 Розробка методики роботи з приладом

Всі блоки і вузли приладу поміщені у корпус 2 (БР.МТз-01.01.00.003), вимірювальний капіляр фіксується всередині корпус за допомогою притискуючих гайок у блоках тримачів. Для прокачування рідини через капіляр служить насос 3, який розміщений на верхній кришці і приводиться в дію двигуном 4. Різницю тисків на вході та на виході вимірювального капіляра здійснює диференційний давач тиску, який трубками з'єднаний з кінцями капіляра, і джгутом з підсилювачем. Всі електронні блоки розміщені в окремому відсіку, який зверху закритий панеллю, на якій розміщені ручки керування та цифрове табло. Вимірювальний капіляр, трубковий нагрівник занурені в рідину, температура якої підтримується блоком терморегуляції.

При проведенні вимірювання автоматичний капілярний віскозиметр підключаємо до трубопроводу при закритих вентилях (кранах) 1. Після цього включаємо на 30 хвилин прилад в режим термостабілізації для відрегулювання певної температури, значення якої визначається на цифровому табло, при цьому знаходиться в положенні перемикача «Температура». При: досягненні

режиму стабільної температури в термостаті відкривають вентиль 1 подачі нафтопродукту із трубопроводу в систему вентилявання, потім вмикаємо насос дозованої подачі рідини тумблером «Насос».

Через одну хвилину після встановлення стаціонарного режиму подачі досліджуваного нафтопродукту через вимірюваний капіляр знімаємо покази. При цьому перемикач переведений з «температури вимірювання» у положення «Вимірювання».

Покази з цифрового табло вводять у комп'ютер, який запам'ятовує дані вимірювання, аналізує одержану інформацію відносно стандартизованих параметрів досліджуваного нафтопродукту і виводять на дисплей попередження про недопустимі відхилення в'язкості нафтопродукту.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

3.1 Розрахунок похибки

При застосуванні капілярного віскозиметра для вимірюваної величини μ встановлено залежність (2.15). Тому похибку вимірювання можна визначити диференціальним методом, через відомі складові похибки параметрів, які входять у вираз (2.15) [10]. Абсолютна похибка $\delta\mu$ вимірювання в'язкості капілярним методом буде рівна:

$$\delta\mu = \frac{\partial\mu}{\partial R} \cdot \delta R + \frac{\partial\mu}{\partial(\Delta P)} \cdot \delta(\Delta P) + \frac{\partial\mu}{\partial l} \cdot \delta l + \frac{\partial\mu}{\partial Q} \cdot \delta Q, \quad (3.1)$$

Для обчислення $\delta\mu$ спочатку визначимо частинні похідні:

$$\frac{\partial\mu}{\partial R} = \frac{\pi 4R^3 \cdot \Delta P}{8lQ} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^3}{2lQ}, \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial\mu}{\partial(\Delta P)} = \frac{\pi R^4}{8lQ}, \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial\mu}{\partial l} = \frac{\pi R^4 \cdot \Delta P}{8l^2 Q} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial\mu}{\partial Q} = \frac{\pi R^4 \cdot \Delta P}{8l \cdot Q^2} \quad (3.5)$$

При вимірюванні в'язкості на розробленому віскозиметрі типові значення параметрів, які входять у вираз (2.15) є такими: $r = 0,002$ м; $l = 0,15$ м;

$$\Delta P = 18 \text{ кПа}; Q = 3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Похибки вимірювання цих параметрів стандартними технічними засобами будуть наступними:

$$\delta r = 0,01 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \delta l = 0,1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\delta(\Delta P) = \frac{\Delta P \cdot \gamma_P}{100\%} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 1,0\%}{100\%} = 180 \text{ Па}.$$

Окремо визначимо абсолютну похибку вимірювання витрати:

$$Q = \frac{V}{t},$$

де V – об'єм, t – час;

$$\delta Q = \frac{\delta Q}{\delta V} \cdot \delta + \frac{\delta Q}{\delta t} \cdot \delta t; \quad \frac{\delta Q}{\delta V} = \frac{1}{t}; \quad \frac{\delta Q}{\delta t} = -\frac{V}{t^2};$$

$$\delta V = 0,5 \text{ см}^3 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3; \quad \delta t = 0,1 \text{ с}; \quad V = 0,001 \text{ м}^3; \quad t = 30 \text{ с};$$

$$\delta Q = \frac{1}{t} \cdot \delta V + \frac{V}{t^2} \cdot \delta t = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{30} + \frac{0,001 \cdot 0,1}{30^2} =$$

$$16,7 \cdot 10^{-9} + 1,11 \cdot 10^{-7} = 1,27 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

Підставимо визначені значення параметрів (3.2) - (3.5):

$$\frac{\partial \mu}{\partial R} = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3}{2 \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}^3}{\text{с}}} =$$

$$= \frac{12,56 \cdot 18 \cdot 10^{-1}}{0,15 \cdot 3,3} = \frac{226,08 \cdot 10^{-1}}{0,495} \approx 45,67;$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial (\Delta P)} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^4}{8 \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}^3}{\text{с}}} =$$

$$= \frac{6,28 \cdot 10^{-7}}{0,15 \cdot 3,3} = \frac{6,28 \cdot 10^{-7}}{0,495} = 12,69 \cdot 10^{-7};$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial l} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 18 \cdot 10^3 \text{ Па}}{8 \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}^3}{\text{с}}} =$$

$$= \frac{6,28 \cdot 18 \cdot 10^{-4}}{0,15 \cdot 3,3} = \frac{113,04 \cdot 10^{-4}}{0,495} = 228,36 \cdot 10^{-4};$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial l} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3} \text{ м})^4 \cdot 18 \cdot 10^3 \text{ Па}}{8 \cdot 0,15 \text{ м} \cdot \left(3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}^3}{\text{с}}\right)^2} =$$

$$= \frac{6,28 \cdot 18 \cdot 10^{\mp 1}}{0,15 \cdot (3,3)^2} = \frac{113,04 \cdot 10^{+1}}{1,6335} = 692,01.$$

3.2 Метрологічне забезпечення віскозиметрів

Для відтворення і передачі правильних значень одиниць в'язкості використовують еталонний набір капілярних віскозиметрів. Набір призначений для точного визначення в'язкості каліброваних рідин, по яких перевіряють взірцеві віскозиметри. Визначення в'язкості каліброваних рідин ґрунтоване на

порівнянні їх в'язкості з відомою в'язкістю води при температурі 20°C.

Еталонний набір віскозиметрів складається з чотирьох груп приладів, по три однакових прилади в кожній групі. Постійні трьох віскозиметрів першої групи визначають еталонним методом по часу проходження води. На віскозиметрах першої групи визначають в'язкість рідини, яка має в'язкість приблизно в 10 разів більшу, ніж в'язкість води. Ця рідина служить для визначення постійних трьох віскозиметрів другої групи. Аналогічно по більш в'язким рідинам шляхом ступінчастої калібровки визначають постійні віскозиметрів третьої і четвертої груп. Діапазон вимірювання (в м²/с) кожної групи складають:

1-ї групи $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-5}$;

2-ї групи $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-4}$;

3-ї групи $1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-3}$;

4-ї групи $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-2}$.

В реальних умовах віскозиметри калібрують одним з двох методів. Перший метод – калібрування віскозиметра за допомогою атестованих рідин. Другий метод – використання установки, показаної на рис.А1. Процес дослідження заключається в наступному.

Береться рідина з необхідним індексом в'язкості і заливається в посудину, яка знаходиться в циркуляційному термостаті, і в вимірювальну трубку взірцевого віскозиметра. В посудині встановлюється калібрований віскозиметр. Після цього за допомогою термостата і циркуляційного насоса вирівнюється температура в посудині і вагах. На вирівнювання температури потрібно близько 30 хвилин. Потім починають процес калібровки: порівнюють покази ваг з показами промислового віскозиметра, після чого покази останнього вносять корективи. Процес калібровки повторюється на кількох рідинах з різними значеннями в'язкості при одній і тій же температурі чи на одній універсальній рідині при різних температурах (залежно від потрібного діапазону калібровки віскозиметра).

В тих випадках, коли при калібровці віскозиметра необхідно врахувати вплив тиску, прилад калібрується при тисках, рівному робочому тиску, на спеціальній установці.

3.3 Вплив тиску та температури на в'язкість рідини

Вплив тиску на в'язкість має велике практичне значення. Емпірично доведено, що у всіх випадках (за виключенням, води) при збільшенні тиску в'язкість різко зростає.

Значення $\frac{1}{\mu} \cdot \frac{d\mu}{dP}$ носить назву п'єзокоефіцієнта в'язкості. Для оцінки впливу тиску на практиці замість п'єзокоефіцієнта в'язкості використовують параметр:

$$q = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\mu_1 - \mu_2}{P_1 - P_2}, \quad (3.6)$$

який показує відношення в'язкості при заданому тиску до в'язкості при атмосферному тиску. Як правило, чим нижча температура, тим більший п'єзокоефіцієнт в'язкості. П'єзокоефіцієнт в'язкості в широкому діапазоні тисків залишається постійним.

В'язкість на відміну від об'єму, термічного розширення і ряду інших властивостей з підвищенням тиску спочатку росте менш різко, чим при більших тисках. Було встановлено, що при тиску нижче 70...80 МПа залежність в'язкості від тиску із деяким наближенням підпорядковується простому рівнянню:

$$\mu_p = \mu_0(1 - \alpha_{1P}), \quad (3.7)$$

де μ_p – в'язкість при тиску P ; μ_0 – в'язкість при атмосферному тиску; α_t – постійна при даній температурі; P – тиск.

Оскільки спроектований прилад розрахований на вимірювання в'язкості в нормальних умовах при атмосферному тиску, то цей чинник враховуємо при обчисленні сумарної похибки приладу.

3.4 Залежність в'язкості рідини від її густини

Зв'язок між в'язкістю і густиною [1]:

$$\mu_t = \frac{c}{V_t - \alpha}, \quad (3.8)$$

де μ_t – в'язкість при температурі t ; V_t – питомий об'єм при тій же температурі; c і α – константи.

Величина α наближена до постійної в рівнянні Ван-дер-Ваальса. Перетворивши рівняння (3.8), маємо:

$$\frac{1}{\mu_t} = \frac{V_t - \alpha}{c}, \quad (3.9)$$

Замінивши в'язкість текучістю φ , $\varphi_t = \frac{1}{\mu}$ і водячи позначення $k = \frac{1}{c}$ і $\beta = \frac{\alpha}{c}$, формулу (3.9), можна записати у вигляді

$$\varphi_t = k \cdot V_t - \beta, \quad (3.10)$$

Звідси випливає, що текучість є лінійною функцією питомого об'єму. Формулі (3.8) добре підпорядковуються низькомолекулярні і малов'язкі рідини. Вода і бензол відносяться до виключень. Дуже суттєвим є те, що фізичні властивості, які характеризують структуру більшості рідин, які підпорядковуються закону (3.8), пов'язані з температурою аналогічними закономірностями. Існує на зворотна залежність в гомологічних рядах між коефіцієнтом в'язкості і так званим вільним простором між молекулами, чи коефіцієнтом термічного розширення рідин [1]. Її формула є другим варіантом виразу (3.8) і залежність безпосередньо впливає із співвідношення (3.10), яке виражає зв'язок між в'язкістю і питомим об'ємом.

Високомолекулярні і високов'язкі рідини, до яких відносяться багато сортів нафти, не підпорядковуються рівнянню (3.8). В'язкість таких рідин в значній степені залежить від температури. Деякі ж них володіють аномальною температурною залежністю густини і коефіцієнта термічного розширення. Для світлих нафтопродуктів, які підлягають закону Бачинського, в'язкість прямо пропорційна густині.

3.5 Вплив температури на в'язкість рідини

Температура є найбільш важливим фізичним фактором, від якого в'язкість рідин. Величина в'язкості без вказаної температури не має змісту, так як в крайніх точках температурного інтервалу існування рідини вона може бути зовсім різною.

Залежність в'язкості від температури виражають: відношенням в'язкостей при двох вибраних температурах, наприклад, прийнятих в багатьох стандартах на машинні мастила відношенням в'язкості при двох температурах; похідною в'язкості по температурі чи з деяким наближенням відношення

$$\frac{\mu_1 - \mu_2}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\mu}{\Delta t}, \quad (3.11)$$

а також температурним коефіцієнтом в'язкості, тобто значенням $\frac{1}{\mu} \cdot \frac{d\mu}{dt}$.

Графічна залежність в'язкості від температури зображається як функція:

$$M = f(t), \quad n = f(1/T) \quad \text{або} \quad \lg \mu = f(t)$$

З підвищенням температури в'язкість рідин спадає. Залежність в'язкості від температури у різних рідин різна.

Так, якщо у гексану, толуолу, легкого бензину і подібних до них рідин $\frac{\mu_0}{\mu_{100}} = 2 \dots 3$, то у пропилового спирту, дизпалива і інших рідин це відношення зростає до $6 \dots 10$, а у в'язких мінеральних маслах воно досягає $50 \dots 100$. Похідна $\frac{d\mu}{dt}$ визначається величиною в'язкості (рівнем в'язкості) і хімічним складом рідини.

Температурний коефіцієнт в'язкості рідин непостійний і зростає з пониженням температури і відповідно з підвищенням в'язкості.

Вплив хімічного складу проявляється в тому, що при рівних в'язкостях температурний коефіцієнт в'язкості різних рідин неоднаковий. Різниця між малов'язкими рідинами невелика і часто наближена до межі точності вимірювання.

Оскільки в спроектованому приладі конструктивно передбачене термостаткування досліджуваних рідин, то похибку зв'язану з залежність в'язкості від температури враховувати не будемо.

3.6 Вплив складу і зовнішніх умов на в'язкість рідини

В'язкість однорідної рідини є дуже сталою величиною. Відомо, що в'язкість в інтервалі градієнтів швидкості від 0,1 до 20000 с⁻¹ залишається сталою і розбіжність між визначеннями не перевищує точності метода вимірювання.

В'язкість у різних рідинах коливається в дуже широких межах. Якщо не враховувати рідкий гелій, то найменшою в'язкою рідиною є зріджений СО₂ при критичній температурі. Його в'язкість в 50 раз менше в'язкості води.

До найбільш в'язких рідин відносять розплавлене скло при температурах, які ненабагато перевищують температуру плавлення, в'язкі мінеральні оливи при низьких температурах, деякі рідкі високомолекулярні сполуки. Їх в'язкість досягає 10⁶...10⁸ Па і більше. Ньютонівська в'язкість рідких нафтопродуктів в інтервалі температур 10...150 °С лежить в діапазоні 10⁻³...10⁴ П.

Капілярні віскозиметри вимірюють в'язкість із зсувом рідини в одному постійному напрямку.

В'язкість залежить від складу і структури рідини, а також від температури і тиску. Щоб врахувати вплив складу, необхідно вибрати спільну температуру для порівняння рідин. Слід мати на увазі, що при цих температурах рідини порівнюють не в однакових станах.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Значення охорони праці в забезпеченні безпечних і здорових умов праці і нормальної екологічної обстановки.

Процеси нафтохімії пов'язані з використанням шкідливих, пожежо- і вибухонебезпечних речовин, складного технологічного і механічного обладнання, коректними умовами його експлуатації. Це висуває підвищені вимоги до створення і забезпечення безпечних і здорових умов праці на виробництві, зменшення і ліквідації виробничого травматизму.

Для запобігання і систематичного зниження травматизму і професійних захворювань необхідна продумана професійна організаторська робота в цьому напрямку. Згідно діючих положень вона покладена на адміністративно-технічний персонал підприємства.

Велику роль в підтримці і направленні роботи по створенню безпечних умов праці відводиться спеціальній службі техніки безпеки. На підприємствах нафтопереробної промисловості створені групи або відділи техніки безпеки, які підпорядковуються головному інженеру.

Основною задачею служби техніки безпеки являється організація розробки і впровадження заходів, направлених на покращення і оздоровлення умов праці і ліквідації виробничого травматизму. З цієї точки зору велике значення має участь служби техніки безпеки в розробці і впровадженні планів номенклатурних підприємств по охороні праці.

Служба техніки безпеки приймає активну участь в розгляді проектів будівництва нових і реконструкції діючих виробництв, в розробці технологічних регламентів, виробничих інструкцій, модернізації виробничого обладнання для відображення в них більш безпечних умов праці.

На основі статистичного аналізу рівня травматизму, встановлено, що за

останні 1980-1995 р.р. біля 50% всіх нещасних випадків на підприємстві – це отруєння газами шкідливих речовин.

На долю хімічних і термічних опіків припадає близько 25% від загальної кількості травм при виробництві нафтопродуктів. Близько 12% становлять травми механічного пошкодження, які були спричинені розпалими частинами обладнання, падіння з висоти. Решту відсотків травм займають пошкодження електричним струмом.

4.2 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей виробничого середовища

При переробці нафти помимо отримуваних нафтопродуктів використовуються використовуються:

- вибухо-пожежонебезпечних речовин: фенол, олігомери етилену, аннілат;
- пожежонебезпечні речовини, масло «М-6» – цільовий оліфенол;
- отрута: фенол;

Так як виробництво нафтопродуктів належить до категорії шкідливих виробництв, існує ймовірність дії потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть проявлятися під час технологічного процесу. А саме: розгерметизація ректифікаційної колони і трубопроводу по перекачуванню фенолу, підвищена температура поверхні теплообмінників.

Аналіз потенційно небезпечних виробничих чинників надано в табл. 4.1, а характеристика шкідливих речовин в табл. 4.2 [12].

Отруєння фенолом (табл. 4.1) відноситься до хімічних факторів. Характеризуючи цей фактор, слід відмітити, що фенол є ядовитою речовиною. Можливість отруєння парами фенолу, а також дрібним пилом, який виділяється із його парів конденсації, попадаючи на шкіру викликає опіки, тому при роботі з ним необхідно обов'язково одягати гумові рукавиці, захисні окуляри.

Алпілфенол відноситься до малонебезпечних шкідливих речовин. Отруєння можливо тільки його парами, тому при роботі з ними потрібно

захищати органи дихання.

Таблиця 4.1 – Небезпечні виробничі чинники

Джерела небезпеки	Характеристика небезпечних виробничих факторів
Ректифікаційна колона трубопроводу по перенесенні фенолу, ємність для збору фенольного діетилену	1. Отруєння парами фенолу 2. Хімічні опіки
Теплообмінник	Термічний опік
Електрообладнання	$I=10A$; $U = 380 V$; $f = 50 \text{ Гц}$

Таблиця 4.2 – Характеристика шкідливих речовин

Назва речовин	ГДК, м.кв/м.куб.	Перша допомога
Фенол	5	При попаданні на шкіру необхідно поразену ділянку промити спиртом, а потім теплою водою з милом
Алнілфенол	100	При отруєнні парами необхідно винести потерпілого на свіже повітря

4.3 Забезпечення нормальних умов праці

Проектування здорових і безпечних умов праці починається з правильного вибору території для розміщення виробництва, вибору траси для покладання трубопроводів, раціонального розташування на ній виробничих і допоміжних будівель і споруд.

Виробництво зв'язане з нафтопродуктами відноситься до особливо шкідливих, яке виділяє шкідливі речовини в стратосферу, тому воно

розташоване з підвітряної сторони від житлової забудови.

Приміщення, які призначені для розміщення служби побуту, а також культурного і санітарно-гігієнічного обслуговування робітників, називаються побутовими. В склад побутових приміщень входять гардеробні, душові, умивальні приміщення, медпункт, приміщення для куріння. Побутові приміщення ізольовані від виробничих.

Номенклатура санітарно-побутових приміщень приведена в табл. 4.3

Таблиця 4.3 – Характеристика вентиляцій

Назва приміщення	Назва побутового приміщення	Норма площі на 1 люд. кв.м	Кількість працюючих	Загальна площа
Г ардеробні Блоки чоловічі	Шафа закрита, одинарна, розмір 165*50 см	1,1	8	8,8
Жіночі	Шафа закрита, одинарна, розмір 165*50 см	1,1	2	2,2
Душова і переддушова Умивальники		1 м.кв на 3 20л і 0.5м. кв на 3 чол.	8	9
Для чоловіків Для жінок		1 од. на 15 чол. 1 од. на 15 чол.	8 2	12 од 1 од
Кімната для куріння		Чол. 0,2	10	

Метеорологічні умови на робочому місці в виробничих приміщеннях і на відкритих робочих площадках визначаються температурою повітря, відносною вологістю, швидкістю руху повітря, барометричним тиском і інтенсивністю теплового випромінювання від нагрітих поверхонь. Сукупність цих параметрів, характерних для конкретної виробничої ділянки, називається виробничим

мікрокліматом. Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень приведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення метеорологічних умов у виробничих приміщеннях

Характеристика приміщень	Категорія робіт	Період року	Температура	Відносна вологість	Швидкість руху, м/с
Препараторська (приміщення відбору проб)	Робота	Холодний	17-20	≤ 75	До 0,3
	Середньої Важкості	Теплий	20-30	≤ 75	До 0,3
Операторна	Легка I, а	Холодний	18-21	≤ 75	До 0,3
		Теплий	22-25	≤ 75	До 0,3

Параметри, що визначають метеорологічні умови, як кожний окремо, так і в різних сполученнях, впливають на функціональну діяльність людини, її самопочуття і здоров'я і являються одним із важливих факторів санітарно-гігієнічних умов праці.

Вентиляція використовується для виділення із виробничого приміщення забрудненого або перекритого (охолодженого) повітря і подачі замість нього чистого і охолодженого (нагрітого) повітря. В результаті цього в робочій зоні створюють нормальні метеорологічні умови [13].

Так як установка знаходиться на відкритому повітрі, то використовується природна вентиляція. В операторній використовується комбінована протічно-витічна загально обмінна вентиляція, тобто свіже повітря, забирається зовні споруди, розподіляється по всьому об'єму приміщення. Характеристика штучної вентиляції приведена в табл. 4.5 [14].

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці і якості продукції, яка випускається, виявляє

позитивну психологічну дію на працюючих, підвищує безпеку праці, знижує втомлюваність, травматизм на виробництві. Вдень установка освітлюється природнім світлом.

Таблиця 4.5 – Характеристика штучної вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційна система	Кратність повітрообміну в годину
Операторна	Притічно-витічна (комбінована)	Центробічний вентилятор	5

Штучна освітленість застосовується в ті години доби, коли природне світло відсутнє або недостатнє. Дані про освітленість робочих приміщень приведені в табл. 4.6 [16].

Таблиця 4.6 – Освітлення виробничих приміщень

Назва приміщення або вид роботи	Освітлення загальне	Освітлення комбіноване	Тип освітлення
Операторна	150	300	Лампи з легким розжарюванням
Постійний нагляд за виробничим процесом	30	–	Лампи розжарювання

Засоби індивідуального захисту призначені для захисту працюючих від дії небезпечних виробничих і метеорологічних умов. Для всіх робітників обслуговуючого персоналу, для інженерно-технічних робітників обов'язковою умовою на території заводу є наявність при собі протигазу і касти. Основним видом спецодягу на установці є черевики гумові пілостійкі, захисні окуляри.

Освітлення і кольорове оформлення виробничих приміщень при правильному і вдалому поєднанні виявляють позитивний вплив і ріст продуктивності праці і зменшення числа і важливості виробничих травм. Керуючись основними правилами кольорового оформлення в операторній використані світлі тони. Стіни і стеля пофарбовані в світлий тон – оранжевий, при відносно невеликій насиченості і високому коефіцієнту відбиття.

Трубопровід, по якому подається еліпсом - темно-коричневого кольору, ректифікаційна колонка – срібляста, ємність для фенольного дистиляту – синя.

Колір і яскравість поверхонь, які знаходяться в полі зору, виявляють серйозний вплив на здоровий процес, настрої і працездатність людини.

4.4 Розрахунок захисту від удару блискавки

Відповідну небезпеку для людей і обладнання з точки зору вибухопожежонебезпеки являють собою статичні розряди електрики (блискавки). Вся територія України відноситься до місцевості з підвищеною грозовою активністю. Блискавко-захисний прилад будь-якої категорії викликає на себе удар блискавки і відводить струм в землю. Зона захисту блискавковідводу – частина простору, всередині якого споруда захищена від прямих ударів блискавки з відповідною ступеню надійності [11; 17]..

Зона захисту типу А володіє ступенем надійності 99,5% і вище, а зона захисту типу Б – 95% і вище.

Зона захисту типу А володіє одиничним стержневим блисковідводом висотою $h < 60$ м. Являє собою круговий конус. Вершина його знаходиться на висоті $h < h$. На рівні землі зона захисту утворює коло радіусом z_0 .

Горизонтальний переріз зони захисту на висоті захищеної споруди h_x являє собою коло радіусом z_x .

Зона захисту одиночних спостережень блискавковідводів мають наступні габарити:

Зона А

$$h_0 = 0,85 h, \quad (4.3)$$

$$z_0 = (1,1 - 0,02 h) * h, \quad (4.4)$$

$$r_x = (1,1 - 0,002 h) * \left(h - \frac{h\alpha}{0,85} \right). \quad (4.5)$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92 h, \quad (4.6)$$

$$z_0 = 1,5 h, \quad (4.7)$$

$$r_x = 1,5 \left(h - \frac{h\alpha}{0,92} \right). \quad (4.8)$$

Для зони z_0 висоти одиночного спостереження блисковідводу при відомих величинах h_x і r_x може бути визначена за формулою:

$$h = \frac{r_x + 1,63 h_x}{1,5}, \quad (4.9)$$

Розраховуємо висоту одиночного блисковідводу (для зони А і Б) для захисту установки розгонки алпілату на блоці ректифікації із врахуванням їх габаритних розмірів.

Висота $h_* = 10$ м, ширина 15 м, довжина 20 м. (при цьому $r_x = 10$ м).

Для зони А висоту блисковідводу визначаємо, розв'язавши квадратне рівняння, що виводиться з формули (4.1):

$$-0,002 h^2 + \left(1,1 + \frac{0,002 h_x}{0,85} \right) h - 1,1 \frac{h_x}{0,85} - r_x = 0, \quad (4.10)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$-0,002 h^2 + 1,123 h - 22,94 = 0, \quad (4.11)$$

Звідси $h = 22,14$ м.

Для зони Б з рівняння (4.11) одержимо:

$$h = \frac{r_x + 1,63 h_x}{1,5} = \frac{10 + 1,63 * 10}{1,5} = 17,5 \text{ м}$$

4.5 Пожежна безпека

Пожежна профілактика представляє собою єдиний комплекс організаційних і технічних заходів, направлених на попередження і локалізацію

пожеж і вибухів. Пожежна безпека виробничих споруд визначається пожежною безпекою технологічного процесу.

Установка розгону аксілата на блоці ректифікації відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії «А». В табл. 4.7 приводиться класифікація виробничих приміщень за пожежонебезпекою.

На установці розгонки алкілату на блоці ректифікації використовуються вибухонебезпечні суміші. В табл. 4.8 приведені пожежонебезпечні властивості використаних речовин і матеріалів [15].

Таблиця 4.7 – Характеристика виробничих приміщень за пожежною безпекою

Назва приміщення, дільниць	Категорія в-ва за в.п. небезпеці	Клас приміщень по в.п. небезпеці	Х-ка приміщень за ступені ураження електричним струмом	Категорія вибухонебезпечної суміші	Група вибухонебезпеки	Умовне позначення
Установка розгонки алпілату на блоці ретифікації	А	В-12	1	II-A	T2	СТД-125000-2
Операторна	Д	В-1	1	II-A	T2	-//-

На установці розгонки алкілату на блоці ректифікації використовуються вибухонебезпечні суміші. В табл. 4.8 приведені пожежонебезпечні властивості використаних речовин і матеріалів.

Таблиця 4.8 – Пожежонебезпечні властивості речовин

Назва речовин	Температура спалаху	Температура спалахування	Гранична концентрація	Температура самозапалювання	Засоби гасіння
Алпінат	140	310	20	140	Вогнегасник
Фенол	180	280	5-10	180	-//-
М-6	≤ 190	-//-	-//-	-//-	-//-
Алпіфенол	89	-//-	-//-	-//-	-//-

На установці для гасіння пожежі покладений пожежний трубопровід. Для гасіння пожежі також використовують вогнегасники, пісок, воду із пожежного крану. Первинні засоби пожежогасіння приведені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Засоби пожежогасіння

Приміщення установки	Категорія	Захисна площа м.кв	Первинні засоби пожежогасіння
Установка розгону амсілату	А	400	Вогнегасник ОП-10 2 шт., ОІ – 3 шт., пісок
Операторна	Д	30	Вогнегасник вуглекислий ОІ-5 – 2 шт.

Висновки до розділу

У останньому розділі бакалаврської роботи висвітлені питання охорони праці і безпеки життєдіяльності. Приведений аналіз потенційних небезпек, які можуть виявитися при експлуатації, спроектованого приладу на нафтопереробному підприємстві.

Розроблено показники вентиляції та освітлення у виробничих приміщеннях. Розроблено заходи протипожежної безпеки. Здійснено розрахунок захисту від блискавки.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі проаналізовано різні методи визначення в'язкості і вибрано капілярний метод. Здійснено теоретичне обґрунтування капілярного методу контролю. Обґрунтовано необхідні складові частини в структурній схемі приладу для контролю в'язкості. На основі функціональної схеми розроблено електричну принципову схему з необхідними обґрунтуваннями та розрахунками блока живлення і підсилювача сигналів, а також розраховано радіатор для охолодження транзисторів великої потужності.

Розроблено методику проведення контролю в'язкості рідин за допомогою спроектованого приладу.

Здійснено метрологічний аналіз спроектованого приладу, визначено чинники, які впливають на точність вимірювання, і розроблено метрологічне забезпечення.

У останньому розділі бакалаврської роботи висвітлені питання охорони праці і безпеки життєдіяльності. Приведений аналіз потенційних небезпек, які можуть виявитися при експлуатації, спроектованого приладу на нафтопереробному підприємстві.

Розроблено показники вентиляції та освітлення у виробничих приміщеннях. Розроблено заходи протипожежної безпеки. Здійснено розрахунок захисту від блискавки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготовки: «Хімічна технологія та інженерія» – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.
2. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади [Електронний ресурс] : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / М. В. Лукінюк ; М-во освіти і науки України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 18,6 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2007. – 433 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66269>
3. Муратов, В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади : навч. посіб. / Муратов Віктор Георгійович. - Вид. 2-е, допов. - Київ : Освіта України, 2016. - 364 с.
4. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання: навч. посіб.– К.: Кондор. 2007.– 168 с.
5. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, В.М. Ванько, Т. Г. Бойко; За ред. проф. Є. С. Поліщука - 2-е вид., переробл. і доповн. – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2012. –534 с
6. Ларичева Л.П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: навч. посібник/Л.П. Ларичева, М.Д. Волошин, О.П. Луценко – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. – 320 с
7. Нестерчук Д.М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: навчально-методичний посібник для практичних занять. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 170 с.
7. Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря

Сікорського; укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові дані. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.

8. Квітка С.О., Яковлев В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка та мікросхемотехніка / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – Суми : 2012. – 350 с.

9. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури: Навч. посіб. - О.: Наука і техніка, 2007. - 122 с.

10. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань[Текст]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів /І.С. Кісіль.– Івано-Франківськ.: Факел, 2002. – 400с.– ISBN 966-7327-80-9.

11. Кривенко Г. М., Семчук Я. М., Стеліга І. І., Лялюк-Вітер Г. Д., Шиманський В. Я.. Охорона праці: методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. ІваноФранківськ: ІФНТУНГ, 2021. 84 с.

12. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва

13. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

14. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text>

15. Наказ МОЗУ №30 від 23.02.2000р. «Про затвердження списків і введення в дію гігієнічних регламентів шкідливих речовин у повітрі робочої зони і атмосферному повітрі населених місць» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030282-00#Text>

16. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
17. ДБН В.2.5-28-2018 Інженерне обладнання будинків і споруд, Природне і штучне освітлення.
18. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
19. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького - Львів: Афіша, 2000. - 352 с.
20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.
21. Журавльов Ю.М., Пеньков А.О. Пристрої приймання та обробки сигналів: навчальний посібник.–К. Вид-во Національного авіаційного університету «НАУ-друк»,2019.–200 с.
22. Бойко В.І., Гуржій А.М. та інші. Схемотехніка електронних систем. К.: Вища школа, 2004.
23. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник. — Львів: Афіша, 2001