

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою контролю параметрів засобів вимірювання витрати рідини»

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛТп-19
(шифр групи)

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Біба Микола Олександрович
(Прізвище, ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник доц. кафедри ЕТ, к.т.н., доц. _____ Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент доцент кафедри АТ, к.т.н., доц. _____ Валерій ПОЦЕПАСВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

_____ Олександр ВОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра _____

Тема: «Розробка електронного пристрою контролю параметрів засобів
вимірювання витрати рідини»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТп – 19

Микола БІБА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« ____ » _____ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Біба Микола Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою контролю параметрів засобів вимірювання витрати рідини

керівник проекту (роботи) Штепа Олександр Анатолійович, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		
2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз способів і технічних засобів вимірювального контролю параметрів потоку витрати рідини		
2	Розробка електронного пристрою вимірювання пульсацій потоків рідини		
3	Розробка математичної моделі вимірювального пристрою потоку витрати рідини		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

(підпис)

Микола БІБА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олександр ШТЕПА

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Біба, М.О. Розробка електронного пристрою контролю параметрів засобів вимірювання витрати рідини / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 57 стор., 17 рис., 1 табл., 11 посилань.

Запропоновано та розроблено гідравлічну установку потоків пульсації аналізованої рідини для здійснення вимірювального контролю тиску та витрати. У цій установці можна виконувати перевірку манометрів, лічильників води, а також сфігмоманометрів. Зі застосуванням розробленої гідравлічної установки скорочено проміжок часу перевірки пристроїв. Під час впровадження гідравлічної установки до промислового застосування процедура перевірки дозволяє збільшити показники статистичного вимірювального контролю якості пристроїв завдяки підвищенню рівня продуктивності в 3 рази.

Розроблено схему гідравлічної установки та алгоритм функціонування мікропроцесорної частини пристрою. Зі застосуванням розробленої гідравлічної установки можна здійснювати вимірювальний контроль витрати в лічильниках води, тиску в манометрах, а також частоти та тиску в сфігмоманометрах. Розроблена установка дає змогу виконувати одночасну перевірку за трьома параметрами: тиску, витрати та частоти.

Розроблено математичну модель системи, до складу якої входить однорідні підсистеми. Запропоновано використовувати математичні моделі закритих гідравлічних підсистем. Під час розробки математичної моделі застосовано метод аналогій з використанням топологічних і компонентних рівнянь. На базі розробленої математичної моделі виконано оцінку інерційності блоків вимірювання.

Ключові слова: потік, пульсації, рідина, установка, регулятор, алгоритм роботи, модель, оцінка, інерційність, вимірювальний блок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ ВИТРАТИ РІДИНИ.....	9
1.1 Пульсації потоку рідини в гідравлічних системах.....	9
1.2 Аналіз способів і засобів формування та вимірювання параметрів пульсацій потоку рідини в гідравлічних системах.....	10
1.2.1 Аналіз способів формування та вимірювання пульсацій потоку рідини.....	11
1.2.2 Аналіз технічних засобів формування та вимірювання пульсацій потоку рідини.....	13
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙ ПОТОКІВ РІДИНИ.....	25
2.1 Розробка структурної схеми електронного пристрою вимірювання пульсацій потоків рідини.....	25
2.2 Розробка структури стенду для перевірки засобу вимірювання витрат.	28
2.3 Розробка структури стенду для перевірки засобу вимірювання надлишкового тиску.....	30
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ПОТОКУ ВИТРАТИ РІДИНИ.....	34
3.1 Розробка еквівалентної схеми вимірювального пристрою потоку витрат рідини.....	34
3.2 Математична модель вимірювального пристрою тиску.....	36
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	51

ВСТУП

У теперішній час гідравлічні установки знаходять широке практичне застосування, тому їх конструкція постійно удосконалюється. Гідравлічні установки застосовуються в системах постачання питної та технічної води, промисловості та машинобудуванні, а також у металургії та медичному обладнанні. Гідравлічні системи мають дуже важливу роль у сучасній науці та техніці, вони застосовуються як один з базові компоненти під час проведення автоматизації технологічних процесів.

Гідравлічні установки мають в своєму складі сучасні технічні засоби, такі як пульсатори, генератори, автоматичні регулятори та ін. Зі застосуванням зазначених засобів здійснюється формування імпульсів потоків рідини, що має характер пульсації. На базі сформованих імпульсів, а також методів опису складних динамічних систем вимірюються та розраховуються значення характеристик і параметрів потоків рідини в гідравлічних системах та установках.

У прикладній метрології гідравлічні пристрої використовуються під час проектування складних гідравлічних установок перевірки для здійснення контролю засобів вимірювань, таких як манометри, лічильники питної та технічної води, сфігмоманометри. У зазначених пристроях необхідно здійснювати підтримку заданих характеристик і параметрів потоку рідини з регламентованими показниками точності результату вимірювання. Зазначені пристрої входять до Державного регулювання щодо забезпечення єдності результатів вимірювання. Вони підлягають випробуванням для первинної й періодичної повірці, а також затвердження класу точності.

Контроль характеристик і параметрів засобів вимірювання витрати та тиску рідини виконується під час їх підключення до повірочного пристрою гідравлічної установки, що має регламентовані метрологічні характеристики та параметри. Для сфігмоманометрів розробляються спеціальні гідравлічні

установки повірки тому, що ці засоби вимірювання не підключаються безпосередньо до установки.

Сформований імпульс після підключення генератору коливань потоку визначається двома чи однією гідравлічною характеристикою, якими є регулюванням частоти та/або амплітуди.

Генерування імпульсів потоків пульсацій у гідравлічних установках повірки, які можуть бути або зі замкненим контуром, або автоматичні дозволяють сформувати потоки пульсацій з регламентованими характеристиками, які визначаються постійними та змінними складовими витрати рідини та тиску, та можуть бути відтвореними завдяки застосуванню гідравлічних установок повірки. Отже, з'являється можливість приблизити характеристики сформованих потоків до параметрів і характеристик пристрою, над яким здійснюється повірка, а також зменшити величину часу здійснення повірки.

1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ ВИТРАТИ РІДИНИ

1.1 Пульсації потоку рідини в гідравлічних системах

Потік рідини, який має пульсації, є частиною рідини, яка рухається нерозривно. Цей потік обмежений твердими недеформованими або деформованими стінками, які утворюють русло та має місце пульсації тиску. Розв'язання різних наукових та прикладних питань, які обумовлено з визначенням характеристик і параметрів потоку рідин, у тому числі тих, що мають пульсуючий характер, обумовило виникнення гідродинаміки. Одним з базових завдань наукових досліджень у гідродинаміці є визначення кореляційного зв'язку між розподілом епюри швидкості та надмірного тиску, що має місце всередині потоку, який формується у різних типах гідравлічних установках і систем.

Під час розробки математичного апарату та визначення теоретичної залежності у гідравлічних системах можна застосовувати гіпотезу суцільності або її ще називають гіпотезою безперервності рідкого середовища. У відповідності з цією гіпотезою, динамічні та кінематичні характеристики та параметри рідини є безперервними функціями просторових координат і часу. Однією з базових характеристик рідини є швидкість її потоку, що пульсує. Значення цієї швидкості можна визначити у точці потоку, що має назву миттєва швидкість, а також у деякі проміжки часу, що називається місцева швидкість. За значеннями наведених характеристик визначається вид руху рідини, якщо швидкість руху не змінюється протягом деякого проміжку часу, а також під час зміни швидкості руху, що може змінюватися протягом деякого часу.

1.2 Аналіз способів і засобів формування та вимірювання параметрів пульсацій потоку рідини в гідравлічних системах

Гідравлічні системи застосовуються під час розробки різних типів технічних систем, які мають в своєму складі пристрої, прилади, механізми, а також окремі системи та агрегати, що використовуються під час безпосереднього контакту з середовищем, що рухається, під дією тиску. У авіаційній техніці зі застосуванням гідравлічних систем здійснюється керування літальним апаратом на землі та у повітрі, гідравліка здійснює гальмування літального апарата, а також відповідає за протипожежну безпеку.

Перші гідравлічні системи відомі задовго до нашої ери: водяні млини, греблі, водопідйомні машини та ін. Так гвинт Архімеда винайдений у III ст. до н.е. Архімедом, який застосовувався для підняття води. Принцип роботи цього гвинта був покладено в основу гідравлічних насосів, що використовуються у теперішній час. Сфера використання гідравлічних систем істотно розширюється, а конструкції їх вдосконалюються й до сьогодні. Гідравлічні пристрої застосовуються в системах постачання води, металургійній промисловості, машинобудуванні, будівництві, меліоративних заходах і медицині. Зазначені гідравлічні системи мають вагомий роль у сучасній техніці тому, що гідравлічні приводи застосовуються як один з базових компонентів засобів механізації та автоматизації технологічних і технічних процесів, а також процесів керування об'єктами. Гідравлічні приводи використовуються в складі маніпуляторів і роботів, а також у автоматизованих лініях, системах керування пристроями, механізмами та установками, як виконавчі пристрої.

Поштовхом до вдосконалення гідравлічних систем дала робота Архімеда «Щодо плавання тіл», яка спричинила виникнення доволі великої кількості фундаментальних науково-прикладних розробок. У XV-XVII ст. визначено базові закони рівноваги та руху рідини. У цих законах описано зміну опору середовища під час руху тіла, що зроблено видатними науковцями Леонардо да Вінчі та Г. Галілей, а також тертя й в'язкість рідини, що описано І. Ньютоном.

У XVIII ст. ученими Л. Ейлером та Д. Бернуллі визначені базові постулати щодо руху рідини, також в роботах цих вчених покладено фундаментальні основи гідромеханіки [1].

У XIX-XX ст гідромеханіка отримала ще один значний виток завдяки бурхливому розвитку технологій. Так, у роботах видатних учених О. Рейнольдса, Дж. Г. Стокса, Л. Прандтля, Н.Є. Жуковського, П. Петрова та ін. доволі велика увага приділялась практичним аспектам застосування гідромеханіки.

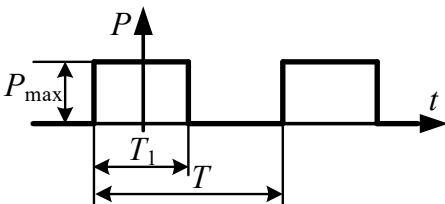
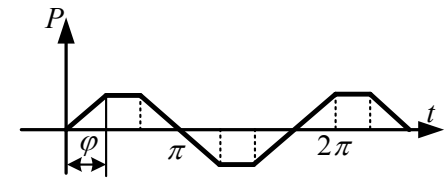
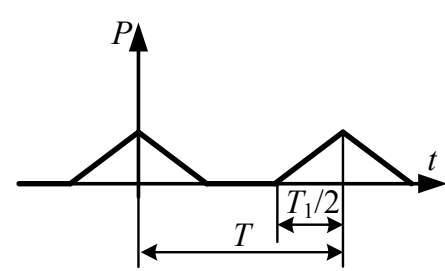
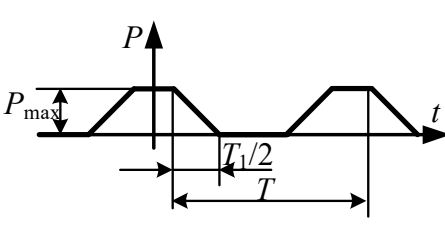
У обладнанні, що застосується у теперішній час, гідравлічні системи використовуються не тільки для здійснення керування пристроями та механізмами, а й для забезпечення нормального функціонування базового обладнання технологічного процесу. Вибір гідравлічних пристроїв та агрегатів обумовлено тим, що у цих компонентів коефіцієнт корисної дії набагато більший ніж у дизельних та бензинових двигунів внутрішнього згоряння.

1.2.1 Аналіз способів формування та вимірювання пульсацій потоку рідини

Імпульс, який згенеровано після під'єднання засобу, що здійснює генерацію коливань потоку рідини, визначається двома або однією гідравлічною характеристикою під час регулюванням частоти та/або амплітуди.

Переважає більшість сучасних методів основана на під'єднанні до гідравлічного тракту засобів генерації коливань, завдяки яким можна формувати різні види та типи імпульсів витрат і тиску, а потім здійснювати їх математичний опис. Форми імпульсів пульсації потоку рідини та їх аналітичний опис, як ряд $P(t)$, наведено в табл. 1.1. Під час аналізу такої залежності [2], що визначає форму імпульсу, можна ідентифікувати три ділянки: збільшення тиску, постійне значення максимальної величини тиску, а також його спад.

Таблиця 1.1 – Форми імпульсів пульсації потоку рідини та їх аналітичний опис як ряд $P(t)$

№	Форма імпульсів пульсації потоку	Функція $P(t)$, що отримано під час розкладання в ряд Фур'є
1		$P(t) = \frac{P_0}{2} + \sum_{n=1}^K (a_n \cdot \cos(n \cdot T) + b_n \cdot \sin(n \cdot T)),$ <p>де $a_n = 2 \cdot P_{\max} \cdot \frac{T_1}{T} \cdot \frac{n \cdot T_1}{2 \cdot T} \cdot \frac{\sin \pi \cdot t}{\pi \cdot t};$</p> $b_n = 0;$ $a_0 = \text{const.}$
2		$P(t) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P_{\max}}{2 \cdot \varphi} \cdot \left(\sin t + \frac{1}{3^2} \cdot \sin 3\varphi \cdot \sin 3t + \right.$ $\left. + \frac{1}{5^2} \cdot \sin 5\varphi \cdot \sin 5t + \dots \right).$
3		$P(t) = \frac{P_0}{2} + \sum_{n=1}^K (a_n \cdot \cos(n \cdot T) + b_n \cdot \sin(n \cdot T)),$ <p>де $a_n = P_{\max} \cdot \frac{T_1}{T} \cdot \frac{n \cdot T_1}{2 \cdot T} \cdot \left(\frac{\sin \pi \cdot t}{\pi \cdot t} \right)^2;$</p> $b_n = 0;$ $P_0 = \text{const.}$
4		$P(t) = \frac{P_0}{2} + \sum_{n=1}^K (a_n \cdot \cos(n \cdot T) + b_n \cdot \sin(n \cdot T)),$ <p>де $a_n = P_{\max} \cdot \frac{T_1 + T_2}{T} \cdot \frac{n \cdot (T_1 - T_2)}{2 \cdot T} \cdot \frac{n \cdot (T_1 + T_2)}{2 \cdot T} \times$</p> $\times \frac{\sin \pi \cdot t}{\pi \cdot t};$ $b_n = 0;$ $a_0 = \text{const.}$

Розроблено та досліджено прямий спосіб генерування імпульсів у гідравлічних системах, що наведено в [3 – 5]. Це спосіб покладено в основу наукового напрямку, який отримав назву хвильові технології. Зазначений напрямок базується на дослідженнях теорії нелінійних коливань, що мають місце в системі з декількома фазами. Під час застосування цієї технології має місце збудження коливань, що мають нелінійність характер, у середовищах з декількома фазами, а також застосовуються нелінійні ефекти для інтенсифікації хімічних і фізичних процесів, таких як диспергування, гомогенізація, масовий та тепловий обміни, на яких основані різноманітні процеси.

1.2.2 Аналіз технічних засобів формування та вимірювання пульсацій потоку рідини

Для реалізації хвильової технології застосовується різні пристрої та апарати. Найбільш важливим пристроєм під час створення різних типів коливань рідини у гідравлічних системах є засоби створення цих коливань, зі застосуванням яких формують ці коливання рідини. Впливи відбуваються на середовище з рідиною, що розташовано в об'ємі замкнутого простора або в трубопроводі.

Як технічні засоби створення гідравлічних коливань застосовуються генератори коливань, гідравлічні імпульсатори, гідродинамічні та гідравлічні генератори. Також можуть використовуватися пневматичні, електродинамічні та гідравлічні стенди, електромеханічні та електромагнітні збуджувальні пристрої, а також спеціальні пристрої, що здійснюють турбулізації потоку аналізованого середовища рідини. Засоби гідравлічних коливань здійснюють турбулізацію аналізованого середовища рідини, яке проходить через ці засоби. Отже, має місце збудження нелінійних потужних коливань, а також хвиль тиску, що утворюють інтенсифікацію на аналізоване середовище.

Для функціонування зазначеної гідравлічної системи розроблено

структурну схему експериментальної установки, яку наведено на рис. 1.1. Схема має в своєму складі генератор, який має камеру керування, ємності, гідравлічний насос; електронно-вимірювальні пристрої, а також гідравлічні компоненти: регулятори, вентиля, трубопроводи, манометри, пристрої обліку витрат рідини. На рис. 1.1 позначено: 1 – ємність з аналізованою рідиною; 2 – гідравлічний насос; 3 – засоби гідравлічних коливань; 4 – ємність для здійснення обробки аналізованого середовища; 5 – запірний елемент регулювання; 6 – сенсори вимірювання надлишкового тиску; 7 – вимірювальна лінія для здійснення циркуляції аналізованого середовища; 8 – сенсор вимірювання значення змінного тиску; 9 – електронно-вимірювальні пристрої; 10 – лінія, де здійснюється циркуляції аналізованого середовища.

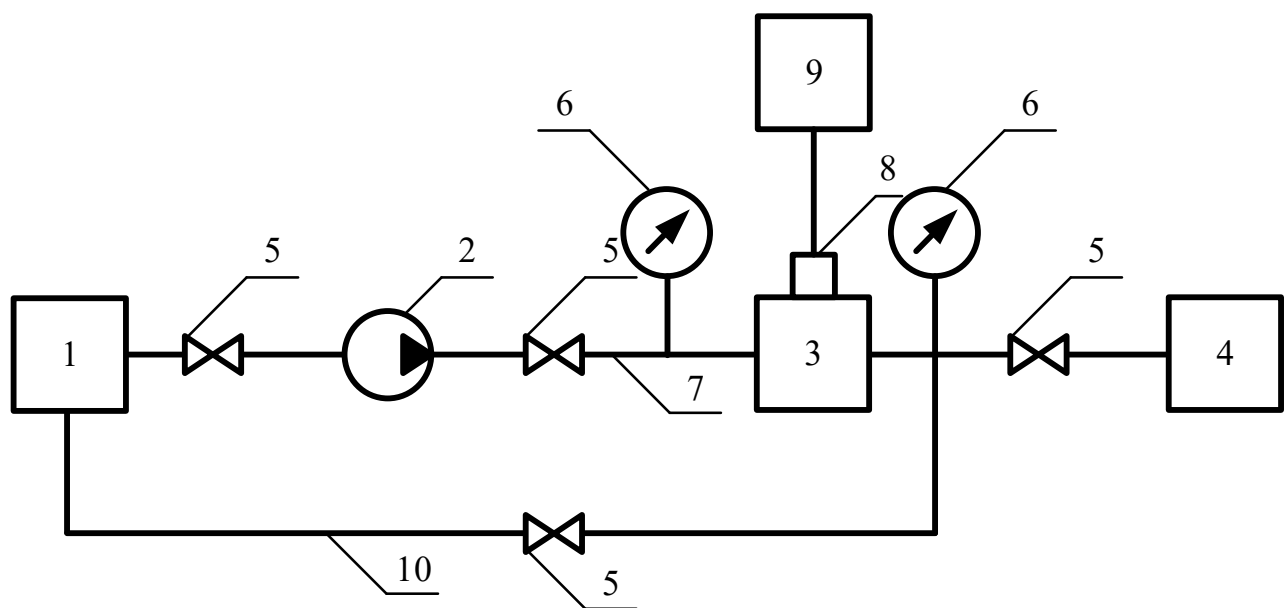


Рисунок 1.1 – Структурна схема експериментального стану

Наведену експериментальну установку можна застосовувати для дослідження змін характеристик і параметрів, а також перевірку функціонування різних типів технологічних процесів. Принцип дії експериментальної установки базується на наступному: аналізоване середовище з ємності 1 зі застосуванням гідравлічного насоса 2 перекачується до засобу створення гідравлічних коливань 3. Під час проходження через цей

засіб у аналізованому середовищі виникають нелінійні коливання та хвилі. Після протікання через засіб створення гідравлічних коливань аналізоване середовище перетікає до ємності 4 [4].

У одному з можливих способів формування пульсацій, що реалізовано в наведеній структурній схемі, застосовується еластична мембрана, за допомогою якої імпульси передаються до електронно-вимірювального пристрою. Величина інтенсивності впливу коливань у гідравлічній системі залежить від перетворення енергії потоку, який проходить через засіб створення коливань, до енергії коливань, що безпосередньо зв'язано з амплітудним значенням та їх частотою.

Формування потоків аналізованої рідини, яка має різне амплітудне значення та частоту, виконується різними засобами створення гідравлічних коливань. Зі застосуванням цих засобів можна отримати імпульси, які генеруються, що мають регламентовані характеристики та параметри аналізованого середовища. У теперішній час розроблено та створено різні типи засобів формування гідравлічних коливань, зі застосуванням яких можна згенерувати потрібні характеристики імпульсного тиску, а також необхідні витрати аналізованої рідини. Зазначені пристрої можуть застосовуватися в транспорті, будівництві, машинобудуванні, сільському господарстві, гірничій справі, хімічній та харчовій промисловості, медицині, а також під час розробки, створення та експериментальних дослідженнях макетних і дослідних зразків устаткування.

Виконаємо аналіз різних типів гідравлічних пристроїв та установок, де застосовуються формування пульсацій потоків рідини.

У гідравлічних установках, які використовуються в гірництві, а також нафтовидобувній галузі промисловості, потік пульсуючої рідини впливає на гірничий масив. Розробка цих установок розширює можливості застосування обладнання, а також збільшує значення показників стабільності характеристик і параметрів імпульсів коливань аналізованого середовища у свердловинах. Імпульси коливань формуються завдяки генеруванню безперервних

пульсуючих струменів під високим напором. Гідродинамічні характеристики цього процесу, який є періодичним, можна змінювати зі застосуванням перетворювачів потоку, які здійснюють трансформацію безперервного до пульсуючого потоків без зміни величини тиску, тобто зі застосуванням засобів створення гідравлічних коливань різного типу.

Структурну схему гідродинамічного генератора наведено на рис. 1.2, де позначено: 1 – корпус генератора, 2 – насадка, 3 – пластина що виконує функцію резонатора.

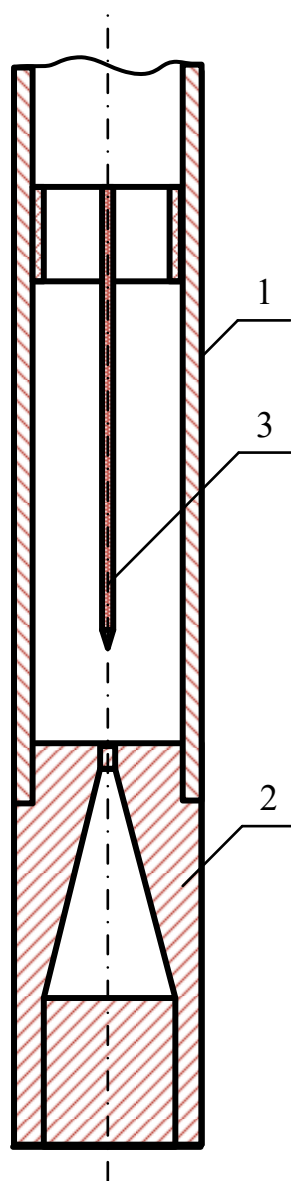


Рисунок 1.2 – Структура гідродинамічного генератора

Засоби створення гідравлічних коливань призначено для формування вібрацій у потоці аналізованого середовища, що можна застосовувати в гірничій, хімічній, а також інших галузях промисловості під час обробки багатофазних та однофазних середовищ для їх диспергування фаз та перемішування.

До складу гідродинамічного генератора, що застосовується для обробки аналізованих рідких середовищ, входить корпус, який має форму трубки, насадка, що здійснює формування струму, а також резонаторної пластини, що закріплено в корпусі.

Під час реалізації пристрою можливо застосування трьох різних типів реакторів, які застосовуються для взаємодії рідини та газового середовища.

У теперішній час розроблено достатньо велика кількість пристроїв, у яких реалізовано хвильову технологію. У нафтовидобувній галузі промисловості зазначені генератори коливань застосовуються під час здійснення ремонтних робіт, а також постійної експлуатації свердловин.

Структурну схему гідродинамічного генератора формування коливань потоку рідини наведено на рис. 1.3. До складу цього генератора входить клин, щілинні сопла, а також два канали пласкої форми, які розходяться. Зазначені канали виходять до колектору та з'єднуються між собою зі застосуванням транспортного каналу, який знаходиться від кромки клину на деякій відстані.

Вхідне сопло, що має форму щілини, гідравлічного генератора розміщено попереду кромки клину. Бічні стінки цього клину формують внутрішні стінки двох каналів, які розходяться. На деякій відстані від входу канали підключено між собою зі застосуванням транспортного каналу. Під час зменшення величини статичного тиску від заповненого каналу аналізоване рідке середовище інжектуються через транспортний канал до незаповненого каналу. Зі зниженням величини статичного тиску в незаповненому каналі має місце відхилення струменя рідини. Перемикання струменя між робочими каналами здійснюється періодично.

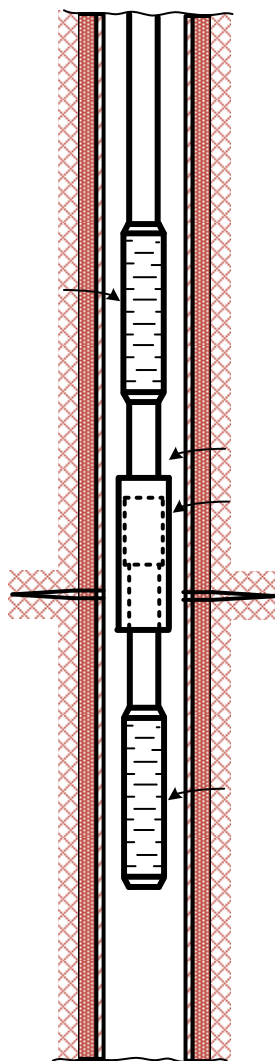


Рисунок 1.3 – Структура гідродинамічного генератора формування коливань потоку рідини

До недоліків зазначеного пристрою можна віднести те, що під час з'єднання робочих каналів зі застосуванням транспортного, має місце невеликий перепад статичного тиску між цими робочими каналами.

Схему гідродинамічного генератора для формування коливань тиску в потоці рідини наведено на рис. 1.4. Принцип його роботи полягає в тому, струмінь рідини, який має плоску форму, надходить до сопла у вигляді щілини до гострого клину. Цей струмінь забезпечує відхилення аналізованого середовища з одного до іншого робочих каналів. Під час цього має місце зменшення величини статичного тиску в каналі, що заповнений аналізованою рідиною. Перепад тиску має місце між незаповненим і заповненим каналами,

що забезпечує перемикання з періодом напрямку струменя аналізованого середовища, між двома каналами, які розходяться. Виштовхування рідини з каналів здійснюється періодично до загального вихідного перфорованого колектора. На рис. 1.4 позначено: 1 – вхідне сопло у вигляді щілини; 2 – камера резонатора, 3 – гострий клин, 4 – канали, 5 – гідравлічний циліндр, 6 – отвори, 7, 8 – поршні.

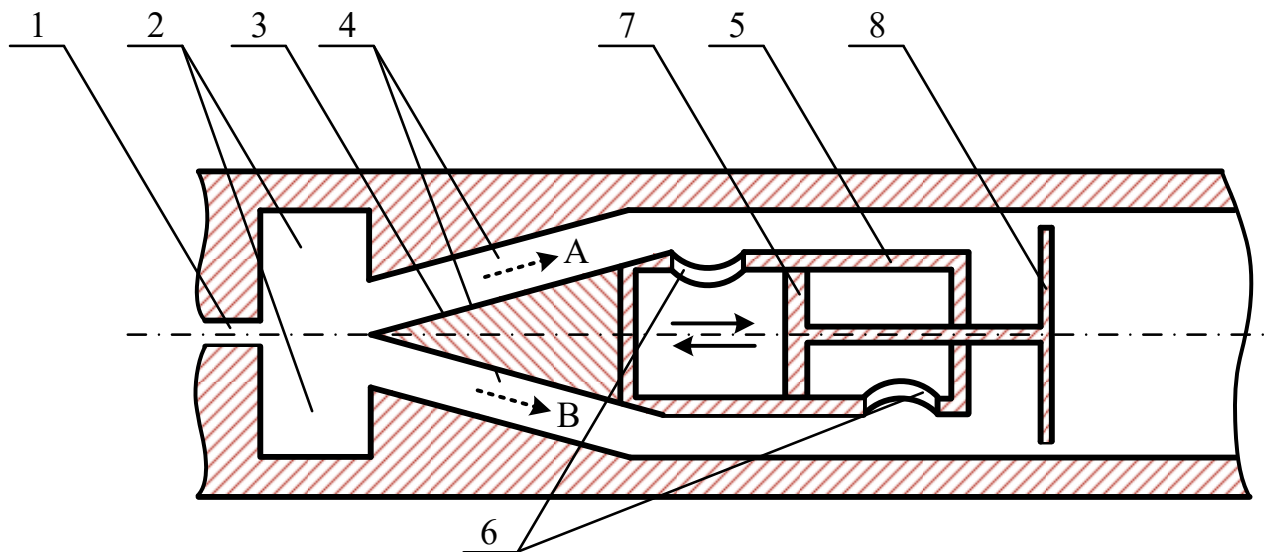


Рисунок 1.4 – Схема гідродинамічного генератора для формування коливань тиску в потоці рідини

Розрідження та стиснення рідини відбувається завдяки поворотному та поступальному руху поршня, що приводиться до дії перепадом тиску між каналами, що розходяться. Якщо має місце потік аналізованої рідини в першому каналі, то поршень зсувається до цього блоку, а якщо здійснюється перемикання потоку в другому каналі, то це переміщує поршень до протилежного напрямку.

Для застосування гідравлічного способу руйнування твердих матеріалів у гірництві, а також у нафтовидобувній галузі промисловості здійснюються експериментальні дослідження методів і процесів генерування струменю, що пульсує. Ці процесу мають важливу роль тому, що різні типи струменів підвищують продуктивність процесів руйнування гірничих масивів.

Розподіл потоків у середовищі визначають для здійснення оцінки величини кінетичної енергії, яка є базовим гідродинамічним параметром струменя під час його взаємодії з гірничим масивом. У залежності від типу та форми пульсацій їх процес формування описується зі застосуванням амплітудно-частотних характеристик періодичних функцій, які можна аналітично описати зі застосуванням прямого та зворотного перетворення Фур'є. Пульсації різного типу та форми можна отримати зі застосуванням дроселя регулювання.

У залежності від процесу отримання струменя пульсації їх можна характеризувати швидкістю, що змінюється за періодичним законом на виході з насадки. Отже, ці процеси мають певну частоту пульсації швидкості, значення якої є доволі важливим під час здійснення руйнування гірничих масивів.

Засоби створення гідравлічних коливань, які використовуються у сільському господарстві, призначено для здійснення трансформації постійного до змінного вакууму. Пульсатори, що здійснюють синхронне або попарне доїння, використовуються в мобільних установках доїння, апаратах доїння відерного типу, апаратах доїння молокопроводів, а також усіх типах установок доїння, де застосовується пульсація.

Під час здійснення аналізу різних установок доїння відзначено існуючі недоліки, що обумовлено конкретними типами апаратів доїння [6]. До цих недоліків можна віднести відсутність процесу регулювання значення частоти пульсації та вакууму в апаратах доїння, через це має місце ряд проблем, які істотно впливають на кількість та якість кінцевого продукту, а також здоров'я тварини. Формування потоків пульсації рідини для установок доїння є доволі актуальним. Зазвичай дуже складно здійснити правильне регулювання пульсаторів або це неможливо зробити в принципі через характерні особливості конструкції, або через їх сильне зношування. У деяких типах пульсаторів величина швидкості пульсацій може бути більше ніж 80 тактів за хвилину, а в деяких випадках це значення може змінюватися в межах від 58 до 60 тактів. Також, величина тривалості та співвідношення між фазами пульсації мають

велике значення, й не мають можливості регулювання.

У теперішній час розроблено та створено різні типи пульсаторів для апаратів доїння. Зі застосуванням цих пульсаторів підвищується швидкість доїння, що дозволяє забезпечити комфортний процес доїння зі мінімальним рівнем стресу для тварини. До цих типів пульсаторів можна віднести АДУ 02.100, ППД 2.00.000, СБ14, ДД 4-1 та ін.

Найбільшого розповсюдження отримав гідравлічний пульсатор типу HP101, який виготовляється компанією DeLaval, зовнішній вигляд цього пульсатору наведено на рис. 1.5. Регулювання значення частоти пульсації можна здійснювати для різних видів тварин у межах від 50 до 60 тактів за одну хвилину. Гідравлічний пульсатор типу HP101 повністю відповідає ISO на зазначені типи пульсаторів.

Також, отримали широке застосування різні типи установок доїння, які виконують різні види операцій. Реальні пульсації рідини, що одержано зі застосуванням комплексного тестера, який має два канали, установки доїння типу EXENDIS PT-V наведено на рис. 1.6 та 1.7.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд гідравлічного пульсатору типу HP101

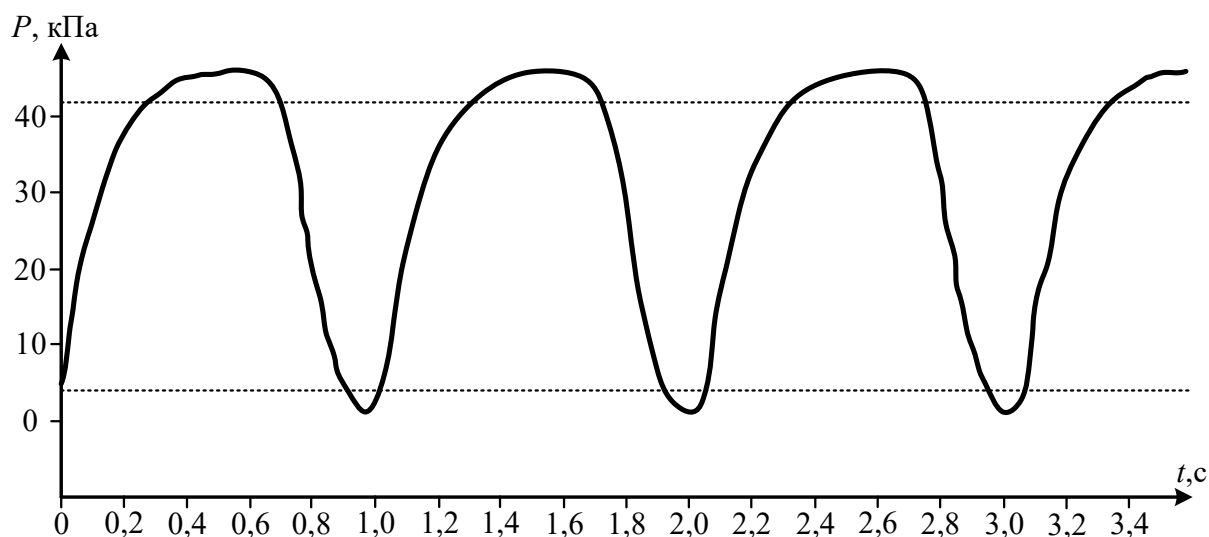


Рисунок 1.6 – Незадовільні параметри пульсації аналізованої рідини

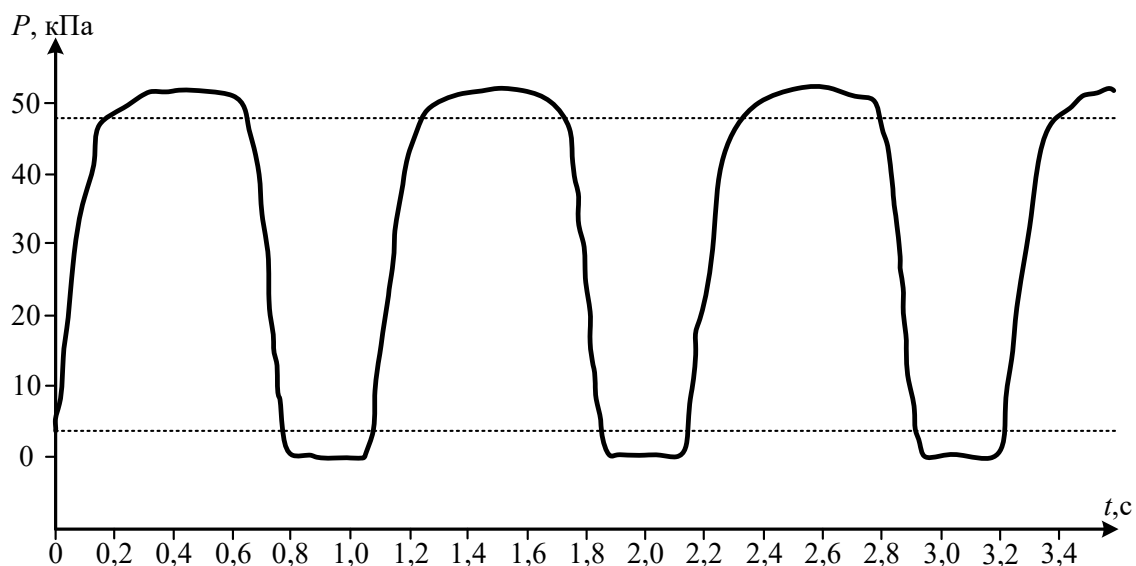


Рисунок 1.7 – Параметри пульсації, зміна значень яких близькі до ідеальних

Рівень вакууму в цих установках є доволі низьким, значення якого складає 45,8 кПа. Швидкість пульсації становить 59 тактів за одну хвилину. Тривалість фази всмоктування дорівнює 430 мс, причому це значення виходить за межі діапазону від 470 до 500 мс. Тривалість фази стиснення дорівнює 117 мс, що також не входить до меж діапазону від 200 до 250 мс. Зазначені пульсатори мають доволі застарілу конструкцію [6].

Верхня та нижня частини характеристики пульсації повинна мати пласку форму, що наведено на рис. 1.8. Під час аналізу методів і засобів забезпечення пульсацій можна зробити висновок, що одним з ефективних рішень є повна заміна пульсації або застосування генератора потоків пульсації аналізованої рідини, у якому є можливість завдання потрібної величини амплітуди та частоти коливань, що регламентовано та визначено для конкретного виду тварини.

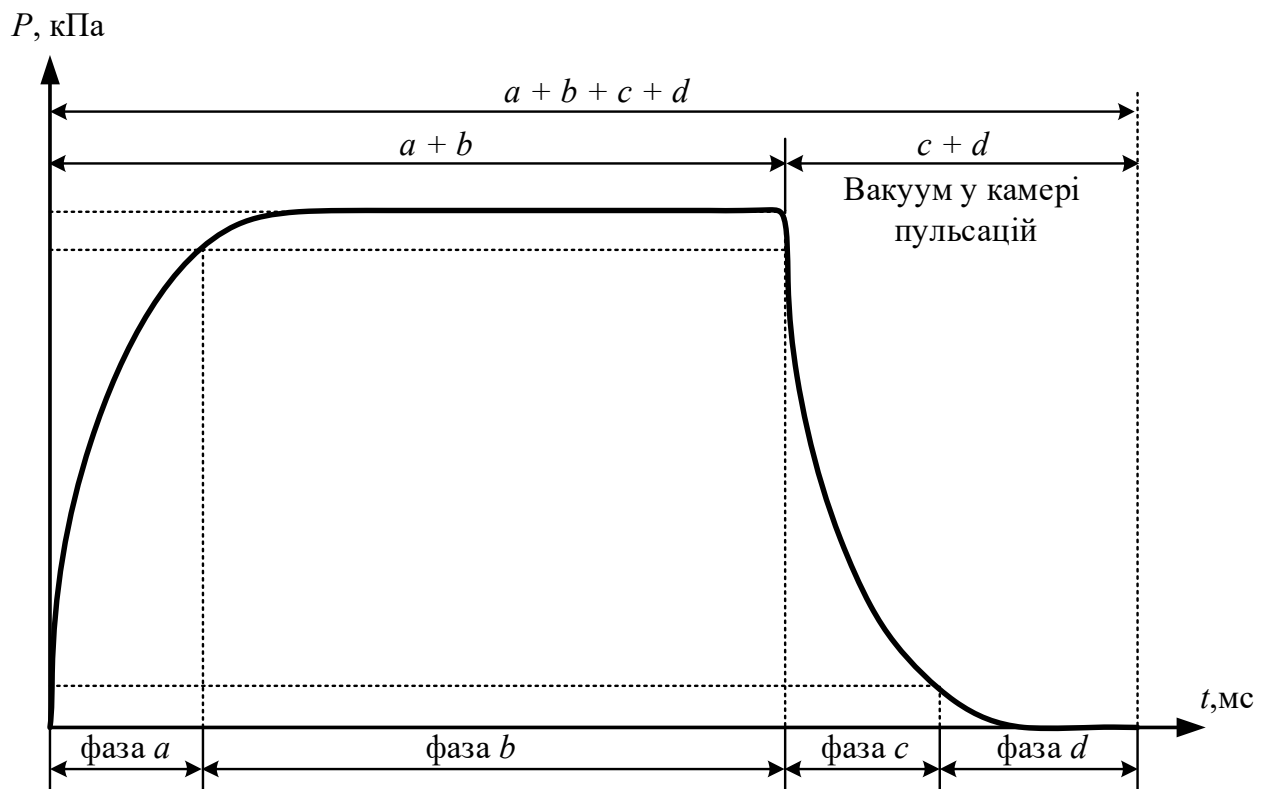


Рисунок 1.8 – Ідеальна характеристика циклу пульсацій витрати аналізованої рідини

У промисловому машинобудуванні зазвичай замість пристроїв застосовуються окремі типи випробувальних циліндрів, керування яких здійснюється за допомогою пульсаторів. Гідравлічні пристрої зазначеного виду є зручними під час випробування різних типів деталей на стиснення, розтягування або вигинання. Стенди, які розроблено на базі цих пристроїв, мають робочий простір доволі значних розмірів, а також в їх складі

застосовується прецизійна система вимірювального контролю навантаження, що може забезпечити значну деформацію аналізованої деталі. Змінна напруження під час стиснення, розтягування або кручення утворюється зі застосуванням інерційних сил або механізмів, що безпосередньо залежить від конструктивного виконання випробувальної установки.

Для того, що отримати змінну величину навантаження, що має доволі велике значення, застосовують пульсатори гідравлічної дії, які використовуються у випробувальних установках.

Продуктивність процесу перенесення ваги під час дії екстракції можна збільшити завдяки застосуванню пульсації фаз. У цих екстракторах використовують різні способи отримання пульсацій аналізованого середовища. Один із зазначених способів пульсації у екстракторі є формування гідравлічних коливань зі застосуванням зовнішніх пульсаторів.

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙ ПОТОКІВ РІДИНИ

2.1 Розробка структурної схеми електронного пристрою вимірювання пульсацій потоків рідини

Процедура контролю пристроїв вимірювання кількості рідини, витрати, частоти та тиску лічильників має в своєму складі відтворення потоку рідини, що здійснюється в доволі широких межах витрат, безпосередньо процедурі вимірювання значень параметрів зазначеного потоку еталонними засобами вимірювання, а також обробку отриманих результатів вимірювання. Якщо має місце доволі великий обсяг проведення повірки та вимірювального контролю пристроїв, то зазначена процедура стає трудомісткою. Це обумовлює виникненню задач підвищення продуктивності робіт щодо повірки, а також забезпеченню достовірності отриманих результатів.

Одним із шляхів розв'язання цієї задачі є застосування автоматизованих установок, що формують потоки пульсації аналізованої рідини. Під час застосування цих установок експериментальний досвід накопичувався протягом останніх двох десятиріч років. Проте, у теперішній час конкретних вимог, яким задовольняє автоматизована гідравлічна установка, не розроблено. На базі накопиченого експериментального досвіду з розробки та впровадження цих установок, можна сформулювати наступні базові вимоги [7]:

1) повірка за вихідними сигналами напруги в діапазоні від 0 до 10 В, струму від 0(4) до 5(20) мА, частоти в діапазоні від 0 до 20 кГц, за інтерфейсом RS 232 або RS 485;

2) використання режимів повірки «старт – стоп з місця», «старт – стоп з ходу», а також «старт – стоп»;

3) максимальний рівень автоматизації для підвищення ефективності роботи установки, яка має додаткову функцію для забезпечення самостійного

діагностування або тестування;

4) можливість здійснення повірки зі застосуванням еталонних засобів вимірювання без їх демонтажу;

5) клас точності гідравлічної установки повинен бути не менше ніж 0,5 %;

6) реалізація двох способів повірки: для лічильників витрат води – об'ємний, а для манометрів – спосіб витрат;

7) можливість формування пульсацій потоку зі згладжування або генерування різних типів і форм імпульсів;

8) створення в гідравлічній установці тиску, що регламентується методиками повірки на пристрої;

9) вимірювальний контроль значень тиску та температури в лабораторних умовах у вимірювальному тракті, формування поправок під час калібрування еталонних засобів вимірювання витрати для обліку витіснення повітря, а також аерації води, що використовується в гідравлічній установці;

10) забезпечення стабілізації повірочних витрат з регламентованими показниками точності;

11) для виключення можливості несанкціонованого втручання до функціонування гідравлічної установки необхідно передбачення різних видів режимного доступу до програмної компоненти мікроконтролерної системи установки наладчика та оператора;

12) у постійно діючої системі постачання води необхідно передбачити її очищення від різних типів домішок;

13) конструкція гідравлічної установки повинна бути зроблена з металу, який має корозійностійкі властивості;

14) потрібно використовувати малошумні економічні циркуляційні насосів;

15) застосування додаткових електронних пристроїв для забезпечення сигналізації, а також захисту під час виникнення аварійних ситуацій.

Під час розробки автоматизованих установок пульсуючих потоків середовища запропоновано її структурну схему, яку наведено на рис. 2.1. Зі

застосуванням цієї гідравлічної установки можна здійснювати контроль засобів вимірювання тиску та витрати рідини. Зміна модуля вимірювання в цій схемі дозволить здійснювати перевірку того пристрою, що необхідно в цей час.

На рис. 2.1 позначено: *A* – блок формування пульсацій тиску від джерела; *B* – вимірювальний блок; *C* – блок регулювання параметрів пульсацій тиску; *I* – вимірювальний канал лінії гідравліки; *II* – байпасний канал лінії гідравліки; 1 – запірний елемент регулювання; 2 – манометричний вимірювальний пристрій; 3 – насос; 4 – пульсатор витрати; 5 – засіб для формування потоку аналізованої рідини; 6 – контрольний вимірювальний пристрій; 7 – робочий еталон; 8 – пристрій регулювання тиску; 9 – мірна ємність; 10 – запірний елемент регулювання; 11 – блок керування гідравлічною установкою; 12 – засіб формування потоку аналізованої рідини.

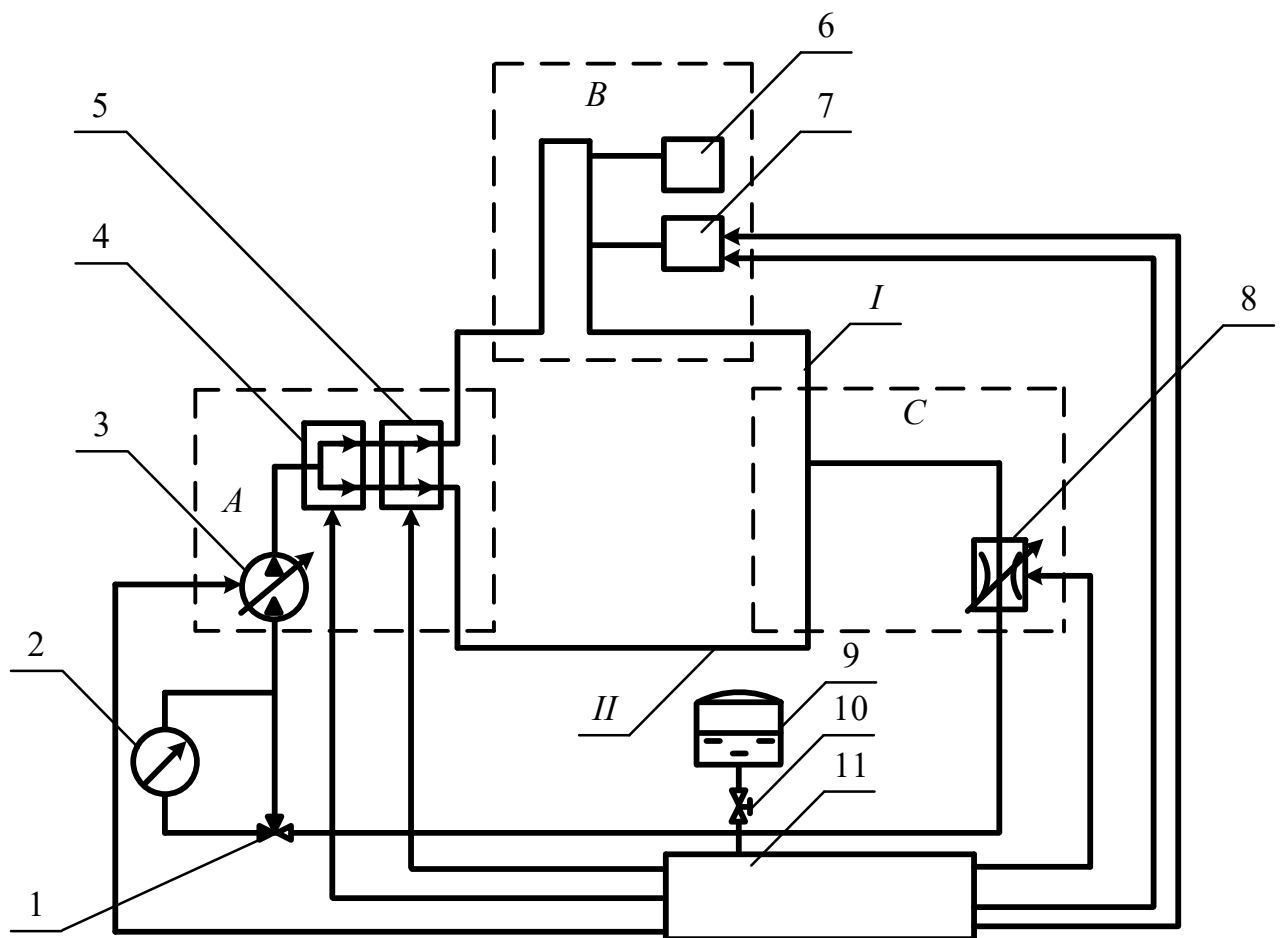


Рисунок 2.1, а – Структурна схема гідравлічного стенду
з одним пульсатором витрат

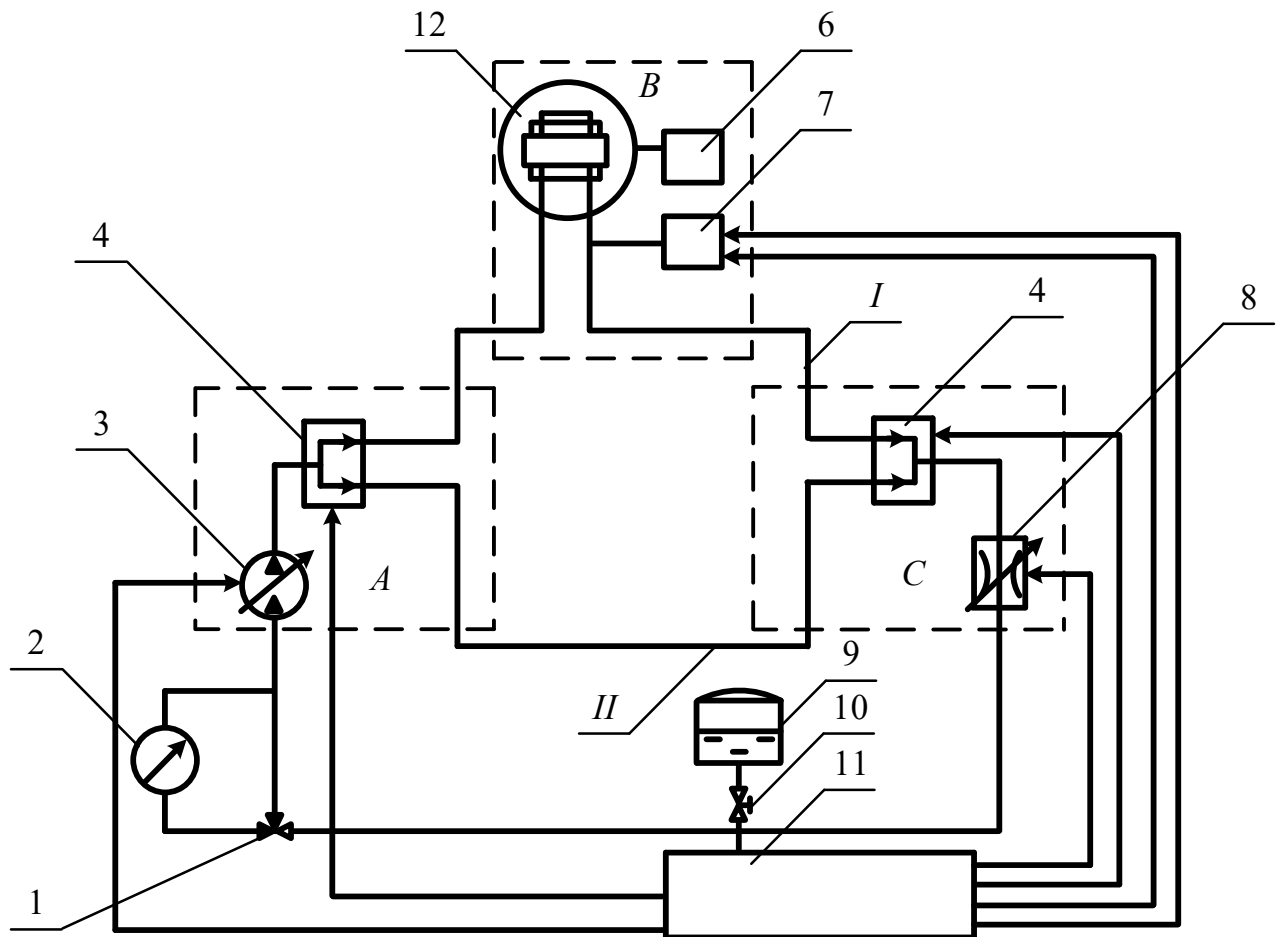


Рисунок 2.1, б – Структурна схема гідравлічного стенду
з двома пульсаторами витрат

До процедури вимірювального контролю лічильників входить відтворення потоку аналізованої рідини в широких межах зміни витрат, вимірювання значення параметрів потоку рідини зі застосуванням еталонів, обробка результатів вимірювання.

2.2 Розробка структури стенду для повірки засобу вимірювання витрат

Структурну схему стенду для повірки засобу вимірювання витрат рідини наведено на рис. 2.2. До складу гідравлічної установки входить джерело пульсації тиску, яке складається з гідравлічного насоса та пристрою формування коливань. За допомогою джерела здійснюється регулювання

параметрів потоку рідини та створення різні умови, які мають місце під час експлуатації лічильників витрати води. У вимірювальному каналі розташовуються елементи кріплення та пристрої, повірка яких здійснюється.

На рис. 2.2 позначено: 1 – джерело пульсації аналізованої рідини; 2 – гідравлічний насос; 3 – пристрій формування коливань пульсацій; 4 – терези; 5 – канал вимірювання; 6 – байпасний канал; 7 – блок вимірювального контролю; 8 – елементи кріплення пристрою, повірка якого здійснюється; 9 – мірні ємності; 10 – запірний елемент регулювання; 11 – пристрій, повірка якого здійснюється; 12 – робочий еталон; 13 – регулятор; 14 – блок керування гідравлічною установкою.

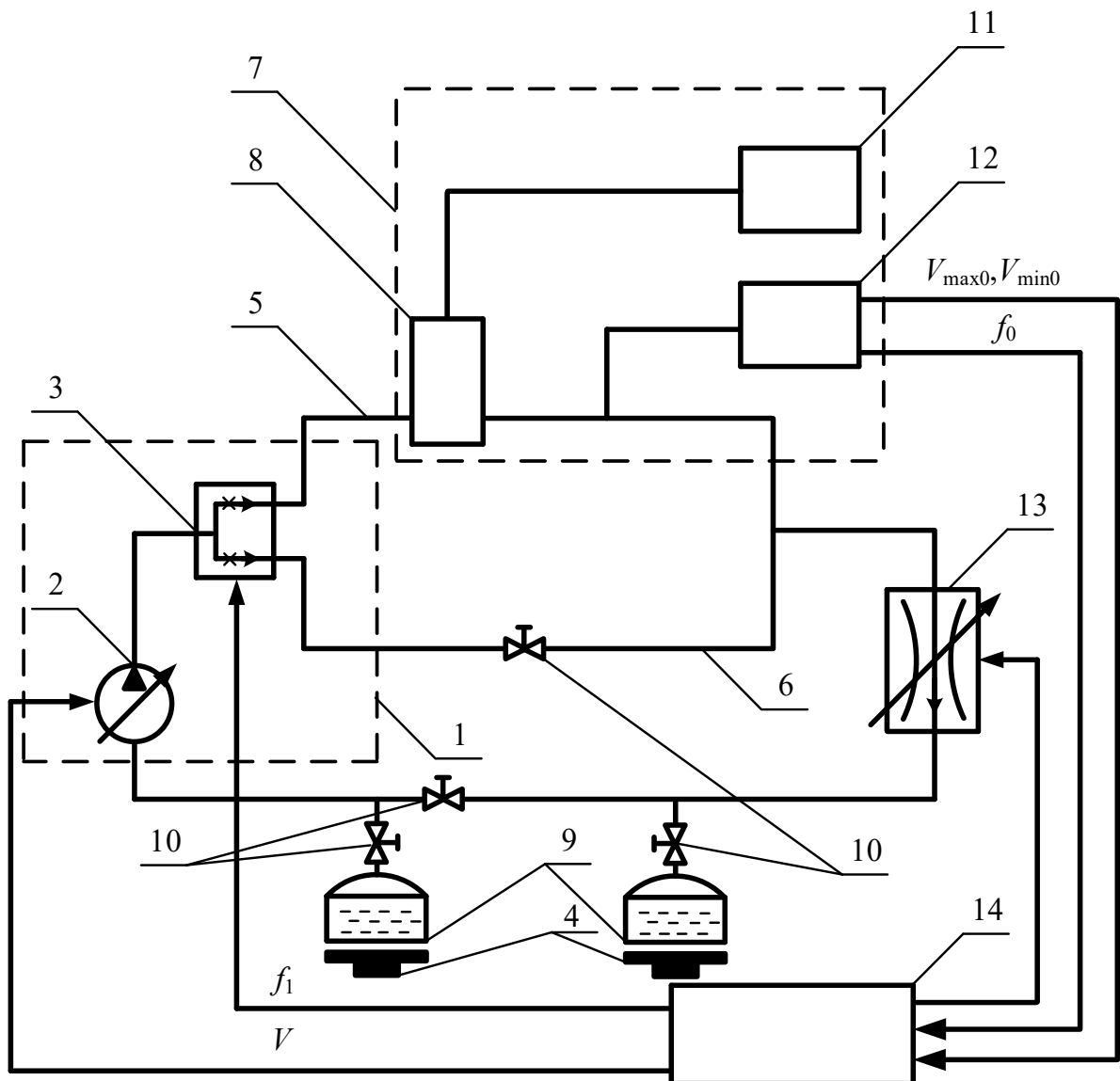


Рисунок 2.2 – Структурна схема стану для повірки засобу вимірювання витрат рідини

До гідравлічної установка підключається робочі зразки вимірювання масової та об'ємної витрати [8]. Мірні ємності мають спеціальні шкали, які застосовуються в установці, у яких величина основної відносної похибки результату вимірювання не більше $\pm 0,1\%$. Ці ємності можуть бути металевими [9] або скляними [10]. Гідравлічну установку розроблено з обліком міжнародних стандартів OIML, до її складу входять промислові терези середнього (III) класу точності. З підвищенням класу точності терезів збільшується точність гідравлічної установки.

2.3 Розробка структури стенду для повірки засобу вимірювання надлишкового тиску

Для генерування різної форми імпульсів пульсації під час повірки манометрів, що здійснюють регулювання потоку аналізованої рідини в контурі, гідравлічної установки забезпечується двома пульсаторами витрати.

Структурну схему стенду для повірки манометрів надлишкового тиску наведено на рис. 2.3. Цю схему розроблено для здійснення повірки манометрів змінного перепаду, які базуються на статичному способі завдяки вимірюванню надлишкового тиску. До складу гідравлічної установки входить джерело, що формує пульсації тиску, а також гідравлічний насос та пристрій формування коливань, що дозволяє здійснювати регулювати величини аналізованого потоку рідини. До складу гідравлічної установки входить вимірювальний канал, який складається з еталону тиску та пристрою, повірка якого здійснюється. Цей пристрій підключається до гідравлічної установки через елемент кріплення.

На рис. 2.3 позначено: 1 – джерело формування пульсації тиску; 2 – гідравлічний насос; 3, 4 – пристрої, що здійснюють формування коливань рідини; 5 – вимірювальний канал; 6 – байпасний канал; 7 – блок вимірювання; 8 – елемент кріплення пристрою, повірка якого здійснюється; 9 – мірна ємність; 10 – запірний елемент регулювання; 11 – пристрій, повірка якого здійснюється;

тиску повинна складати не більше $\pm 0,05\%$.

Структурну схему стенду для перевірки сфігмоманометрів надлишкового тиску наведено на рис. 2.4. Генерування різних форм імпульсів пульсації, а також регулювання потоку аналізованої рідини в гідравлічній установці для перевірки сфігмоманометрів виконується зі застосуванням двох пульсаторів витрати. На рис. 2.4 позначено: 1 – джерело формування пульсації тиску; 2 – гідравлічний насос; 3, 4 – пульсатори витрати; 5 – канал вимірювання; 6 – байпасний канал; 7 – блок вимірювальний; 8 – циліндр; 9 – трубка; 10 – манжета компресійна; 11 – сфігмоманометр; 12 – еталон частоти та тиску; 13 – регулятор; 14 – блок керування гідравлічною установкою.

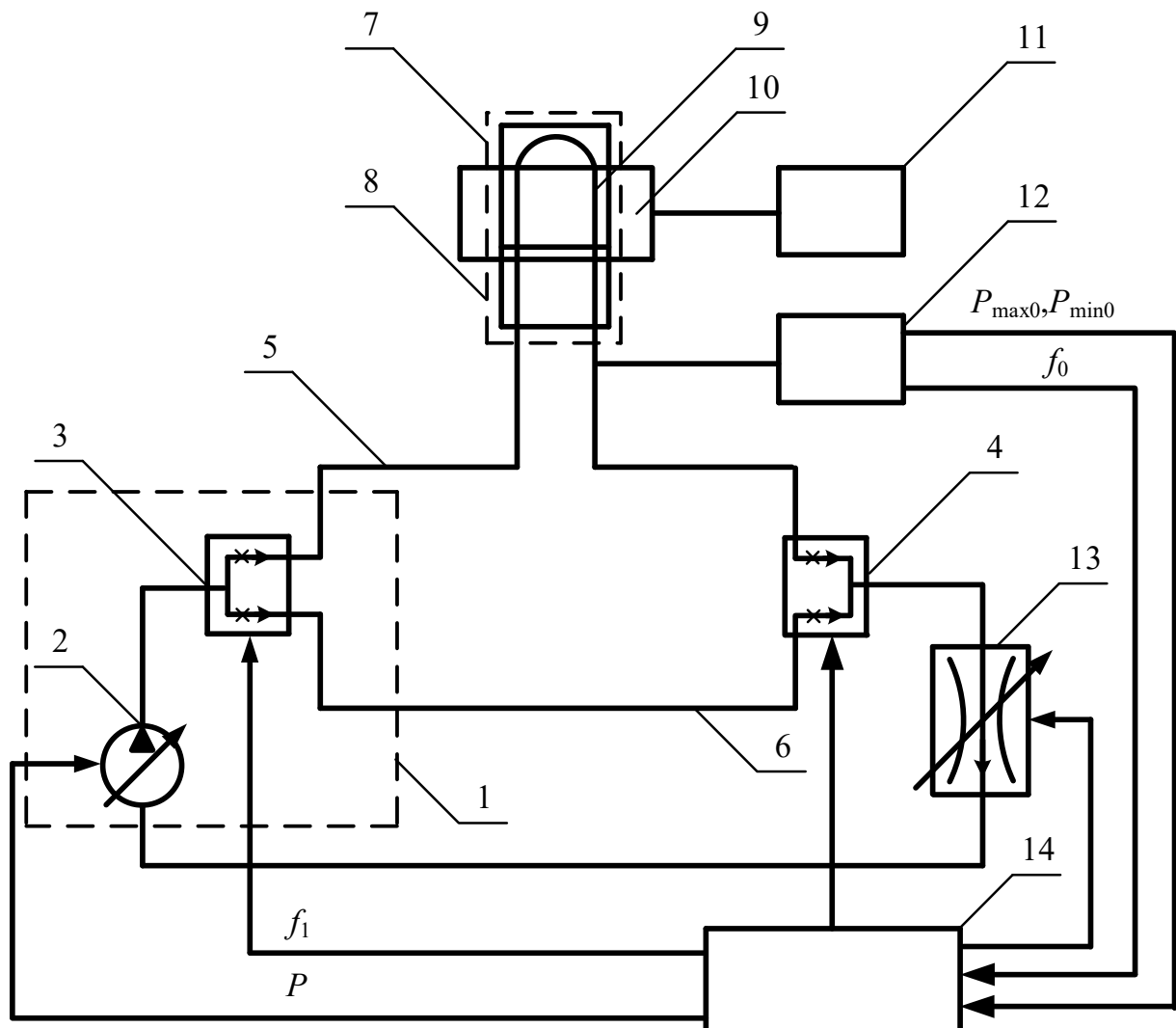


Рисунок 2.4 – Структурна схема стенду для перевірки сфігмоманометрів надлишкового тиску

У блоці керування 14 задаються еталонні величини тиску P_{\max} та P_{\min} . Сигнал від блоку керування подається до джерела формування пульсацій тиску 1, а саме до гідравлічного насоса 2, та входу керування зміною частоти, сигнал, з цього входу передається до першого пульсатору витрати 3.

Потік аналізованої рідини від гідравлічного насоса 2 зі застосуванням трубки, що має постійний перетин, передається до пульсатору витрати 3. Пульсатор є циліндром, що має частоту обертання, величина якої визначається блоком керування 14. Рідина проходить через дві жорсткі трубки, що утворюють байпасний 6 та вимірювальний 5 канали, потоки рідини цих каналів у протилежній фазі між собою.

Пульсації витрат рідини, що мають періодичний характер сприймаються еластичною гнучкою трубкою 9, яку розташовано всередині циліндра 8 блоку вимірювання 7. Ці пульсації рідини завдяки технічному мастилу, що знаходиться в циліндрі 8, сприймаються манжетою 10 сфігмоманометра 11. Робочим еталоном 12 сприймаються зміни вимірюваного тиску і частоти. Як еталон застосовується комплекс вимірювання величини тиску, який має відносну похибку результату вимірювання не більше $\pm 0,06\%$. Зі застосуванням зазначеного комплексу здійснюється обробка вимірювальних значень та формування імпульсів керування від блоку 14.

Величина стабільного тиску підтримується завдяки регулятору 13, який отримує сигнали від блоку керування 14. Зі застосуванням другого пульсатора витрати 4 здійснюється підтримка та регулювання параметрів потоку аналізованої речовини за всією ділянкою гідравлічного тракту установки.

Вимірювання тиску та частоти здійснюється сфігмоманометром 11. Отримані вимірювальні значення від сфігмоманометра 11 порівнюють зі значенням тиску та частоти, що визначаються завдяки робочому еталону 12. Аналогічним чином здійснюють порівняння результатів вимірювання в декількох точках та ухвалюється рішення щодо придатності вимірювального пристрою, що піддається повірці.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ПОТОКУ ВИТРАТИ РІДИНИ

3.1 Розробка еквівалентної схеми вимірювального пристрою потоку витрат рідини

У закритих гідравлічних системах впливом тиску та висоти стовпа рідини можна знехтувати тому, що величина робочого тиску істотно більша ніж та, що визначається висотою стовпа рідини.

Змінні потоку рідини Q та тиску P можна визначити зі застосуванням рівняннями типу $Q = Q(x)$ та $P = P(x)$, де x може бути або зміна фази, або час.

Гідродинамічна модель, яку запропоновано О. Франком (див. рис. 3.1), визначає величину зсуву аналізованої рідини у гідравлічних системах, що мають пружні властивості.

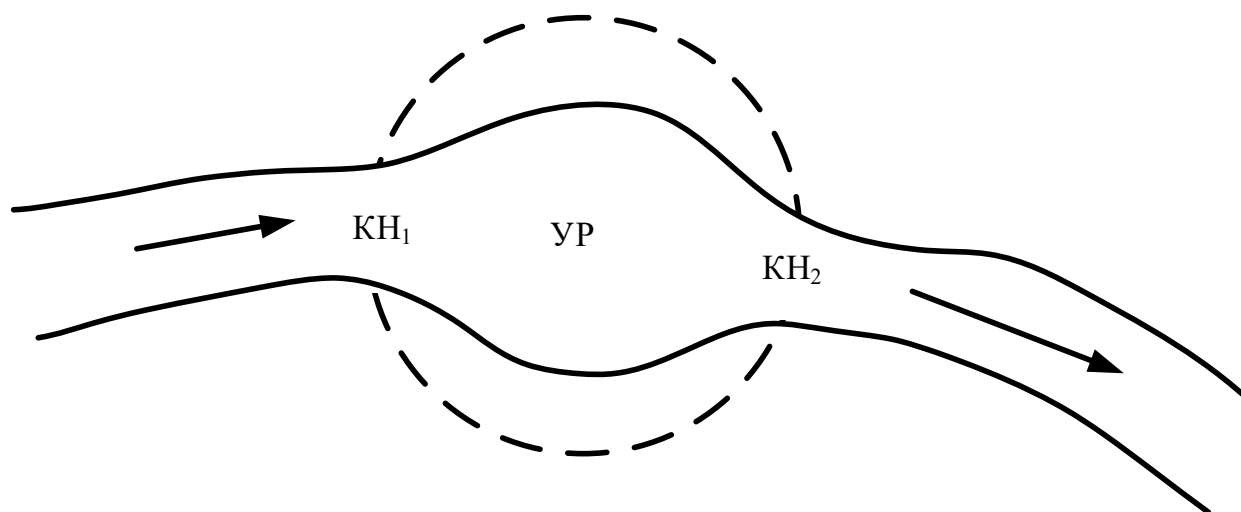


Рисунок 3.1 – Гідродинамічна модель О. Франка

Рідина надходить до пружного резервуара через $КН_1$. Під час стиснення пружного резервуара об'єм рідини, що знаходиться в ньому, проштовхується через $КН_2$ до периферичний каналів, що обумовлює просування рідини.

Периферичну система каналів можна отримати завдяки застосуванню багато разів постійного розгалуження доволі значної кількості трубок, що має місце в середині системи. Величина спільного просвіту цих трубок має досить значний перетин, тому швидкість руху рідини практично зменшується до нуля.

Величина внутрішнього тертя поблизу стінок під час застосування зазначених трубок має доволі велике значення, тому саме трубки формують максимальний опір переміщення рідини й максимальне зниження величини тиску. Зі застосуванням гідродинамічної моделі О. Франка можна визначити кореляційний зв'язок між гідравлічним опором, об'ємом рідини та зміною величини тиску в трубках. Зміну величини об'єму ΔV можна визначити через зміни значення тиску ΔP :

$$\Delta V = V - V_0 = C \cdot \Delta P = \frac{1}{K} \cdot \Delta P.$$

У гідродинамічній моделі, яку запропоновано Ростона, застосовується відносно велика кількість пружних резервуарів з обліку того, що в гідравлічній системі ці резервуари мають різну величину пружності. Гідродинамічна модель Ростона, яка має в своєму складі дві камери, а також канали з різним гідравлічним опором наведено на рис. 3.2.

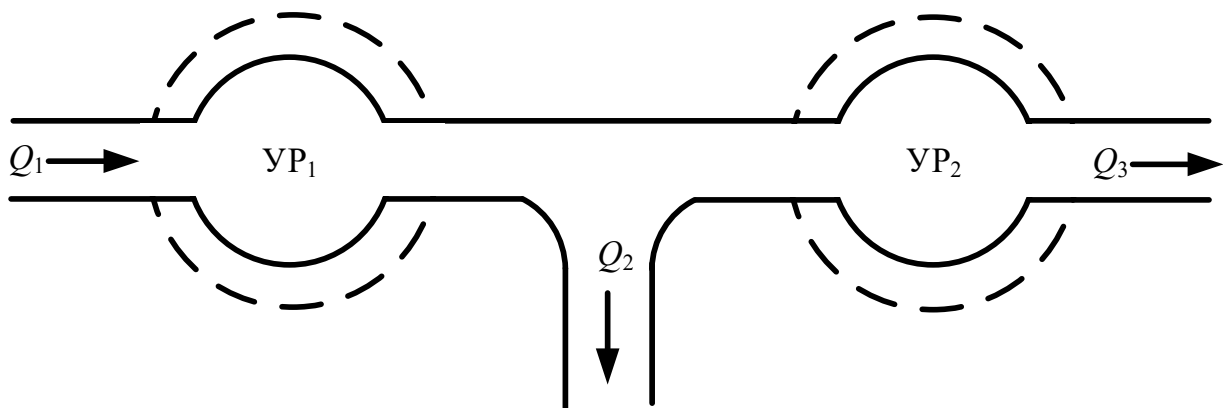


Рисунок 3.2 – Модель Ростона з двома камерами

Модель з двома камерами, яка має розподілене значення параметрів більш адекватно описує процеси. Проте, зі застосуванням значеної моделі неможливо описати коливання первісного тиску, а також не здійснюється облік пружних властивості резервуара.

Математична модель описується системою диференціальних рівнянь, які мають перший порядок. Під час сумісного розв'язання цих диференціальних рівнянь можна описати процеси, що мають місце в кожному з резервуарах.

3.2 Математична модель вимірювального пристрою тиску

Одним з найбільш ефективних підходів для описання математичними моделями складних систем, до складу яких входять декілька однорідних підсистем, є застосування методу аналогій між зазначеними підсистемами для топологічних і компонентних фізичних рівнянь.

У переважній більшості однорідних фізичних підсистем, що мають зосереджені значення параметрів виділяють змінні, які застосовуються для математичного опису моделі. Можна застосовувати два види рівнянь, з яких можна скласти математичну модель. Перший тип рівнянь, це рівняння, які описують компонентний стан елементів. Зазначені рівняння називаються відповідно компонентними. До другого типу рівняння відносять рівняння стану конфігурації підсистеми, що описують відповідні способи підключення елементів між собою. Ці рівняння мають назву топологічними. Фазові змінні, які застосовуються в зазначених рівняннях, поділяють на два можливих типи: змінні потоку рідини та змінні потенціалу. Змінні потенціалу визначають полюси та вузли, тобто місцям з'єднання. Змінні потоку аналізованої рідини ставлять у відповідність двополюсні елементів, які представляють собою в гідравлічних системах гілки.

Підсистема є однорідною, якщо для її опису застосовується одна пара фазових змінних потенціалу та потоку аналізованої рідини. Для гідравлічних

підсистем, як фазові змінні потоку рідини, застосовуються її тиск та витрати.

Зі застосуванням математичних моделей можна описати динамічні зміни у гідравлічній системі, що складається з дискретних компонентів і елементів. З математичної точки зору необхідно застосувати системи звичайних лінійних або нелінійних диференціальних рівнянь. Математична модель базується на гідравлічній моделі, що запропоновано О. Франком. У відповідності з цією моделлю, зміна величини об'єму ΔV трубки залежить лінійно від величини тиску аналізованої рідини ΔP .

Якщо має місце вплив потоку пульсації аналізованої рідини, величину витрат якого можна описати функцією:

$$Q_c(t) = Q \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t),$$

зміну величини тиску $P(t)$ у системі можна описати наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{P}{W} + \frac{1}{K} \cdot \frac{dP}{dt} = Q \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_k \cdot t),$$

де $f_k = \frac{\pi}{T_s}$ – частота коливань потоку пульсації, s^{-1} .

Для побудови функції передачі моделі пружного резервуару розроблено гідравлічну схему, яка має в своєму складі два пружних резервуари (див. рис. 3.3). Принцип роботи базується на подаванні до системи аналізованої рідини до пружних резервуарів ПР₁ та ПР₂. Кожен з пружних резервуарів можна описати функціями зміни об'ємних витрат, тиску та об'єму Q_i , P_i , V_i , де $i = 1, 2$. На схемі застосовано три запірних елементи регулювання x_1 , x_2 та x_3 , зі застосуванням яких здійснюється керування потоків аналізованої рідини через потрібний пружний резервуар. Якщо відкритий запірний елемент регулювання

x_1 , то потік рідини проходить через пружний резервуар ПР_1 . Під час дії закритого стану x_1 потік рідини рухається пружним резервуаром ПР_2 , а під час відкритого стану всіх запірних регулюючих елементів потік рідини рухається через обидва пружні резервуари. На рис. 3.3 позначено Q_{10} та Q_{20} надходження аналізованої рідини до першого та другого пружного резервуарів; Q_{11} та Q_{21} відтік аналізованої рідини від першого та другого пружних резервуарів.

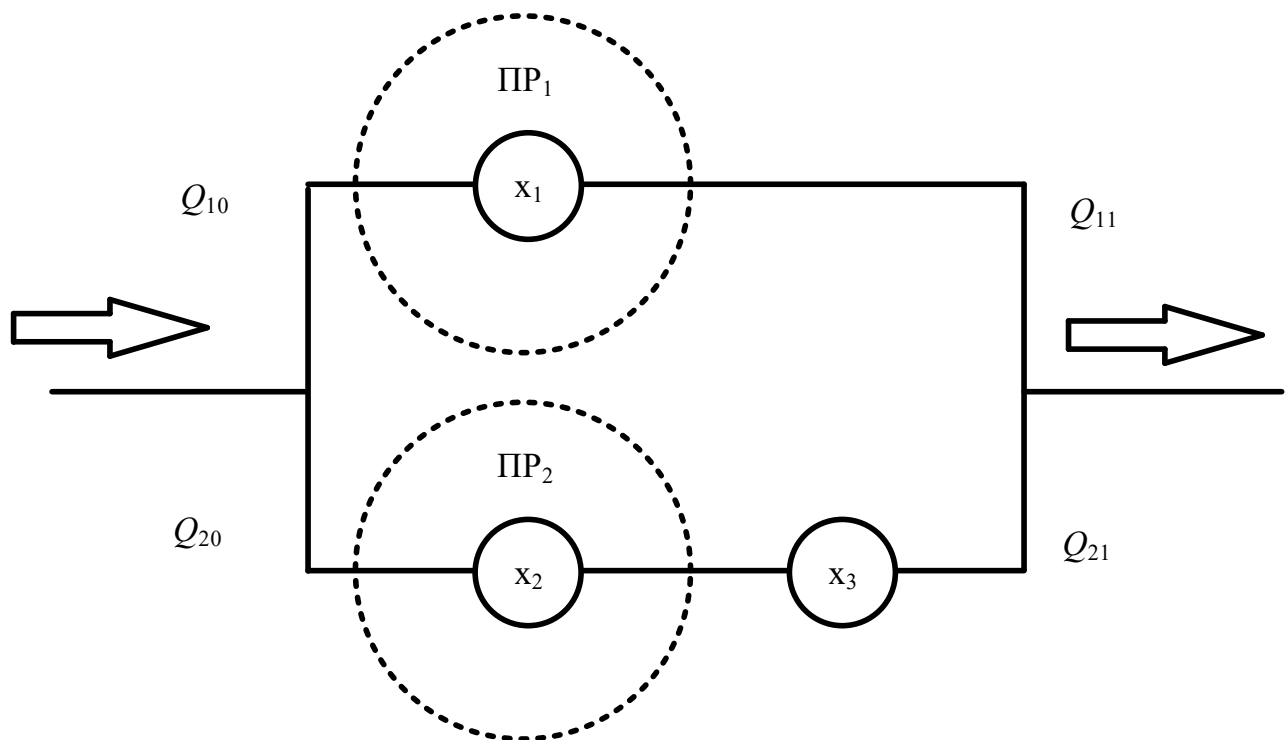


Рисунок 3.3 – Блок-схема розробленої математичної моделі

Зміна величини об'єму аналізованої рідини V_i у кожному з пружних регуляторів дорівнює різниці між надходження до регулятора $Q_{0i}(t)$ та виток $Q_{1i}(t)$ з нього. Баланс рідини можна описати у вигляді системи диференціальних рівнянь з обліком того, що рідина практично не стискається:

$$\begin{cases} \frac{dV_1}{dt} = Q_{10}(t) - Q_{11}(t); \\ \frac{dV_2}{dt} = Q_{20}(t) - Q_{21}(t). \end{cases}$$

Еластичні властивості трубок пружного регулятора можна описати такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} Q_i = C_i \cdot \frac{dP_i}{dt}; \\ V_i = C_i \cdot \Delta P_i. \end{cases}$$

Величина об'ємної витрати аналізованої рідини на виході трубки пружного регулятора визначається за таким співвідношенням:

$$Q_{i1} = S_i \cdot \mu_i \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_i}{\rho} \right)^{0,5},$$

де μ_i – коефіцієнт витрати, $(\text{м/с})^{-1}$.

Лінеаризація залежності зміни об'ємної витрати аналізованої рідини забезпечується завдяки застосуванню тільки першого порядку:

$$Q_{i1} = Q_0 + \left(\frac{dQ_{i1}}{dP_i} \right)_0 \Delta P_i + \left(\frac{dQ_{i1}}{dS_i} \right)_0 \Delta S_i,$$

де $Q_0 = \frac{P_i}{W_i}$ – номінальна величина об'ємної витрати аналізованої рідини на кожній з еластичних трубок пружного регулятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Система рівнянь після лінеаризації динамічних процесів, що мають місце у блоках вимірювання:

$$\begin{cases} \frac{P_1}{W_1} + C_1 \cdot \frac{dP_1}{dt} = Q_{\text{сис}} + \left(\frac{dQ_{10}}{dP_1} \right)_0 \Delta P_1 + \left(\frac{dQ_{10}}{dS_1} \right)_0 \Delta S_1; \\ \frac{P_2}{W_2} + C_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} = Q_{\text{сис}} + \left(\frac{dQ_{20}}{dP_2} \right)_0 \Delta P_2 + \left(\frac{dQ_{20}}{dS_2} \right)_0 \Delta S_2. \end{cases}$$

Система диференціальних рівнянь у стандартній формі має такий вигляд:

$$\begin{cases} T_1 \cdot \frac{dP_1}{dt} + P_1 = -k_{s1} \cdot S_1 + k_{Q1} \cdot Q_{CIC}; \\ T_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} + P_2 = -k_{s2} \cdot S_2 + k_{Q2} \cdot Q_{CIC}. \end{cases}$$

де $k_{s1} = \frac{x_{s1} \cdot W_1}{1 + x_{s1} \cdot W_1}$ – коефіцієнт підсилення пружного регулятора ПР₁, (Па/м²);

$k_{s2} = \frac{W_2 \cdot x_{s2}}{1 + W_2 \cdot x_{s2}}$ – коефіцієнт підсилення пружного регулятора ПР₂, (Па/м²);

$k_{Q1} = \frac{W_1}{1 + W_1 \cdot x_{p1}}$ – коефіцієнт перетворення пружного регулятора ПР₁,
((Па·с)/м³);

$k_{Q2} = \frac{W_2}{1 + W_2 \cdot x_{p2}}$ – коефіцієнт перетворення пружного регулятора ПР₂,
((Па·с)/м³);

$T_1 = \frac{W_1 \cdot C_1}{1 + W_1 \cdot x_{p1}}$ – постійна часу пружного регулятора ПР₁, с;

$T_2 = \frac{W_2 \cdot C_2}{1 + W_2 \cdot x_{p2}}$ – постійна часу пружного регулятора ПР₂, с.

Аналогічно зі застосуванням лінеаризації отримано систему диференціальних рівнянь для блоку вимірювання гідравлічного тиску, а також співвідношення для функцій передачі блоку вимірювання, постійних часу, а також коефіцієнтів підсилення.

Величину загальної витрати блоку вимірювання можна визначити за такою формулою:

$$Q_2 = Q_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dQ_{2i}}{dP_{2i}} \right)_0 \Delta P_{2i} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dQ_{2i}}{dS_{2i}} \right)_0 \Delta S_{2i},$$

де P_1 та P_2 – перепад тиску до гідравлічних опорів у еластичних трубках та після них у блоці вимірювання В, Па;

$$Q_0 = \frac{P_1 - P_2}{W_\Sigma + W_2} - \text{номінальне значення витрати аналізованої рідини в блоці}$$

вимірювання В, м³/с;

W_{21}, W_{22}, W_{23} – гідравлічний опір, що має місце в додаткових еластичних трубках блоку вимірювання В, (Па·с)/м³;

$$W_\Sigma = \frac{W_{21} \cdot W_{22} \cdot W_{23}}{W_{21} \cdot W_{22} + W_{22} \cdot W_{23} + W_{21} \cdot W_{23}} - \text{загальне значення гідравлічного опору,}$$

що обумовлено додатковими трубками блоку вимірювання В, (Па·с)/м³.

$$\begin{aligned} C_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} = Q_C - \frac{P_2 - P_1}{W_\Sigma + W_2} - \left(\frac{\partial Q}{\partial P_2} \right)_0 \Delta P_2 - \left(\frac{\partial Q}{\partial S_2} \right)_0 \Delta S_2 - \\ - \sum_{i=1}^n \left(\frac{dQ_{2i}}{dP_{2i}} \right)_0 \Delta P_{2i} - \sum_{i=1}^n \left(\frac{dQ_{2i}}{dS_{2i}} \right)_0 \Delta S_{2i}. \end{aligned}$$

Якщо регулятор блоку вимірювання А є відкритим, то:

$$Q_1(t) \neq 0.$$

Величина витрат аналізованої рідини в байпасній лінії блоку А вимірювання гідравлічного тиску визначається положенням регулятора. Для цього випадку система диференціальних рівнянь матиме вигляд [11]:

$$\begin{cases} C_1 \cdot \frac{dP_1}{dt} = Q_C - \frac{P_1}{W_1} - x_{P1} \cdot P_1 - x_{S1} \cdot S_1; \\ C_2 \cdot \frac{dP_2}{dt} = Q_C - \frac{P_2 - P_1}{W_\Sigma + W_2} - x_{P2} \cdot P_2 - x_{S2} \cdot S_2 - \sum_{i=1}^n x_{P2i} \cdot P_{2i} - \sum_{i=1}^n x_{S2i} \cdot S_{2i}, \end{cases}$$

де P_{2i} – тиск у кожній еластичній трубці блоку В вимірювання;

S_{2i} – площа прохідного перетину кожної еластичної труби блоку В вимірювання.

Якщо скласти наведені два рівняння між собою та здійснити диференціювання другого за часом, то одержимо:

$$\begin{aligned}
 & (W_{\Sigma} + W_2) \cdot C_2 \cdot \frac{d^2 P_2}{dt^2} + \left(1 + \frac{(W_{\Sigma} + W_2) \cdot C_2 \cdot (1 + x_{P1} \cdot W_1)}{W_1 \cdot C_1} + (W_{\Sigma} + W_2) \cdot x_{P1} \cdot \frac{dP_2}{dt^2} \right) + \\
 & + \left(\frac{(1 + x_{P2} \cdot (W_{\Sigma} + W_2)) \cdot (1 + x_{P1} \cdot W_1)}{W_1 \cdot C_1} \right) \cdot P_2 = \\
 & = (W_{\Sigma} + W_2) \cdot \frac{dQ}{dt} + \left(\frac{W_1 + (1 + x_{P1} \cdot W_1) \cdot (W_{\Sigma} + W_2)}{W_1 \cdot C_1} \right) \cdot Q_C - \frac{x_{S1}}{C_1} \cdot S_1 - \\
 & - x_{S2} \cdot (W_{\Sigma} + W_2) \cdot \frac{dS_2}{dt} - \frac{x_{S2} \cdot (W_{\Sigma} + W_2) \cdot (1 + x_{P1} \cdot W_1)}{W_1 \cdot C_1} \cdot S_2 - \\
 & - (W_{\Sigma} + W_2) \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{P2} \cdot \frac{dP_{2i}}{dt} + \sum_{i=1}^n x_{S2} \cdot \frac{dS_{2i}}{dt} \right) - \\
 & - \frac{x_{S2} \cdot (W_{\Sigma} + W_2) \cdot (1 + x_{P1} \cdot W_1)}{W_1 \cdot C_1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{P2} \cdot \frac{dP_{2i}}{dt} + \sum_{i=1}^n x_{S2} \cdot \frac{dS_{2i}}{dt} \right).
 \end{aligned}$$

Перепишімо отримане диференціальна рівняння в стандартній формі запису:

$$\begin{aligned}
 & T_2^2 \cdot \frac{d^2 P_2}{dt^2} + T_1 \cdot \frac{dP_2}{dt} + P_2 = \\
 & = k_Q \cdot \left(T_Q \cdot \frac{dQ_C}{dt} + Q_C \right) - k_{S2} \cdot \left(T_S \cdot \frac{dS_2}{dt} + 1 \right) - k_{S1} \cdot S_1 - \sum_{i=1}^3 k_{P2i} \cdot P_{2i} - \sum_{i=1}^3 k_{S2i} \cdot S_{2i},
 \end{aligned}$$

де T_1 , T_2 , T_Q , T_S – постійні часу, с, значення яких можна визначити з наступних співвідношень:

$$T_1 = \frac{W_1 \cdot C_1}{1 + W_1 \cdot x_{P1}} + \frac{(W_{\Sigma} + W_2) \cdot C_2}{1 + x_{P2} \cdot (W_{\Sigma} + W_2)};$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot W_1 \cdot C_1 \cdot C_2}{(1 + W_1 \cdot x_{p1}) \cdot (1 + (W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2})}};$$

$$T_Q = \frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot W_1 \cdot C_1}{(W_\Sigma + W_2) \cdot (1 + W_1 \cdot x_{p1}) + W_1};$$

$$T_S = \frac{W_1 \cdot C_1}{1 + W_1 \cdot x_{p1}};$$

$$k_{S1} = \frac{x_{S1} \cdot W_1}{(1 + x_{p1} \cdot W_1) \cdot (1 + x_{p2} \cdot (W_\Sigma + W_2))} - \text{коефіцієнт підсилення регулятора}$$

блоку вимірювання А, Па/м²;

$$k_{S2} = \frac{x_{S2} \cdot (W_\Sigma + W_2)}{1 + x_{p2} \cdot (W_\Sigma + W_2)} - \text{коефіцієнт підсилення регулятора блоку}$$

вимірювання В, Па/м²;

$$k_Q = \frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot (1 + W_1 \cdot x_{p1}) + W_1}{(1 + W_1 \cdot x_{p1}) \cdot (1 + (W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2})} - \text{коефіцієнт перетворення, (Па \cdot с)/м}^3.$$

Якщо знехтувати передостаннім виразом у диференціальному рівнянні, то можна одержати аналогічні співвідношення для розрахунку значень коефіцієнтів підсилення для трьох еластичних трубок блоку вимірювання:

$$k_{p2i} = \frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2i}}{1 + (W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2}};$$

$$k_{S2i} = \frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot x_{S2i}}{1 + (W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2}}.$$

Якщо $T_1 \geq 2 \cdot T_2$, то в операційній формі запису можна отримати диференціальне рівняння:

$$\begin{aligned} & (1 + T_4 \cdot p) \cdot (1 + T_3 \cdot p) \cdot y(p) = \\ & = (1 + T_Q \cdot p) \cdot k_Q \cdot g(p) - (1 + T_S \cdot p) \cdot k_{s2} \cdot u(p). \end{aligned}$$

Величини постійних часу T_3 і T_4 можна розрахувати за наступним співвідношенням:

$$T_{3,4} = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2}.$$

Якщо підставити значення T_1 і T_2 , то можна розрахувати величини постійних часу блоків вимірювання А та В:

$$T_3 = \frac{W_1 \cdot C_1}{1 + W_1 \cdot x_{p1}};$$

$$T_4 = \frac{(W_\Sigma + W_2) \cdot C_2}{1 + (W_\Sigma + W_2) \cdot x_{p2}}.$$

Функція передачі отриманого регулятора має наступний вигляд

$$W_M = \frac{y(p)}{g(p)} = \frac{(1 + T_Q \cdot p) \cdot k_Q}{(1 + T_4 \cdot p) \cdot (1 + T_3 \cdot p)}.$$

Диференціальне рівняння в операторній формі регулятора блоку вимірювання В представлено в наступному вигляді:

$$W_{s2}(p) = (1 + T_{s2} \cdot p) \cdot k_{s2}.$$

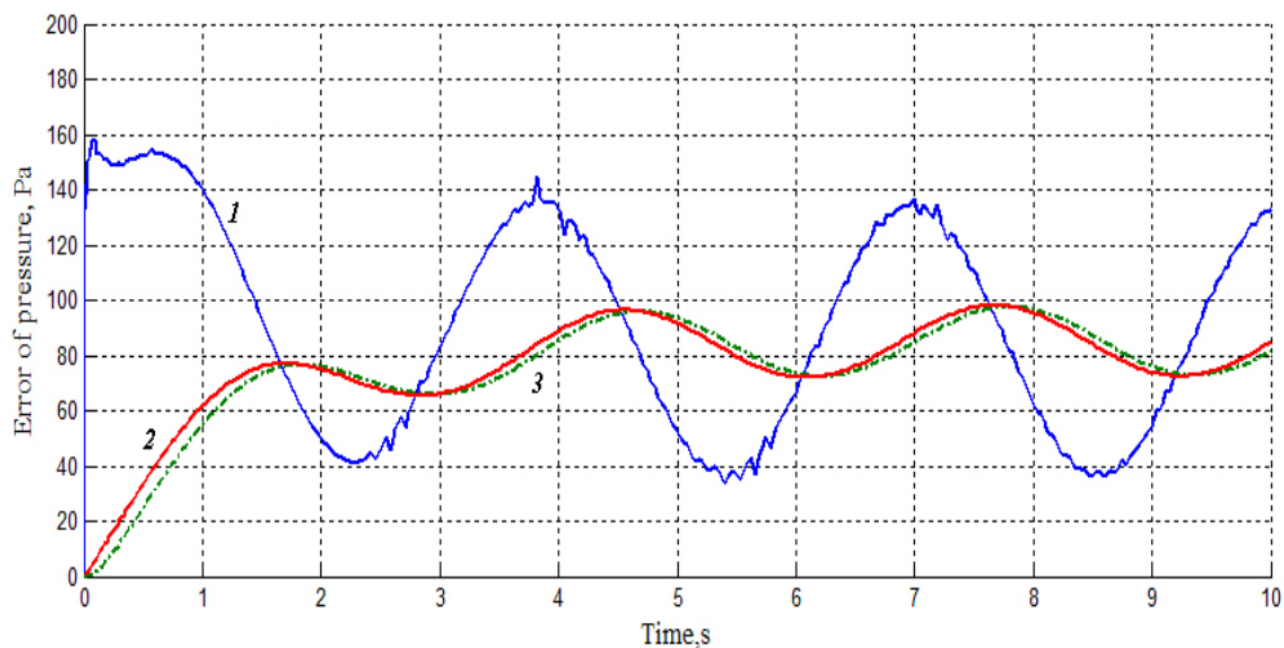


Рисунок 3.5 – Абсолютна величина похибки вимірювання тиску під час впливу пульсацій потоків рідини

Під час аналізу отриманих амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик визначено, що розроблена система є стійкою, а її величина запасу стійкості складає за фазою до 88° .

Під час сумісної роботи блоків вимірювання А та В регулювання тиску виконується спільним функціонуванням регуляторів, що дозволяє здійснювати підтримку регламентованої величини тиску.

ВИСНОВКИ

Під час аналізу методів і технічних засобів формування потоків пульсацій аналізованої рідини в гідравлічних установках встановлено, що генерування та вимірювальний контроль різного типу коливань рідини виконується завдяки використанню в системі засобів збудження хвильових коливань, що можуть бути як пульсаторами, так і генераторами. Одним з базових способів формування потоків пульсацій в гідравлічних системах є генерування форми імпульсів з можливістю здійснення регулювання параметрів цих імпульсів, а саме частоти та/або амплітудного значення.

У гідравлічних установках застосовується прямий спосіб генерування потоку пульсацій аналізованої рідини для забезпечення контролю засобів вимірювання тиску та витрати, таких як манометри, лічильники витрати води, сфігмоманометри. Під час аналізу виявлено, що у теперішній час завдяки широкому розповсюдженню зазначених пристроїв є необхідність здійснення їх перевірки. Проте, під час проведення перевірки зазначених пристроїв зі застосуванням спеціальних гідравлічних установок використовується прямий спосіб генерування потоків пульсації аналізованої рідини. Зі застосуванням цього способу не здійснюється облік форми коливань цих потоків, що має місце під час їх експлуатації, це обумовлює виникнення додаткової складової методичної похибки результатів вимірювання тиску та витрати.

Запропоновано та розроблено гідравлічну установку потоків пульсації аналізованої рідини для здійснення вимірювального контролю тиску та витрати. У цій установці можна виконувати перевірку манометрів, лічильників води, а також сфігмоманометрів. Зі застосуванням розробленої гідравлічної установки скорочено проміжок часу перевірки пристроїв. Під час впровадження гідравлічної установки до промислового застосування процедура перевірки дозволяє збільшити показники статистичного вимірювального контролю якості пристроїв завдяки підвищенню рівня продуктивності в 3 рази.

Розроблено схему гідравлічної установки та алгоритм функціонування мікропроцесорної частини пристрою. Зі застосуванням розробленої гідравлічної установки можна здійснювати вимірювальний контроль витрати в лічильниках води, тиску в манометрах, а також частоти та тиску в сфігмоманометрах. Розроблена установка дає змогу виконувати одночасну перевірку за трьома параметрами: тиску, витрати та частоти.

Розроблено математичну модель системи, до складу якої входить однорідні підсистеми. Запропоновано використовувати математичні моделі закритих гідравлічних підсистем. Під час розробки математичної моделі застосовано метод аналогій з використанням топологічних і компонентних рівнянь. На базі розробленої математичної моделі виконано оцінку інерційності блоків вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лепешкин, А.В. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник, ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин, А.А. Шейпак; под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
2. Шамшурин, Б.Н. Аппроксимация формы импульса сжатия при высоковольтном электрическом разряде в жидкости / Б.Н. Шамшурин // Электрический разряд и его применение. – К.: Наукова думка, 1977. – С. 26 – 34.
3. Ганиев, Р.Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский. – К.: Наукова думка. 1975. – 168 с.
4. Ганиев, Р.Ф. Волновая технология и техника / Р.Ф. Ганиев. – М.: Машиностроение, 1993. – 127 с.
5. Ганиев, Р.Ф. Волновые машины и технологии (Введение в волновую технологию) / Р.Ф. Ганиев. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2008. – 192 с.
6. Закревский, А.О. Как избежать проблем при доении / А.О. Закревский // Сельскохозяйственные вести, 2005. – №1. – С. 13 – 15.
7. Каргапольцев, В.П. Требования к проливным установкам для расходомеров–счетчиков воды и технологических жидкостей / В.П. Каргапольцев // Нефтегазпромышленный инжиниринг, 2004. – № 3 – С. 59 – 61.
8. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода воды в диапазоне $2,8 \cdot 10^{-8}$ куб. м/с: ГОСТ 8.374–80. – Действ. от 1981-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 9 с.

9. Мерники металлические технические. Методы и средства поверки: ГОСТ 13844–68. – Действ. от 1969-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1968. – 9 с.

10. Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия: ГОСТ 1770–74. – Действ. от 1976-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 22 с.

11. Сойко, А.И. Методы и модели пульсирующих потоков жидкости в установках для комплектной поверки неинвазивных сфигмоманометров: монография / А.И. Сойко. – Казань : КНИТУ-КАИ, 2016. – 236 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{уст}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{пер}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{пер}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = E_m \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{HAД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати

(22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$