

Б. В. ВОЗНИЙ, О. В. КАЛАЙДО

**ГІДРАВЛІКА
І ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ**

**Міністерство освіти і науки України
Державний заклад
„Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка”**

Б. В. ВОЗНИЙ, О. В. КАЛАЙДО

ГІДРАВЛІКА І ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ

*Методичні вказівки до лабораторних робіт
для студентів спеціальностей „Трудове навчання”,
і „Професійна освіта” напрямків підготовки
„Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного
транспорту” і „Механізація сільськогосподарського
виробництва і гідромеліоративних робіт” всіх форм навчання*

**Луганськ
ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”
2010**

УДК 621.22(076.5)
ББК 30.123р3 + 31.56р3
В12

Рецензенти :

Леві Л. І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізико-математичних дисциплін Луганського національного аграрного університету.

Блясв Б. В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

Ревякіна О. О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерно-педагогічних дисциплін Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

Возний Б. В.

В12 Гідравліка і гідравлічні машини : метод. вказ. до лаб. робіт для студ. спец. „Трудове навчання” і „Професійна освіта” напрямків підготовки „Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного транспорту” і „Механізація сільськогосподарського виробництва і гідромеліоративних робіт” всіх форм навчання / Б. В. Возний, О. В. Калайдо ; Держ. закл. „Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка”. – Луганськ : Вид-во ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2010. – 66 с.

Методичні вказівки містять 8 лабораторних робіт з найбільш важливих розділів дисципліни. Кожна лабораторна робота містить загальні теоретичні відомості, порядок виконання експерименту, детальний алгоритм розрахунку величини, що знаходиться.

Рекомендовано для студентів 3 курсу спеціальності „Трудове навчання” і 2 курсу спеціальності „Професійна освіта” напрямків підготовки „Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного транспорту” і „Механізація сільськогосподарського виробництва і гідромеліоративних робіт” денної та заочної форм навчання.

УДК 621.22(076.5)
ББК 30.123р3 + 31.56р3

*Рекомендовано до друку навчально-методичною радою
Луганського національного університету
імені Тараса Шевченка
(протокол № 2 від 6 жовтня 2010 року)*

© Возний Б. В., Калайдо О. В., 2010
©ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2010

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Питання курсу.....	6

1 модуль. Гідростатика і гідродинаміка

Лабораторна робота № 1

Дослідження відносного спокою рідини в посудині, що обертається...8

Лабораторна робота № 2

Визначення коефіцієнтів місцевих опорів в трубопроводах..... 14

Лабораторна робота № 3

Визначення режимів руху рідини в круглій трубі.....20

Лабораторна робота № 4

Визначення коефіцієнтів опору тертя по довжині трубопроводу..... 25

2 модуль. Гідравлічні машини і установки

Лабораторна робота № 5

Дослідження витікання рідини через отвори і насадки.....31

Лабораторна робота № 6

Вивчення конструкцій сучасних насосів.....40

Лабораторна робота № 7

Енергетичні випробовування відцентрового насоса.....57

Критерії оцінювання знань..... 63

Додатки..... 64

Література..... 65

Вступ

Необхідне сприйняття і розуміння студентами програмних питань дисципліни досягається при виконанні лабораторних робіт.

Посібник включає сім лабораторних робіт, які охоплюють всі основні розділи дисципліни і є керівництвом до їх виконання.

При описі лабораторних робіт визначено цілі досліджень, наведено короткі теоретичні відомості з кожної теми, опис пристроїв і приладдя, методи виконання робіт і оформлення результатів. У кінці кожної роботи подаються контрольні запитання з теми, список рекомендованої літератури. Посібник включає необхідні додатки.

Лабораторні роботи виконуються на наявному лабораторному обладнанні. Перед початком виконання лабораторних робіт викладач здійснює інструктаж в обсязі правил охорони праці в лабораторії. Студенти, яких проінструктували, розписуються у спеціальному журналі. Виконання робіт здійснюється бригадами. Склад бригади – два, в окремих випадках три студенти, в залежності від кількості студентів у підгрупі.

На першому занятті викладач знайомить студентів із загальними принципами проведення робіт і порядком їх виконання кожною бригадою. Звертається увага на особливості підготовки до виконання подальшої роботи, на вимоги до оформлення розрахункової, текстової і графічної частин звіту з кожної роботи. Після оголошення складу бригад і порядку виконання робіт, студенти займають місця в залежності від порядку робіт. Перед допуском до виконання наступної роботи викладач перевіряє готовність студентів до роботи. При цьому уточнюється мета і задачі роботи, правила техніки безпеки, вміння користуватися приладами чи пристроями, основні етапи і порядок виконання роботи.

Непідготовленим дається час на підготовку в лабораторії. Студентам, які одержали дозвіл на виконання робіт, видаються формуляри звіту, варіанти завдань; початкові дані підписуються викладачем. Під час виконання робіт викладач контролює хід, точність розрахунків, одержані результати. При виявленні неточностей у постановці експерименту, розходжень в одержаних результатах вимірів, викладач вказує на помилки і шляхи їх ліквідації. Попередні розрахунки виконуються студентами на чернетках. Правильно виконані розрахунки переносяться у звітні формуляри.

Графічна частина звіту виконується акуратно з урахуванням правил технічного креслення.

Результати виконаної роботи перевіряються, звіт по роботі підписується викладачем після його захисту студентом.

На захист студент зобов'язаний подати акуратно оформлений звіт по роботі з правильно виконаними розрахунками, знати хід експерименту, уміти правильно аналізувати одержані результати, відповісти на контрольні запитання, додані в кінці кожної лабораторної роботи.

Кожна захищена робота диференційно оцінюється. Оцінка виставляється в журнал після підпису звіту викладачем. Звіт залишається в лабораторії. Дозвіл на виконання наступної роботи студент одержує при наявності у нього не більше однієї виконаної, але не захищеної роботи.

Питання курсу

1. Предмет, задачі та значення дисципліни «Гідравліка і гідравлічні машини».
2. Гідравліка як наука в історичному розвитку.
3. Рідина і її фізичні властивості.
4. В'язкість рідини, її характеристика і вимірювання.
5. Гідростатичний тиск і його властивості.
6. Основне рівняння гідростатики.
7. Тиск рідини на плоскі поверхні.
8. Закон Паскаля і його технічне застосування: гідравлічні преси, їх конструкції і особливості розрахунків.
9. Гідравлічні акумулятори та їх конструктивні особливості.
10. Закон Архімеда. Умови плавання тіл.
11. Прилади для вимірювання тиску.
12. Основи гідродинаміки. Основні визначення.
13. Рівняння нерозривності потоку.
14. Рівняння Д. Бернуллі для ідеальної рідини.
15. Режим руху рідини.
16. Теорема про зміну кількості руху для потоку рідини.
17. Практичне застосування рівняння Д. Бернуллі.
18. Прилади вимірювання швидкості та втрат рідини.
19. Втрати тиску при рівномірному русі рідини в трубопроводах (ламінальний режим).
20. Втрати тиску при рівномірному русі рідини в трубопроводах (турбулентний режим).
21. Формула Шезі.
22. Місцеві втрати тиску і їх розрахунок.
23. Раптове та повільне розширення труби.
24. Прості та складні місцеві опори.
25. Опір при відносному русі твердого тіла в рідині.
26. Водопроводи і їх класифікація.
27. Розрахунок простого водопроводу.
28. Сифонні трубопроводи, їх використання і розрахунок.
29. Гідравлічний розрахунок складних трубопроводів.
30. Види гідравлічного удару в трубопроводах.
31. Методи боротьби з гідравлічним ударом.
32. Витікання рідини через малий отвір в тонкій стінці.
33. Витікання рідини через насадки.
34. Витікання рідини через насадки при змінному напорі.
35. Вільні струї рідини.

36. Рух рідини у відкритих руслах.
37. Застосування насадок в техніці.
38. Методи зниження ударного тиску в трубопроводах.
39. Кавітація при роботі гідравлічних машин і установок.
40. Гідравлічні машини, їх класифікація та область застосування.
41. Класифікація насосів.
42. Основні параметри насосів.
43. Об'ємні насоси.
44. Динамічні насоси.
45. Фільтрація рідини, її закони.
46. Гідравлічний привід.
47. Гідравлічні турбіни, їх призначення і класифікація.
48. Особливості конструкції гідравлічних турбін, їх потужність.
49. Гідроелектростанції, їх схеми.
50. Перспективи гідроенергетики, проблеми і шляхи їх вирішення.

Модуль I. Гідростатика і гідродинаміка

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОСНОГО СПОКОЮ РІДИНИ В ПОСУДИНІ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Мета роботи: експериментальна перевірка теоретичних розрахунків координат точок вільної поверхні рідини, що обертається.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Циліндрова посудина, що заповнена до певного рівня рідиною, обертається рівномірно навколо своєї вертикальної осі. Завдяки силам тертя стінки посудини, що обертається, захоплюватимуть за собою рідину, і через деякий час вся рідина почне обертатися разом з посудиною з тією ж кутовою швидкістю, знаходячись у спокої по відношенню до стінок посудини. Для дослідження відносного спокою рідини застосовують рівняння рівноваги (рівняння Ейлера).

В даному випадку об'ємна сила, що входить в ці рівняння, складатиметься з сили тяжіння і відцентрової сили, яка направлена перпендикулярно до осі обертання.

Теоретичні дослідження показують, що у разі круглої циліндрової посудини, що рівномірно обертається навколо своєї вертикальної осі, вільна поверхня рідини, що знаходиться в цій посудині, отримує вид параболоїда обертання з вертикальною віссю, співпадаючою з віссю посудини.

Лінія перетину шуканої вільної поверхні з вертикальною площиною, проведеною по осі посудини, тобто крива вільної поверхні рідини є параболою з вертикальною віссю.

Координати точок параболічної вільної поверхні щодо горизонтальної площини, що проходить через нижню точку вільної поверхні відносно до горизонтальної площини знаходять по теоретичній залежності, отриманій з рівняння Ейлера.

$$z = \frac{\omega^2}{2g} r^2, \quad (1)$$

де r – найкоротша відстань від даної точки вільної поверхні до осі обертання, м; ω – кутова швидкість, рад/с;
 g – прискорення сили тяжіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Опис лабораторної установки

Установка для дослідження відносного спокою рідини в посудині, що обертається, виготовляється в настільному виконанні.

Установка містить литий корпус, посудину з рідиною – мінеральним маслом, черв'ячний редуктор, блок керування, пристрій для вимірювання ординат кривої вільної поверхні рідини і електропривод з елементами комутації.

Схема установки представлена на мал. 1. Циліндрова посудина заповнена на 0,6 своєї висоти мінеральним технічним маслом і приводиться в обертання колекторним електричним двигуном через черв'ячний редуктор ($U = 14 \text{ В}$). При рівномірному обертанні посудини навколо вертикальної осі вільна поверхня рідини в посудині приймає форму параболоїда обертання.

Робота на установці полягає в експериментальному вимірюванні координат точок кривої вільної поверхні рідини в діаметральній площині посудини з подальшим зіставленням їх з величинами координат, знайденими з теоретичних залежностей.

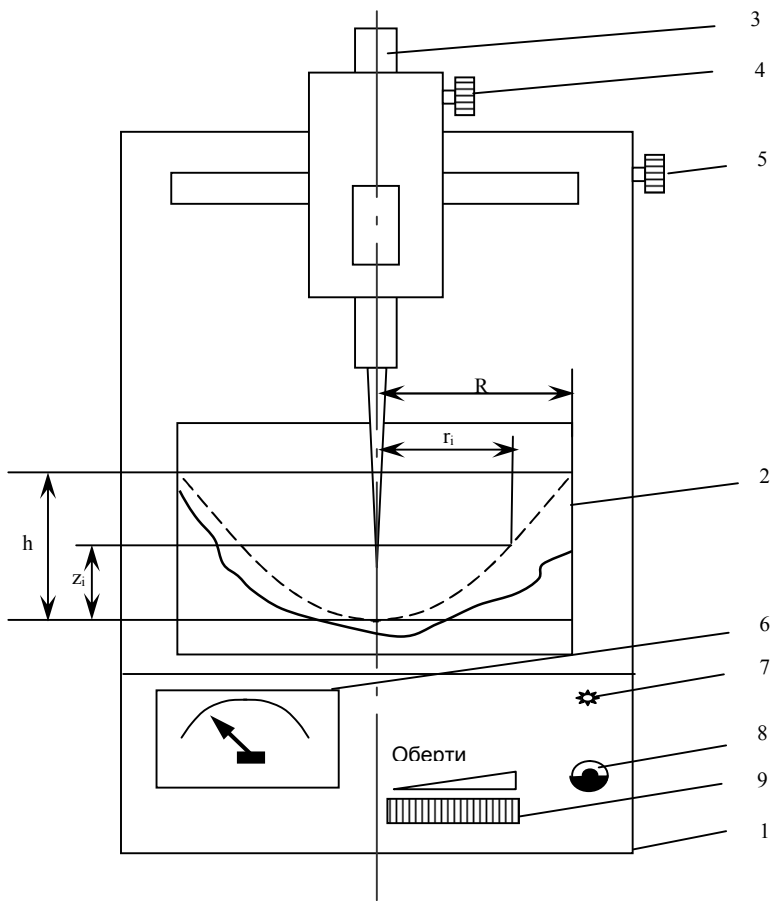
Для вимірювання вищезгаданих координат призначений вимірювальний пристрій, що містить вимірювальну голку 3 і каретку. При обертанні рукоятки 5 каретка, а, отже, і вимірювальна голка, переміщуються в горизонтальному напрямі. Відлік переміщень (в праву або ліву сторони) реєструється по шкалах, розміщених в тій, що направляє.

Вертикальне переміщення вимірювальної голки здійснюється при обертанні рукоятки 4. На поверхні вимірювальної голки нанесена шкала, по якій реєструють вертикальні координати вільної поверхні рідини. Точність відліку вертикальних переміщень не менша за 0,5 мм.

Для розширення методичних можливостей конструкція установки передбачає регулювання частоти обертання судини з рідиною в межах 10-15 рад/с і, як наслідок, отримання сімейства параболічних кривих вільної поверхні рідини.

На передній панелі установки розташовані:

- *тумблер*, що здійснює включення – виключення електроприводу установки;
- *лампочка*, що сигналізує про включення – виключення напруги в мережі;
- *мікроамперметр* для оцінки зміни частоти обертання посудини з рідиною;
- *диск-регулятор «Оберти»* для зміни частоти обертання посудини з рідиною.



Мал.1. Принципова схема установки для дослідження відносного спокою рідини в посудині, що обертається:

- 1 – корпус установки; 2 – посудина, що обертається; 3 – вимірювальна голка; 4 – рукоятка вертикального переміщення голки; 5 – рукоятка горизонтального пересування каретки; 6 – мікроамперметр; 7 – сигнальна лампа; 8 – тумблер; 9 – диск-регулятор «Оберти».

На задній стінці установки під знімною кришкою з написом „Запобіжники” розташовані два запобіжники. Там же виведений шнур живлення установки з вилкою. Живлення установки здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Порядок виконання роботи

1. Включають тумблер передньої панелі керування. Напруга мережі подається на електродвигун установки, який приводить в обертання посудину 2. Потім, обертаючи диск-регулятор «Оберти» 9, встановлюють певну частоту обертання посудини. При цьому вибирають таку частоту обертання посудини, щоб вільна поверхня рідини не перетинала дно посудини.
2. При заданій частоті обертання посудини вимірюють висоту параболоїда обертання h . Для цього обертанням рукоятки 5 вимірювальну голку 3 встановлюють в нульове положення (відмітка «0» за горизонтальною шкалою). Потім, обертанням рукоятки 4, розташовану на каретці, вимірювальну голку опускають до зіткнення її вістря з вільною поверхнею рідини і проводять відлік показання по ноніусу вертикальної шкали (h_n). Після цього обертанням рукояток 5 і 4 вістря вимірювальної голки переміщують до верхнього краю параболоїда і знімають відлік за вертикальною шкалою (h_e). Різниця цих величин дає висоту параболоїда обертання:

$$h = h_n - h_e, \text{ м.} \quad (2)$$

3. Вимірюють координати вільної поверхні рідини посудини, що обертається (z_i). Для цього обертанням рукояток 4 і 5 вимірювальну голку встановлюють в нульове положення і опускають до торкання її з рідиною. Записують результат по ноніусу вертикальної шкали (r_i). Після цього голку підіймають вгору і переміщують в горизонтальному напрямі (вліво або вправо від осі судини) на 1 см і знову опускають до зіткнення її вістря з вільною поверхнею. У цьому положенні записують показання по вертикальній і горизонтальній шкалах. Аналогічно проводяться вимірювання координат ряду інших точок вільної поверхні рідини (7-8 точок). За наслідками вимірювань (табл. 1) будують графік $z_i = f(r)$.
4. Визначають кутову швидкість обертання судини:

$$h = \frac{\omega^2 R^2}{2g} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{2gh}{R^2}}, \quad (3)$$

де R – радіус посудини, м.

5. За формулою (1) для кожної експериментальної точки по її r_i і відомій ω визначають z_T . Результати розрахунку зводять в табл. 2.
6. За наслідками обчислень (табл. 2) будують графік $z_T = f(r)$.
7. Розбіжність між теоретичними і експериментальними значеннями визначають за формулою:

$$\Delta = \frac{z_T - z_i}{z_i} \cdot 100\% . \quad (4)$$

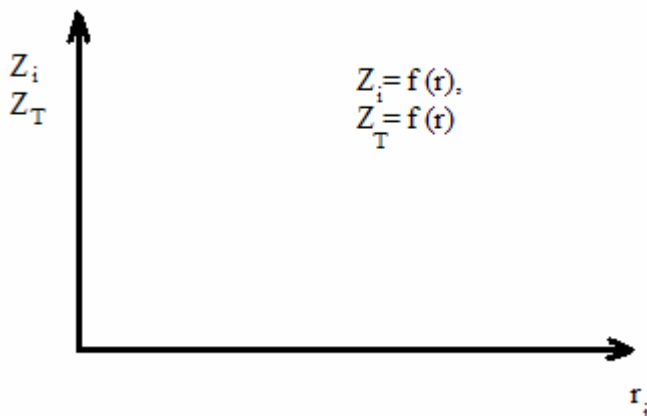
Таблиця 1

<i>Номери точок</i>	<i>Відлік по горизонтальній шкалі, r_i, см</i>	<i>Відлік по вертикальній шкалі, z_i, см</i>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Таблиця 2

<i>Номери точок</i>	<i>Відстань від точки До осі обертання, r_i, см</i>	<i>Розрахункове значення, z_T, см</i>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Графік вільної поверхні рідини



Контрольні питання

1. Що таке поверхні рівного тиску?
2. Чому дорівнює сила тиску рідини на бічну стінку?
3. Чому дорівнює сила тиску рідини на бічну криволінійну поверхню?
4. Як визначити кутову швидкість обертання судини за її розмірами та розмірами параболоїда обертання?

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ В ТРУБОПРОВОДАХ

Мета роботи: експериментальне визначення коефіцієнтів місцевих опорів в круглих трубопроводах.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При русі реальної рідини крім втрат на тертя по довжині трубопроводу виникають додаткові місцеві втрати тиску (місцеві опори). *Місцевими опорами* називають такі опори, які обумовлені якою-небудь місцевою перешкодою вільному перебігу рідини; при цьому потік міняє свою конфігурацію або напрям. У зонах місцевих опорів зазвичай міняється швидкість течії, виникають інтенсивні вихроутворення, які є джерелами розсіяння енергії, що перетворюється на тепло. В результаті повна енергія на виході з місцевих опорів менша, ніж на вході.

Незважаючи на величезну різноманітність місцевих опорів, до основних простих слід віднести: раптове розширення, раптове звуження, плавне розширення, плавне звуження, різкий поворот (коліно), плавний поворот та інші.

Втрати напору на подолання місцевих опорів обчислюють за формулою Вейсбаха:

$$h_m = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від конструкції місцевого опору; V – швидкість руху рідини за місцевим опором, g – прискорення сили тяжіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

З формули (1) визначають коефіцієнт місцевого опору

$$\xi = \frac{2g h_m}{V^2}. \quad (2)$$

Коефіцієнт місцевого опору є безрозмірна величина, що характеризує втрати напору і питомої кінетичної енергії.

Кожен місцевий опір характеризується своїм значенням коефіцієнта ξ , який зазвичай визначається дослідним шляхом.

Теоретичне визначення місцевих втрат напору становить значні труднощі і може бути проведене тільки для деяких випадків. Наприклад, для випадку раптового розширення трубопроводу втрата опору може бути визначена за формулою Борда:

$$h = \frac{V_1^2}{2g} \cdot \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2, \quad (3)$$

звідки

$$\xi_{BP} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad (4)$$

У формулі (3) площа S_1 , швидкість V_1 відносяться до перетину труби з меншим діаметром.

У табл.1 наведені значення ξ для випадку *раптового розширення* залежно від відношення площ до розширення S_1 і після розширення S_2 .

Таблиця 1

S_1/S_2	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80
ξ	0,98	0,81	0,64	0,36	0,16	0,04

У табл. 2 наведені значення ξ для випадку *раптового звуження* труби залежно від відношення площ за звуженням S_2 і перед ним S_1 .

Таблиця 2

S_1/S_2	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80
ξ	0,45-0,5	0,39-0,45	0,35-0,4	0,28-0,3	0,2	0,09-0,1

З порівняння коефіцієнтів ξ в табл.1 і табл.2 видно, що при однакових S_1/S_2 вони різні. Це результат відмінності структури потоку при раповому звуженні труби.

Втрати напору при раповому розширенні труби при турбулентному режимі можна визначити по формулі:

$$h_m = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}, \quad (5)$$

де V_1 і V_2 , м/с – середні швидкості в перетинах до і після рапового розширення.

Коефіцієнт місцевих опорів (втрат) обчислюють за формулою (2), де h_m – м, V – м/с (швидкість потоку після місцевого опору).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

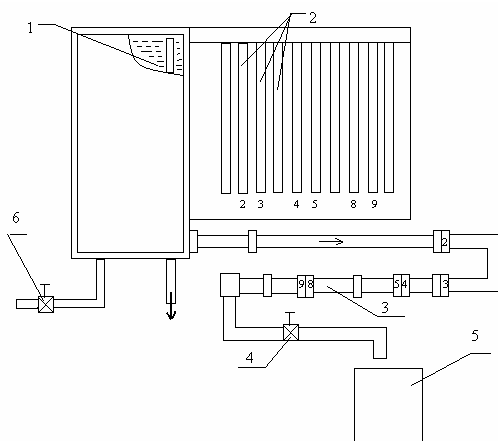
Опис лабораторної установки

Схема експериментальної установки наведена на мал. 2. Установка складається з напірного резервуару 1, панелі п'єзометричних трубок 2, трубопроводу 3, що досліджується, з вентилем 4. У робочому режимі вода поступає в напірний резервуар з місцевого водопроводу після відкриття вентиля 6. Рівень води в напірному резервуарі контролюється зливною трубою, через яку надмірна рідина поступає в зливний трубопровід.

Установка призначена для дослідження втрат напору в крутому (подвійному) коліні, втрат напору при раптовому розширенні і стисненні. Втрати напору визначають за відповідними п'єзометрами.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією установки і місцевими опорами, що підлягають дослідженню.



Мал. 2. Загальний вид установки:

1 – напірний резервуар; 2 – п'єзометри; 3 – досліджуваний трубопровід;
4, 6 – вентиля; 5 – мірна посудина.

2. Відкрити вхідний вентиль 6 для заповнення водою напірного резервуару.

3. Після установки в напірному резервуарі постійного рівня води відкрити вентиль 4 для проходу води по досліджуваному трубопроводу.

4. У режимі сталого руху рідини по трубі (рівні п'езометрів не коливаються), записати показання п'езометрів для кожного досліджуваного місцевого опору (круте коліно, раптове розширення, раптове стиснення). Одночасно зміряти витрату води по трубі за час заповнення посудини 5.

5. Дослід повторити, змінивши витрату води по трубі (зміну витрати фіксувати за свідченнями п'езометрів). По закінченню дослідів закрити вентилі 4 і 6.

6. Результати дослідів занести в табл. 1 звіту.

Обробка результатів експерименту

1. Обчислюють площі живих перетинів S_1 і S_2 в зонах місцевих опорів.
2. Визначають витрату і швидкість води в досліджуваних перетинах трубопроводу. Об'єм води визначають по мірній посудині.
3. Підраховують коефіцієнт теоретичних втрат напору для раптового розширення трубопроводу по формулі (4) і табл. 1.
4. Визначають різницю показань п'езометрів для кожного з місцевих опорів.
5. Обчислюють коефіцієнт експериментальних втрат напору при раптовому розширенні і звуженні труби по формулі (2).
6. Визначають значення теоретичного коефіцієнта місцевого опору для раптового звуження по формулі (4) і табл. 2.
7. Визначають відсоток розбіжності в результатах розрахунків коефіцієнтів місцевих опорів, отриманих теоретично і експериментально.

$$\Delta = \frac{\xi_m - \xi_e}{\xi_e} \cdot 100\%.$$

8. Результати розрахунків записують в табл. 1.

Результати вимірювань і розрахунків

Таблиця 1

№ п/п	Вимірювані та розрахункові величини	Одиниці виміру	Дослід	
			1	2
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
<i>I. Розміри досліджуваного трубопроводу</i>				
1	Діаметр труби: до розширення d після розширення D до звуження D після звуження d у подвійному коліні d	см см см см см		
2	Площа поперечного перетину труби: до розширення S_1 після розширення S_2 до звуження S_2 після звуження S_1 у подвійному коліні S_1	см ² см ² см ² см ² см ²		
<i>II. Визначення втрат напору в подвійному коліні трубопроводу</i>				
1	Показання п'єзометра Π_2 до подвійного коліна	см		
2	Показання п'єзометра Π_3 після подвійного коліна	см		
3	Втрати напору на місцевому опорі $h_{m1} = \Pi_2 - \Pi_3$	см		
4	Експериментальний коефіцієнт місцевого опору	-		
<i>III. Визначення втрат напору при раптовому розширенні</i>				
1	Об'єм води в мірній посудині на початку досліду W_1	см ³		
2	Час наповнення мірної посудини t	с		
3	Об'єм води в мірній посудині в кінці досліду W_2	см ³		
4	Кількість води, що поступила до мірної посудини $W = W_2 - W_1$	см ³		
5	Швидкість води в трубі до розширення	см/с		
6	Швидкість води в трубі після розширення	см/с		
7	Показання п'єзометра до розширення Π_4	см		
8	Показання п'єзометра після розширення Π_5	см		

1	2	3	4	5
9	Втрати напору на місцевому опорі $h_{m2} = P_4 - P_5$	см		
10	Теоретичний коефіцієнт місцевого опору: - за формулою Борда - по табл. 1			
11	Експериментальний коефіцієнт місцевого опору			
12	Відсоток розбіжності в результатах розрахунків	%		
<i>IV. Визначення втрат напору при раптовому звуженні</i>				
1	Швидкість води в трубі до звуження	см/с		
2	Швидкість води в трубі після звуження	см/с		
3	Показання п'єзометра до звуження P_8	см		
4	Показання п'єзометра після звуження P_9	см		
5	Втрати напору на місцевому опорі $h_{m3} = P_8 - P_9$	см		
6	Теоретичний коефіцієнт місцевого опору: - за формулою 4 - по табл. 2			
7	Експериментальний коефіцієнт місцевого опору			
8	Відсоток розбіжності в результатах розрахунків	%		

Контрольні питання

1. Чим обумовлені втрати напору на місцевих опорах?
2. Які різновиди місцевих опорів можливі в трубопроводах?
3. За допомогою яких приладів можна визначити втрати напору на місцевих опорах?
4. Як визначають дослідним шляхом витрату і швидкість руху рідини на місцевих опорах?
5. Чи залежить значення коефіцієнту місцевого опору від режиму руху рідини в трубопроводі?

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ РІДИНИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ

Мета роботи: вивчення основних режимів руху рідини в круглій трубі.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Рух в'язкої рідини супроводжується витратами енергії на подолання сил опору руху. Величина витрат залежить від режиму руху рідини. Існує два режими руху рідини: *ламінарний* і *турбулентний*.

При *ламінарному режимі* частинки рідини рухаються окремими паралельними струменями або шарами, що не змішуються один з одним, без пульсацій швидкостей і тиску. Ламінарна течія є цілком впорядкованою і при постійному напорі строго сталою течією.

При *турбулентному режимі* рух рідини супроводжується її інтенсивним перемішуванням, пульсацією швидкостей і тиску. Рух окремих частинок рідини в потоці подібний до хаотичного безладного руху молекул газу. При турбулентному режимі руху рідини вектори швидкостей мають осьові і нормальні складові до осі течії, тому разом з основним подовжнім перемішуванням рідини уздовж русла відбувається поперечне перемішування і обертальні рухи окремих об'ємів рідини.

При ламінарному русі енергія витрачається тільки на подовжнє переміщення частинок рідини; при турбулентному – додаткова енергія витрачається на поперечне переміщення частинок рідини. Перехід від ламінарного руху до турбулентного і назад відбувається при певних величинах швидкостей руху потоку.

Якщо середня швидкість руху потоку $V < V_{кр1}$ то режим - ламінарний і переважний вплив мають сили в'язкості. При $V > V_{кр2}$ режим турбулентний і переважний вплив роблять інерційні сили. В інтервалі швидкостей $V_{кр1} < V < V_{кр2}$ (перехідна зона) можливі обидва режими руху, але вони не є стійкими. На встановлення режиму руху рідини впливають, окрім значення середньої швидкості руху потоку, її фізичні властивості (в'язкість, густина) і поперечні розміри потоку.

Кількісна оцінка режиму руху рідини може бути виражена числом Рейнольдса (Re), яке визначається з наступного співвідношення:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

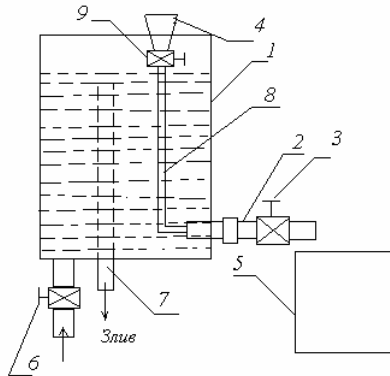
де V – швидкість руху рідини; d – діаметр трубопроводу; ν – кінематична в'язкість досліджуваної рідини.

Значення числа Рейнольдса, при якому відбувається зміна режиму руху рідини, називається *критичним числом Рейнольдса* і позначається $Re_{кр}$. При $Re < Re_{кр1}$ режим руху ламінарний, при $Re > Re_{кр2}$ – турбулентний. Найчастіше критичне число Рейнольдса для труб круглого перетину приймає значення $Re_{кр1} \approx 2320$. Розвинена турбулентна течія в трубах встановлюється при $Re_{кр2} \approx 4000$, а при $Re \approx 2320 - 4000$ має місце перехідна, критична область.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Опис лабораторної установки

Схема установки представлена на мал. 3. Установка складається з напірного резервуару 1, підведення води в який здійснюється через



Мал. 3. Схема експериментальної установки для визначення режиму руху води:
1 – напірний резервуар; 2 – скляна труба; 3, 6 – вентиль; 4 – об'єм для фарбувальної рідини; 5 – мірна судина; 7 – зливна труба.

вентиль 6. Постійний рівень в резервуарі підтримується зливною трубою 7. З резервуару виходить скляна труба 2. За допомогою вентиля 3 регулюють витрату рідини і її швидкість через скляну трубу. У трубу 2 підведена тонка трубка 8, яка сполучена з невеликою ємністю 4 через кран 9. Установка комплектується

мірною посудиною 5, секундоміром, термометром і колбою з фарбувальною рідиною.

Порядок виконання роботи

1. Відкривають вентиль 6 і забезпечують постійний рівень води в напірному резервуарі. Заповнюють ємність 4 фарбувальною рідиною.
2. Досліджують ламінарний режим руху рідини в скляній трубі. Для цього відкривають кран 9 і вентиль 3, добиваються такого положення, щоб підфарбований струмінь, що витікає з тонкої труби, мав вид прямої лінії по всій видимій довжині скляної труби при постійному рівні води в напірному резервуарі. Це свідчить про ламінарний режим руху рідини в досліджуваній трубі.
3. Заповнюють мірну посудину (1 – 5 л), помічаючи час початку і кінця заповнення за секундоміром. Після заповнення мірної посудини на рівень прийнятого об'єму посудину прибирають, перекривають кран 9 і вентиль 3. Вимірюють температуру води в мірній ємності. Результати досвіду записують в табл.1 звіту.
4. Другий дослід проводять при турбулентному режимі. Після заповнення ємності 4 підфарбованою рідиною відкривають кран 9 і вентиль 3; відкриттям вентиля 3 добиваються повного перемішування підфарбованої рідини по всій видимій довжині скляної труби. Це є турбулентний режим руху рідини.
5. Заповнюють мірну посудину (3-7 л), помічаючи час початку і кінця заповнення за секундоміром. Після заповнення мірної посудини до рівня прийнятого об'єму посудину прибирають, перекривають кран 9 і вентиль 3. Вимірюють температуру води в мірній ємності. Результати досвіду записують в табл.1 звіту.
6. Третій дослід проводять в проміжній області при переході від турбулентного режиму до ламінарного. Поступово закриваючи вентиль 3, при відкритому крані 9, добиваються початку встановлення ламінарного режиму руху. Після цього набирають в мірну посудину 3-5 л води, помічаючи час за секундоміром. Після закінчення досвіду вимірюють температуру в мірній посудині. Результати досвіду записують в табл. 1 звіту.

Обробка результатів експерименту

1. Обчислюють площу перетину скляної труби S .
2. Визначають витрату води і швидкість води в скляній трубі за результатами дослідів.

- Кінематичну в'язкість залежно від температури беруть з табл. 1 (див. Додаток № 1, табл. 1).
- По формулі (1) визначають число Рейнольдса для різних режимів руху води в скляній трубі.
- Зарисовку характеру руху (структури потоку) при ламінарному, перехідному і турбулентному режимах проводять паралельно з проведенням дослідів.

Результати вимірювань і розрахунків

Таблиця 1

№ n/ n	Вимірювані та розрахункові величини	Один. вимір .	Дослід		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
I. Розмір скляної труби					
1	Діаметр скляної труби d	см			
2	Площа поперечного перетину труби S	см ²			
II. Визначення витрат та середньої швидкості					
1	Об'єм води в мірній посудині на початку дослідів W_1	см ³			
2	Об'єм води в мірній посудині в кінці дослідів W_2	см ³			
3	Кількість води, що поступила до мірної посудини $W=W_2 - W_1$	см ³			
4	Час наповнення мірної посудини t	с			
5	Витрати води $Q= W/t$	см ³ /с			
6	Середня швидкість води в скляній трубі $V=Q/S$	см/с			
III. Визначення режиму руху					
1	Температура води t	°C			
2	Кінематична в'язкість води ν	см ² /с			
3	Число Рейнольдса Re	-			
4	Режим руху води	-			

Структура потоку

<i>Режими руху рідини</i>		
<i>ламінарний</i>	<i>перехідний</i>	<i>турбулентний</i>

Контрольні питання

1. Які існують режими руху рідини? У чому їх відмінність?
2. Як визначається число Рейнольдса і які його кількісні значення для різних режимів руху рідини?
3. Опишіть принципову схему установки для дослідження режимів руху рідини.
4. Коли і хто підняв питання про наявність різних режимів руху рідини; коли і як було доведено існування різних режимів руху рідини?
5. Як вимірюється об'ємна витрата рідини і визначається її середня швидкість?
6. Який сенс мають верхня та нижня критичні швидкості?

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ ТЕРТЯ ПО ДОВЖИНІ ТРУБОПРОВОДУ

Мета роботи: експериментальне визначення коефіцієнта опору тертя по довжині трубопроводу.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При русі рідини по трубопроводу частина енергії витрачається на подолання гідравлічних опорів, обумовлених силами внутрішнього тертя. Загальні втрати енергії складаються з втрат по довжині трубопроводу (h_l) і місцевих втрат (h_m). Величина втрат визначається режимом руху рідини в трубопроводі. Втрати енергії (гідравлічний опір) за ламінарного режиму менші, ніж за турбулентного, оскільки при турбулентному режимі значна частина енергії потоку втрачається на переміщення частинок рідини в поперечному до осі потоку напрямі, на перемішування рідини. При турбулентному режимі втрати енергії пропорційні квадрату середньої швидкості, а при ламінарному - середній швидкості в першому ступені.

Втрати енергії (напору) по довжині трубопроводу при русі в'язкої рідини визначаються за формулою Дарсі - Вейсбаха

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

де λ – коефіцієнт опору (втрат) на тертя (коефіцієнт Дарсі);
 l, d – довжина і діаметр трубопроводу; g – прискорення сили тяжіння;
 V – середня швидкість рідини в трубі.

Коефіцієнт λ є безрозмірною величиною, що залежить від ряду чинників: діаметру і шорсткості труби, швидкості і в'язкості рідини.

Вплив цих параметрів на величину λ проявляється по різному при різних режимах руху рідини в трубі. В одному режимі коефіцієнт λ є функцією тільки критерію Рейнольдса Re , в іншому режимі – Re і відносної шорсткості стінок трубопроводів.

Для ламінарного режиму $Re < 2320$. При цьому λ є функцією тільки Re , не залежить від шорсткості трубопроводу і визначається за формулою

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

Інша область – гідравлічно гладкі труби. Режим руху потоку турбулентний, але у стінок зберігається шар рідини, в межах якого рух залишається ламінарним. Турбулентне ядро потоку як би ковзає по ламінарній плівці. Труби вважаються гідравлічно гладкими, якщо товщина ламінарного шару більше висоти виступів шорсткості, тобто рідина обтікає шорсткості без відриву і утворення вихорів. Завдяки впливу в'язкості рідини для гідравлічно гладких труб при значеннях Re від 2320 до 4000 коефіцієнт λ може бути визначений за формулою Н.З.Френкеля

$$\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}}.$$

При Re від 4000 до 100000 значення λ визначається за формулою Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}.$$

Якщо $Re > 100000$, для розрахунку λ можна застосувати формулу П.Н. Конакова

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

Якщо товщина ламінарної плівки порівнювана з виступами шорсткості, то величина коефіцієнта λ залежить як від числа Re , так і від відносної шорсткості κ/d , тобто

$$\lambda = f(Re, \kappa/d).$$

Ця область руху називається перехідною областю. Для обчислення λ використовується формула А.Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\kappa}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

Для технічно гладких труб величина κ/d дуже мала, і нею можна нехтувати; тоді формула А.Д. Альтшуля матиме наступний вигляд

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} \right)^{0,25} = \frac{0,316}{Re^{0,25}}.$$

При високому ступені турбулентності, коли $Re \rightarrow \infty$, формула А. Д. Альтшуля набуває вигляду

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\kappa}{d} \right)^{0,25}.$$

При збільшенні турбулентності величина ламінарного прикордонного шару практично зникає. Турбулентне ядро стикається

із стінками труби. Це область гідравлічно шорстких труб або квадратичного опору.

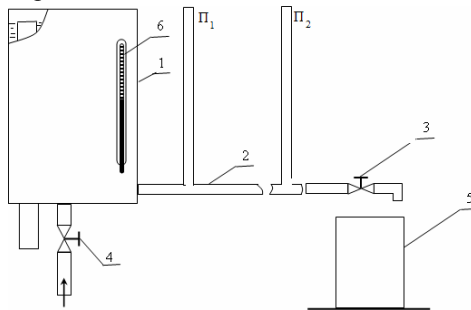
Коефіцієнт λ залежить тільки від відносної шорсткості, тобто, труба в цьому випадку називається гідравлічно шорсткою, і λ визначається за формулою Н. Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 21 \lg \frac{d}{\kappa})^2}.$$

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Опис лабораторної установки

Схема експериментальної установки приведена на мал. 4. Установка складається з напірного резервуару 1, досліджуваного трубопроводу 2, на якому встановлено два п'єзометри Π_1 і Π_2 . Рівень води в напірному резервуарі контролюється зливною трубою. Установка комплектується мірною посудиною, секундоміром, термометром і метром.



Мал. 4. Схема експериментальної установки:

1 – напірний резервуар; 2 – досліджуваний трубопровід; 3,4 – вентилі;
5 – мірна посудина; 6 – термометр.

Порядок виконання роботи

1. Відкрити вхідний вентиль 4 і заповнити напірний резервуар водою.
2. Відкрити вентиль 3 і встановити різницю показань п'єзометрів. За допомогою вхідного вентиля 4 відрегулювати постійний рівень в напірному резервуарі.
3. Заповнити мірну посудину, помічаючи час початку і кінця

заповнення за секундоміром. Одночасно записати показання п'єзометрів Π_1 і Π_2 і температуру води на виході досліджуваної труби.

4. У вказаній послідовності дослід повторити двічі.

Обробка результатів експерименту

Результати вимірювань записують в табл. 1 звіту.

1. Визначають витрату і швидкість води в досліджуваному трубопроводі за результатами дослідів.

2. Кінематичну в'язкість залежно від температури беруть по табл. 1 (див. Додаток, табл. 1).

3. Визначають число Рейнольдса і режим руху води в трубі.

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

4. Визначають коефіцієнт опору λ_e по довжині трубопроводу на підставі дослідних даних за формулою

$$\lambda_e = \frac{2gh_d}{lV^2}.$$

5. Обчислюють товщину ламінарної плівки δ

$$\delta = 32,8 \frac{d}{\text{Re} \sqrt{\lambda_e}}.$$

6. Визначають розрахункове значення коефіцієнта опору λ_p по довжині трубопроводу за однією з формул:

а) ламінарний режим

$$\lambda_p = \frac{64}{\text{Re}},$$

б) турбулентний режим, для $\delta > k$

$$\lambda_p = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}},$$

де k – абсолютна шорсткість трубопроводу (Додаток, табл.2);

для $\delta = k$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25};$$

для $\delta < k$

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,14 + 21 \lg \frac{d}{k} \right)^2}.$$

7. Визначають відсоток розбіжності у визначенні коефіцієнта опору по довжині трубопроводу

$$\Delta = \frac{\lambda_p - \lambda_e}{\lambda_e} \cdot 100\%$$

Результати вимірювань і розрахунків

Таблиця 1

№ з/п	Вимірювані та розрахункові величини	Одиниці виміру	Досліди	
			4	5
1	2	3	4	5
I. Розміри досліджуваного трубопроводу				
1	Діаметр скляної труби d	см		
2	Площа поперечного перетину труби S	см ²		
3	Відстань між п'єзометрами ℓ	см		
II. Визначення втрат напору				
1	Показання начального п'єзометра P_1	см		
2	Показання кінцевого п'єзометра P_2	см		
3	Втрати напору по довжині $h_l = P_1 - P_2$	см		
III. Визначення витрат та середньої швидкості				
1	Об'єм води в мірній посудині на початку досліду W_1	см ³		
2	Об'єм води в мірній посудині в кінці досліду W_2	см ³		
3	Кількість води, що поступила до мірної посудини $W = W_2 - W_1$	см ³		
4	Час наповнення мірної посудини t	с		
5	Витрати води $Q = W/t$	см ³ /с		
6	Середня швидкість води в трубі $V = Q/S$	см/с		

1	2	3	4	5
<i>IV. Визначення режиму руху води в трубі</i>				
1.	Температура води T	°C		
2.	Кинематична в'язкість води ν	см ² /с		
3.	Число Рейнольдса Re	-		
4.	Режим руху	-		
<i>V. Визначення коефіцієнту опору по довжині трубопроводу</i>				
1.	Коефіцієнт λ_e за результатами досліду			
2.	Товщина ламінарної плівки δ	мм		
3.	Коефіцієнт λ_p			
4.	Відсоток розбіжності	%		

Контрольні питання

1. Чим викликані втрати напору по довжині трубопроводу?
2. Як в процесі експерименту визначають: втрати напору по довжині трубопроводу і значення коефіцієнта опору?
3. Як визначити теоретично величину втрат напору по довжині трубопроводу?
4. Як визначити режим руху рідини в трубопроводі?
5. Як визначають коефіцієнт опору λ при ламінарному режимі і від яких чинників він залежить?
6. Навіщо визначають в експерименті товщину ламінарної плівки?
7. Як визначають коефіцієнт опору при турбулентному режимі і від яких чинників він залежить?

Модуль II. Гідравлічні машини і установки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ

Мета роботи: вивчення методики визначення коефіцієнтів витікання рідини з малого отвору в тонкій стінці та з насадок.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

На практиці часто розглядається питання витікання рідини через отвори і насадки. Це питання зводиться до визначення швидкостей і витрат рідини, що витікає через отвори і насадки. У гідравліці розрізняють *мали отвори*, *отвори в тонкій стінці* і *великі отвори*. Малим називають отвір, розмір перетину якого по вертикалі не перевищує $0,1H$ (H - напор над отвором). Отвором в тонкій стінці називають такий отвір, краї якого мають гостру кромку, причому товщина стінки не впливає на форму і умови витікання струменя. Отже, рідина, що протікає через отвір в тонкій стінці, має тільки місцеві втрати енергії, аналогічні втратам енергії при раптовому звуженні потоку.

До тонких відносяться стінки завтовшки (при круглих отворах діаметром d)

$$\delta \leq 0,5d.$$

Рідина, що витікає з отвору в тонкій стінці, торкається тільки її внутрішньої кромки, при цьому спостерігається стиснення струменя. Найбільш стислий перетин струменя розташований зазвичай на відстані біля $0,5d$ від внутрішньої кромки отвору. Величина стиснення залежить від розташування отвору щодо стінок і дна посудини. Якщо отвір достатньо далеко від стінок і дна, то стиснення струменя буде найбільшим. Таке стиснення струменя називається *досконалим*. Воно спостерігається в тому випадку, якщо відстань від отвору до найближчої стінки посудини перевищує $3d$. Якщо ці параметри не витримуються, то зменшується кривизна траєкторії частинок рідини поблизу отвору, зменшується і стиснення з відповідного боку. Таке стиснення називається *недосконалим*.

Якщо ж частина периметра отвору безпосередньо примикає до одній або декількох стінок посудини, то відповідні траєкторії будуть прямолінійні, і струмінь на цій частині периметра отвору не отримає стиснення. Таке стиснення називається *неповним*.

Відношення площі стислого перетину S_C до площі отвору S_0 називають коефіцієнтом стиснення ϵ

$$\varepsilon = \frac{S_C}{S_0}.$$

Коефіцієнт повного досконалого стиснення

$$\varepsilon = 0,6 - 0,64.$$

Швидкість витікання ідеальної рідини (теоретична швидкість) в стислому перетині визначається за формулою Торрічеллі

$$V_m = \sqrt{2gH},$$

де H - напор над центром отвору, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Швидкість витікання реальної рідини менше теоретичної зважаючи на наявність втрат енергії на місцеві гідравлічні опори, що враховується коефіцієнтом швидкості φ

$$V = \varphi \sqrt{2gH}.$$

Коефіцієнт швидкості відображає вплив розподілу швидкостей в стислому перетині α і втрат напору ξ :

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}.$$

Оскільки траєкторія струменя, що витікає з отвору, є параболою, то дійсну швидкість можна визначити через координати струменя

$$V = \frac{x}{\sqrt{2y/g}}$$

де x і y – координати точок, які лежать на осі струменя, що витікає. Звідси

$$\varphi = \frac{x}{2\sqrt{yH}}.$$

Значення коефіцієнта швидкості для малого отвору в тонкій стінці приймають в межах $\varphi = 0,95 - 0,97$.

Теоретична витрата ідеальної рідини через малий отвір в тонкій стінці визначається з виразу

$$Q_m = S_0 \sqrt{2gH}.$$

Дійсна витрата менше теоретичної, оскільки витікання супроводжується втратою енергії на подолання місцевого опору і на стиснення струменя. Ці втрати враховуються коефіцієнтом μ , який називають коефіцієнтом витрати

$$Q = \mu \cdot S_0 \sqrt{2gH}.$$

Коефіцієнт витрати залежить від виду стиснення струменя: він більше при неповному стисненні, менше при недосконалому і ще менше при досконалому ($\mu = 0,6 - 0,62$)

$$\mu = \frac{Q}{Q_m} = \varepsilon \varphi,$$

де ε – коефіцієнт стиснення – відношення площі стислого живого перетину до площі отвору. Якщо відомий коефіцієнт швидкості, то коефіцієнт опору при вході в отвір можна визначити по формулі

$$\xi = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

Для практичних розрахунків $\xi = 0,06$.

Розглянуті вище випадки відносяться до витікання рідини з отвору в тонкій стінці. При значній товщині стінок характер явищ, що спостерігаються при витіканні, істотним чином змінюється через направляючий вплив, що чиниться на струмінь стінкою. При цьому байдуже, чи зроблений отвір в товстій стінці або в тонкій, але забезпечено при цьому короткою трубкою з діаметром, рівним діаметру отвору. Такі трубки називають насадками.

Насадками називають приєднані до отвору короткі трубки певної довжини (3 – 4 діаметри), в яких є напірний рух. При витіканні в газове середовище насадок називається *незатопленим*. Насадки найчастіше приставляються до отвору для зміни витрат. Насадки характеризуються вищеназаними коефіцієнтами, μ і φ , а коефіцієнт стиснення струменя ε для них рівний одиниці. Оскільки стиснення струменя відбувається тільки усередині насадка (внутрішнє стиснення), то вихідний отвір насадки працює повним перерізом.

Зовнішнім циліндровим насадком (насадком Вентурі) називають пряму циліндрову трубку, приєднану під прямим кутом із зовнішнього боку резервуару до отвору того ж діаметру. Значення коефіцієнтів для циліндрового насадка $\varphi = 0,7 - 0,8$, $\mu = 0,73 - 0,82$.

Конічний насадок, що сходиться – насадок, що має форму усіченого конуса, що сходиться у напрямку до вихідного отвору. Також застосовуються насадки, що сходяться, з квадратним і прямокутним поперечними перетинами. При зміні кута конуса змінюються і коефіцієнти μ , φ і ε . Коефіцієнт μ досягає максимального значення $\mu = 0,946$ при $\theta = 13,24^\circ$, а потім зменшується. Коефіцієнт швидкості безперервно росте і при $\theta = 49^\circ$ рівний $\varphi = 0,984$. Стиснення струменя на виході з насадка $\varepsilon = 0,98$.

Кonoїдальні насадки мають складну форму. Вхід виконують за формою струменя, що витікає через отвір, а вихідну ділянку –

циліндровою. Стиснення струменю на виході з насадка відсутнє ($\varepsilon = 1$), коефіцієнти $\mu = \varphi = 0,97 - 0,98$.

Насадки, що розходяться, сприяють відриву потоку від стінок насадка. Приймають $\theta = 5 - 7^\circ$, а граничний напор меншим, ніж у зовнішнього циліндрового насадка, щоб забезпечити роботу насадка, що розходиться, без зриву вакууму. Такі насадки застосовують, якщо необхідно пропустити відносно велику кількість рідини при малих швидкостях на виході або в пристроях, коли потрібно досягти значного вакууму (водострумінні насоси, гідроельватори). Стиснення струменя у вихідному перетині немає, при $\theta = 5 - 7^\circ$ коефіцієнти $\mu = \varphi = 0,45$.

При з'єднанні вхідної частини, виконаної за формою струменя, з конічним насадком, що розходиться, можна отримати найбільше можливе збільшення витрат.

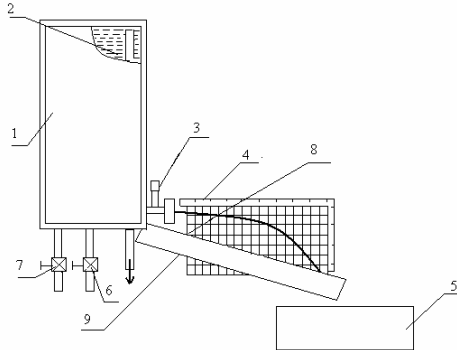
Значення розрахункових коефіцієнтів для великих значень Re

<i>Отвір і насадок</i>	φ	μ	ε	ζ
Отвір в тонкій стінці	0,97	0,62	0,6 – 1	0,06
Зовнішній циліндричний насадок	0,82	0,82	1	0,49
Конічний насадок, що сходиться	0,97	0,95	1	0,06
Коноїдальний	0,97	0,97	1	0,06
Конічний насадок, що розходиться	0,45	0,45	1	3,94

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Опис лабораторної установки

Установка для дослідження витікання рідини через отвір і насадки представлена на мал. 5. Вона містить напірний резервуар 1 з водомірним склом. Постійний рівень води в напірному резервуарі контролюється зливною трубою 2. У резервуар 1 вода, витрата якої регулюється вентилям 6, поступає по напірному трубопроводу. У бічній стінці напірного резервуару, що звернена до мірної посудини 5, є отвір діаметром 10 мм. Отвір закривається за допомогою гумової пробки. Поряд з отвором в тонкій стінці закріплена посадочна підстава для установки насадок різної довжини діаметром 10 мм. Між напірним баком і мірною посудиною встановлено вимірювальний пристрій 4 для вимірювання вертикальної координати y і горизонтальної координати x струменя 8, що витікає. Витікання струменя води проводиться по похилому жолобу 9 в мірну посудину 5. Вода з мірної посудини зливається в загальну ємність установки, яка забезпечена зливною трубою з вентилям.



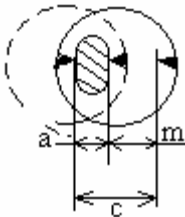
Мал. 5. Схема установки для дослідження закінчення рідини через отвори і насадки:

1 - напірний резервуар; 2 - зливна труба; 3 - мікрометр; 4 - вимірювальний пристрій;
5 - мірна посудина; 6 - напірний вентиль; 7 - зливний вентиль; 8 - досліджуваний струмінь; 9 - похилий жолоб.

Порядок виконання роботи

А. Дослідження витікання з отвору

1. Відкрити вентиль 6 для встановлення постійного рівня в напірному резервуарі.
2. Відкрити отвір в тонкій стінці і заповнити мірну посудину при постійному рівні в напірному резервуарі, замірявши час початку і кінця його заповнення по секундоміру.



При заповненні мірної посудини провести вимірювання осей еліпса стислого перетину струменя, що витікає:

- встановити мікрометр в горизонтальне положення;
- обертаючи мікрометричний гвинт, торкнутися струменя спочатку одним, а потім іншим зубом кільця; записати при цьому відліки по мікрометру n_1 і n_2 ;

$c = 11,5$ мм - повернути мікрометр вгору на 90° і у вказаній послідовності заміряти довжину вертикальної осі еліпса стислого перетину.

Після вимірювання осей еліпса виконати вимірювання координат осі струменя в двох точках: при x_1, x_2 :

- для цього на вимірювальному пристрої прийняти довільні значення x_1 і x_2 , для них визначити по осі струменя y_1 і y_2 і записати ці значення.

3. При досягненні в мірному резервуарі рівня прийнятого об'єму, секундомір вимкнути, записати об'єм в напірному резервуарі. Зміряти температуру води.
4. Закрити вхідний вентиль 6 і злити воду з мірного і напірного резервуарів.

Б. Дослідження витікання з насадка

1. Заповнить напірний резервуар до постійного рівня.
2. В табл. 1 записати об'єм початкового рівня мірної посудини.
3. Відкрити отвір насадка одночасно з включенням секундоміру. При досягненні в мірній посудині прийнятого рівня об'єму, секундомір вимкнути і закрити насадок пробкою. Записати об'єм верхнього рівня в табл. 1. Записати температуру води.
4. Закрити вентиль 6 і злити воду з мірної посудини і напірного резервуару.

В. Обробка результатів дослідження закінчення води через отвір

1. Обчислюють коефіцієнт стиснення струменя отвору $\varepsilon = ab/d^2$ і визначають середнє значення коефіцієнта швидкості

$$\varphi_{cp} = (\varphi_1 + \varphi_2) / 2.$$

2. Обчислюють значення коефіцієнта опору при вході в отвір

$$\xi = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

Обчислюють кількість води W , що поступила в мірну посудину

$$W = W_2 - W_1.$$

3. Обчислюють витрати і швидкість витікання води:
- теоретичні

$$Q_m = S_0 \sqrt{2gH}$$

і експериментальні $Q = W/t$ витрати;

- фактична швидкість витікання води

$$V = \varphi_{cp} \sqrt{2gH}.$$

4. Обчислюють коефіцієнт витрат $\mu = \varepsilon \varphi_{cp}$ і число Рейнольдса

$$Re = \frac{V d_{cp}}{\nu}.$$

Г. Обробка результатів дослідження закінчення води через насадки.

1. Визначають витрати і швидкість витікання води

$$Q_e = W/t; V_e = Q_e/S; V_m = \sqrt{2gH}$$

і обчислюють коефіцієнт швидкості

$$\varphi = V_e / V_m .$$

2. Обчислюють коефіцієнт опору насадка

$$\xi = 1 / \varphi^2 - 1 .$$

3. Обчислюють коефіцієнт витрати і число Рейнольдса: $\mu = \varepsilon \varphi$;

$$\text{Re} = V_e d / \nu .$$

4. У виводах дати порівняння проведених експериментів, порівняти їх результати з теоретичними відомостями.

Результати вимірювань і розрахунків

Таблиця 1

№	Найменування вимірів і розрахунків	Одиниці виміру	Результати вимірів і розрахунків
1	2	3	4
<i>Витікання з отвору</i>			
I. Визначення коефіцієнта стиснення струменя			
1	Діаметр отвору d	мм	
2	Відстань стисненого перетину від отвору $l = d/2$	мм	
3	Відстань між зуб'ями кільця мікрометра c	мм	
4	Визначення довжини горизонтальної осі еліпсу стисненого перерізу:		
а)	відлік за мікрометром при торканні струменя правим зубом n_1	мм	
б)	відлік за мікрометром при торканні струменя правим зубом n_2	мм	
в)	різниця відліків m_1	мм	
г)	довжина осі $a = c - m_1$	мм	
5	Визначення довжини вертикальної осі еліпсу стисненого перерізу:		
а)	відлік за мікрометром при торканні струменя верхнім зубом k_1	мм	
б)	те ж нижнім зубом k_2	мм	
в)	різниця відліків m_2	мм	

1	2	3	4
г)	довжина осі $v = c - t_2$	мм	
6	Коефіцієнт стиснення ε		
II. Визначення коефіцієнта швидкості			
1	Горизонтальні координати струменя:		
	x_1	см	
	x_2	см	
2	Вертикальні координати струменя:		
	y_1	см	
	y_2	см	
3	Висота напору над центром отвору H	см	
4	Коефіцієнти швидкості :		
	φ_1		
	φ_2		
5	Середнє значення коефіцієнта швидкості $\varphi_{cp} = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$		
III. Визначення коефіцієнта опору на вході в отвір			
1	Визначення коефіцієнта опору $\xi = 1/\varphi^2 - 1$		
2	Визначення дійсних витрат:		
	а) об'єм води в мірній посудині на початку досліду W_1	см ³	
	б) Об'єм води в мірній посудині в кінці досліду W_2	см ³	
	в) кількість води, що поступила до мірної посудини $W = W_2 - W_1$	см ³	
	г) температура води T	°C	
	д) час наповнення мірної посудини t	с	
	е) витрати води $Q_e = W/t$	см ³ /с	
	ж) швидкість води $V_e = Q/S$	см/с	
3	Теоретичні витрати	см ³ /с	
4	Коефіцієнт витрат μ		

1	2	3	4
4	Число Рейнольдса $Re = V_e d_{cp} / \nu$		
IV. Витікання з насадку			
1	Тип насадку		
	Діаметр отвору насадку d		
	Довжина насадку l	мм	
	Висота напору над центром отвору насадку H	см	
	Визначення дійсних витрат: а) об'єм води в мірній посудині на початку досліду W_1	см ³	
	б) об'єм води в мірній посудині в кінці досліду W_2	см ³	
в) кількість води, що поступила до мірної посудини $W = W_1 - W_2$	см ³		
г) температура води	°C		
д) час наповнення мірної посудини t	с		
е) витрати води $Q_e = W/t$	см ³ /с		
2	Швидкість води $V_e = Q_e/S$	см/с	
3	Теоретична швидкість води $V_m = \sqrt{2gH}$	см/с	
4	Коефіцієнт швидкості $\varphi = V_e/V_m$		
5	Коефіцієнт опору насадку $\zeta = l/\varphi^2 - 1$		
6	Коефіцієнт витрат $\mu = \varepsilon\varphi$		
7	Число Рейнольдса Re		

Контрольні питання

1. Які отвори відносять до малих отворів в тонкій стінці?
2. Чим викликається стиснення струменя, яке його розташування по довжині струменя?
3. Які види стиснення струменя бувають і від чого вони залежать?
4. Що називають коефіцієнтом стиснення струменя, коефіцієнтом швидкості, коефіцієнтом витрати і як вони визначаються?

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ НАСОСІВ

Мета роботи: вивчення конструкцій і принципів дії основних різновидів сучасних насосів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Широкого поширення у виробництві набули різні конструкції насосів. За конструктивними ознаками і принципом дії їх ділять на *об'ємні* і *динамічні*.

У об'ємних насосах витіснення рідини з робочих камер здійснюється в результаті обертального, обертально-поступального або поступального руху витиснювачів. До них відносяться *поршневі, шестерінчасті, пластинчасті, гвинтові* та інші.

У динамічних насосах рідина витісняється з робочої камери під силовою дією робочого колеса, що обертається з великою швидкістю. До динамічних насосів відносяться *відцентрові, осьові, вихрові, струменеві*. Найбільш поширеними різновидами є відцентрові і осьові. Принцип дії відцентрових насосів: рідина, що підводиться до центральної частини робочого колеса насоса, поступає на його лопаті, що обертаються з великою швидкістю. Під дією відцентрових сил рідина ковзає уздовж лопаток, відкидається до периферії в збірний канал, що розширюється. По каналу рідина поступає в напірний трубопровід.

1. Поршневі насоси

Схема поршневого насоса показана на мал. 6. Робочими органами насоса є: робоча камера з клапанами 9 і 10, циліндр з поршнем 5, трубопровід, що всмоктує 8 і напірний 11 трубопровід. Цикл роботи насоса складається з двох тактів: *всмоктування* і *нагнітання*. При русі поршня зліва направо в циліндрі під поршнем створюється вакуум, клапан 9 відкритий, а клапан 10 – закритий. Рідина піднімається по трубопроводу, що всмоктує, робоча камера циліндра заповнюється водою.

При русі поршня справа наліво в робочій камері створюється надмірний тиск. Під його дією закривається клапан 9 і відкривається 10. Рідина витісняється в напірний трубопровід 11. Висота всмоктування насоса не перевищує 6 - 7 м. вод. ст.

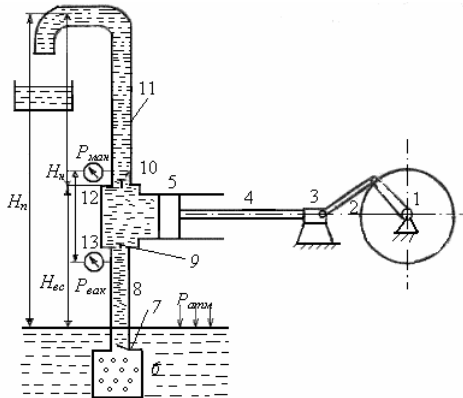
Дійсна подача поршневого насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) – об'ємна или ($\text{кг}/\text{с}$) – масова:

$$Q_d = \frac{Snl\eta_0}{60}$$

де S – площа поршня, m^2 ; l – довжина ходу поршня, m ; n – частота обертання провідної ланки насосної установки, $об/хв$; η_0 – об'ємний коефіцієнт корисної дії

$$\eta_0 = 0,85 - 0,99.$$

Істотним недоліком подібних конструкцій є нерівномірність подачі.



Мал. 6. Схема поршневого насоса

Зменшення нерівномірності досягається за рахунок збільшення числа циліндрів насоса, поршні яких розташовуються на одному валу із зсувом кривошипів кожного на кут

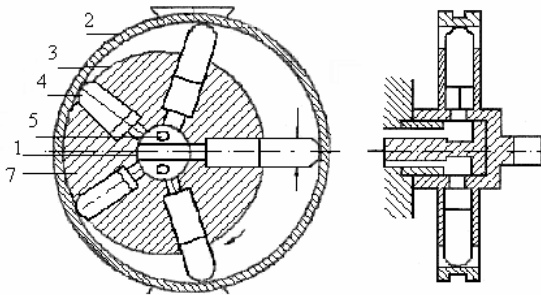
$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z}$$

один щодо одного. Можливі також інші конструктивні рішення, що дозволяють зменшувати нерівномірність подачі: установка повітряних клапанів, застосування насосів диференціального типу, подвійної дії та ін.

2. Роторно-поршневі насоси

Одноциліндрові поршневі насоси характеризуються великою нерівномірністю подачі. Більш рівномірну подачу рідини можна одержати шляхом застосування багатоциліндрових поршневих машин, циліндри яких об'єднані в один блок. Витіснювачами робочої рідини є поршні, що приводяться в рух безпосередньо від двигуна.

Роторно-поршневі насоси (гідромашини) отримали широке застосування в об'ємних гідропередачах і приводах. Їх використовують



Мал.7 Схема радіально-поршневого насоса

в якості постійної і змінної подачі та як гідродвигуни з постійним і змінним моментом, що крутить. По розташуванню робочих камер (циліндрів) щодо осі обертання ротора насоси ділять на радіальні і аксіальні.

Радіально-поршковий насос схематично представлений на мал. 7. У насосах цього типу ротор 1 розташований ексцентрично щодо статора 2. У роторі просвердлені радіальні циліндрові отвори (циліндри). Поршні 4 при обертанні ротора здійснюють в циліндрах поворотно-поступальну ходу, ковзаючи своїми сферичними головками по внутрішній поверхні статора. Як розподільний пристрій служить порожниста вісь з перегородкою 5. При обертанні ротора робочі камери по черзі з'єднуються з отвором 3, через який всмоктується рідина, і з отвором 7, через який відбувається її нагнітання.

Робочий об'єм відповідно до ідеальної подачі насоса за один оборот ротора (м^3):

$$V_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l,$$

де d – діаметр поршня, м; $2l$ – хід поршня по циліндру, м.

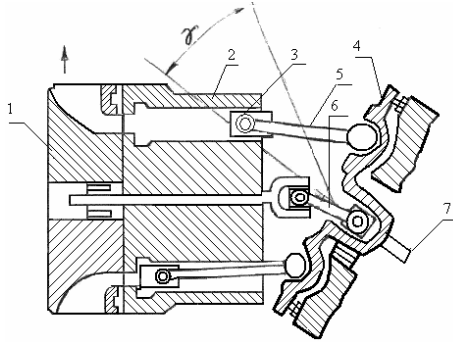
Аксіально-поршкові насоси відрізняються від радіальних тим, що поршні у них здійснюють поворотно-поступальні рухи в напрямі, паралельному осі блоку циліндрів. Ці насоси виконуються з наклонним циліндровим блоком або похилою шайбою.

Аксіально-поршковий насос з похилим циліндровим блоком показаний на мал. 8.

Конструктивно вісь обертання циліндрового блоку нахилена до осі обертання приводного валу. Передача моменту обертання від

валу до циліндрового блоку здійснюється через штоки поршнів або за допомогою універсального шарніра (подвійний кардан).

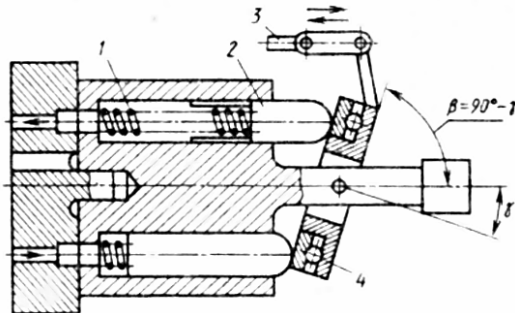
Основним елементом насоса є циліндровий блок (ротор) 2, поршні 3, штоки 5, шарнірно пов'язані з поршнями 3 і настійним диском 4. Диск 4 жорстко пов'язаний з провідним валом 7. Підведення і відведення рідини здійснюється через нерухомий розподільник 1.



Мал. 8. Аксиально-поршневий насос

Схема найпростішого насоса з похилим диском зображена на мал. 9. У насосі відсутній карданний або шатуновий зв'язок похилого диска з блоком циліндрів. Поршні 2 притиснуті пружинами 1 або безпосередньо до похилого диска 4 (як показано на малюнку), або через проміжний черевик.

Підведення і відведення рідини здійснюється через нерухомий торцевий розподільник. Зміна робочого об'єму, а отже регулювання подачі, проводиться автоматично або уручну шляхом зміни кута β нахилу диска за допомогою шарнірної тяги 3.



Мал. 9 Аксиально-поршневий насос з похилим диском

Розглянуті роторно-поршневі насоси мають властивість оборотності; тому вони застосовуються і як насоси, і як гідромотори.

Робочий об'єм насоса при числі циліндрів Z і їх діаметрі d визначається з виразу:

$$V_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot D \sin(\alpha Z),$$

де D - діаметр блоку насоса, м; α - кут нахилу блоку (шайби).

Аксiальні роторно-поршневі насоси і гідромотори мають менші габарити в порівнянні з радіальними гідромашинами, високий ККД; вони придатні для роботи на високих частотах обертання (до 20000 об/хв) і тиску до 30 МПа.

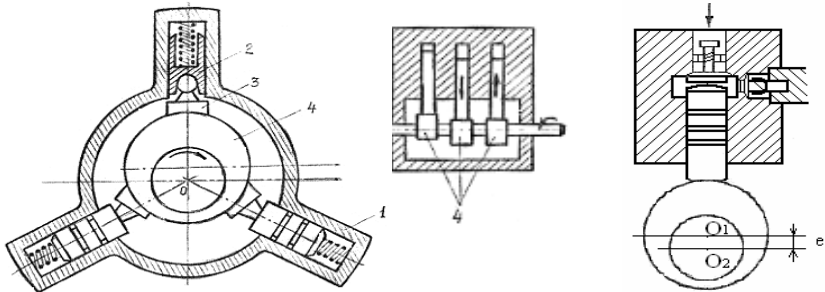
Середню подачу аксiально-поршневого насоса визначають по формулі

$$Q_0 = \eta_0 \frac{\pi d^2}{120} r_0 z n t g \gamma,$$

де r_0 - радіус кола осей циліндрів, γ - кут нахилу шайби.

3. Кулачкові насоси

Схема кулачкового насоса приведена на мал.10. Основними елементами є корпус 1, робочі поршні 2, приводний кулачковий вал 4. Вісь обертання кулачкового валу зміщена щодо геометричної осі корпусу на величину ексцентриситету e . При обертанні кулачкового валу поршні здійснюють поворотно-поступальну ходу на шляху $l = 2e$.



Мал. 10. Схема кулачкових насосів

Основний недолік поршневих кулачкових насосів - нерівномірність подачі. Для вирівнювання подачі застосовують багатопоршневі насоси з числом циліндрів $Z = 3 - 11$ в одному ряду і із зсувом фаз їх робочих циклів на кут $\alpha = 360^\circ/Z$.

У корпусі насоса циліндри можуть розташовуватися в один ряд. Компактність конструкції насоса досягається радіальним розташуванням циліндрів, осі яких перетинаються в центрі симетрії корпусу.

Робочий об'єм насоса при числі циліндрів Z і їх діаметрі d визначається по формулі

$$V_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot eZ.$$

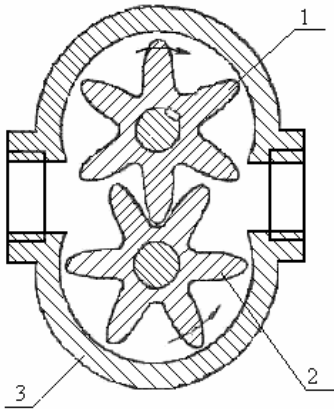
Подача кулачкового насоса

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{eZn\eta_0}{60},$$

де $\eta_0 = 0,75 - 0,95$ – об'ємний ККД насоса; n – частота обертання кулачкового валу, об/хв.

4. Шестерінчасті насоси

Сучасні шестерінчасті насоси (мал. 11) виконуються з шестернями зовнішнього і внутрішнього зачеплення. Більш поширені насоси з шестернями зовнішнього зачеплення.



Мал. 11. Схема шестерінчастого насоса

Останні виконуються у вигляді пари однакових шестерень – що веде і відомої, що знаходяться в зачепленні і поміщені в корпусі насоса з малими зазорами торців. По обидві сторони зони зачеплення в корпусі є порожнини, сполучені з напірною лінією і лінією, що всмоктує. Із сторін торців корпус замикається бічними дисками. При обертанні шестерень у порожнині, яка всмоктує, зуби виходять із зачеплення, об'єм камери всмоктування збільшується, тиск зменшується. Робоча рідина, підведена до патрубку, що всмоктує, поступає в камеру всмоктування, заповнює западини, що вивільнилися, (робоча камера) і далі переноситься по периферії корпусу в порожнину нагнітання. Порожнина нагнітання утворюється з протилежної сторони, де зуби входять в зачеплення, витісняючи робочу рідину із западин в нагнітальний патрубок. За один оборот шестерень робочий об'єм насоса можна визначити як суму об'ємів

западин обох шестерень, що відповідає об'єму кільця, що має зовнішній діаметр, рівний діаметру кола виступів шестерень, з товщиною висоти зуба h і ширини шестерні b . Об'єм цього кільця

$$V_0 = 2\pi m^2 z b = 2\pi d m b,$$

де m – модуль зачіпляє, z – число зубів шестерні.

Оскільки у шестерень об'єм западин між зубами трохи більше об'єму самих зубів, то уточнена формула для визначення робочого об'єму насоса має вигляд

$$V_0 = 7m^2 z b = 7d m b.$$

Теоретична подача шестерінчастого насоса ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q_m = \frac{bSZn}{30},$$

де S – площа робочої частини зуба, що видавлює рідину. Приблизно вважають

$$S = \frac{\pi D^2}{Z^2},$$

де D – діаметр початкового кола шестерні.

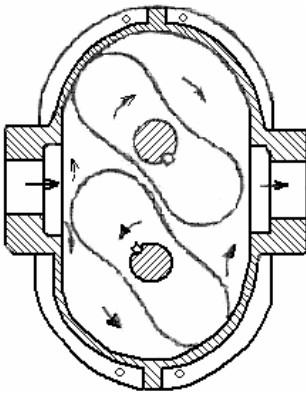
Витоки рідини враховуються об'ємним ККД $\eta_0 = 0,8 \div 0,95$.

Дійсна подача шестерінчастого насоса ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q = \frac{\pi b D^2 n \eta_0}{30Z}.$$

Шестерінчасті насоси реверсивні, тобто зміною напрямку обертання шестерні міняється напрям руху рідини в трубопроводі.

Шестерінчасті насоси з внутрішнім зачепленням компактніші, ніж із зовнішнім. Вони мають кращу здатність до всмоктування, можуть працювати при великих частотах обертання, проте складні у виготовленні. З цієї причини вони не набули широкого поширення в сучасному машинобудуванні.



Мал.12. Схема коловоротного насоса

5. Коловоротні насоси

Коловоротні насоси (мал. 12) відносяться до шестерінчастих. Основними робочими органами насосів є рухомі ротори: що веде і відомий.

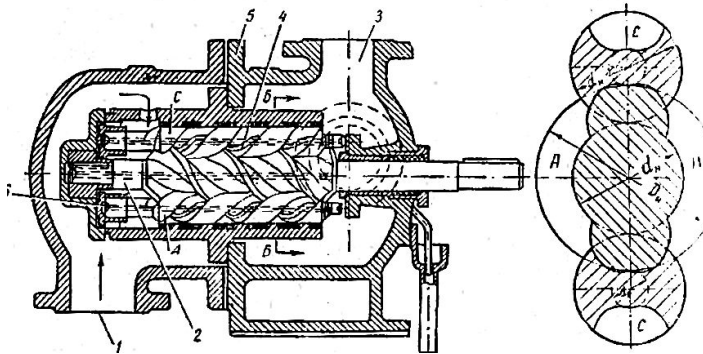
Конструктивно ротори можуть бути з двома або трьома зубами. Профілі зубів щільно замикаються між собою і статором насоса. При обертанні роторів в порожнині всмоктування їх зуби виходять із зачеплення, об'єм камери всмоктування збільшується, тиск зменшується і рідина поступає в камеру всмоктування. При подальшому обертанні роторів об'єм правої камери зменшується (зуби входять в зачеплення) і рідина витісняється в нагнітальний трубопровід. Оскільки ротори не можуть передавати момент, що крутить, усередині статора, то для цього вони сполучені між собою шестерінчастою парою, розташованою за межами корпусу насоса.

Коловоротні насоси застосовують для перекачування великих об'ємів дуже в'язких рідин (кам'яновугільних смол, бітумів і т.д.) при невеликому тиску.

6. Гвинтові насоси

Гвинтові насоси (мал. 13) відрізняються рівномірною подачею рідини, високим ККД, вони компактні, безшумні, надійні в роботі, допускають високе число обертів і достатньо великий тиск.

Основними робочими органами гвинтових насосів є гвинти, поміщені в корпус. Гвинтові насоси виготовляються в одно-, двух-, трьох- і багатогвинтовому виконанні. Звично один гвинт веде, решта відомі. Виступи одного гвинта входять в западини іншого.



Мал. 13. Схема гвинтового насоса

Западни між зубами гвинтової нарізки під час роботи заповнені рідиною і є замкнутими об'ємами, що відділяють порожнину всмоктування від порожнини нагнітання. При обертанні гвинтів в порожнині всмоктування гвинтові зуби розкривають западини, об'єм камери всмоктування збільшується, тиск зменшується і рідина

поступає в камеру з трубопроводу, що всмоктує. При подальшому обертанні гвинтів рідина, що заповнила западини, переноситься уздовж осі по гвинтовій нарізці з камери всмоктування в камеру нагнітання, де зуби гвинтів, входивши в западини, витісняють рідину в камеру нагнітання і далі в напірний трубопровід. При подачі робочої рідини під тиском в камеру всмоктування гвинтова гідромашина працює як гвинтовий гідродвигун.

Подача гвинтового насоса визначається за формулою

$$Q = \frac{(S_k - S_g)tn\eta_0}{60},$$

де S_k – площа поперечного перетину порожнини корпусу, в якій розміщені гвинти, m^2 ; S_g – площа тіла гвинтів, m^2 ; t – крок гвинтової нарізки, m ; $\eta = 0,75 - 0,98$ – об'ємний ККД.

За початкову величину при розрахунку площі тіла гвинтів насосів приймають діаметр основного кола провідного гвинта d_n , через який виражається решта розмірів:

$$D_n = \frac{5d_n}{3}, \quad d_g = \frac{d_n}{3}, \quad t = \frac{10d_n}{3},$$

де D_n – зовнішній діаметр гвинта; d_g – внутрішній діаметр нарізки відомого гвинта.

Зовнішній діаметр відомих гвинтів рівний діаметру основного кола провідного гвинта. З урахуванням необхідної герметичності теоретична подача за один оборот гвинта

$$q_t = (S_k - S_g)t = 4,14d_n^3 - \text{для трьохгвинтових насосів};$$

$$q_t = (S_k - S_g)t = \frac{3\pi(D_n^2 - d_n^2)t}{16} - \text{для двогвинтових насосів}.$$

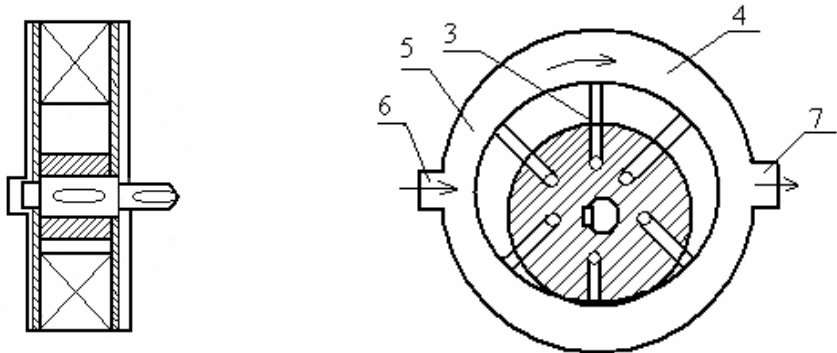
Подача гвинтового насоса рівномірна, без помітної пульсації, досягає $10000 \div 15000$ л/хв.

Гвинтові насоси мають велику здатність до самовсмоктування (до 6 – 7 м. вод. ст), можливість змінювати тиск в широкому діапазоні, відносно постійний ККД, компактність. Проте складність виготовлення, що вимагає високої точності, обмежує їх широке застосування на сучасному етапі.

Гвинтові насоси і гідродвигуни застосовуються в об'ємних гідроприводах, гідравлічних системах регулювання парових і гідравлічних турбін, в нафтовій промисловості.

7. Пластинчасті насоси

Основними робочими органами пластинчастих насосів (мал. 14) є ротор 1, поміщений в циліндровому розточуванні корпусу насоса між двома щільно притиснутими до нього торцевими дисками 2.



Мал. 14. Схема роторно-пластинчастого насоса одnorазової дії

У радіальних, або злегка похилих до радіусу ротора пазах, поміщені пластини - витіснювачі. Вісь обертання ротора розташовується по відношенню до статора 4 ексцентрично. При обертанні ротора пластини притискаються до внутрішньої поверхні статора відцентровими силами, або спеціальними пружинами, здійснюючи одночасно поворотно-поступальну ходу в його пазах. Об'єм між сусідніми пластинами, у міру обертання ротора змінюється по величині. У зоні всмоктування об'єм між пластинами збільшується і заповнюється рідиною. У зоні нагнітання цей об'єм зменшується і рідина з нього витісняється в нагнітальну порожнину. Пластинчасті насоси виготовляються з постійною і регульованою подачею. Регулювання подачі пластинчастих насосів здійснюється зміною ексцентриситету e .

Подача пластинчастих насосів пульсуюча. Для зменшення пульсації подачі рідини в насосах застосовується від 4 до 12 пластин.

Пластинчасті насоси бувають однократної, двократної і багатократної дії. Істотним недоліком роторно-пластинчастих насосів і гідромашин однократної дії є наявність великого одностороннього навантаження на підшипники. Для усунення цього недоліку застосовують роторно-пластинчасті гідромашини двократної дії.

У пластинчастому насосі двократної дії подача рідини з кожної робочої камери в нагнітальний трубопровід за один оборот ротора проводиться двічі.

Робочий об'єм пластинчастого насоса одnorазової дії

$$V = 2be(2\pi r - z\sigma),$$

де b – ширина ротора, e – ексцентриситет, r – радіус статора, z – число пластин, σ – товщина пластини.

Робочий об'єм пластинчастого насоса двократної дії

$$V = 2b[\pi(r_2^2 - r_1^2) - \frac{(r_2 - r_1)z\sigma}{\cos\alpha}],$$

де r_1 і r_2 – великий і малий радіуси статора, α – кут нахилу пластин (для радіальних пластин $\cos\alpha = 1$). Для нереверсивних насосів $\alpha = 7 - 15^\circ$, ККД пластинчастого насоса $\eta = 0,75 - 0,98$.

Пластинчасті гідромашини розраховані на роботу при невеликій подачі (5 – 200 л/хв) і достатньо високому тиску (до 7 МПа). Завдяки малим габаритам, надійності в роботі, високому ККД пластинчасті насоси широко застосовуються в гідроприводах машин.

8. Відцентровий насос

В сучасній техніці широкого поширення набули відцентрові насоси різних типів, що відрізняються один від одного конструктивно і експлуатаційними даними.

Відцентрові насоси розрізняються по числу ступенів тиску, по розташуванню вала, умовам руху рідини з робочого колеса в корпус насоса і іншим ознакам.

По числу ступенів тиску насоси розділяються на одноступінчаті двохступінчаті і багатоступінчаті, в яких рідина проходить через послідовно сполучені робочі колеса, що поступово збільшують напор до заданого рівня. Для збільшення продуктивності застосовуються насоси з двостороннім входом. У таких насосів більша продуктивність при однаковому напорі.

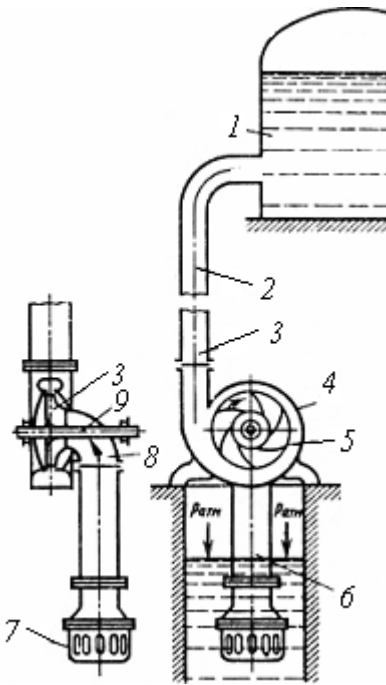
Залежно від розташування валу робочого колеса, розрізняють насоси з горизонтальним і вертикальним валом.

Для поліпшення умов входу рідини, в корпус насоса вводять додатково направляючий апарат, цілий ряд насосів працюють без нього.

Відцентрові насоси розділяються на тихохідні, нормальної швидкохідності і бистрохідні.

Найбільш поширений тип сучасного відцентрового насоса – насос з горизонтальним валом, що сполучений з двигуном і має спіральну камеру.

Схема одноступінчатого відцентрового насоса з

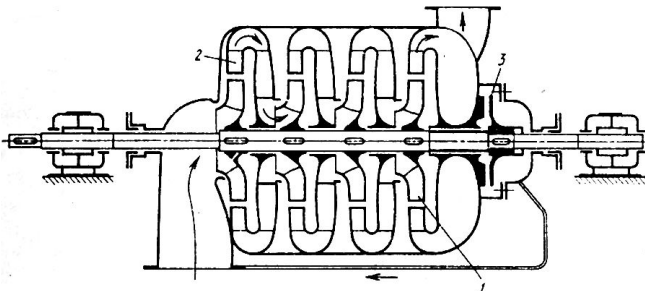


одностороннім входом приведена на мал. 15. У корпусі 4, виконаному у вигляді равлика, на валу 9 обертається робоче колесо 5 з криволінійними лопатками. Вал з колесом приводиться в обертання від електродвигуна. Корпус насоса складається з робочої камери і двох патрубків: що всмоктує 8 і нагнітача 3.

Мал. 15. Схема одноступінчатого відцентрового насоса з одностороннім входом

Патрубок, що всмоктує, підходить до центру корпусу насоса, а нагнітач розташований на периферії і є як би продовженням равлика. Патрубок 8 сполучений з

трубопроводом, що всмоктує 6, на кінці якого встановлений фільтр грубого очищення 7. В середині розташований зворотний клапан, що попереджає зворотний рух рідини. Патрубок 3 приєднаний до напірного трубопроводу 2, що подає рідину від насоса до місця призначення, наприклад до резервуару 1.



Мал. 16. Схема багаступінчатого відцентрового насоса з одностороннім входом

Відцентрові насоси не володіють властивістю самовсмоктування, тому перед пуском насос і трубопровід, що всмоктує, заповнюється рідиною. Зворотний клапан при цьому повинен бути закритий. У крупних відцентрових насосах для цих цілей служать спеціальні вакуумні насоси, що відсисають повітря з трубопроводу, що всмоктує. У насосі створюється вакуум, що забезпечує надходження в нього рідини перед запуском. Після заповнення насоса рідиною включають двигун, робоче колесо обертається з великою частотою. При цьому рідина, що заповнює робоче колесо, переміщується за профілем лопаток від центру насоса до периферії, в нагнітальний трубопровід.

В результаті такого переміщення в центрі насоса утворюється вакуум, і під дією атмосферного тиску, що діє на вільну поверхню рідини, відкривається зворотний клапан і рідина по трубопроводу, що всмоктує, поступає в насос. Таким чином, у всій системі створюється безперервний рух рідини, який при постійній частоті обертання робочого колеса вважають сталими.

Одноколісні насоси з одностороннім входом застосовують при невеликих подачах і потужностях. При збільшенні подачі зростають зусилля, що зміщують робоче колесо у напрямі всмоктування.

Одноколісні насоси відносять до групи низьконапірних. Вони створюють тиск не вище 1,0 МПа. Для збільшення напору зазвичай на валу встановлюють два, три і більш за колеса.

Рідина, проходячи послідовно через кожне колесо, збільшує тиск приблизно на однакову величину. Такі насоси називаються багатоступінчастими (рис. 11).

Основними частинами насоса є робоче колесо 1, що направляє апарат 2, гідравлічна п'ята 3. Число коліс на одному валу такого відцентрового насоса не перевищує 12.

Значення ККД відцентрових насосів змінюється в широких межах, залежно від розмірів насоса і досконалості його проточної частини: для малих насосів $\eta = 0,27 - 0,8$; у великих насосах ККД досягає величини $\eta = 0,9$, що свідчить про досконалість відцентрового насоса як гідравлічної машини.

9. Вихровий насос.

Робочим органом вихрового насоса (мал. 17) є робоче колесо 1 з радіальними або похилими лопатками, укладене в циліндровому корпусі з малими зазорами торців. У бічних або периферійних стінках корпусу виконаний концентричний канал 2, сполучений з вхідним 5 і

напірним 3 патрубками. Простір між вхідною і напірною порожнинами розділений глухою перемичкою 4.

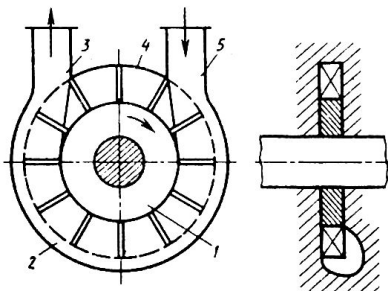
Процес роботи вихрового насоса полягає в наступному. При всмоктуванні рідина переміщається уздовж лопаток робочого колеса від периферії до центру, тобто в зворотному в порівнянні з відцентровим насосом напрямі. Потрапляючи на лопатки і обертаючись разом з ними, рідина під дією відцентрової сили отримує значну кінетичну енергію і викидається цією силою в концентричний канал між робочим колесом і корпусом, де кінетична енергія перетворюється в енергію тиску.

Під дією підвищеного тиску рідина переміщається в сусідній простір між лопатями всередину колеса, потім знову відкидається відцентровою силою в канал і так далі. Таким чином частинки рідини описують вихреподібні спіральні траєкторії. За один оборот робочого колеса одна і та ж кількість рідини багатократно дією відцентрової сили відкидається від центру до периферії, внаслідок чого послідовно нарощується запас енергії рідини. Це приріст енергії може бути порівнянне із збільшенням напору в багатоступінчатому відцентровому насосі. Тому при однакових розмірах і рівних окружних швидкостях робочих коліс вихрові насоси створюють натиск, що в 4 – 9 разів перевищує напор відцентрових насосів.

Робота вихрових насосів характеризується само-всмоктуванням, що також вигідно відрізняє їх від відцентрових. Для запуску вихрового насоса достатньо тієї кількості води, що залишається в насосі після попереднього пуску.

Недоліком вихрових насосів є відносно низький ККД, що не перевищує 45%. Це пояснюється значними втратами напору в процесі

вихроутворення на подолання гідравлічних опорів колеса, і тертя об стінки каналу. Ці втрати враховуються гідравлічним ККД (η_2). ККД насоса знижується також в результаті витоків рідини через зазори торців між робочим колесом і корпусом насоса і через зазор між колесом і перемичкою; ці втрати враховуються об'ємним ККД (η_0).

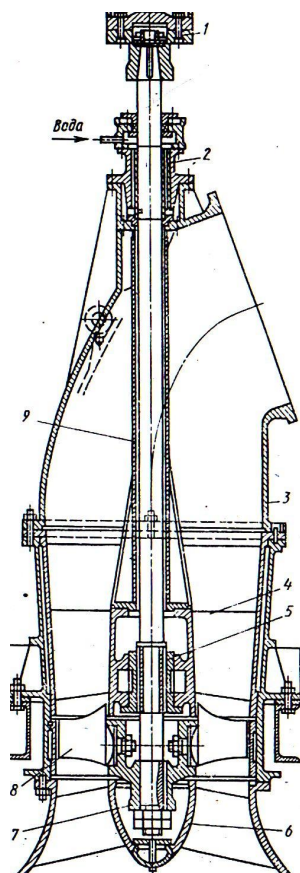


Мал. 17. Схема вихрового насоса

Низький ККД перешкоджає застосуванню вихрових насосів при великих потужностях. Вони розвивають подачу до 12 л/с, напор

насосів досягає 250 м, потужності 20 кВт, коефіцієнт швидкохідності $n_s = 10 - 25$. Область застосування цих насосів по подачі і тиску близька до області застосування об'ємних насосів (поршневих і роторних). Особливо перспективно їх використання для перекачування сумішей рідини і газу. Їх застосовують для подачі легколетючих рідин (бензин, спирт і ін.), а також рідин, насичених парами кислот, лугів і зріджених газів.

10. Осьові насоси



Мал. 18. Схема осьового насоса

Останнім часом широкого поширення набувають осьові (пропелерні) насоси малого напору і великої продуктивності. Перевага цих насосів – простота, компактність конструкції, а також можливість перекачування забруднених рідин.

Осьовий насос (мал. 18) складається з робочого колеса, що складається з маточини 7 із закріпленими на ній лопатками 8. Обтічник 6 забезпечує плавне підведення рідини до лопаток. Число лопаток коливається від 3 до 6. За робочим колесом розміщується направляючий апарат 4 з нерухомими лопатками. Відведення рідини в напірний трубопровід виконане у вигляді коліна 3. Вал 9 обертається в двох підшипниках 2 і 5 і сполучений муфтою 1 з валом електродвигуна.

У крупних осьових насосах лопатки робочого колеса поворотні, кут їх повороту регулюється спеціальним механізмом. Робоче колесо осьового насоса передає рідині поступальну і обертальну ходу в напрямі, протилежному обертанню робочого колеса.

Для усунення обертального руху рідини і зменшення втрат напору в проточній порожнині насоса служить направляючий апарат, через який рідина проходить перед виходом в напірний трубопровід.

Теоретична подача осьового насоса ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)v_z}{4},$$

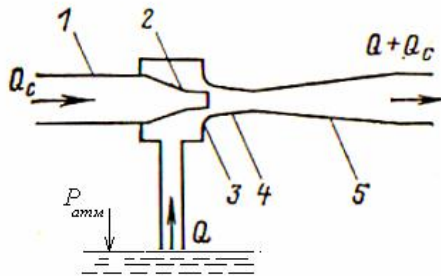
де D – зовнішній діаметр робочого колеса, м; d – діаметр маточини, м; v_z – осьова швидкість, м/с; $v_z = K_v \sqrt{2gH}$; $K_v = 0,55n_s^{3/4}$ – коефіцієнт швидкості.

Осьові насоси, що випускаються промисловістю, можуть бути використані для перекачування прісної і морської води. Вони успішно працюють в зрошувальних системах, а також на станціях перекачування каналів з примусовим підйомом води.

Вертикальні осьові насоси серій ОВ і ОПВ (О – жорстко-лопатевий, ОП – поворотно-лопатевий), які застосовуються на могутніх теплових електростанціях. Вони входять головним чином в системи прямого і оборотного водопостачання із ставком-охолоджувачем і встановлюються на берегових насосних станціях. Такі насоси перекачують від 170 до 165000 $\text{м}^3/\text{год}$ рідини при натиску від 1,3 до 28 м.

11. Струменеві насоси

Струменевий насос (мал. 19) не має рухомих частин, а робочим органом є сама рідина.



Мал. 19. Схема струменевого насоса

Насос складається з трубопроводу 1, по якому підводиться рідина під натиском, сопла 2, камер змішування 3, 4 і дифузора 5. Рідина з сопла 2 викидається з великою швидкістю в камеру змішування 4 і захоплює рідину, що відсмоктується в неї, передаючи їй частину енергії. Витрата

рідини, що перекачується позначена Q , а рідині, що створює напор – Q_c . Ці рідини можуть бути різними. Наприклад Q_c – чиста вода, а Q – забруднена.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Прибори та приладдя

Поршневий насос, радіально-поршневий насос, аксіально-поршневий насос, кулачковий насос, шестерінчастий насос, гвинтовий насос, коловоротний насос, пластинчаті насоси, відцентровий насос, вихровий насос, макет установки – струменевий насос та інші.

Інструменти: штангенциркуль, штангензубомір, креслярське приладдя.

Порядок виконання роботи

1. Провести часткове розбирання типів гідравлічних насосів, що вивчаються.
2. З'ясувати призначення окремих елементів, їх конструктивний зв'язок, особливості роботи.
3. Виміряти характерні розміри конструкцій, що вивчаються, необхідні для обчислення їх робочих об'ємів, подачі.
4. Зібрати конструкції насосів, що вивчаються, із закріпленням і установкою їх окремих елементів.

Обробка експериментальних даних

1. Викреслити схеми конструкцій насосів, що вивчаються.
2. За результатом вимірювань окремих елементів насосів, залежно від конструкції, обчислити об'єм, записати і проаналізувати формулу подачі і інших параметрів.
3. Стисло описати особливості конструкцій насосів, що вивчаються, принципів роботи, основних параметрів.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте особливості устрою поршневих насосів і їх різновидів.
2. Якими основними параметрами характеризується робота насосів?
3. Що таке подача насоса і від чого залежить рівномірність подачі поршневого насоса?
4. Назвіть основні типи роторно-обертальних і роторно-поступальних насосів.
5. Перерахуйте переваги і недоліки роторних насосів.
6. Охарактеризуйте особливості конструкції і принцип дії шестерінчастих насосів.

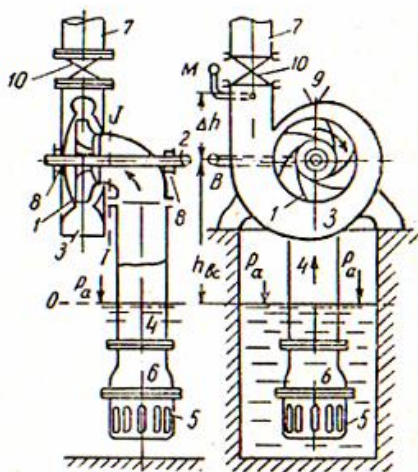
ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Мета роботи: ознайомлення з конструкцією насосної установки, принципом роботи насоса, і визначення параметрів роботи насоса для різних режимів, побудова основних характеристик $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$ при постійній швидкості обертання робочого колеса.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Насосами називають гідравлічні машини, що перетворюють механічну енергію двигуна в енергію рухомої рідини. Простота конструкції і зручність в експлуатації забезпечили відцентровим насосам достатньо широке розповсюдження.

Схема одноколісного відцентрового насоса з горизонтальним валом приведена на мал. 20. Головною частиною відцентрового насоса є робоче колесо 1, що складається із зігнутих лопатей,



укріплених в дисках. Колесо укладене в нерухому спіральну камеру 3. Рідина до насоса підводиться по трубі, яка всмоктує 4, на кінці якої закріплений зворотний клапан 6 з фільтром грубого очищення води 5. Зворотний клапан необхідний для заливки насоса перед його пуском. По нагнітальній трубі 7 рідина з насоса поступає в напірний трубопровід. На одному валу з робочим колесом знаходиться двигун, що приводить його в рух.

Мал. 20. Схема відцентрового насоса

У місцях перетину робочого валу з кожухом встановлюють сальники 8 з ущільнюючим набиванням для запобігання витoku води і

попадання повітря у трубу, яка всмоктує. Насоси оборудуються вакуумметром, манометром, іноді краном для заливки насоса 9 і засувкою 10 на нагнітальній трубі, що служить для регулювання витрати і відключення нагнітальної лінії від насоса.

У нагнітальній трубі звичайно встановлюють зворотний клапан, який автоматично закривається при зупинці насоса, відключаючи останній від напірної лінії. Перед пуском насос заливається рідиною, зворотний клапан труби, яка всмоктує, при цьому закритий.

Після того, як весь насос, включаючи трубу, яка всмоктує, заповнений рідиною, запускається двигун, який приводить в обертання робоче колесо. Частинки рідини під дією відцентрової сили переміщуються від входу в насос до виходу з нього. В результаті вказаного руху у трубопроводі, що всмоктує, створюється вакуум. При цьому зовнішній (атмосферний) тиск, що діє на вільну поверхню рідини, відкриває нижній клапан 6 і рідина з колодезя починає поступати в насос. При русі рідини через робоче колесо відбувається перетворення механічної енергії двигуна в кінетичну енергію рухомої рідини.

При знятті характеристик відцентрового насоса зміна режиму його роботи (при $n = const$) проводиться зміною ступеня відкриття засувки, встановленої на напірному трубопроводі. При цьому визначаються наступні величини: подача, напор, потужність, коефіцієнт корисної дії.

Подача (продуктивність) - кількість рідини, яка подається насосом в живлену їм мережу в одиницю часу. Розрізняють об'ємну ($\text{м}^3/\text{год}$, $\text{м}^3/\text{с}$) і масову ($\text{кг}/\text{год}$, $\text{кг}/\text{с}$) подачі.

Напор – приріст механічної енергії одиниці маси рідини, що пройшла через робочі органи насоса. Напор H зазвичай вимірюється в метрах стовпа рідини, що перекачують, або в Па. Манометричний напор насоса H визначають за формулою

$$H = H_{\Gamma} + \frac{V_n^2 - V_{\text{в}}^2}{2g} + h_n,$$

де V_n и $V_{\text{в}}$ – середні швидкості в трубопроводі, що нагнітає і трубопроводі, що всмоктує; h_n – різниця висот між манометром і вакуумметром. Якщо діаметри трубопроводів, що всмоктує і що нагнітає, рівні, то

$$H = H_M + H_B + \Delta z. \quad (1)$$

Потужність N , споживана електродвигуном насоса, визначається по формулі

$$N = \eta_{\text{ел.дв.}} IU, \quad (2)$$

де I – сила струму, А; U – напруга, В; $\eta_{\text{ел.дв.}}$ – ККД двигуна.

Корисна потужність на валу відцентрового насоса визначається по формулі

$$N = \rho g Q H \quad (3)$$

де ρ – густина рідини, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; H – напор, створюваний насосом, м; Q – подача, $\text{м}^3/\text{с}$.

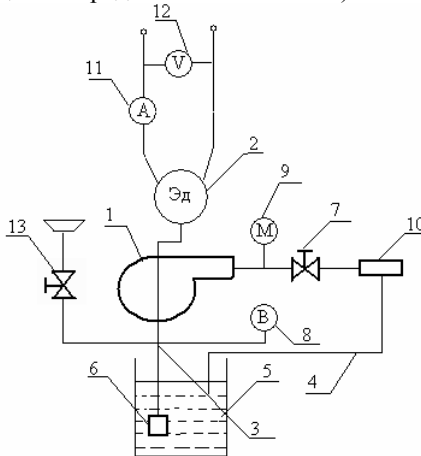
$$\eta = \frac{N_n}{N} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Коефіцієнт корисної дії – відношення корисної потужності до споживаної. Величина ККД насоса залежить від багатьох чинників: розміру і типу насосів, якості виготовлення і збірки його окремих складових, умов експлуатації і т.д. ККД лопатевих насосів коливається в межах 0,27-0,9. При цьому найвищі коефіцієнти відповідають насосам великих розмірів.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки приведена на мал. 21. Відцентровий насос 1, що працює по замкнутому циклу, встановлений на одному валу з електродвигуном 2. Вода всмоктується насосом з бака 5, встановленого нижче відцентрового насоса (установка працює під попереднім заповненням). Всмоктування здійснюється через



Мал. 21. Схема насосної установки

трубопровід, що всмоктує 3, на якому встановлений вакуумметр 8, який показує рівень вакууму у порожнини, що всмоктує, насоса в міліметрах ртутного стовпчика. Манометр 9, який встановлено на трубопроводі, що нагнітає, показує тиск води (кг/см^2) залежно від режиму роботи насоса, який встановлюється шляхом відкриття або закриття вентиля 7.

Вимірювання витрат води здійснюється за допомогою лічильника води 10. Вимірювання потужності, споживаної електродвигуном, проводиться амперметром 11 і вольтметром 12.

Порядок виконання роботи

Перед виконанням роботи слід ретельно ознайомитися з конструкцією насоса і схемою лабораторної установки.

Експериментальна частина зводиться до створення сталих режимів роботи насосної установки і одночасної реєстрації показань контрольно-вимірювальних приладів, які введені в схему.

Оскільки число оборотів двигуна залишається постійним, умови роботи насоса змінюються при зміні опору напірного трубопроводу вентилем 7. Параметри тиску в нагнітальному трубопроводі задаються викладачем.

1. При закритому вентилі 7 запускають електродвигун насоса.
2. Якщо показання манометра рівні нулю, насос необхідно залити. Для цього відкривають вентиль 13 і заливають воду у вороньку заливної труби. При фіксації постійного рівня в заливній воронці вентиль 13 закривають і знову запускають електродвигун насоса. Якщо стрілка манометра перемістилася від нуля шкали управо і фіксує постійний тиск, приступають до випробування насоса.
3. Перший дослід проводять при закритій засувці, тобто при $Q = 0$. При цьому записують показання манометра, вакуумметра, амперметра і вольтметра.
4. Для проведення другого досліді відкривають вентиль 7, встановлюють перше положення стрілки вакуумметра 8 згідно рекомендації викладача. При постійному положенні стрілки вакуумметра записують показання манометра, вакуумметра, амперметра, вольтметра і показання стрілки лічильника 10, одночасно запускаючи секундомір. В ході досліді відбувається переміщення стрілки лічильника 10 на 5 – 20 розподілів, тобто переміщення визначуваного в другому досліді об'єму води W_2 .
5. Решту дослідів проводять в тій же послідовності, що і другий дослід. При цьому відкривають вентиль 7 і встановлюють положення стрілки вакуумметра 8 (значення h_{pm}) згідно рекомендації викладача. Всього необхідно провести 8 – 10 дослідів, після чого закрити вентиль 7 і вимкнути електродвигун насосної установки.

Результати вимірювань і розрахунків

Результати вимірювань і обчислень заносять в табл. 1.

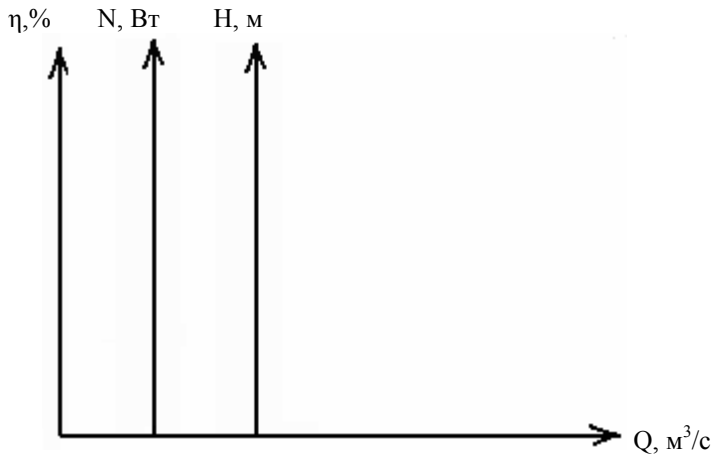
1. Подача насоса визначається за формулою $Q = W/t$.

- Напор насоса знаходять за формулою (1). Манометр проградуваний в одиницях кгс/см², а вакуумметр – в мм. рт. ст. Ці одиниці необхідно перевести в м. вод. ст.
 $1 \text{ кгс/см}^2 = 10 \text{ м. вод. ст.} = 735,6 \text{ мм. рт. ст.}$
- Потужність, споживана насосом, визначається по формулі (2), причому $\eta_{\text{ел.дв.}} = 0,75-0,85$.
- Корисна потужність насоса визначається за формулою (3), коефіцієнт корисної дії – за формулою (4).
- Обчисливши параметри насоса для кожного положення вентиля на напірному трубопроводі, будують характеристики насоса. По осі абсцис в масштабі відкладають витрати рідини Q , а по осі ординат у відповідних масштабах - ККД, напор і потужність (мал. 22).

Таблиця 1

№	Вимірювані і розрахункові величини	Один. вимір.	Результати вимірювань і розрахунків						
1	2	3	4						
I. Визначення подачі насоса									
1	Показання лічильника на початку досліду A_1	м ³							
2	Показання лічильника в кінці досліду A_2	м ³							
3	Час досліду t	с							
4	Об'єм води, що перекачує насос $W = A_1 - A_2$	м ³							
5	Подача насоса $Q = W/t$	м ³ /с							
II. Визначення робочого напору насоса									
1	Показання манометра	кгс/см ² м. водн. стовпа							
2	Показання вакуумметра	мм. рт. стовпа м. водян. стовпа							

1	2	3	4						
3	Робочий напор насоса, H	м. вод. стовпа							
III. Визначення потужності і ККД									
1	Показання амперметра I	А							
2	Показання вольтметра U	В							
3	Потужність, споживана насосом, N	Вт							
4	Корисна потужність насоса N_n	Вт							
5	ККД насоса η	%							



Мал. 22. Робочі характеристики насоса

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення і пристрій відцентрового насоса.
2. Пояснити принцип дії відцентрового насоса і особливості його запуску.
3. Що таке натиск і подача насоса? Як регулюється подача?
4. Які залежності називаються характеристиками відцентрового насоса?
5. Як визначити витрату, корисну потужність, ККД і потужність на валу насоса?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

Загальна підсумкова оцінка, отримана студентом на лабораторних роботах з дисципліни «Гідравліка і гідравлічні машини», складається із суми балів за виконання та захист відповідної лабораторної роботи.

Для студентів денної форми навчання виконання та захист лабораторної роботи оцінюється в межах від 0 до 35 балів.

Об'єктами поточного контролю є:

1. Якість отриманих в процесі виконання лабораторної роботи результатів.
2. Послідовність та коректність розрахунків допоміжних величин.
3. Правильність методики проведення дослідів та вміння користуватися контрольно-вимірювальними пристроями.
4. Вміння правильно вирахувати похибки то оцінити достовірність отриманих результатів.
5. Системність теоретичних знань при захисті лабораторної роботи.

Захист роботи оцінюється за наступною шкалою:

1. Методика проведення дослідів та правильність отриманого значення шуканої величини від 0 до 2 балів.
2. Розрахунок похибок та інтерпретація отриманих результатів від 0 до 1 балу.
3. Відповіді на теоретичні запитання від 0 до 2 балів.

Таким чином, за роботу на лабораторному занятті студент може отримати максимально 5 балів, що сумарно складає за всі заняття 35 балів.

Додатки

КІНЕМАТИЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ В'ЯЗКОСТІ ВОДИ

Таблиця 1

$t, ^\circ C$	$\nu, \text{см}^2/\text{с}$	$t, ^\circ C$	$\nu, \text{см}^2/\text{с}$
0	0,0178	17	0,0109
5	0,0152	18	0,0106
7	0,0143	19	0,0104
8	0,0139	20	0,0101
9	0,0135	21	0,010
10	0,0131	22	0,0099
11	0,0127	24	0,0092
12	0,0124	26	0,0088
13	0,0121	28	0,0084
14	0,0118	30	0,0080
15	0,0115	35	0,0073
16	0,0112	40	0,0065

АБСОЛЮТНА ШОРСТКІСТЬ ТРУБ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

Таблиця 2

№	Труби різних матеріалів	$k, \text{мм}$
1	Скло	0
2	Труби, тягнуті з латуні, свинцю, міді	0 - 0,002
3	Високоякісні безшовні сталеві труби	0,06 - 0,2
4	Сталеві труби, не вживані	0,15
5	Чавунні асфальтовані труби	0,1 - 0,2
6	Чавунні труби, не вживані	0,25
7	Нові сталеві труби	0,065 - 0,10
8	Труби, вживані	0,5
9	Труби забруднені	1 - 2

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дробнис В.** Гидравлика и гидравлические машины. – М.: Просвещение, 1987. – 225 с.
2. **Башта Т.** Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 185 с.
3. **Угинчус А.** Гидравлика и гидравлические машины. – Х.: Изд-во Харьковского Ордена Трудового Красного Знамени Государственного Университета имени М. А. Горького, 1966. – 233 с.
4. **Алаи С.** и др. Практикум по машиноведению. – М.: Просвещение, 1985. – 274 с.
5. **Сайретдинов С.** Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения. – М., 2004. – 480 с.
6. **Идельчик И.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Л., 1960. – 75 с.
7. **Кривченко Г.** Гидравлические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 553 с.
8. **Методические** указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Гидравлика и гидравлические машины». Сост. Лазаренко А. Я. – Славянск: СГПИ, 1989. – 35 с.
9. **Методические** указания к лабораторным работам по курсу «Гидравлика и гидравлические машины». Сост. Возный Б. В. – Ворошиловград: ЛГПИ, 1989. – 35 с.

Навчально-методичне видання

ВОЗНИЙ Борис Володимирович
КАЛАЙДО Олександр Віталійович

ГІДРАВЛІКА

І ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ

*Методичні вказівки до лабораторних робіт
для студентів спеціальностей „Трудове навчання”,
і „Професійна освіта” напрямків підготовки
„Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного
транспорту” і „Механізація сільськогосподарського
виробництва і гідромеліоративних робіт” всіх форм навчання*

За редакцією авторів
Комп’ютерний макет – Калайдо О. В.

Здано до склад. 06.09.2010 р. Підп. до друку 06.10.2010 р.
Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times New Roman.
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 3,84. Наклад 300 прим. Зам. № 187.

Видавець і виготовлювач
Видавництво Державного закладу
„Луганський національний університет імені Тараса Шевченка”
вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011. т/ф (0642) 58-03-20.
e-mail: alma-mater@list.ru
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3459 від 09.04.2009 р.