

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2021 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з спеціальності **131 Прикладна механіка**

_____ (код і назва)

на тему: Універсальний лабораторний гідравлічний стенд _____

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-71
(шифр групи)

Петров Дмитро Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник ст.викл., к.т.н., Костюк Д. В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____
(назва розділу) ст.викладач Ковтун А.І. _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н. доц. Кореньков В.М. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут механіко-машинобудівний

(повна назва)

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

(повна назва)

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.Ф. Луговський

(підпис)

(прізвище ініціали)

“ ” 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Петров Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Універсальний лабораторний гідравлічний стенд

керівник проекту Костюк Дмитро Вікторович, к.т.н.

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

затверджена наказом по університету від “ 20 ” травня 2020 року № 1120-с

2. Термін подання студентом проекту 11.06.2021

Вихідні дані до проекту Лабораторний учбовий стенд, що забезпечує виконання робіт по дослідженню відцентрового насоса, визначенню гідравлічних втрат та витікання з отворів

4.Зміст пояснювальної записки Вступ, огляд інформаційних джерел по стендам, огляд теоретичної інформації щодо проведення лабораторних робіт, гідравлічний розрахунок схеми, технологія виготовлення деталі, питання охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

Схема гідравлічна принципова, складальне креслення, креслення деталей

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	ст.викл. Ковтун А.І.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання 01.03.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Отримання завдання	01.03.2021	виконано
2.	Аналіз існуючих конструкцій	06.04.2021	виконано
3.	Розробка гідравлічної схеми	20.04.2021	виконано
4.	Розрахунок основних параметрів	11.05.2021	виконано
5.	Розрахунок гідравлічної схеми	15.05.2021	виконано
6.	Розробка креслень деталей	20.05.2021	виконано
7.	Оформлення аркушів	30.05.2021	виконано
8.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2021	виконано

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

(прізвище та ініціали)

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ СТЕНД
ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

АНОТАЦІЯ

Лабораторні роботи є важливою складовою навчального процесу та для успішного ознайомлення студента з предметом вимагають відповідної матеріальної бази.

В роботі розглянуто ряд розроблених стендів. Ціль цих стендів показати, пояснити і навчити сприймати принципи взаємодії компонентів єдиного цілого. На даний момент стенди які використовуємо ми – застарілі, їх потрібно модернізувати, додати та застосувати нове обладнання.

Запропоновано схему стенда, що дозволить виконувати ряд лабораторних робіт з гідравліки, а саме дослідження втрат напору, дослідження витікання рідини з отворів і насадок та дослідження відцентрового насоса.

В цій роботі запропонована та реалізована в теорії модернізація стенду, проведені розрахунки та виготовлена необхідна технічна документація.

ANNOTATION

Laboratory works are an important component of the educational process and for the successful acquaintance of the student with the subject require appropriate material base.

A number of developed stands are considered in the work. The purpose of these stands is to show, explain and teach to perceive the principles of interaction of the components of a single whole. At the moment, the stands we use are outdated, they need to be upgraded, added and new equipment used.

The scheme of the stand which will allow to carry out a number of laboratory works on hydraulics is offered, namely research of losses of pressure, research of leak of liquid from openings and nozzles and research of the centrifugal pump.

In this work the modernization of the stand is offered and realized in the theory, calculations are carried out and the necessary technical documentation is made.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УЧБОВИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ З ГІДРАВЛІКИ	10
1.1 СТЕНДИ ВИВЧЕННЯ ВИТІКАННЯ РІДИНИ З ОТВОРІВ І НАСАДОК	10
1.1.1 Навчальний лабораторний стенд НТЦ-11.09	10
1.1.2 Стенд «Витікання рідини з отворів і насадок» ЭМЖ-ИЖ-014-8ЛР-01.....	11
1.1.3 Стенд F1-17 Витікання з отворів і дослідження вільного струменя.....	12
1.1.4 Стенд EDIBON FME17 Витікання рідини через отвір і вільна струминна течія	13
1.2. Насосні станції для гідравлічних навчальних стендів	14
1.2.1 Насосна станція для гідравлічних стендів ARMFIELD F1-10	14
1.2.2 Насосна станція для гідравлічних стендів EDIBONE.....	16
1.3 Стенди дослідження втрат по довжині та на місцевих опорах	17
1.3.1 Стенд armfield C6-МКП-10 – Визначення гідравлічного тертя	17
1.3.2 Стенд armfield F1-22 – Втрати енергії в місцевих опорах	21
1.4 Наявні лабораторні стенди кафедри	23
1.4.1. Дослідження втрат енергії по довжині	23
1.4.2 Дослідження втрат енергії на місцевих опорах.....	24
1.4.3 Установка для демонстрації витікання з отворів і насадків.....	25
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. Теоретичні положення лабораторних робіт в курсах гідравлічних дисциплін.....	27
2.1. Гідравлічні втрати напору	27
2.1.1 Експериментальне визначення коефіцієнта місцевих опорів	32
2.1.2 Раптове звуження трубопроводів.....	33
2.1.3. Визначення втрат напору в дифузорі.....	34
2.1.4 Втрати енергії в конфузорі	35
2.2 Витікання з отворів і насадок	36
Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3. Проектування універсального Лабораторного стенду	41
3.1. Розробка гідравлічної схеми стенду	41
3.2. Гідравлічний розрахунок стенду.....	42
3.2.1. Розрахунок об'єму U-подібного трубопроводу	42
3.2.2. Гідравлічний розрахунок ділянки втрат напору	44
3.3 Підбір обладнання для стенду	48
3.3.1 Вибір насоса.....	48
3.3.2 Вибір допоміжного обладнання	49
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	60
4.1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ	60
4.2 Вибір заготовки	61
4.3 Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту.....	61

4.4 Вибір типового технологічного процесу	63
4.4. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	67
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	68
5.1 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
5.2 Характеристики приміщення, де проходить робота зі стендом.....	69
5.3 Аналіз мікрокліматичних умов	69
5.4 Освітлення	71
5.5 Пожежна безпека	74
ВИСНОВОК	765
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	776

ВСТУП

Лабораторні та практичні заняття є важливою частиною учбового процесу, дозволяють краще засвоїти матеріал та на власному досвіді відчувати та зрозуміти фізичні явища. Якість та успішність виконання лабораторних робіт в значній мірі залежить від наявного лабораторного обладнання [1]. На даний час постає питання оновлення наявної матеріальної бази лабораторій, зокрема з дисциплін напрямку «Гідропневмоавтоматика та гідравлічні і пневматичні машини».

Існуюче обладнання є застарілим, значною мірою відпрацювало свій ресурс і, як наслідок, не завжди дає змогу отримати гарні результати при постановці дослідів. Крім того з часом з'являються нові приводи, системи керування та вимірювання, використання яких дає змогу підвищити точність експерименту, спростити його проведення та ознайомитись з сучасним обладнанням. Це зокрема стосується і обладнання на якому проводяться лабораторні роботи по дослідженню витратомірів, втрат енергії по довжині та на місцевих опорах, витіканню рідини з отворів та насадок, визначенню характеристик насосу та ін.

Існує декілька шляхів розв'язання цього питання – це придбання нового обладнання або розробка та власне виготовлення. Проведений пошук лабораторного обладнання показав наявність ряду виробників, що займаються його виготовленням.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УЧБОВИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ З ГІДРАВЛІКИ

1.1 СТЕНДИ ВИВЧЕННЯ ВИТІКАННЯ РІДИНИ З ОТВОРІВ І НАСАДОК

1.1.1 НАВЧАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД НТЦ-11.09

Одним із стендів представлених на ринку є лабораторний стенд від виробника УП "НТП "Центр" (рис. 1.1). Стенд має замкнуту систему циркуляцію води, яка не вимагає підключення до систем водопостачання і каналізації. Один з насадків виконаний знімним, що дозволяє встановлювати на його місце і досліджувати інші типи насадків. Вимірювальна система стенду дозволяє вимірювати геометричні напори, вакуум на вході в насадок, витрата і діаметр витікає струменя [1].



Рис.1.1 Лабораторний стенд НТЦ-11.09 [1]

Стенд має рамну конструкцію. На рамі встановлені три гідробака, лоток, насосна установка і сполучна арматура. Одна з бічних стінок лотка виконана з органічного скла, на якому нанесена координатна сітка, що дозволяє вимірювати координати струменя, який витікає.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

10

До складу стану входять: пластина з малим отвором в тонкій стінці;
зовнішні насадки: циліндричний, конічний, що сходиться, конічний, що
розходиться, коноїдальний.

Технічні характеристики стану [1]

Живлення ~ 50 Гц 220 В (однофазна 220 В, 50 Гц)

Споживана потужність, кВт, не більше 1,1

Робоча рідина – вода

Об'єм основного гідробака, м³, не менше 0,33

Габаритні розміри стану, не більше:

ширина, мм 1980

висота, мм 2050

глибина, мм 1000

Вага стану, кг, не більше 345

1.1.2 СТАНД «ВИТІКАННЯ РІДИНИ З ОТВОРІВ І НАСАДОК» ЭМЖ-ИЖ-014-8ЛР-01

Наступний стандарт від виробника «Учтех-Профи» (рис. 1.2). Стандарт дозволяє виконувати 8 лабораторних робіт по визначенню коефіцієнтів опору, витрати, стиску і швидкості при витіканні рідини з отворів і насадок [2].



Рис. 1.2 Типовий комплект навчального обладнання «Витікання рідини з отворів і насадок» ЭМЖ-ИЖ-014-8ЛР-01 [2]

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Стенд дозволяє виконувати 8 лабораторних робіт по визначенню коефіцієнтів опору, витрати, стиснення і швидкості при витіканні рідини з отворів і насадок. Склад стану: 1. рамна несуча конструкція з встановленими на ній насосом подачі води, баком зберігання води, системи трубопроводів, напірного бака відкритого типу для створення напору до 0,6 м над входом отворів і насадків і системи вимірювання. 2. система вимірювання траєкторії незатопленого струменя при її витіканні з отвору, точність вимірювання координат не нижче 1 мм - 1 шт. 3. набір змінних елементів у вигляді отворів і насадок: отвір з гострою кромкою, отвір з округленою кромкою, внутрішній циліндричний насадок, зовнішній циліндричний, коноідальний насадок, конічний, що сходиться, конічний, що розходиться, комбінований конічний, що розходиться з коноідальним крайками

1.1.3 СТЕНД F1-17 ВИТІКАННЯ З ОТВОРІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНОГО СТРУМЕНЯ

Стенд від виробника ARMFIELD F1-17 Витікня з отворів і дослідження вільного струменя (рис. 1.3) [3].

До складу стану входить резервуар з постійним напором, що подається водою з гідравлічного стану. Отвір встановлюється біля основи цього резервуара за допомогою спеціального настінного кріплення, яке забезпечує змивання внутрішньої поверхні. Напір підтримується на постійному рівні за допомогою регульованої переливної труби і позначається шкалою рівня. Серія регульованих зондів дозволяє визначити шлях, по якому рухається струмінь.

Технічні характеристики

- Діаметр отвору: 3,0 мм і 6,0 мм
- Зонди траєкторії струменя: 8
- Макс. Постійний напір: 410 мм

Потрібна насосна станція F1-10 / F1-10-2

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

Досліди, що проводяться на стенді:

- Встановлення коефіцієнта швидкості для малого отвору
- Знаходження коефіцієнта витрати для малого отвору з потоком під постійним напором та потоком під змінним напором
- Порівняння вимірної траєкторії руху струменя з прогнозованою
- Вплив рівня бака на швидкість витікання струменя [3]

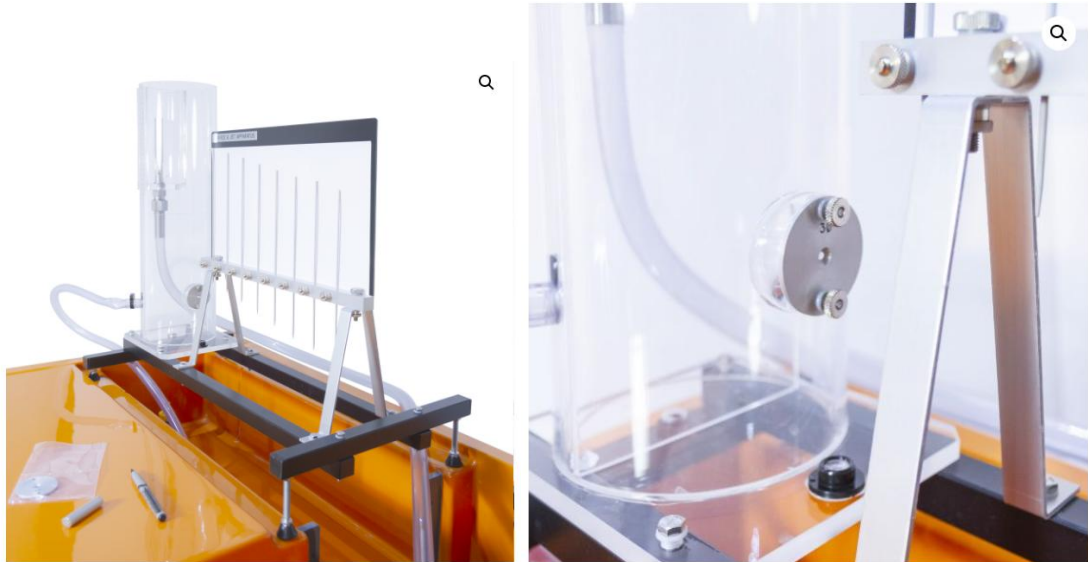


Рис.1.3 Стенд вивчення витікання з отвору та вільного струменя [3]

1.1.4 СТЕНД EDIBON FME17 ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВІР І ВІЛЬНА СТРУМИННА ТЕЧІЯ

Завдяки LIFLUBA (інтегрована лабораторія механіки основних рідин) EDIBON намагається відповісти на академічний попит на навчання та вивчення основ механіки рідин легким та практичним способом. За допомогою серії модулів LIFLUBA студенти проводять експерименти які чітко демонструють їм закони гідравліки, і вони набувають цінний досвід використання гідравлічних приладів та інструментів, природним, приємним і нехитрим способом [4].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

13



Рис 1.4 Лабораторний стенд EDIBON для дослідження витікання рідини з отворів [4]

Модуль складається з циліндричного метакрилатного бака, який дозволяє підтримувати постійний рівень, і який подається від стенду гідравліки (FME00) або від базової системи гідравлічної подачі.

1.2. НАСОСНІ СТАНЦІЇ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ СТЕНДІВ

Для роботи лабораторних стендів від виробників ARMFIELD та EDIBON необхідні окремі насосні станції [3, 4]. Розглянемо їх будову та характеристики.

1.2.1 НАСОСНА СТАНЦІЯ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СТЕНДІВ ARMFIELD F1-10

Цей пристрій F1-10 є портативним та автономним сервісним модулем, що забезпечує контрольований потік води до ряду додаткових аксесуарів [5].

Мобільний стенд побудований з легкого антикорозійного пластику та включає відкритий канал з бічними каналами для підтримки аксесуарів на випробуванні. Стіл гідравліки включає об'ємний мірний резервуар,

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

ступінчастий для розміщення низьких або високих витрат, та спокійну перегородку для зменшення турбулентності. Дистанційна прицільна трубка зі шкалою дає миттєву індикацію рівня води.

Додатково лавка включає швидкознімний трубопровідний з'єднувач, розташований на стільниці, що забезпечує швидкий обмін аксесуарами без необхідності використання ручних інструментів, мірний циліндр для вимірювання дуже малих витрат, секундомір та копію навчального програмного забезпечення Armfield F1-aBASIC.

Стенд для гідравліки F1-10 може бути поставлений як із встановленим на заводі електронним витратоміром з цифровим дисплеєм, так і з додатковим вбудованим цифровим витратоміром, який можна будь-коли додати в лінію до експерименту на випробуванні.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Макс. Напір 21м Н₂O

Макс. Витрата 1,35 л/с

Потужність двигуна: 0,37 кВт

Ємність відстійника: 250л

Об'ємний бак з високим напором: 40л

Об'ємний бак з низьким напором: 6л

Висота робочої поверхні: 1 м над рівнем підлоги



Рис. 1.5 Модуль живлення гідравлічних стендів F1-10 [5]

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

15

1.2.2 НАСОСНА СТАНЦІЯ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СТЕНДІВ EDIBONE

Такі стенди можна використовувати в одному чи в декількох екземплярах одночасно, завдяки його пересувним та багатофункціональним можливостям, ми використаємо його як портативний великий бак для живлення водою основних наших стендів.



Рис. 1.6 Насосна станція для живлення модульних лабораторних стендів EDIBONE [6]

Блок для вивчення поведінки рідини, гідравлічної теорії та властивості механіки рідини. Він утворений рухомою гідравлічною лавкою, яка використовується для утримання широкої різноманітності модулів, які дозволяють студенту експериментувати з проблеми, представлені механікою рідини. Автономний блок (бак і насос в комплекті). Інноваційна система економії води, що складається з відстійника великої ємності резервуар і водостік, який надсилає надлишок води назад у бак. Зливний клапан для легкого доступу, об'ємний мірний резервуар східчастий для розміщення на низьких або високі витрати. У комплект входить :

мірний циліндр (ємність 1 л)

запас для вимірювання дуже малих витрат.

рівнева трубка зі шкалою, яка показує рівень води у верхньому резервуарі.

Потік регулюється за допомогою мембранного клапана. Дефлектор спокійного потоку для зменшення швидкості турбулентності. Спеціально

розроблений канал у верхній частині для підтримки модулів на тесті. Модулі легко монтуються на його верх без використання інструментів. Це забезпечує його простоту. Виготовляється з корозійно-стійких матеріалів, що забезпечують довгий термін служби агрегату. Відцентровий насос. Пуск вимикача насоса, запобіжник і контактне світло. Кожен модуль постачається як комплектне обладнання легке та швидке приєднання до лавки, максимізуючи доступне час студента на демонстрацію чи експеримент вимірювання [6].

1.3 СТЕНДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ПО ДОВЖИНІ ТА НА МІСЦЕВИХ ОПОРАХ

1.3.1 СТЕНД ARMFIELD C6-МКП-10 – ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ

Стенд вимірювання тертя рідини Armfield C6-МКП-10 забезпечує засоби для детального вивчення втрат напору тертя рідини, які виникають, коли нестислива рідина протікає через труби, фітинги та прилади для вимірювання витрати.

Тертя труб є одним із класичних лабораторних експериментів і завжди знаходило місце в практичному викладанні механіки рідини.

За допомогою цього пристрою втрати головки тертя в прямих трубах дуже різних розмірів можна досліджувати в діапазоні чисел Рейнольдса від 10^3 до майже 10^5 . Це охоплює ламінарний, перехідний та турбулентний режими потоку в гладких трубах.

Крім того, постачається штучно огрубіла труба, яка при вищих числах Рейнольдса демонструє чіткий відступ від типових характеристик гладких труб [7].

На додаток до обладнання для дослідження втрат у прямих трубах, включається широкий асортимент аксесуарів, таких як фітинги для труб та регулюючі клапани, трубка Вентурі, вузол діафрагми та трубка Піто.

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17



Рис. 1.7 C6-MKII-10 – Визначення гідравлічного тертя

ОПИС

Блок вимірювання тертя рідини Armfield C6-MKII-10 забезпечує засоби для детального вивчення втрат напору тертя рідини, які виникають, коли нестислива рідина протікає через труби, фітинги та прилади для вимірювання витрати.

Тертя труб є одним із класичних лабораторних експериментів і завжди знаходило місце в практичному викладанні механіки рідини.

За допомогою цього пристрою втрати головки тертя в прямих трубах дуже різних розмірів можна досліджувати в діапазоні чисел Рейнольдса від 10^3 до майже 10^5 . Це охоплює ламінарний, перехідний та турбулентний режими потоку в гладких трубах.

Крім того, постачається штучно огрубіла труба, яка при вищих числах Рейнольдса демонструє чіткий відступ від типових характеристик гладких труб.

На додаток до обладнання для вивчення втрат у прямих трубах, включається широкий асортимент аксесуарів, таких як фітинги для труб та регулюючі клапани, трубка Вентурі, вузол діафрагми та трубка Піто.

Розташування шести труб забезпечує можливості для випробування наступного:

- Чотири труби з гладким отвором різного діаметру

- Штучно груба труба
- вигини на 90 ° (великий і малий радіуси)
- коліно 90 °
- коліно 45 °
- 45 ° трійник Y
- 90 ° трійник T
- Раптове розширення
- Раптове звуження
- Засувка
- Кульовий кран
- Вбудований фільтр
- Прозорий витратомір Вентурі
- Прозорий діафрагмовий витратомір
- Прозора ділянка трубопровода

Короткі зразки кожної випробувальної труби розміром надаються вільними, щоб студенти могли виміряти точний діаметр і визначити характер внутрішньої обробки.

Співвідношення діаметра труби до відстані відводів тиску від кінців кожної труби було обрано для мінімізації ефектів від торця та входу. Передбачена система запірних клапанів, за допомогою якої трубу, що підлягає випробуванню, можна вибрати, не від'єднуючи та не зливаючи систему. Це розташування дозволяє проводити випробування на паралельних конфігураціях труб.

Додаткова підлогова лавка для гідравліки включає в себе відстійник та об'ємне вимірювання витрати. Швидке та точне вимірювання витрати можливо протягом усього робочого діапазону приладу.

Підвищення рівня в мірному баку визначається незалежним датчиком прицілу. Скляний мірний циліндр ємністю 250 мл постачається для вимірювання витрати в ламінарних умовах (дуже низькі витрати).

Кожне різьблення під тиском оснащено швидкогерметичним з'єднанням. Насоси для зондів із достатньою кількістю напівпрозорих поліетиленових трубок забезпечені таким чином, що будь-яка пара відводів під тиском може бути швидко з'єднана.

Всі випробувальні труби та нерухомі сполучні труби виготовлені з нержавіючої сталі.

Технічні деталі для випробувальних труб:

Діаметр:

1. 19,1 мм OD x 17,2 мм ID
2. 12,7 мм OD x 10,9 мм ID
3. 9,5 мм OD x 7,7 мм ID
4. 6,4 мм OD x 4,5 мм ID
5. 19,1 мм OD x 15,2 мм ID (шорсткий)

Відстань між відводами: 1м

Кількість точок відведення: 38

Експериментальний зміст

З обладнанням можливий широкий спектр вимірювань, демонстрацій та навчальних вправ:

- Підтвердження зв'язку між втратою напору внаслідок тертя рідини та швидкістю потоку води
- Визначення втрат напору, пов'язаних із потоком через різні стандартні фітинги для труб
- Визначення залежності між коефіцієнтами тертя труби та числом Рейнольдса для потоку через трубу із шорстким отвором
- Демонстрація застосування диференціальних головних пристроїв для вимірювання витрати та швидкості
- Забезпечення практичної підготовки з техніки вимірювання тиску
- Покращення розуміння гідравлічних принципів, пов'язаних із використанням додаткового комп'ютерного програмного забезпечення

Розміри стенду

- Довжина: 1,10м

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

- Ширина: 2,25 м
- Висота: 0,43 м

1.3.2 СТЕНД ARMFIELD F1-22 – ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В МІСЦЕВИХ ОПОРАХ

Цей стенд дозволяє продемонструвати втрати в різних вигинах, раптове звуження, раптове розширення та типовий регулюючий клапан.

- Вигин під кутом – коліно 90 ° - Помітні вигини (великий і малий радіус)
- Раптове звуження і раптове розширення
- Повністю оснащений відводами тиску вище та нижче за течією.
- Банка з 12 труб з водяним манометром, встановлена на каркасі для візуалізації профілів перепаду тиску [8].



Рис. 1.8 F1-22 – Втрати енергії в місцевих опорах [8]

Обладнання встановлено на окремо стоячій рамі, яка підтримує випробувальні трубопроводи та контрольно-вимірювальні прилади. Для вивчення включені такі типові фітинги для труб: вигин під кутом, коліно на 90 °, повороти з поворотом (великий і малий радіус), раптове стягування та раптове збільшення.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

21

Всі вони оснащені відведенням тиску вище та нижче за течією. Ці відводи з'єднані з банком з 12 водяних манометричних трубок, встановлених на каркасі. Зниженню тиску манометрів сприяє ручний насос.

Затворний клапан використовується для регулювання витрати. Окремий запірний клапан оснащений відводами тиску вище та нижче за потоком, які з'єднані з диференціальним манометром на краю каркаса.

Агрегат стоїть на робочій вершині гідравлічного стенду, який також використовується як джерело водопостачання [8].

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Діаметр труби: 19,48 мм
- Манометр диференціального тиску: 0-3 бар
- Діаметр збільшення: 26,2 мм
- Діаметр стиснення: 19,48 мм
- Фітинги:
- 45 ° відвід
- коліно
- короткий вигин
- великий вигин
- розширення
- звуження
- Діапазон манометра: 0-440 мм
- Кількість манометричних трубок: 12
- Диференціальні манометри: 6

Вимірювання втрат в пристроях, пов'язаних зі швидкістю потоку, та обчислення коефіцієнтів втрат, пов'язаних із напором швидкості, включаючи:

Довгий вигин

Збільшення площі

Скорочення площі

Коліно

Складений відвід

Короткий вигин

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

1.4 НАЯВНІ ЛАБОРАТОРНІ СТЕНДИ КАФЕДРИ

На сьогодні в лабораторіях кафедри наявні ряд стендів для проведення лабораторних робіт, зокрема лабораторні роботи по дослідженню витратомірів, втрат енергії по довжині та на місцевих опорах, витіканню рідини з отворів та насадок, визначенню характеристик насосу та ін. Розглядемо їх будову та основні характеристики

1.4.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ПО ДОВЖИНІ

Робоча ділянка являє собою горизонтально розташовану між п'єзометрами №1 і №2 трубу постійного діаметру з передвключеною прямолінійною ділянкою гідродинамічної стабілізації (рис. 1.9). П'єзометри обладнані масштабними лінійками. На трубопроводі встановлено гільзу з термометром та витратомірну діафрагму з підключеним до неї диференціальним манометром, який обладнаний масштабною лінійкою. До складу установки входять також два вентиля: основний (перед діафрагмою) — для установавлення й регулювання витрати води, а також допоміжний (за термометром) — для досягнення прийнятних для спостереження рівнів рідини у п'єзометрах №1 і №2 [9].

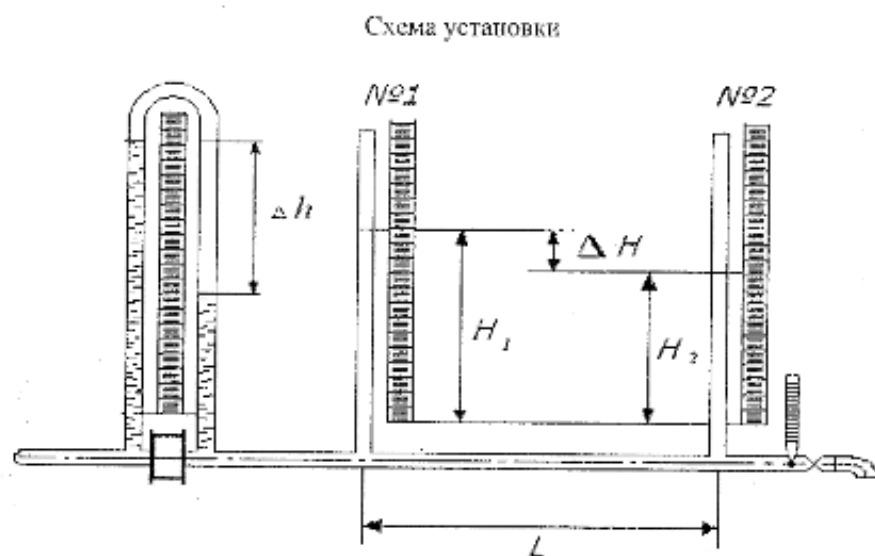


Рис. 1.9 Схема лабораторної установки дослідження втрат по довжині [9]

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1.4.2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ НА МІСЦЕВИХ ОПОРАХ

Схему експериментальної установки для дослідження місцевих опорів приведено на рис. 1.10.

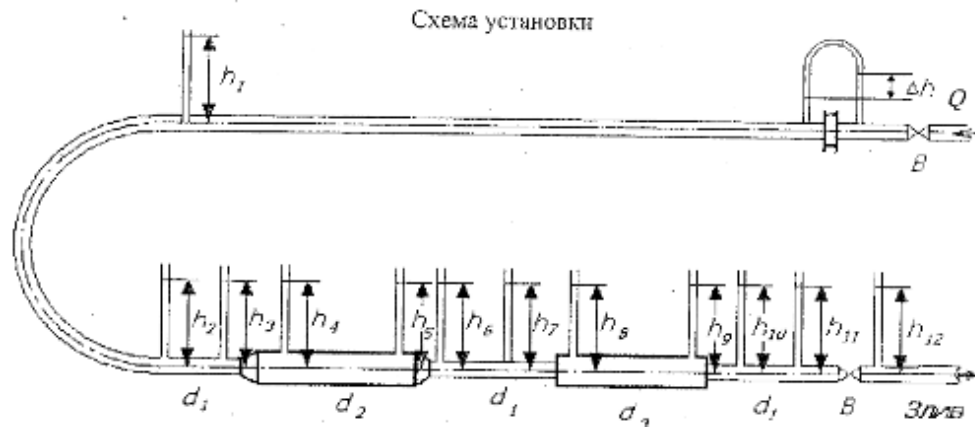


Рис. 1.10 Схема установки дослідження втрат енергії на місцевих опорах [9]

Експериментальна установка являє собою горизонтальний трубопровід, у якому розташовані такі ділянки місцевих опорів: П-подібне закруглення, дифузор, конфузор, раптове розширення, раптове звуження, вентиль (в гідравлічній лабораторії №1 усі ділянки розташовано послідовно; в гідравлічній лабораторії №2 ділянки раптових розширення, звуження та вентиля підключено в окрему паралельну вітку). Трубопровід (або кожна з його паралельних віток в лабораторії №2) обладнаний витратомірним приладом, витратомірну діафрагма якого завчасно градуйовано [$\Delta = h f Q()$].

Передбачено також можливість вимірювання об'ємної витрати води через трубопровід за допомогою мірної ємкості (в кінцевій частині трубопровідної системи) та секундоміра. Біля кожної з ділянок місцевих опорів встановлені п'єзометри (або диференціальні манометри) для визначення різниць п'єзометричних висот в поперечних перерізах до та після досліджуваних ділянок. До складу установки входять також два вентиля (на початку та в кінці трубопроводу) для установлення й регулювання витрати води [9].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

24

1.4.3 УСТАНОВКА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ ВИТІКАННЯ З ОТВОРІВ І НАСАДКІВ

На рис. 1.11. наведено схему установки для демонстрації витікання рідини з отворів і насадків і експериментального визначення величини коефіцієнтів $\varepsilon, \varphi, \mu$.

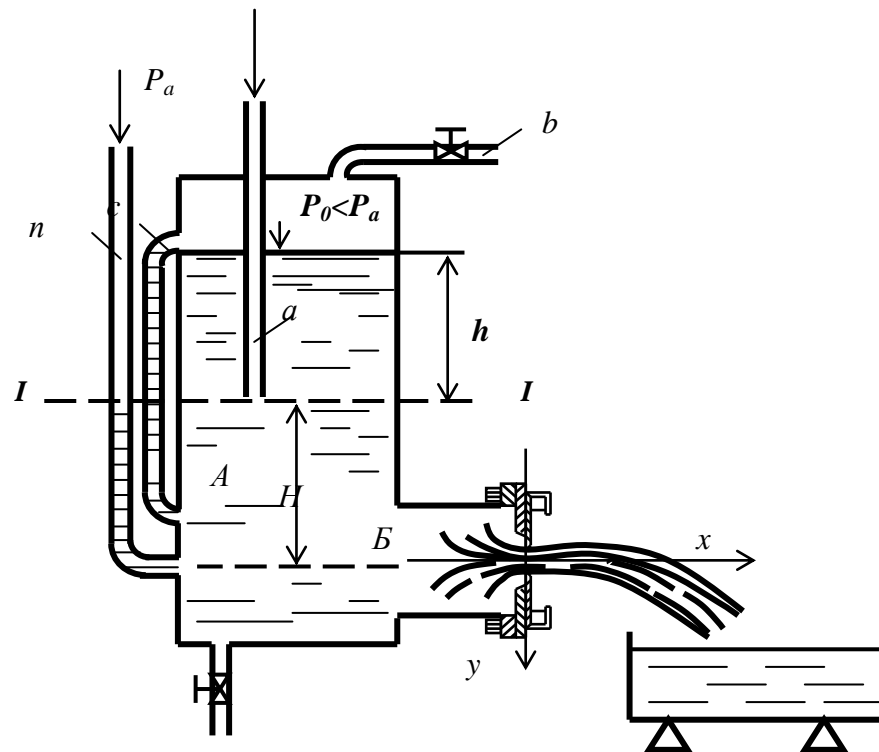


Рис. 1.11 Схема установки для дослідження витікання рідини з отворів

Установка Маріотта (рис. 1.11) складається з герметично закритої судини А, з водомірним склом С і п'єзометром П.

Трубка “а” з'єднує судину А з атмосферою. Перед початком досліду судина Маріотта за допомогою трубки “б” заповнюється водою до умовної позначки на водомірному склі С. Враховуючи що судина герметично замкнута, при витіканні рідини з бака А на вільній поверхні води зовнішній тиск буде менше атмосферного

$$P_0 < P_a$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Трубка “а”, що з'єднує судину А с атмосферою, створює постійний тиск на рівні I-I, де

$$P_a = P_0 + \gamma H$$

Витікання рідини при постійному напорі Н, а отже при усталеному русі рідини буде відбуватися до тих пір, поки рівень не знизиться до перетину I-I. При зниженні рівня води в баці А нижче перетину I-I витікання буде відбуватися при перемінному напорі.

У нижній частині судини А є отвір Б, що перекривається рухомою касетою з отворами різної форми і насадками. Переміщаючи касету у горизонтальній площині і розташовуючи відповідний отвір проти отвору в баці, можна здійснити витікання рідини через отвори в тонкій стінці круглого, трикутного перетинів, витікання через щілину і насадки.

У залежності від форми отвору поперечний переріз струменя, що випливає, буде формуватися по-різному. Так при витіканні через квадратний отвір форма струменя буде хрестоподібної конфігурації, а через трикутне - із трьома тонкими ребрами (рис.1.12). Слід зазначити, що при витіканні через квадратний перетин, струмінь за довжиною не зберігає хрестоподібної форми.

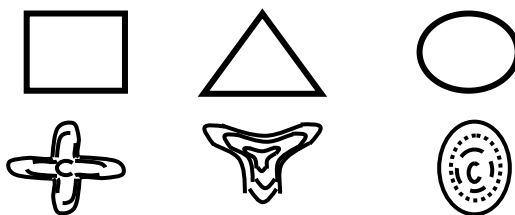


Рис. 1.12 Інверсія струменя

У стиснутому перетині струмінь здобуває форму восьмикутника, далі перетворюється в хрестоподібний і слідом за тим знову змінюється на восьмикутний перетин (рис. 1.12). Це явище називається інверсією струменя, що в основному викликана дією сил Коріоліса та поверхневого натягу, що особливо сильно виявляється при витіканні через некруглі перетини [10].

Висновки до розділу 1

Проведено огляд лабораторних стендів з гідравліки, який показав, що існує ряд виробників з різних країн, що виготовляють навчальні лабораторні стенди з гідравліки, проте їх вартість є значною. З'являється тенденція до створення стендів багатофункціональних, що забезпечували б виконання декількох робіт, також існують рішення стендів модульної побудови, з окремою насосною станцією, на яку встановлюються стенди або до якої підключаються.

Розглянувши існуюче лабораторне обладнання зроблено висновок, що воно загалом є функціональним, проте потребує оновлення, зокрема використання новітніх засобів вимірювання.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ В КУРСАХ ГІДРАВЛІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

Розглянемо деякі теоретичні відомості явищ, що досліджуються в ході лабораторних робіт з гідравліки, для уточнення вимог до стенду, що проектується.

2.1. Гідравлічні втрати напорів

Втрати питомої енергії (гідравлічні втрати напорів) залежать від форми, розмірів і шорсткості трубопроводу, від швидкості течії та в'язкості рідини, але не залежать від абсолютного значення тиску в рідині.

Як показують досліди, у багатьох випадках гідравлічні втрати приблизно пропорційні квадрату швидкості, тому в гідравліці застосовують такий загальний спосіб вираження гідравлічних втрат повного напорів

- у лінійних одиницях (м):

$$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g}$$

де v - середня по перерізу швидкість у трубопроводі, у якому встановлено місцевий опір:

- в одиницях тиску (Па):

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

$$\Delta p_m = h \rho g = \zeta_m \frac{v^2}{2} \rho$$

Формули містять безрозмірний коефіцієнт пропорційності ζ_m , названий коефіцієнтом опору, і швидкісний напір, що входить до рівняння Бернуллі.

Коефіцієнт опору ζ_m - відношення втраченого напору до швидкісного напору.

Гідравлічні втрати поділяють на два види: місцеві втрати і втрати на тертя.

Місцеві втрати енергії зумовлюються місцевими гідравлічними опорами, тобто місцевими змінами форми та розмірів трубопроводу, що спричиняють деформацію потоку. Під час протікання рідини через місцеві опори змінюється її швидкість і виникають вихроутворення.

Місцеві втрати енергії визначають за формулою Вейсбаха. Якщо діаметр трубопроводу, а отже, і швидкість у ньому змінюються по довжині, то за розрахункову швидкість зручніше брати більшу зі швидкостей, тобто ту, яка відповідає меншому діаметру трубопроводу. Кожний місцевий опір характеризується значенням коефіцієнта опору, що у багатьох випадках можна вважати сталим для форми місцевого опору.

Втрати на тертя, або втрати по довжині — це втрати енергії, які виникають у прямих трубах постійного перерізу, тобто за рівномірної течії, і зростають пропорційно довжині труби. Цей вид втрат зумовлюється внутрішнім тертям у рідині, а тому він виникає в трубах з як завгодно малою шорсткістю стінок.

Втрату напору на тертя можна виразити за загальною формулою для гідравлічних втрат тобто

$$h_{тер} = \zeta_{тер} \frac{v^2}{2g}$$

де $\zeta_{тер}$ визначається як

$$\zeta_{тер} = \lambda \frac{l}{d}$$

і формула набуває вигляд

$$h_{тер} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

або

$$\Delta p_{тер} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2} \rho$$

Формули (8.11), (8.12) називають формулами Дарсі.

Безрозмірний коефіцієнт λ умовимося називати коефіцієнтом втрат на тертя або коефіцієнтом опору тертя [11].

У загальному випадку сили тертя залежать від в'язкості рідини, шорсткості стінок, розміру труби, режиму руху рідини, тобто $\lambda = f(\text{Re}; \frac{\Delta}{d})$ де Re - число Рейнольдса; Δ - середня висота виступів шорсткості; Δ/d - відносна шорсткість.

При ламінарному режимі руху в'язкої рідини в круглій циліндричній трубі окремі шари рухаються паралельно один одному. Внутрішня поверхня труби, уздовж якої відбувається рух, покривається прилиплими до неї частками рідини. Швидкість руху рідини безпосередньо на стінці дорівнює нулю. Перший шар, що рухається, буде ковзати по поверхні, покритій прилиплими частками. Інші шари, рухаючись паралельно один одному, ковзають один по іншому.

У цьому випадку має місце тільки тертя між шарами рідини і ніби відсутнє тертя рідини на поверхні, що обмежує потік. Тому, при ламінарному русі рідини λ залежить від числа Рейнольдса і не залежить від шорсткості. У цьому випадку коефіцієнт λ визначається за формулою

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}.$$

При турбулентному режимі в безпосередній близькості від стінки утворюється дуже тонкий пристінний шар, що характеризується рухом, близьким до ламінарного, по якому як би ковзає ядро турбулентного потоку. Цей пристінний шар умовно називається ламінарною плівкою.

Характер шляхових втрат напорі при турбулентному режимі визначається співвідношеннями між товщиною ламінарної плівки δ і середньою висотою виступів шорсткості Δ .

При цьому можливі три випадки:

1. $\delta > \Delta$. Ламінарна плівка покриває виступи шорсткості. Турбулентне ядро потоку ніби ковзає по ламінарній плівці, тому втрати не залежать від шорсткості, і коефіцієнт λ є функцією тільки числа Re. Труба в цьому випадку називається гідравлічно гладкою.

Для гідравлічно гладких труб коефіцієнт λ може бути визначений за формулами

а) Блазіуса
$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}};$$

б) Конакова
$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg Re - 1,5)^2}.$$

2. $\delta \approx \Delta$. Товщина ламінарної плівки порівнянна з виступами шорсткості. Для цього випадку коефіцієнт λ залежить як від числа Re, так і від відносної шорсткості, тобто

$$\lambda = f\left(Re; \frac{\Delta}{d}\right).$$

Значення λ можна визначити за формулою Альтшуля

$$\lambda = 0,1 \cdot \left(\frac{1,46 \cdot \Delta}{d} - \frac{100}{Re} \right)^{0,25}.$$

3. $\delta < \lambda$. Ламінарна плівка практично зникає. Турбулентний потік стикається зі стінками труби. Коефіцієнт λ залежить тільки від відносної шорсткості. Труба в цьому випадку називається гідравлічно шорсткуватою. Коефіцієнт у цьому випадку може бути визначений за формулою Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2 \lg \alpha / \Delta)}$$

Варто пам'ятати, що поняття "гідравлічно гладкі і шорсткуваті труби" умовно і в залежності від ступеня турбулентності та ж сама труба може поводитися як гідравлічно гладка, або як гідравлічно шорсткувата [10].

Місцевим опором називається будь-яка зміна геометрії трубопроводу, що зумовлює деформацію потоку і як наслідок зміну його параметрів, таких як швидкість і тиск. Як правило, досить різке падіння лінії енергії відбувається на відносно короткій ділянці, втрати на якій в кілька разів перевищують утрати в рівномірному потоці на ділянці тієї ж довжини. У місцевих опорах гідравлічний опір викликається не тільки гальмувальною дією стінок, але і деформацією потоку примежевими поверхнями, з утворенням зон, заповнених вихровими масами рідини. При цьому зростає робота в'язкісних напружень, а великі вихори інтенсифікують процес дисипації енергії, що приводить до втрат напору.

Місцевими опорами можна вважати поворот трубопроводу з різними відносними радіусами згинання, раптове розширення трубопроводу, раптове звуження ділянки, поступове розширення, поступове звуження, вихід рідини із трубопроводу в резервуар, вхід рідини у трубопровід з резервуару, трійники, запірно- регулювальна арматура.

Під час протікання рідини через місцевий опір у потоці виникають деформації епюри швидкості, вихрові зони, які можуть поширюватися по потоці за місцевий опір і перед ним. Тому визначати величину сумарних втрат гідравлічного напору на місцевих опорах правомірно лише в тому випадку, якщо в місцевих опорах немає взаємного впливу. Це можливо тільки у випадку, коли вони розділені ділянками потоку зі стабілізованим розподілом швидкості руху. Якщо таких умов немає, то два або більше місцевих опорів варто розглядати як одне складне і для нього застосовують спеціальні розрахункові залежності.

Структура потоку в місцевих опорах різна. Однак із законів гідродинаміки можна отримати загальну формулу, що виражає втрати в будь-якому опорі. Другий підхід передбачає використання дослідних даних і емпіричних формул, за визначенням коефіцієнтів.

У практичних розрахунках всі втрати напору на місцевих опорах визначають за формулою Вейсбаха. Якщо необхідно визначити втрати тиску на ділянці з місцевим опором, то використовують формулу.

Значення коефіцієнта місцевого опору визначають експериментально, а в деяких випадках і теоретично.

2.1.1 Експериментальне визначення коефіцієнта місцевих опорів

Одним із способів та найбільш точним є метод модельного трубопроводу досить великої довжини, у центрі якого встановлений місцевий опір, що досліджується. Втрати питомої енергії такої системи визначають як різниця втрат напору в трубопроводі з місцевим опором і в трубопроводі без місцевого опору. Схему такої установки показано на рис. 8.6 [16].

Приєднання ртутних дифманометрів здійснюється в точках А, В, С, D. у яких розподіл швидкостей по «живих» перерізах можна вважати однаковим (коефіцієнти Коріоліса $\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C = \alpha_D$) [11].

Використовуючи диференціальний манометр 4, можна визначити значення

$$\left(z_A + \frac{p_A}{\rho g} \right) - \left(z_D + \frac{p_D}{\rho g} \right) = h_1 \left(\frac{(\rho_{pm} - \rho)g}{\rho g} \right),$$

Що дорівнює сумі втрат напору по довжині на ділянці А-D і в місцевому опорі 2:

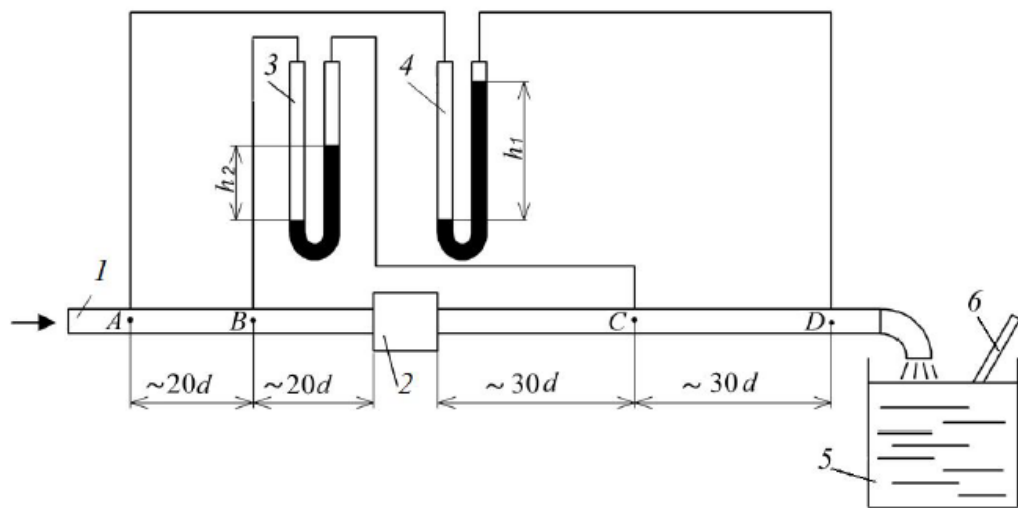


Рис. 2.1. Схема експериментальної установки для визначення коефіцієнта місцевого опору: 1 – трубопровід; 2 – місцевий опір; 3, 4 – диференціальні манометри; 5 – мірна посудина; 6 – термометр. [11]

Диференціальний манометр 3 дозволяє визначити значення

$$\left(z_B + \frac{p_B}{\rho g} \right) - \left(z_C + \frac{p_C}{\rho g} \right) = h_2 \left(\frac{(\rho_{pm} - \rho) g}{\rho g} \right),$$

що дорівнює сумі втрат напору по довжині на ділянці В-С, яка вдвічі менша від ділянки А-Д, і в місцевому опорі 2

$$h_2 \left(\frac{(\rho_{pm} - \rho) g}{\rho g} \right) = 0,5h_{тер} + h_m$$

З вищенаведених рівнянь знаходимо

$$h_m = (2h_2 - h_1) \frac{(\rho_{pm} - \rho)}{\rho}$$

Значення коефіцієнта місцевого опору:

$$\zeta_m = \frac{2gh_m}{v^2} = \frac{2g}{v^2} (2h_2 - h_1) \frac{(\rho_{pm} - \rho)}{\rho}$$

2.1.2 Раптове звуження трубопроводів

У разі раптового звуження труби «живий» переріз струменя спочатку зменшується, а потім розширюється (рис. 2.2). Причому площі «живого» перерізу струменя співвідносяться між собою в такий спосіб: $\omega_1 > \omega_2 > \omega_{зв}$

Втрати напору у випадку раптового звуження являють собою суму втрат енергії на стискання і подальше розширення. Загальне значення коефіцієнта опору залежить від ступеня стискання потоку в перерізі а -b:

$$\varepsilon = \frac{\omega_{зв}}{\omega_2}$$

Чим менше значення коефіцієнта стискання, тим менший переріз $\omega_{зв}$ а отже, збільшуються втрати напору у міру подальшого розширення потоку до перерізу ω_2 .

У практичних розрахунках у випадку раптових звужень зручніше задавати співвідношення площ перерізів потоку ω_1 і ω_2 , тому використовують формулу Ідельчика:

$$\zeta_{p.з.} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$$

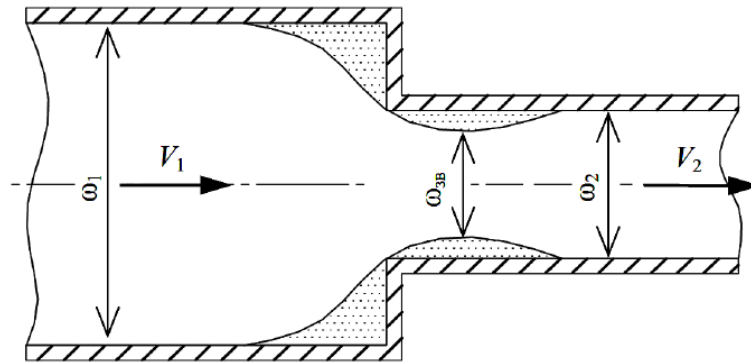


Рис. 2.2. Раптове звуження труби [11]

Значення коефіцієнта місцевого опору для різних співвідношень площ приведено в таблиці 2.1 [12].

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнта опору у випадку раптового звуження

ω_2/ω_1	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\xi_{p.з.}$	0,5	0,47	0,45	0,38	0,34	0,3	0,25	0,2	0,15	0,09

2.1.3. Визначення втрат напору в дифузорі

Для зниження втрат енергії потоку, спричинених раптовим розширенням труби, перехід від вузького перерізу до широкого виконують плавним. Такі переходи називають дифузорами.

На конфігурацію потоку впливають кут розкриття і довжина дифузора (рис. 2.3).

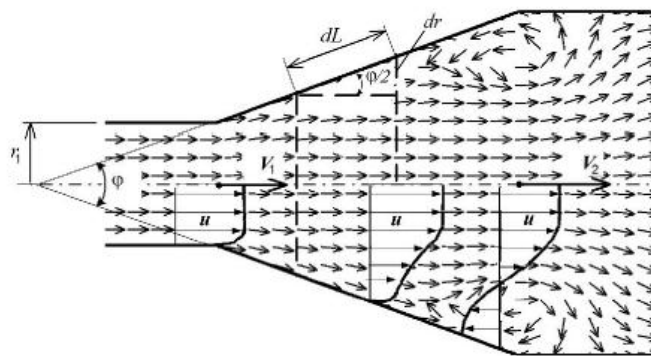


Рис. 2.3 Розрахункова схема дифузора [11]

У ньому зменшується середня швидкість V і, як випливає з рівняння Бернуллі, збільшується тиск. Це збільшення тиску гальмує частинки рухомої рідини поблизу стінок, де локальні швидкості завжди менші, ніж в осевій частині потоку. Шари рідини, поблизу до стінок, зупиняються або починають рухатися у зворотньому напрямку. Основний потік натрапляє на цей зворотний рух рідини, унаслідок чого виникають вихроутворення і відрив потоку від стінки. Тому найбільш сприятливі умови для течії рідини в дифузорі виникають, якщо кут розкриття не перевищує $8^\circ \dots 9^\circ$. В цьому випадку (як показує досвід) рідина тече плавно, не відриваючись від стінок. Коефіцієнт місцевого опору для дифузора можна записати у вигляді

$$\xi_{\text{диф}} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\varphi}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + k \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2$$

де λ – коефіцієнт тертя по довжині, φ – кут розкриття дифузора, n – ступінь розширення дифузора. Значення коефіцієнта k можна визначити за наближеною формулою Флигнера: $k = \sin \varphi$

2.1.4 Втрати енергії в конфузорі

Поступове звуження труби називається конфузором (рис. 2.4). Потік рідини в конфузорі супроводжується збільшенням швидкості і зниженням тиску; рідина рухається від більшого тиску до меншого, тому причин до виникнення вихроутворення і зривів потоку (як це відбувається в дифузорі) тут немає. У конфузорі є лише втрати на тертя. У зв'язку із цим опір конфузора завжди менший, ніж опір такого самого дифузора [11]:

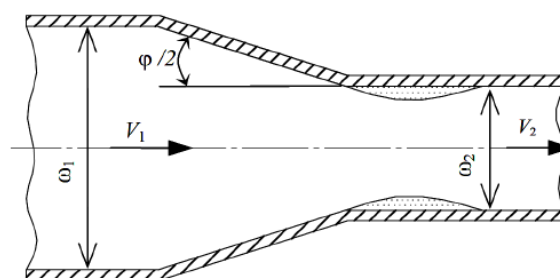


Рис. 2.4 Конфузор

$$h_{\text{конф}} = h_{\text{тер}} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\varphi}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{V_2^2}{2g},$$

де $n = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ – ступінь звуження конфузора [13]

2.2 Витікання з отворів і насадок

В інженерній практиці виконують завдання зі встановлення залежності між напором у резервуарі і витратою (або швидкістю) струменя, що витікає крізь отвір у стінці резервуара або через насадок (рис. 2.5). Струмінь може витікати в газовий простір (незатоплений струмінь) або в простір, затоплений рідиною (затоплений струмінь). Розрізняють витікання за змінного напору і за постійного напору. Залежно від типу розв'язуваних завдань застосовують різноманітні форми отворів і насадків. Розрізняють малий і великий отвори, які можуть бути як у тонкій, так і товстій стінці. Малим отвором будемо називати отвір вертикальний розмір якого (або діаметр d_0) значно менший від напору: $d_0 < 0,1H$ (рис. 2.5). Більшим називають отвір вертикальний розмір якого (або діаметр d_0) відповідає умові $d_0 \geq 0,1H$.

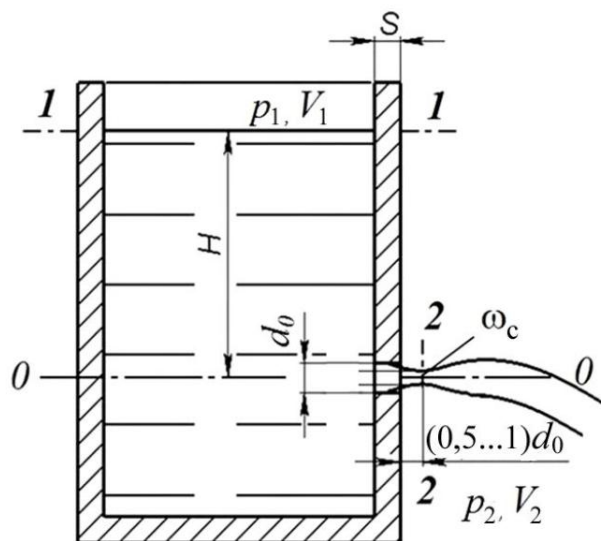


Рис. 2.5. Схема витікання крізь отвір

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Стінка називається тонкою, якщо вона не впливає на форму струменя і її товщина s не перевищує трикратного розміру отвору: $s < 3d_0$. Якщо товщина стінки s порівнянна з розмірами отвору і впливає на характер витікання, то така стінка називається товстою. При цьому виконується умова $s > 3d$. Струмінь, що витікає крізь малий отвір у тонкій стінці, плавно стискується, набуваючи циліндричної форми на відстані $0,5 \dots 1$ від діаметра отвору d_0 . На подальший рух струменя впливає сила тяжіння. Відношення площі «живого» перерізу струменя у стислому місці ω_c до площі отвору ω_0 показує ступінь стиснення струменя ε [11].

Скористаємося рівнянням Бернуллі, записаним для перетинів I-I - співпадаючого з вільною поверхнею рідини в резервуарі і II-II - співпадаючого зі стиснутим перетином струменя. Площина порівняння виберемо минаючої через центр ваги стиснутого перетину. Рівняння Бернуллі для даного випадку буде мати вигляд

$$H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 U_2^2}{2g} + \xi_{T.C.} \frac{U_2^2}{2g},$$

де H - висота положення перетину I-I над площиною порівняння 0-0. P_1 і P_2 - абсолютні тиски в перетинах I-I і II-II. V_1 і V_2 - середні швидкості руху рідини в перетинах I-I і II-II. $\xi_{T.C.} \frac{U_2^2}{2g}$ - втрати напору при витіканні через отвір у тонкій стінці. Приймаючи $U_1 = 0$ (ω_1 значно більше ω_2) і вирішуючи рівняння відносно U_2 одержимо

$$U_2 = \sqrt{\frac{2g(H + \frac{P_1 - P_2}{\gamma})}{\alpha_2 + \xi_{T.C.}}}$$

Назвемо $H + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = H_0$ - діючим напором. Приймаючи $\alpha_2 = 1$, назвемо

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{T.C.}}} = \varphi$$

- коефіцієнтом швидкості. Остаточнo одержимо:

$$U_2 = \phi \sqrt{2gH_0} ,$$

де U_2 дійсна швидкість руху рідини в стиснутому перетині U_g .

Розглядаючи випадок витікання ідеальної рідини, для якої $\xi_{T.C} = 0$ і $\phi = 1$, одержимо швидкість витікання, називану теоретичної,

$$V_T = \sqrt{2gH_0}$$

Порівнюючи вирази можна зробити висновок, що ϕ - коефіцієнт швидкості дорівнює відношенню швидкостей дійсної і теоретичної, тобто

$$\phi = \frac{U_g}{U_T}$$

Дійсна швидкість витікання U_g може бути визначена з рівняння

$$\text{вільного падіння струменя (рис.2.6)} \quad X = U_2 t ; \quad Y = \frac{gt^2}{2} ;$$

де X і Y - координати довільної точки струмені визначаються шляхом вимірювання під час дослідів.

$$\text{Тоді} \quad U_g = X \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

Витрата рідини визначається як добуток швидкості на площу живого перетину.

$$Q = \omega \cdot U$$

Підставляючи у формулу значення швидкості в стиснутому перетині і площу стиснутого перетину $\omega_{сж}$, виражену через площу отвору ω_0 тобто $\omega_{сж} = \omega_0 \epsilon$, одержимо

$$Q = \phi \sqrt{2gH_0} \epsilon \omega_0$$

назвемо $\phi \epsilon = \mu$

коефіцієнтом витрати. Тоді

$$Q = \mu \cdot \omega_0 \sqrt{2gH_0}$$

З міркувань, приведених вище, можна укласти, що

$$\mu = \frac{Q_g}{Q_T}$$

де Q_g - дійсна витрата - може бути визначена дослідним шляхом; Q_T - теоретична витрата - може бути обчислена за формулою, підставляючи в неї значення теоретичної швидкості. При витіканні малов'язких рідин через круглий малий отвір у тонкій стінці при повному зробленому стисканні середні значення розглянутих вище коефіцієнтів рівні:

$$\varepsilon=0,64; \quad \varphi=0,97;$$

$$\mu=0,62; \quad \xi=0,065.$$

Визначивши коефіцієнти швидкості φ і витрати μ дослідним шляхом, коефіцієнт стискання струменя можна визначити зі співвідношення

$$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}.$$

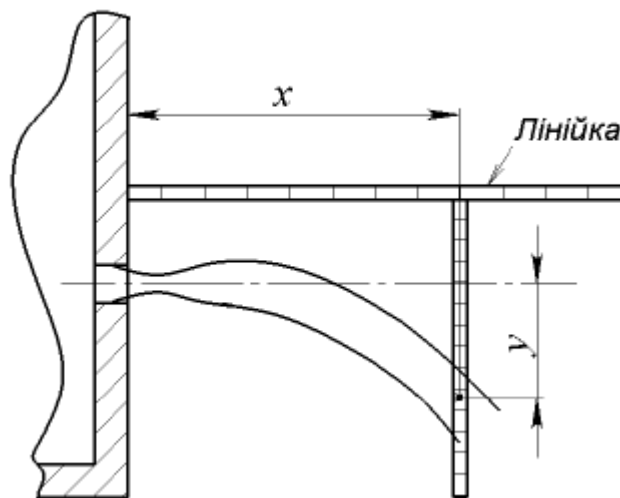


Рис. 2.6 Схема вимірювання координат струменя, що витікає

Висновки до розділу 2

Провівши аналіз існуючих стендів та теоретичний огляд можна зробити висновки, що стенд, що проектується для виконання лабораторних робіт по визначенню втрат напору та дослідженню витікання рідини з отворів, має

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

задовольняти наступним вимогам: мати ємність з запасом води, напірний бак з постійним рівнем, рідини регульований насос, прямолінійні ділянки трубопровода з відомою шорсткістю, місцеві опори (розширення, дифузори, конфузори), засоби вимірювання витрати, тиску, температури робочої рідини.

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

3.1. Розробка гідравлічної схеми стенду

Розглянувши аналогічні стенди, що є в продажу та наявне обладнання лабораторії гідравліки було запропоновано наступну схему універсального стенду для проведення лабораторних робіт по дослідженню витратомірів, втрат енергії по довжині та на місцевих опорах, витіканню рідини з отворів та насадок, визначенню характеристик насосу (Рис. 3.1).

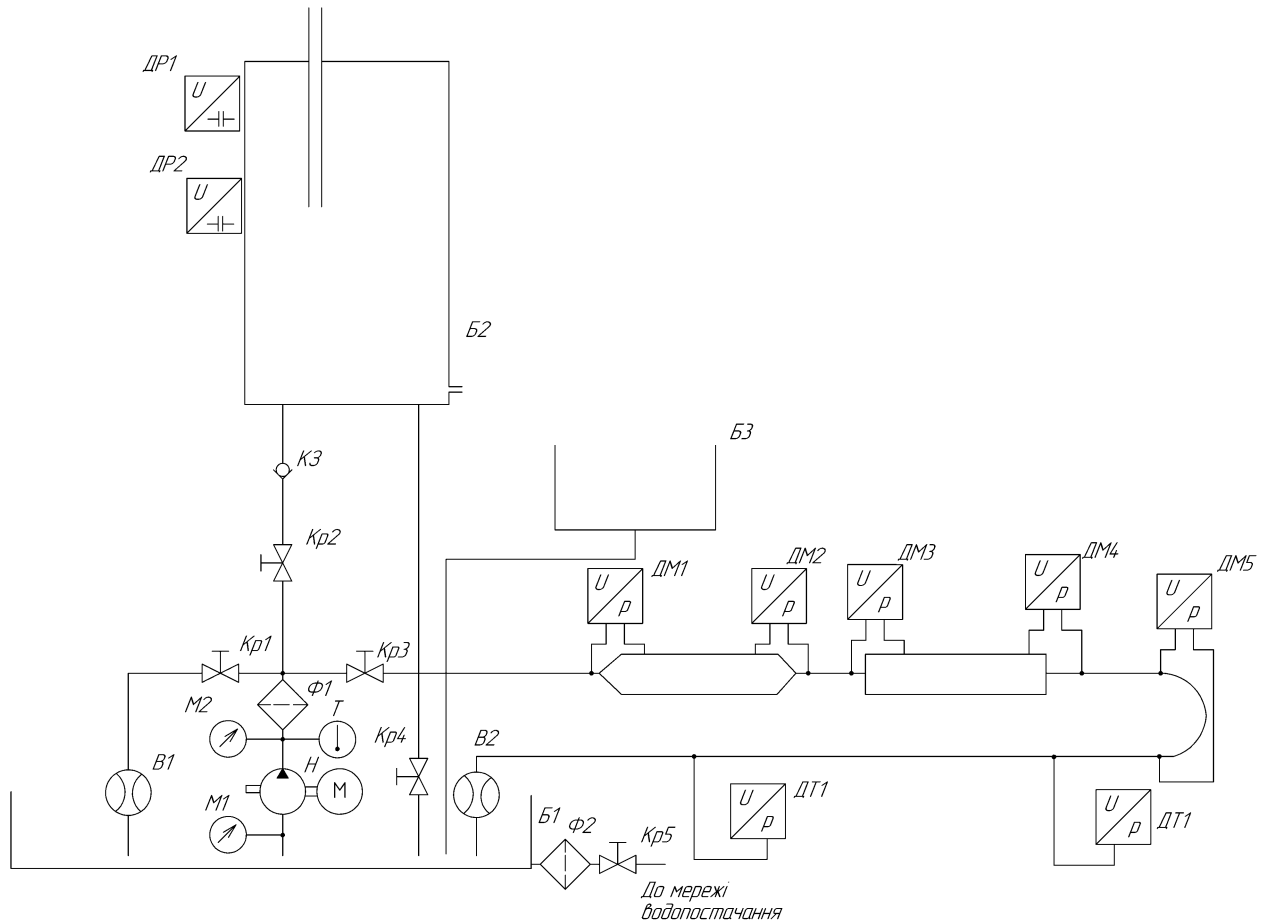


Рис. 3.1 Запропонована гідравлічна схема стенду

Схема складається з баку, в якому зберігається запас води (Б1), напірного баку (Б2) для дослідів по витіканню з отворів та насадок, і являє собою посудину Маріотта, для забезпечення сталого напору, зливного баку (Б3), відцентрового насоса, що забезпечує наповнення баку, створення потоку рідини для дослідження втрат енергії та вивчення витратомірів, і

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00 ПЗ

Лист

41

дослідження характеристик насоса. Для гнучкого керування стендом насос приводиться в дію двигуном з частотним керуванням.

Дослідна ділянка втрат напору побудована на основі існуючого трубопроводу з підключенням до нього сучасного вимірювального обладнання – дифманометрів (ДМ) та датчиків тиску (ДТ).

Кран Кр5 слугує для наповнення та зливу баку запасу води.

Перемикання режимів роботи стенду відбувається за рахунок відкриття та закриття кранів. При відкритому крані Кр1 насос працює на мале коло, при цьому є можливість зняти робочу характеристику насоса за даними манометрів М1 та М2 і витратоміра В1.

Для наповнення напірного баку (посудини Маріотта) відкривається кран Кр2, рівень води в баку може контролюватися датчиками рівня (ДР). Кр4 призначений для спорожнення баку Б2.

При відкритті крану Кр3 включається ділянка гідравлічних опорів та визначення втрат напору.

3.2. Гідравлічний розрахунок стенду

3.2.1. Розрахунок об'єму U-подібного трубопроводу

Гідравлічний стенд складається з елементів, які являють собою відрізки труби необхідної довжини та необхідних діаметрів.

Загальний об'єм трубопроводу гідравлічного стенду можна розрахувати:

$$V_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^{ni} V_i,$$

де $V_{\text{заг}}$ - загальний об'єм; V_i - об'єм відповідної ділянки трубопроводу.

Внутрішній об'єм фланців та труби зможемо розрахувати за наступною формулою:

$$V_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot l_i,$$

де d_i - діаметр окремої ділянки трубопроводу; l_i - довжина окремої ділянки трубопроводу.

$$V_i = \sum_{\substack{k=1 \\ z=1}} z \cdot V_{i,k},$$

де z - кількість повторюваних частин на ділянці; k - частина ділянки.

Розрахунок частини, яка має вигляд зрізаного конуса можна за допомогою наступної формули:

$$V_{i,k} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2),$$

де h - висота конуса; R - більший радіус (основа); r - менший радіус (вершина).

Нижче проведемо обчислення кожної частини.

Ділянка 1:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 0.015^2}{4} \cdot 8.1 = 0.0014 \text{ м}^3;$$

Ділянка 2:

Об'єм сегмента обчислимо шляхом множення довжини кола, що проходить через середню лінію згину, на площу поперечного перерізу.

Площа поперечного перерізу:

$$S_{2.1} = \frac{\pi \cdot 0.015^2}{4} = 0.00017 \text{ м}^2;$$

У нашому випадку розмір сегмента рівний чверті кола, тому загальну величину потрібно поділити на 4:

$$L_{2.1} = \frac{\pi \cdot 0.3}{4} = 0.235 \text{ м};$$

Далі отримаємо:

$$V_{2.1} = 0.00017 \cdot 0.235 = 0.000039 \text{ м}^3;$$

$$V_2 = 0.000039 \cdot 2 = 0.000079 \text{ м}^3;$$

Ділянка 3:

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 0.015^2}{4} \cdot 0.9 = 0.00015 \text{ м}^3;$$

Ділянка 4,6:

$$V_{4,6} = 2 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 0.0075 \cdot (0.015^2 + 0.043^2 + 0.043 + 0.015) \right) =$$

$$=0.00093 \text{ м}^3;$$

Ділянка 5:

$$V_5 = \frac{\pi \cdot 0.043^2}{4} \cdot 2.4 = 0.0034 \text{ м}^3;$$

Ділянка 7:

$$V_7 = \frac{\pi \cdot 0.015^2}{4} \cdot 0.95 = 0.000225 \text{ м}^3;$$

Ділянка 8:

$$V_8 = \frac{\pi \cdot 0.043^2}{4} \cdot 2.4 = 0.0034 \text{ м}^3;$$

Ділянка 9:

$$V_9 = \frac{\pi \cdot 0.015^2}{4} \cdot 2 = 0.00035 \text{ м}^3;$$

Загальний об'єм трубопроводу гідравлічного лабораторного стенду:

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 = 0.00035 + 0.0034 + 0.000225 + 0.0034 + 0.00093 + 0.00015 + 0.000079 + 0.0014 = 0.009934 \text{ м}^3.$$

Приймаємо об'єм 10 л.

Отже умовою стабільної роботи насоса буде ємність баку від 10 літрів. Другою умовою є заповнення напірного баку.

3.2.2. Гідравлічний розрахунок ділянки втрат напору

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{4Q_D / \pi v_{cp}},$$

де Q_D - витрата рідини на ділянці, що розраховується; v_{cp} - середня швидкість рідини.

Отримане значення округлюють до найближчого по ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 і ДЕРЖСТАНДАРТУ 8734-75.

За прийнятим діаметром визначається дійсна швидкість рідини, м/с:

$$v_{cp} = \frac{4 \cdot Q_T}{\pi \cdot d_T^2}.$$

Гідравлічні втрати в гідролініях складаються з втрат на гідравлічне тертя Δp_T , втрат у місцевих опорах Δp_M і втрат у гідроапаратах Δp_r .

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		44

Втрати тиску на тертя:

$$\Delta p_T = (0.5 \lambda l \rho v^2) / d_T,$$

де λ - коефіцієнт тертя; l - довжина ділянки; ρ - щільність рідини; v - дійсна середня швидкість рідини; d_T - діаметр труби або шланга.

Коефіцієнт тертя λ залежить від режиму течії рідини і визначається по числу Рейнольдса:

$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

де ν - кінематична в'язкість рідини.

При ламінарній течії рідини ($Re \leq 2300$), враховуючи можливості звуження і викривлення перерізу труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = 75 / Re.$$

При турбулентній течії ($Re \geq 2300$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольда і від шорсткості стінок каналу. Сталеві труби мають шорсткість

$\Delta = 0.03 \text{ мм}$, труби з кольорових металів вважають практично гладкими.

$$\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{Re}}.$$

При $Re \geq 10^5$ коефіцієнт тертя практично не залежить від Re і можна прийняти $\lambda = 0.02$.

Втрати на місцевих опорах визначимо за формулою:

$$\Delta p_M = 0.5 \rho \xi v^2,$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору.

При послідовному з'єднанні загальні втрати тиску являють собою суму втрат тиску на всіх ділянках:

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						45
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\Delta p_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{ni} \Delta p_i.$$

Розрахунок місцевих втрат на апаратах:

$$\Delta p_{ГА} = \Delta p_H \cdot \left(\frac{Q_d}{Q_H} \right)^2,$$

де Δp_H - втрата тиску на апараті при номінальній витраті (дані беруться з технічного паспорту відповідного елемента); Q_H - номінальна витрата робочої рідини.

Оскільки в складі стенду буде використовуватись готова ділянка трубопровода, приймаємо діаметр труб 15 мм та 43 мм. Задаємося швидкістю в початковій ділянці труби 3 м/с, та визначаємо витрату і необхідну подачу насоса

Щоб розрахувати витрату використовуємо формулу:

$$Q = V \cdot S;$$

V - швидкість води в трубопроводі, S - площа трубопровода.

Розраховуємо витрату:

$$Q = 3 \cdot 0.00017 = 0.00052 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

Знаходимо швидкість в товстій трубі (43 мм):

$$V = \frac{Q}{S_2};$$

$$V = \frac{0.00052}{0.0014} = 0.37 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

Визначаємо число Рейнольдса в ділянках трубопровода діаметром 15 та 43 мм:

$$Re_1 = \frac{3 \cdot 0.015}{1.02 \cdot 10^{-6}} = 44117.6$$

$$Re_2 = \frac{0.37 \cdot 0.043}{1.02 \cdot 10^{-6}} = 15598$$

Отримані значення свідчать про турбулентний потік в трубах, тому λ визначаємо як:

$$\lambda_1 = \frac{0.316}{\sqrt[4]{44117.6}} = 0.0218;$$

$$\lambda_2 = \frac{0.316}{\sqrt[4]{15598}} = 0.0282;$$

Визначаємо втрати тиску на тертя:

$$\Delta p_{T1} = \frac{(0.5 \cdot 0.0218 \cdot 8.1 \cdot 997 \cdot 3^2)}{0.015} = 52815 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T2} = \frac{(0.5 \cdot 0.0218 \cdot 0.2 \cdot 997 \cdot 3^2)}{0.015} = 1304 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T3} = \frac{(0.5 \cdot 0.0218 \cdot 0.9 \cdot 997 \cdot 3^2)}{0.015} = 5868 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T4} = \frac{(0.5 \cdot 0.0282 \cdot 2.52 \cdot 997 \cdot 0.37^2)}{0.043} = 112.8 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T5} = \frac{(0.5 \cdot 0.0218 \cdot 0.95 \cdot 997 \cdot 3^2)}{0.015} = 6194 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T6} = \frac{(0.5 \cdot 0.0282 \cdot 2.4 \cdot 997 \cdot 0.37^2)}{0.043} = 107 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{T7} = \frac{(0.5 \cdot 0.0218 \cdot 2 \cdot 997 \cdot 3^2)}{0.015} = 13040 \text{ Па};$$

Розрахуємо втрати на місцевих опорах:

1. Поворот

$$\Delta p_{\Pi} = 0.5 \cdot 0.2 \cdot 997 \cdot 3^2 = 897,3 \text{ Па};$$

2. Раптове розширення

$$\Delta p_{\text{р}} = 0.5 \cdot 0.75 \cdot 997 \cdot 3^2 = 3365 \text{ Па};$$

3. Раптове звуження

$$\Delta p_{\text{зв}} = 0.5 \cdot 0,4 \cdot 997 \cdot 3^2 = 1834 \text{ Па};$$

4. Дифузор

$$\Delta p_{\text{дф}} = 0,5 \cdot 18,79 \cdot 997 \cdot 0,37^2 = 1276 \text{ Па}$$

5. Конфузор

$$\Delta p_{\text{к}} = 0,5 \cdot 0,21 \cdot 997 \cdot 3^2 = 967 \text{ Па}$$

7. Фільтр

$$\Delta p_{\text{фТ}} = 10000 \cdot \left(\frac{0.00052}{0.00116} \right)^2 = 2000 \text{ Па};$$

Сумарні втрати тиску складають

$$\Delta p = \Delta p_{T1} + \Delta p_{T2} + \Delta p_{T3} + \Delta p_{T4} + \Delta p_{T5} + \Delta p_{T6} + \Delta p_{T7} + \Delta p_{\Pi} + \Delta p_{\text{р}} +$$

$$\Delta p_{\text{зв}} + \Delta p_{\text{дф}} + \Delta p_{\text{фТ}} = 52815 + 1304 + 5868 + 113 + 6194 + 107 + 13040 +$$

$$897 + 3365 + 1834 + 1276 + 967 + 2000 = 89780 \text{ Па}$$

3.3 Підбір обладнання для стенду

3.3.1 Вибір насоса

Згідно проведених розрахунків вибираємо насос Calpeda NMM 1/AE (Рис. 3.2).



Рис. 3.2 Відцентровий насос Calpeda NMM 1/AE [14]

Характеристики насоса

Макс. витрата (м³/год) 4.2

Макс. тиск (м.в.ст.) 22

робоча точка 4.2 м³ / год при 16.3 м.в.ст.

Потужність, (кВт) 0.37

Оберти за хвилину 2900

Напруга, (В) 220

Макс. темп. рідини (° C) 90

Вхідний патрубок (мм) 25

Вихідний патрубок (мм) 25

ДхШхВ (см) 26x17x21

Вага, кг) 8.7

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

48

3.3.2 Вибір допоміжного обладнання

Для вимірювання різниці тисків на місцевих опорах обираємо дифманометр 2 psi ($\pm 13,79$ кПа) WALCOM HT-1890 (Рис. 3.3)



Рис. 3.3 Дифманометр WALCOM HT-1890

Характеристики [15]:

- Точність: $\pm 0,3\%$ (при 25°C)
- Повторюваність : $\pm 0,2\%$ (макс $\pm 0,5\%$)
- Лінійність / гистерезис: $\pm 0,29\%$
- Максимальний тиск: 137,9 кПа
- Час відгуку: 0,5 с
- Дозволена температура експлуатації: $0..50^{\circ}\text{C}$
- Дозволена температура зберігання: $-10..60^{\circ}\text{C}$
- Живлення: 9V
- Габаритні розміри: 162x55x35 мм
- Діапазони вимірювань / дискретність:
 - $\pm 13,79$ кПа / 0,01 кПа
 - $\pm 0,137$ бар / 0,001 бар
 - $\pm 137,8$ мбар / 0,1 мбар
 - $\pm 103,4$ мм рт.ст. / 0,1 мм рт.ст.

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

- $\pm 140,7$ см вод.ст. / $0,1$ см вод.ст.
- $\pm 0,140$ кг / кв.см / $0,001$ кг / кв.см

Вимірювання тиску на ділянці втрат по довжині виконується датчиками тиску типу ВСТ110, ВСТ22 0-10 bar 4-20мА (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Датчик тиску ВСТ110

Основні характеристики [16]

Тип виходу Транзистор

Приєднання $G\frac{1}{4}$ " зовнішнє

Максимальна температура робочого середовища 90 град.

Виробник Атек

Матеріал корпусу Метал

Контрольована середа Вода, повітря

Користувацькі характеристики

Приєднання $G\frac{1}{4}$ " зовнішнє, $G\frac{1}{2}$ "

Контроль рівня води в напірному баку здійснюється датчиками рівня типу Elko Ep SHR-2 [17] (рис. 3.5).



Рис. 3.5 Датчик рівня

Технічний опис Elko-Ep SHR-2

Виробник: Elko-Ep

Країна: Чехія

Країна виробництва: Чехія

Тип пристрою: Датчик рівня

Тип датчика: Електричний

Тип застосовуваного датчика: Кондуктометричний

Функції реле: відкачування / докачування

Клапан зворотній Ду 15 "1/2" [18] (рис. 3.6)



Рис. 3.6 Зворотній клапан

Призначення: запобігання протоки рідко або газоподібного робочого середовища в зворотному напрямку

Тиск max / min, bar: 16-18 / 0,04

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						51
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Тип з'єднання: муфтове (внутрішня трубна різьба)

Ущільнення клапана: NBR

Матеріал: латунь

Вага, кг: 0,26

Вимірювання тиску на всмоктуванні насоса здійснюється мановакуумметром МТ-3У-А -100...60 кПа кл.т. 1,0 [19] (рис. 3.7)

Характеристики

Назва Мановакуумметр МТ-3У-А -100 ... 60 кПа кл.т. 1,0

Бренд APC-Теплоконтроль

Країна виробництва Україна

Тип приладу Показує

Діаметр ф 100 мм

Діапазон вимірювань -100 ... 60 кПа

Матеріал корпусу Сталь

приєднання Радіальне

різьба М20х1,5

Ступінь захисту IP40

Клас точності 1,0

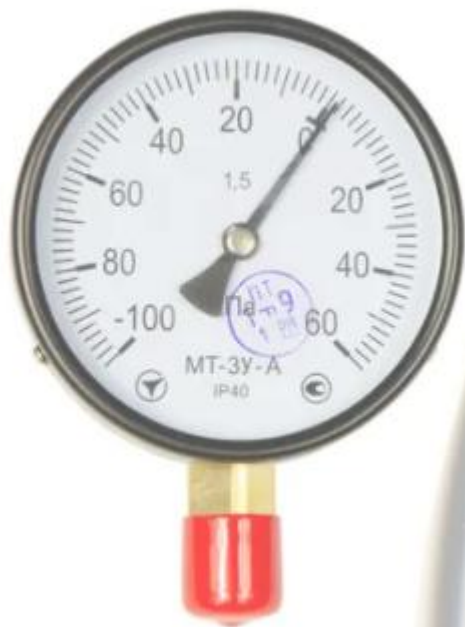


Рис. 3.7 Мановакуумметр МТ-3У-А -100...60 кПа кл.т. 1,0

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

52

Для вимірювання температури робочої рідини використовується термометр CEWAL 91646052 (рис. 3.8)



Рис. 3.8 Термометр CEWAL 91646052

Вертикальні термометри CEWAL призначені для систем опалення, кондиціонування повітря і холодильних систем, котлів, обігрівачів, і іншого опалювального і холодильного устаткування. Термометри CEWAL виробляються відповідно до стандарту I.S.P.E.S.L.

Корпус термометрів виконаний з міцного пластику. Підключення - латунний 9 мм шток з нарізним сполученням 1/2 ". Скло зроблено з міцного акрилу, алюмінієвий шкала забарвлена термостійкою фарбою. Механізм: біметалева спіраль (2 клас точності згідно з UNI EN 13190: 2003).

Фільтр сітчастий латунний Valtec VT 192 Ду 15 [20] (рис. 3.9)



Рис. 3.9 Фільтр Valtec VT 192 Ду 15

Технічні характеристики фільтра

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

53

Тип фільтра сітчастий
 Тип очищення для грубої очистки
 Приєднання муфтове
 Номінальний діаметр DN (Ду) 15 мм
 Діаметр в дюймах 1/2"
 Максимальний тиск Р_у 20 бар
 Матеріал корпусу латунь
 Марка матеріалу корпусу латунь CW617N
 Монтажна довжина 54 мм
 Висота 40 мм
 Фільтруючий елемент сітка
 Матеріал фільтруючого елемента нержавіюча сталь
 Розмір осередків сита 500 мкм
 Максимальна температура робочого середовища 150°C
 Робоче середовище вода, гаряча вода, пар, нейтральне середовище
 Вага 0,131 кг

Керування потоком рідини в стенді здійснюється кульовими муфтовими кранами Genebre 3028 Ду 15 (рис. 3.10)



Рис. 3.10 Кран Genebre 3028 Ду 15

Характеристики

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

54

Маркування Genebre 3028
 Приєднання муфтове
 Номінальний діаметр DN (Ду) 15 мм
 Діаметр проходу d 14 мм
 Діаметр в дюймах 1/2"
 Номінальний тиск PN (Py) 25 бар
 Тип проходу стандартнопрохідний (звужений)
 Різьба на крані внутрішня-внутрішня
 Корпус крана двоскладовий
 Матеріал корпусу латунь
 Марка матеріалу корпусу латунь CW617N
 Монтажна довжина 44 мм
 Ущільнення кулі PTFE (фторопласт)
 Максимальна температура робочого середовища 110°C
 Робоче середовище вода, гаряча вода, нейтральне середовище
 Тип крана двоходовий
 Особливість крана з ручкою важелем
 Керування ручне
 Вага 0,13 кг

Витрата рідини вимірюється витратоміром YF-S201 (рис. 3.11)



Рис. 3.11 Витратомір YF-S201

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

55

Модуль витратоміра, у якому перебувають лопаті, що обертаються під напором води. Модуль працює завдяки датчику Холла, що видає імпульс при кожному обертанні лопатей. Датчик Холла герметично відокремлений від води і лопатей, так що не варто побоюватися протікання.

Датчик витрати води YF-S201 складається з пластикового корпусу, водяного ротора з магнітами і датчика Холла. Швидкість обертання ротора прямо пропорційна швидкості водяного потоку. Чим вище швидкість, тим частіше магніти проходить поруч з датчиком Холла, тим більше імпульсів на інформаційному виведення датчика.

Сенсор генерує 450 імпульсів на 1 літр. Таким чином, чутливість сенсора становить приблизно 2,2 мілілітра. Датчик моделі YF-S201 призначений для вимірювання об'єму проходить рідини в діапазоні від 1 до 30 літрів в хвилину при тиску не більше 1,75 МПа.

Характеристики:

Робоча напруга: від 5 до 18 В DC

Максимальний струм: 15мА 5В

Тип виходу: 5V TTL

Діапазон роботи датчика: від 1 до 30 л / хв

Діапазон робочих температур: від -25 до + 80 °C

Точність: $\pm 10\%$

Максимальний тиск води: 2,0 МПа

Вихідний робочий цикл: 50% + -10%

Імпульси на літр: 450

Довговічність: мінімум 300000 циклів

Довжина кабелю: 15 см

Діаметр: 1/2 "з'єднання труб, 0.78" зовнішній діаметр, 1/2 "діаметр різьблення

Опір ізоляції $\geq 100\text{МОм}$

Також для вимірювання витрати застосовано ротаметр LZS 15 (рис. 3.12)

Характеристики

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						56
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Призначення Вимірювальний прилад

Температура води, °C 55

Діаметр підключень, дюйм 1/2 "в / р

Витрата, л / год 10 - 100

Робочий тиск, МПа 0,4

Похибка,% 4



Рис. 3.12 Ротаметр LZS 15

Керування частотою обертання насоса забезпечується частотним перетворювачем (інвертором) CMF110 - 0,55 кВт ПО 4-07 (рис. 3.13)

Характеристики пристрою [21]:

Параметри мережі живлення: 1ф х ~ 200 ... 250VAC, 45 - 66 Гц

Параметри вихідних ланцюгів: 3ф х 0 ... 242VAC, 1..800 Гц

Перемикається частота управління силовими ключами: 3/6/9/12 кГц з векторної модуляцією

Скалярний U / f режим управління двигуном з трьома різними кривими залежності (лінійна / квадратична / коренева)

Режим гальмування двигуна постійним струмом

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

57

Охолодження за допомогою природного конвективного теплообміну між радіатором і навколишнім середовищем

2 аналогових, масштабованих входу: 0 ... 10В обидва або 0 ... 20мА один з двох входів

6 програмованих гальванічески розділених цифрових входів: 0 / 20..24VDC, $R_{in} > 4\text{ком}$

1 програмований аналогово-дискретний вихід: 0 ... 1mA / 2A 24VDC

1 програмований релейний вихід: 250VAC / 10A

Підтримка комунікаційного модуля інтерфейсу зв'язку з RS485 з використанням протоколу ModBus RTU на швидкостях 4800/9600/19200/38400/56000/115200 біт / с дозволить виконати інтегрування перетворювача в різні АСУ ТП

Вбудований ПІД - регулятор при наявності зворотного зв'язку від датчика забезпечить підтримку заданого рівня тиску, температури, ваги та ін.

Робота на 8-ми попередньо встановлених частотах з можливістю перемикавання трьома цифровими входами

Ручний / Автоматичний режими роботи. А / В - дві перемикаються, програмовані групи управління двигуном і завдання частоти

Вбудована функція лічильника / шт для роботи з протягуючими, упаковують і іншими механізмами.

В процесі роботи є можливість контролю основних параметрів перетворювача, що відображаються на передній панелі:

- заданої частоти обертання в Гц або об / хв
- завдання ПІД регулятора в%
- споживаний двигуном струм
- температура перетворювача в °C
- напруга на шині постійного струму
- призначений для користувача програмований параметр (вихідна на двигун частота, вихідна напруга, що масштабується, призначений для користувача параметр і ін.)

Для забезпечення безпечної роботи в перетворювачі реалізовані захисти від:

- перенапруження
- зниженої напруги

- короткого замикання
- перевантаження двигуна по струму
- роботи двигуна від двох фаз
- перегріву перетворювача
- втрати зв'язку з RS485



Рис. 3.13 Інвертор CMF110 - 0,55 кВт ПО 4-07

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

59

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

4.1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вихідним документом є її креслення (рис.4.1). Технологи повинні проконтролювати робоче креслення деталі, згідно ГОСТ 14.206-73.

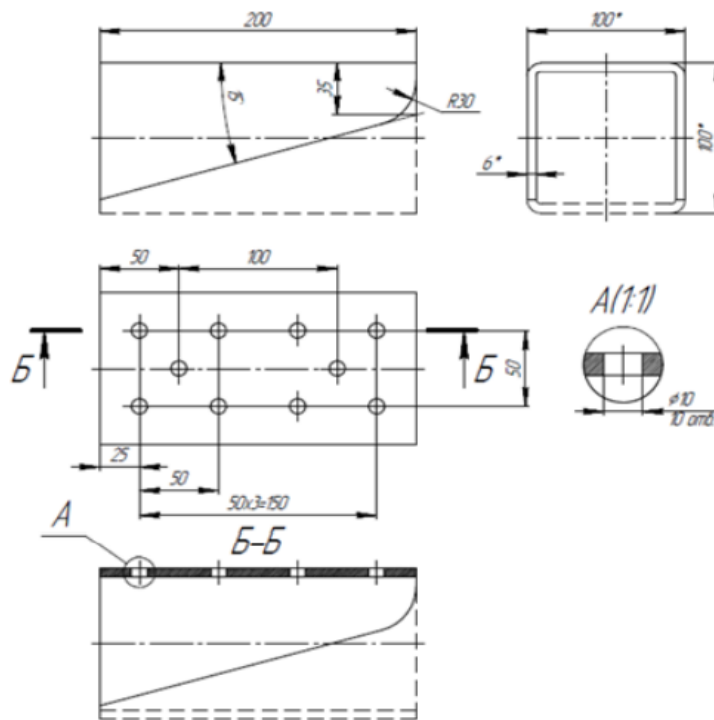


Рис.4.1. Креслення деталі

У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі.

Проаналізувавши креслення можна сказати, що на кресленні є всі необхідні розміри для виготовлення деталі невказана шорсткість та шорсткість усіх поверхонь деталі позначена відповідно до ГОСТ 2789-73. Допуски та відхилення розмірів наведено відповідно до ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

60

4.2 Вибір заготовки

Важливим напрямком у машинобудуванні є вибір форми заготовки, що дають найменші технологічні відходи. Безупинне підвищення точності заготовок і наближення їх форм до форми деталі різко скорочує галузь застосування різних методів обробки і скорочує відходи металу в стружку.

В даному випадку використовуємо Трубу $100 \times 100 \times 6$ ГОСТ 8639 – 82
з
10 ГОСТ 13663 – 86

мінімально можливою довжиною виготовлення, яка становить
З відповідної довжини ми зможемо отримати 20 заготовок.

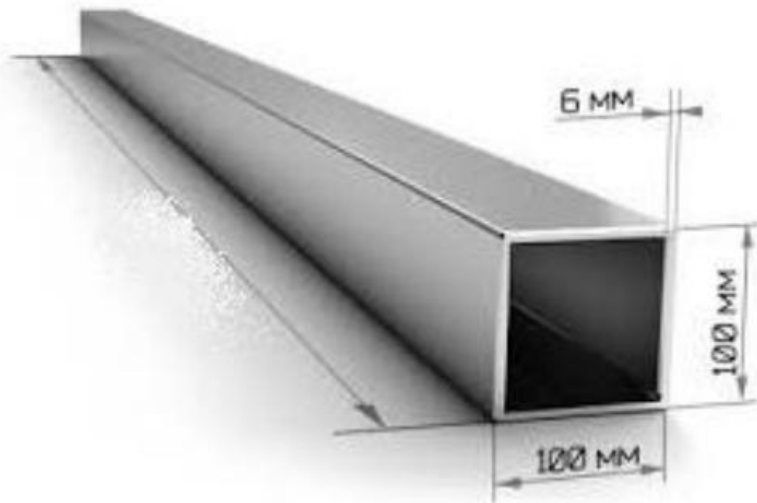


Рис.4.2. Сортамент труби

4.3 Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту

Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту проводиться виходячи з типу виробництва. У даному випадку тип виробництва – одиничний. Одиничне виробництво характеризується застосуванням універсального обладнання (з розташуванням його в цехах за типами

станків), універсальної оснастки, універсального робочого та вимірювального інструменту, які забезпечують виготовлення виробів порівняно широкої номенклатури.

Використання обладнання за часом має щільний характер: на одному верстаті виконуються декілька операцій і часто проводиться обробка деталей різних конструкцій і з різних матеріалів.

Пристосування для обробки деталей на верстатах мають універсальний характер, тобто можуть бути використані в різних випадках. Спеціальні пристосування не застосовують або застосовують рідко, тому значні витрати на їх виготовлення економічно не виправдовуються.

Необхідний при цьому виді виробництва ріжучий інструмент також повинен бути універсальним, тому що через розмаїття оброблюваних деталей застосування спеціального інструменту економічно не доцільно.

Таким чином, виходячи із зазначених вище рекомендацій, вибираємо наступне обладнання: стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD (рис.4.3) та вертикальнофрезерний станок HAAS UMC-750 (рис.4.4).



Рис.4.3. Стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD [25]



Рис.4.4. Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 [26]

4.4 Вибір типового технологічного процесу

Технологічний процес створення даної деталі є досить простим і вимагає всього лиш проведення 6-ти послідовних операцій. Проте при створенні технологічних процесів варто пам'ятати, що відповідний рівень точності пристроїв чи обладнання спричиняють похибки відхилення форми обраної деталі.

Загалом же, технологічний процес складається з наступних, послідовно проведених, операцій:

1. Операція 005 – Заготівельна.

Обладнання: Стрічкова пила FDB Maschinen SG 220 HD. Дія: відрізати заготовку довжиною 200 мм.

На рис.4.5 зображена операція 005.

2. Операція 010 – Цековка.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

63

Різальний інструмент: Свердло розточне NC spot drills HSS-E.

Дія: створення канавок для подальшого свердління, діаметр 6 мм, знімання 0.14 мм/об.

На рис.4.6 зображена операція 010.

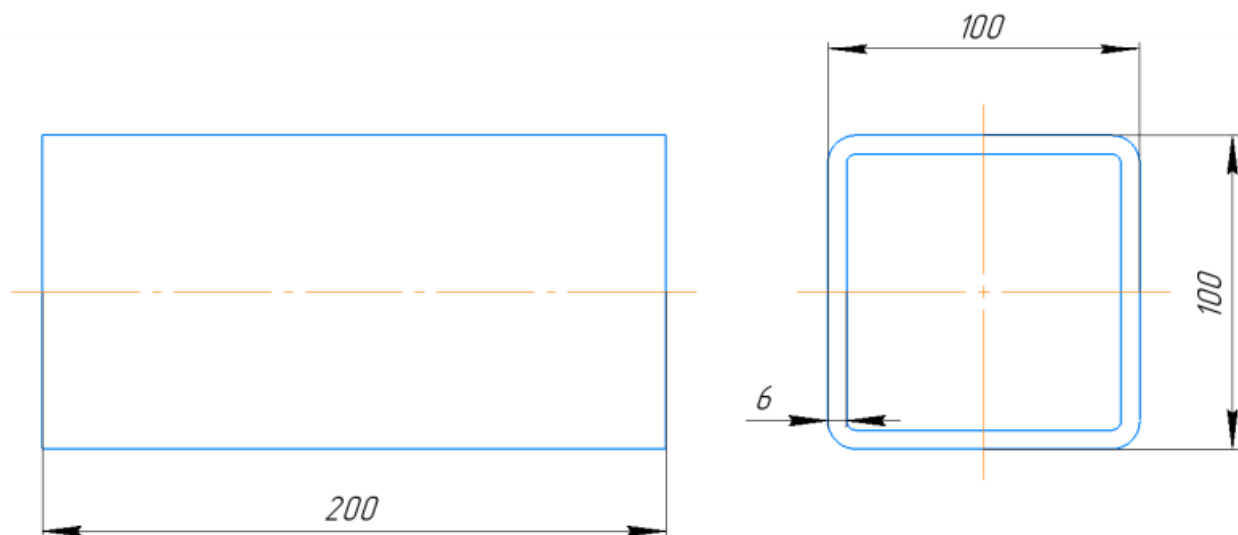


Рис.4.5. Операція 005

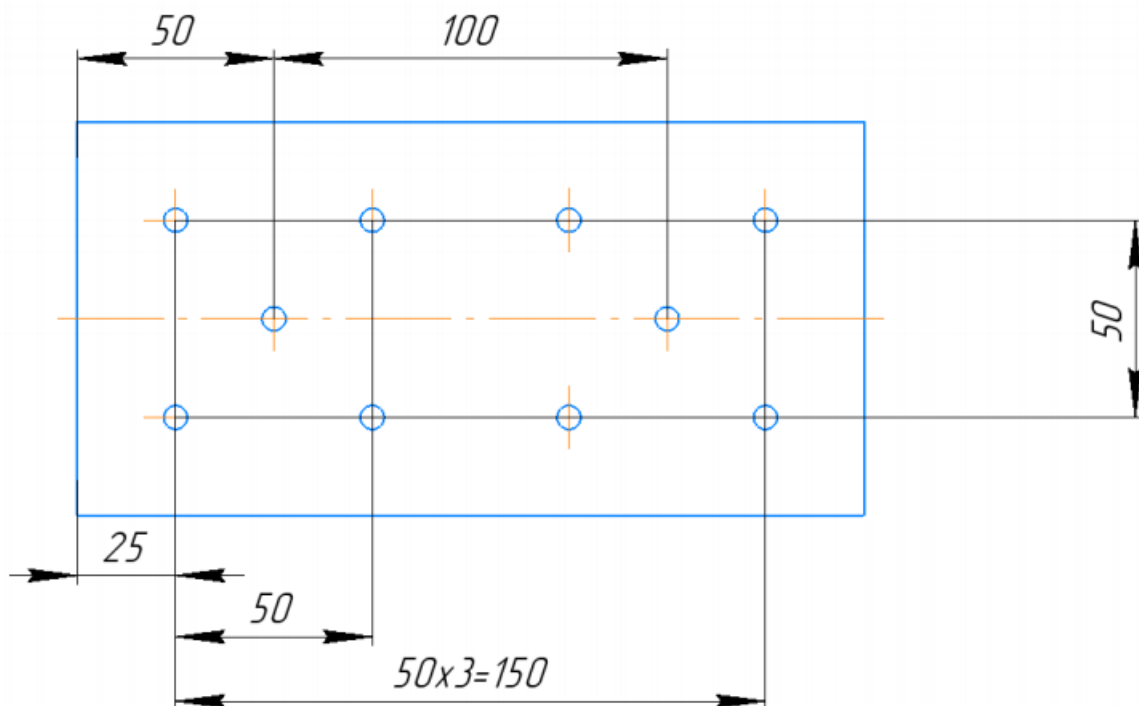


Рис.4.6. Операція 010

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

64

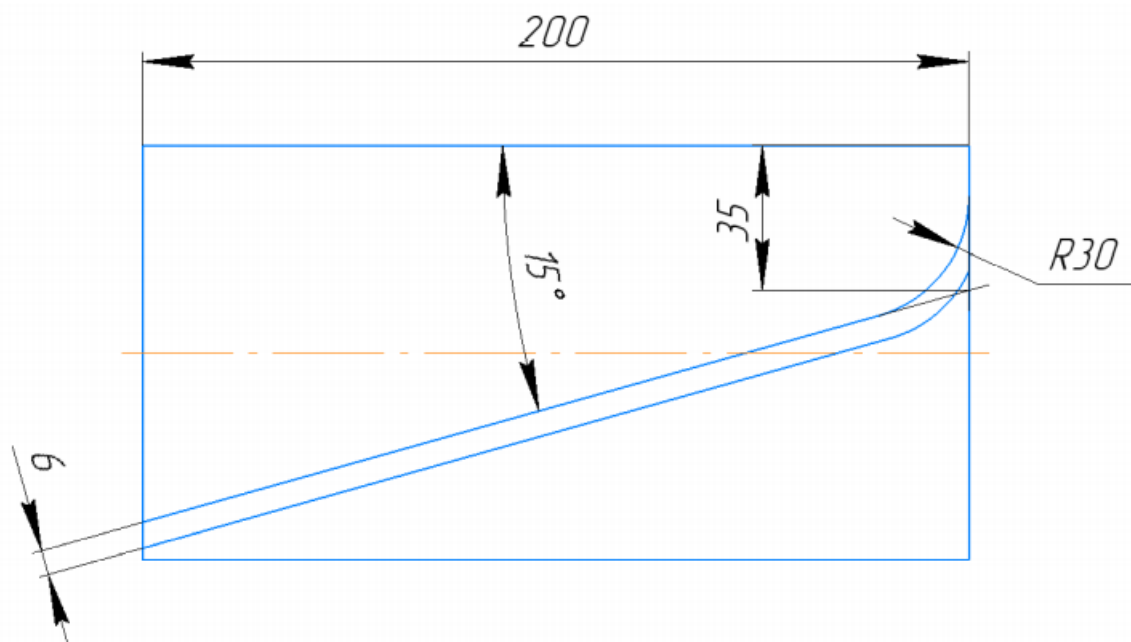


Рис.4.8. Операція 020

5. Операція 025 – Фрезерування.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.

Різальний інструмент: Фреза ATORN End milling cutters.

Дія: свердління отворів, діаметр 6 мм, знімання 0.008 мм/об. На рис.4.9 зображена операція 025.

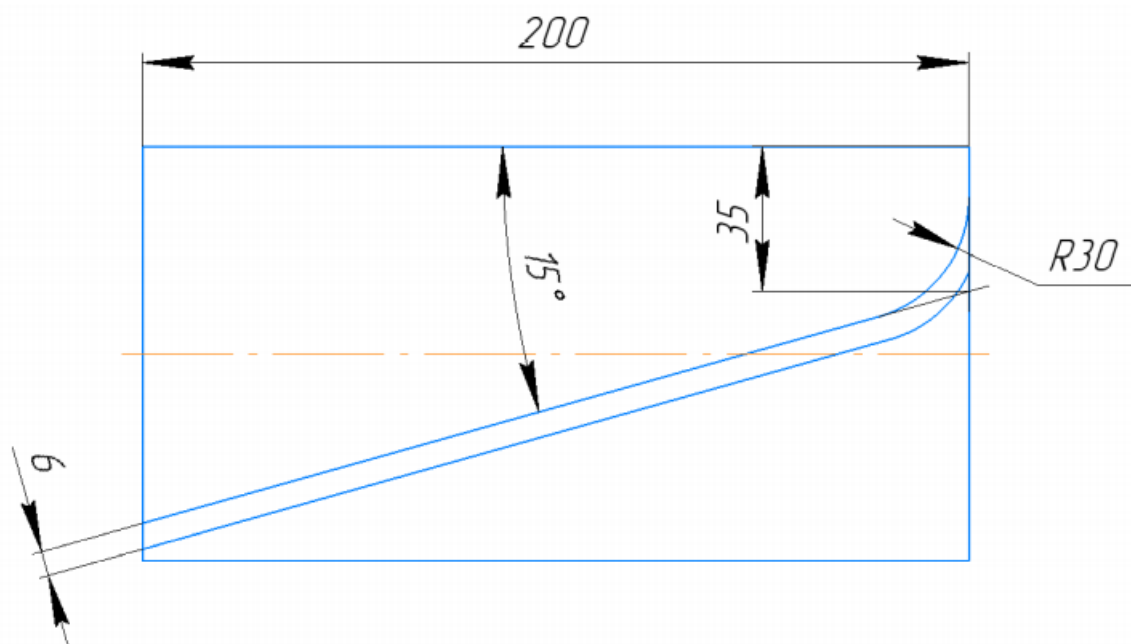


Рис.4.9. Операція 025

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

66

6. Операція 030 – Зенкування.

Після попередніх операцій, у результаті фрезерування наша заготовка розділиться на дві частини, саму деталь і відходи. Прибравши відфрезеровану частину, яка від'єдналася, притуплюємо гострі кромки.

Обладнання: Вертикально фрезерний станок HAAS UMC-750 з ЧПК.
Інструмент: Зенковка ATORN Taper and deburring countersing.

Дія: свердління отворів, діаметр 5 мм, знімання 0.04 мм/об. Вигляд отриманої деталі можемо побачити на рис.4.10.

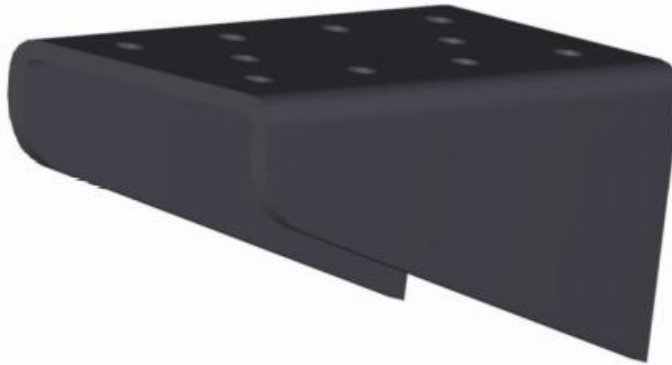


Рис.4.10. Упор

4.4. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Виконані всі необхідні заходи, починаючи з читання креслення і закінчуючи послідовним переліком необхідних операцій для створення упора. Здійснили підбір всіх потрібних ріжучих інструментів. В кінцевому результаті отримали готову деталь.

Виходячи із трудоемкості та кількості операцій можемо оцінити час виготовлення партії деталей (20 шт), який буде становити 380 хвилин, а вартість разом з купівлею інструмента і орендою обладнання – 15000 грн

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ

Лист

67

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Питання організації охорони праці, пожежної безпеки, дотримання санітарно-гігієнічних норм та режиму роботи дуже важливі при розгортанні, модернізації лабораторних стендів в сфері гідравліки. Підготовка спеціалістів в області гідравліки є надзвичайно важливою, оскільки сучасне виробництво важко уявити без використання гідравлічних насосів, судів, циліндрів, тощо. На даний момент часу системи моніторингу гідравлічних процесів в машинобудівному обладнанні не можуть на 100% повноцінно контролювати ситуацію на експериментальних стендах. Як не крути, лише людина може разом із необхідним обладнанням детально контролювати процес роботи експериментальних лабораторних стендів та уникати негативні наслідки, у вигляді порушення роботи, аварій обладнання та надзвичайних ситуацій. Саме через це важливо приділяти значну увагу персоналу, що проводить підготовку робочих місць на лабораторних стендах до проведення робіт, а також персоналу який експлуатує даний стенд.

Забезпечення охорони праці є одним із невід'ємних факторів роботи, особливо роботи за комп'ютером, враховуючи вимоги міжнародних стандартів ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги», ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування, та ISO 45001 2018 «Системи управління охорони здоров'я та безпеки праці. Вимоги та настанови щодо застосування». Умовно кажучи - заходи з охорони праці повинні бути такі безпечні, щоб на робочому місці не могла постраждати навіть дитина. Так як дипломну роботу, темою якої є розробка навчального стенда було виконано за ПК розташований на четвертому поверсі дванадцяти поверхової житлової споруди, необхідно звернути увагу на такі небезпечні та шкідливі фактори, як електромагнітні випромінювання радіочастот, недостатньо сприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітлення робочого місця, є вимушена поза,

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		68

зорове навантаження, нервово-емоційне напруження, небезпека ураження струмом, пожежі тощо ,згідно [26] «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і «Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи екранними пристроями», затверджених наказом Мінсоцполітики України від 14.02.2018 №207.

Робота на ПК призводить до підвищення рівня напруженості самого трудового процесу. Окрім цього, на користувача, що працює за ПК, постійно діють різноманітні фізичні фактори (як приклад, у результаті діяльності спостерігається виникнення активних часток після іонізації повітря при роботі комп'ютера). Тема моєї дипломної роботи є розробка навчального стенда — Модернізація експериментального лабораторного стенду для дослідження героторних насосів, необхідно звернути увагу на такі небезпечні та шкідливі фактори- недостатньо сприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітлення робочого місця, зорове навантаження, небезпека ураження струмом, пожежі тощо. Робота на ПК призводить до підвищення рівня напруженості самого трудового процесу. Неправильно організоване робоче місце у результаті діяльності призводить до загальної чи локальної напруги різних груп м'язів, тулуба, кінцівок, скривлення хребта і розвитку остеохондрозу.

5.2 Характеристики приміщення, де проходить робота зі стендом

Я розмістив експериментальний гідравлічний лабораторний стенд в лабораторії №19 з параметрами: ширина – 4 м, довжина – 6 м, висота – 2,5 м. Отже, можна дійти до висновку, що розміри приміщення відповідають санітарним нормам повністю. Будівля та приміщення, де розміщені робочі місця, відповідають вимогам нормативно-технічної та експлуатаційної документації виробника персональних комп'ютерів [6] та Правил. Будівлі та приміщення мають другий ступінь вогнестійкості. Для всіх приміщень, де знаходяться робочі місця, визначено клас зони згідно з [7]. Відповідне

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		69

позначення нанесено на входних дверях кожного приміщення. Для внутрішнього оздоблення приміщення використано дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття стелі 0,7, стін 0,5. Покриття підлоги є матовим з коефіцієнтом відбиття 0,3. По периметру стенду облаштовані захисні екрани з попереджувальними плакатами. Поверхня підлоги рівна, неслизька, з антистатичними властивостям, вкрита діелектричними ковриками.. Вологе прибирання виконується щоденно.

5.3 Аналіз мікрокліматичних умов

У даному випадку робота за ПК є основною, тому її необхідно забезпечити оптимальними параметрами мікроклімату. З ціллю створення цих параметрів проводиться провітрювання приміщення за допомогою вікна та вентиляція повітря за допомогою кондиціонера. Завдяки цьому користувач ПК здатен отримувати чисте повітря без забруднених частинок та нормально працювати. у відповідності до [24].

Проведемо аналіз оптимальних та фактичних параметрів мікроклімату, нашого приміщення, враховуючи що робота на ПК відноситься до категорії Легка Іа.

(Легка Іа - легкі фізичні роботи при яких витрата енергії становить 141-175 Вт або 90-120 ккал/год)

Табл. 5.1 Таблиця оптимальних та фактичних параметрів мікроклімату.

Період року	Параметр мікроклімату	Значення	
		Оптимальне	Фактичне
Теплий	Температура повітря в приміщенні, °С	23-25	24-26
	Відносна вологість,%	40-60	54
	Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1
Холодний	Температура повітря в приміщенні, °С	22-24	18-21
	Відносна вологість,%	40-60	60
	Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1

Як бачимо з наведених даних, температура в приміщенні, в холодну пору року, не є достатньою, саме тому наше приміщення обладнане централізованим опаленням, системами природної та штучної вентиляції, а також спліт-системою, що забезпечує можливість регулювання мікроклімату.

Необхідно відзначити й те, що комп'ютери є джерелом виділення тепла, яке в свою чергу може призвести до зниження вологості у приміщенні та піднятті температури повітря. У тих приміщеннях, де розташований комп'ютер, важливо дотримуватися допустимих параметрів мікроклімату, що відповідають зазначеним нормам у документі — Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Також роботу працівників з ПК пов'язують зі шкідливим впливом електромагнітних полів. Це мало місце при використанні моніторів з електронно променевою трубкою. У сучасних комп'ютерах використовуються рідкокристалічні монітори, тому вплив електромагнітного поля практично відсутній. Наявним залишається електростатичне поле на поверхні монітору та клавіатурі. Напруженість електростатичного поля, на сучасному обладнанні значно нижче встановлених допустимих значень (150 В/см). Рівень напруженості електростатичного поля залежить від вологості повітря та запиленості, саме тому вологе прибирання приміщення виконується щодня, а провітрювання виконується двічі на день – зранку та під час обідньої перерви.

На даний час в навчальному приміщенні що використовується для підготовки дипломного проекту встановлено сучасні ПК, з практично безшумною роботою системи охолодження процесора та відео карти, вікна та двері виготовленні за сучасними енергозберігаючими та шум поглинаючими технологіями, тому рівень шуму є досить низьким, умови праці є комфортними.

5.4 Освітлення

Умови праці – це сукупність елементів виробничого середовища, які впливають на функціональний стан людини. Сприятливими вважаються такі умови праці, коли сукупність елементів, що їх утворюють, впливає на

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		71

людину і сприяє духовому і фізичному розвитку особистості, формування творчого ставлення до праці, почуття задоволеності, високої працездатності. Неприятливі умови праці спричиняють передчасну втому, яка знижує можливості людини і може призвести до хворобливого стану.

Найважливішими елементами умов праці є освітленість, стан повітряного середовища (температура, вологість, рухливість і чистота повітря), шум, вібрація.

Освітлення. Правильно спроектоване й виконане освітлення аудиторії поліпшує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, позитивно впливає на виробниче середовище. Недостатність освітлення приводить до напруги зору, послабляє увагу, приводить до настання передчасної втоми. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування й різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Існує три види освітлення - природне, штучне й сполучене (природне й штучне разом).

Для здійснення певної роботи у навчальному приміщенні, а також для роботи за ПК, природнього освітлення не вистачає, тим паче у холодний період року. А недостатнє освітлення приміщення сприяє зниженню уваги та концентрації, призводить до напруження зору та передчасної стомлюваності. У зв'язку з цим вважається за доцільне застосовувати штучне освітлення за допомогою різноманітних світильників. Проте варто розрахувати оптимальний рівень освітлення, адже не тільки недостача, а й надмірне освітлення викликає болі в очах, роздратування і засліплення. Усе це може призвести до нещасних випадків чи профзахворювань, саме тому важливо перед початком роботи провести правильний розрахунок освітлення, визначити кількість та тип світильників, їх розміщення тощо. Освітленість поверхні екрану комп'ютера, робочого місця, повинна бути не більше 300 лк, а поверхні столу у зоні робочого документа – не більше 300-500 лк. Освітлення ні в якому разі не має створювати відблисків на екрані, що заважають користувачу ПК нормально працювати без відволікання. У

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72

начальному та робочому приміщенні використовується як і природне бокове освітлення (промені сонця потрапляють через вікно), так і так і штучне загальне освітлення за допомогою електричних джерел енергії - ламп приміщення.

Розрахунок освітленості приміщення проведемо використовуючи метод світлового потоку.

Маємо приміщення розмірами 4м*6м, висотою стелі 2,5м., з наявним природнім боковим освітленням та джерелами штучного освітлення.

Світловий потік розраховуємо за формулою

$$E_{\phi} = \frac{F_{\lambda} N n \eta}{S k_3 z},$$

де F_{λ} – світловий потік лампи, $Лм$. У нашому випадку $F_{\lambda} = 2100 лк$;

N – кількість світильників, *од*, у нашому приміщенні 4 *од*;

n – кількість ламп у світильнику, *од*, у нашому випадку 5 *од*;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

S – площа освітлювального приміщення, $м^2$. У нашому випадку $24 м^2$;

k_3 – коефіцієнт запасу, враховує зниження світлового потоку внаслідок забруднення світильників під час експлуатації. Визначається із таблиці коефіцієнтів запасу відповідно до типу приміщення, у нашому випадку $k_3 = 1,5$;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості, характеризує нерівномірність освітлення, приймаємо $z = 1,1$.

Для визначення коефіцієнту η необхідно розрахувати індекс приміщення i за формулою:

$$i = \frac{S}{h(A+B)},$$

де S – площа приміщення, $S = 24 м^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h = 2 м$;

A – ширина приміщення, $A = 4 м$;

B – довжина приміщення, $B = 6 м$.

$$i = \frac{24}{2(4+6)} = 1,2$$

Знаючи індекс приміщення i , за таблицею визначаємо $\eta = 0,4$.

Для визначення світлового потоку скористаємося формулою, підставивши значення:

$$E_{\phi} = \frac{2100 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 0,4}{24 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 424,2 \text{ лк}$$

Світловий потік у нашому випадку становить 424,2лк, це свідчить що приміщення освітлюється більш ніж достатньо, бо відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 по «Інженерному обладнанню будинків і споруд ПРИРОДНЕ І ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ» норма на загальне спостереження за інженерними комунікаціями відповідає-200 ЛК.

5.5 Пожежна безпека

Згідно вимог «Правил пожежної безпеки України» [4]], у якому розміщений ПК, відносять до категорії В. за СНіПом 2.01.02.-85* [5], що потребує від пожежників досить швидкої реакції. Категорія приміщення Г. Встановимо один трьохкілограмовий вуглекислотний вогнегасник. Дане приміщення має бути забезпечене первинними засобами пожежогасіння. На проходах, які використовуються для евакуації людей, біля входів і виходів з приміщення забороняється влаштовувати перешкоди, які заважають руху людей. Також забороняється встановлення перешкод на шляху евакуації людей. На приміщенні повинен бути визначений вказівник щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки, який необхідно позначати на вхідних дверях до приміщення.

Приміщення повинно бути обладнане спеціальною пожежною сигналізацією та проводимим телефонним зв'язком. Також є змога здійснювати виклики за допомогою сучасних мобільних гаджетів та мобільним операторам.. Будинок збудований з цегли та інших природних матеріалів, що не є легкозаймистими, тому можна впевнено сказати, що пожежу, яку неможливо потушити самому, допустити досить важко. У разі виникнення пожежі і її неможливо загасити первинними засобами пожежогасіння негайно евакуюватися із кімнати.

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		74

ВИСНОВОК

Під час роботи над проектом було розглянуто навчальні лабораторні стенди, що дозволяють проводити лабораторні роботи з гідравліки, а саме дослідження гідравлічних втрат енергії на тертя та на місцевих опорах, дослідження витікання рідини з отворів і насадок. Розглянуті варіанти стендів є дорогими для придбання та не завжди відповідають потребам, тому запропоновано розробка стенду на основі існуючого обладнання.

Запропонована схема стенду на основі ділянки трубопровода, що є в лабораторії кафедри, проведено гідравлічний розрахунок ділянки та вибране обладнання, що дозволяє реалізувати роботи на стенді

В межах дипломного проекту виконано розробку технологічного процесу виготовлення деталі, а також прописано розділ «Охорона праці», в якому було визначено загальний мікроклімат, було розраховано освітлення, а також проведено аналіз пожежобезпеки мого робочого місця, де виконувався дипломний проект.

					ДП01.МА7111.00.00.00.00 ПЗ	Лист
						76
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. НТЦ-11.09 “Истечение через отверстия и насадки” – Режим доступу до ресурсу: <https://ntpcentr.com/ru/catalog/gidravlika/ntc-11-09-istechenie-cherez-otverstiya-i-nasadki/> (Дата звернення 28.04.2021)
2. Типовой комплект учебного оборудования «Истечение жидкости из отверстий и насадков» ЭМЖ-ИЖ-014-8ЛР-01] – Режим доступу до ресурсу: https://labstand.ru/catalog/kinematika_zhidkosti/tipovoy_komplekt_uchebnogo_oborudovaniya_istechenie_zhidkosti_iz_otverstiy_i_nasodkov_emzh_izh_014_8_6144 (Дата звернення 28.04.2021)
3. F1-17 Orifice and Free Jet Flow – Режим доступу до ресурсу: <https://armfield.co.uk/product/f1-17-orifice-and-free-jet-flow/> (Дата звернення 28.04.2021)
4. Лабораторний стенд EDIBON для дослідження витікання рідини з отворів– Режим доступу до ресурсу: <https://www.edibon.com/en/orifice-and-free-jet-flow> (Дата звернення 28.04.2021)
5. HYDRAULICS BENCH – Режим доступу до ресурсу: <https://armfield.co.uk/product/f1-10-hydraulics-bench/> (Дата звернення 28.04.2021)
6. Unit for the study of fluid behaviour, hydraulic theory and the properties of fluid mechanics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.edibon.com/ru/hydraulics-bench> (дата звернення 17.05.2021)
7. C6-МКП-10-FLUID FRICTION MEASUREMENTS – Режим доступу до ресурсу: <https://armfield.co.uk/product/10225/> (дата звернення 01.06.2021)
8. F1-22-ENERGY LOSSES IN BENDS AND FITTINGS – Режим доступу до ресурсу: <https://armfield.co.uk/product/f1-22-energy-losses-in-bends-and-fittings/> (Дата звернення 01.06.2021)
9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Прикладна гідромеханіка (Гідродинаміка)» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Гідравлічні і пневматичні машини» / НТУУ

- «КПІ» ; уклад. Б. А. Сковчелас, В. М. Турик. – Електронні текстові дані (1 файл: 975 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 27 с. – Назва з екрана.
- 10.Методичні вказівки до лабораторних робіт за курсом “Гідравліка”. Для студентів механічних та інженерних спеціальностей Київ: НТУУ “КПІ”, 2005. 47 с.
 - 11.Макаренко Р. О. Гідрогазомеханіка : [навч. посіб.] / Р. О. Макаренко, О. Д. Коваль, О. І. Хлистун ; Нац. авіац. ун-т. – Київ : [НАУ], 2016. – 219 с.
 - 12.Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. –М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
 - 13.Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах: учебник / Б.Б. Некрасов. – М: Машиностроение, 1967. – 236 с.
 14. ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС CALPEDA NMM 1/AE – Режим доступу до ресурсу:https://zenova.ru/category/centrobezhnye_nasosu/model/nmm-1-ae (Дата звернення 22.05.2021)
 15. Дифманометр 2 psi WALCOM HT-1890 – Режим доступу до ресурсу: https://simvolt.ua/difmanometr-walcom-ht-1890/?gclid=Cj0KCQjwh_eFBhDZARIsALHjIKeMIEzTWJDZ8BZs6IrlenpS7zhkKHPUQQUkz2-fIgFZm3bHDc6YeVgaAs-oEALw_wcB (Дата звернення 22.05.2021)
 16. ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ВСТ110, ВСТ22 0-10 BAR 4-20МА G1/4 ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ, МАСЛА, ГАЗОВ – Режим доступу до ресурсу: <https://s-a.in.ua/ua/p47641965-datchik-davleniya-bct110.html> (Дата звернення 22.05.2021)
 - 17.Сенсор (датчик) уровня жидкости Elko Ep SHR-2 – Режим доступу до ресурсу:https://axiomplus.com.ua/rele-urovnya-zhidkosti/product-34745/?gclid=Cj0KCQjwh_eFBhDZARIsALHjIKcNKJEJl5Z49wT9iB4SD9nwP8hvUa7ryDzxbEZenKdbiuCNDfJjtpoaAsBoEALw_wcB (Дата звернення 01.06.2021)

18. Клапан для воды с латунным штоком Ду 15 "1/2" – Режим доступа до ресурсу: https://ukrpromsteel.net/p33058613-klapan-dlya-vody.html?source=merchant_center&utm_campaign=steelprodn&gclid=Cj0KCQjwh_eFBhDZARIsALHjIKfnETS95x-38WgtpJxf-PGF7t8Cu92B_bHMKAdXcQAmZhlbzCRUaMaAgplEALw_wcB (Дата звернення 01.06.2021)
19. Мановакуумметр МТ-3У-А -100...60 кПа кл.т. 1,0 – Режим доступа до ресурсу: <https://electrokom.kiev.ua/catalog/kip-i-a/pressure-measurement/1075/> (Дата звернення 01.06.2021)
20. ФІЛЬТРИ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ЛАТУННІ, КОСІ – Режим доступу до ресурсу: https://armashop.ua/content/uploads/files/valtec/filtry_mekhaniches_koy_ochistki_latunnye_kosyye_valtec.pdf (Дата звернення 01.06.2021)
21. Частотный преобразователь (инвертор) CMF110 - 0,55 кВт ПО 4-07 – Режим доступа до ресурсу: <https://prom.ua/p978858347-chastotnyj-preobrazovatel-invertor.html?&primelead=MS41NA> (Дата звернення 01.06.2021)
22. «Правила пожежної безпеки України наказ Міністра МВС №1417 від 30.12.2014р.
23. СНіП 2.01.02.-85 «Протипожежні норми»
24. ГОСТ 12.1.005-88, ДСН 3.3.6.042-99.
25. НПАОП 40.1-1.01-97/
- 26.8. ДСанПіН 3.3.2-007-98