

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України**

**Факультет пожежної безпеки  
Кафедра автоматичних систем безпеки та електроустановок**

*К.І. Мигаленко, Д.В. Колесніков*

## **ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ ТА ГАЗУ**

**Методичні вказівки по виконанню контрольної роботи здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» з дисципліни Технічна механіка рідини та газу.**

Технічна механіка рідини та газу: Методичні вказівки по виконанню контрольної роботи здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» з дисципліни Технічна механіка рідини та газу. / Укл.: Мигаленко К.І., Колесніков Д.В. - Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2023; - с.18

**Укладачі:**

- начальник кафедри автоматичних систем безпеки та електроустановок Мигаленко Костянтин Іванович;
- доцент кафедри автоматичних систем безпеки та електроустановок Колесніков Денис Валерійович.

Методичні вказівки розроблено відповідно до навчальної програми дисципліни «Технічна механіка рідини та газу» та призначені для підготовки слухачів заочної та дистанційної форми навчання, при самостійному виконанні контрольної роботи.

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
1. Методичні вказівки до вивчення основ гідравліки (дисципліни «Технічна механіка рідини і газу»).....	4
1.1 Історія розвитку гідравліки і основні властивості рідин та газів.....	4
1.2 Основні поняття і закони гідростатики.....	5
1.3 Основні закони гідродинаміки.....	5
1.4 Гідравлічні опори.....	5
1.5 Розрахунок напірних трубопроводів.....	6
1.6 Неусталений рух реальної рідини.....	6
1.7 Витікання рідин із отворів, через насадки та короткі трубопроводи.....	7
1.8 Гідравлічні струмені.....	7
1.9 Насосно – рукавні системи.....	7
1.10 Основи аеродинаміки.....	7
1.11 Рівномірний рух рідини у відкритих руслах.....	8
1.12 Рух рідини в пористому середовищі.....	8
Контрольні питання.....	9
2. Вказівки та завдання до контрольної роботи.....	10
Література.....	18

## ВСТУП

Вивчення основ гідравліки слухачами заочної форми навчання - це самостійна робота з підручником для засвоєння теоретичного матеріалу, а також виконання лабораторних та контрольних робіт.

Мета методичних вказівок - допомогти слухачам у самостійному вивченні теоретичного матеріалу та у виконанні контрольної роботи. Методичні вказівки укладені згідно з типовою та робочою програмами і містять рекомендації до практичного використання засвоєних знань.

Контрольну роботу перевіряє викладач і приймає до захисту. Слухач одержує залік після захисту лабораторних та контрольної робіт.

Після вивчення курсу слухач здобуде знання, необхідні майбутньому спеціалісту в його інженерній діяльності.

### 1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ГІДРАВЛІКИ (дисципліни «Технічна механіка рідини і газу»)

#### 1.1. Історія розвитку гідравліки і основні властивості рідин та газів

У цьому розділі слухач повинен ознайомитись з історією розвитку гідравліки, її сучасним станом та перспективами розвитку.

Вивчення дисципліни починається із вивчення основних властивостей рідин та газів.

Рідина майже не чинить опору зміні своєї форми, але чинить великий опір зміні свого об'єму. Опір рідин зміні свого об'єму характеризується коефіцієнтом температурного розширення  $\beta t$  та об'ємного стиснення  $\beta_w$  (величина, обернена модулю пружності  $E_0$ ). Оскільки в будівництві зміна об'єму води залежно від температури і тиску незначна, ними можна нехтувати. Вважаємо питому вагу води практично постійною. В міжнародній системі СІ питома вага виражається в ньютонках на кубічний метр ( $H/m^3$ ). Питома вага води при  $4^\circ C$  дорівнює  $\gamma = 9810 H/m^3$ .

Коефіцієнт  $\beta_w$  в системі СІ виражається в  $m^2/H$ , а  $E_0$  - в паскалях (Па).

Опір рідини зміні своєї форми характеризується в'язкістю. Розрізняють динамічну (абсолютну), кінематичну (відносну) та умовну в'язкості. Кінематична в'язкість тісно зв'язана з динамічною  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ . Одиниці вимірювання кінематичної в'язкості  $cm^2/s$ ,  $m^2/s$ , а динамічної - Па·с.

Старі одиниці вимірювань - пуази -  $ПП = 0,1 Па \cdot c$ ,

$$1 \text{ кгс} \cdot c/m^2 = 9,81 Па \cdot c.$$

Слухач повинен засвоїти основні властивості газів. Гази є ідеальні та реальні. Стисливість газів проходить за законом Клапейрона-Менделєєва:

$$P \cdot V = M \cdot R \cdot T,$$

Де  $P$  - тиск;

$V$  - об'єм;

$M$  - маса;

$R$  - газова стала;

$T$  - абсолютна температура,  $T = t^\circ C + 273^\circ K$ .

Оскільки  $\rho = \frac{M}{V}$ , то  $P = \rho \cdot R \cdot T$

Для реальних газів вводять коефіцієнт стиснення ( $z$ ):

$$P = z \cdot \rho \cdot R \cdot T$$

Слухачеві необхідно засвоїти, що ідеальні газы мають чотири процеси зміни стану:

1 - ізохорний - проходить при постійному об'ємі;

2 - ізобарний - проходить при постійному тиску;

3 - ізотермічний - проходить при постійній температурі;

4 - адіабатний - проходить без теплообміну з навколишнім середовищем.

Крім названих, є узагальнюючий - політропний процес. Теплоємність - кількість тепла, необхідна для нагрівання тіла на один градус. Залежно від процесу зміни стану газу розрізняються два види теплоємності:

1 -  $C_V$ -ізохорна теплоємність;

2 -  $C_p$  -ізобарна теплоємність.

Одиниця вимірювання теплоємності -Дж/кгК.

Співвідношення  $\frac{C_p}{C_V} = k$  - адіабатна стала.

Слухач повинен знати, що існують не ньютонівські рідини. Для цих рідин  $f(t)$  може мати різний вигляд. Ці рідини є об'єктом окремого дослідження.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 6 годин.

Література: [1,с.4..12]; [2, 4..10]; [ 1, с.3.24]; | 2, с.4.,9]; [ 3, с.3.,23]; [ 4, с.3.,7].

## **1.2. Основні поняття і закони гідростатики**

У цьому розділі розглядається поняття про одиничний гідростатичний тиск. Слухач повинен вивчити його основні властивості, закон Паскаля та основне рівняння гідростатики. Слухачам необхідно розв'язати декілька задач для визначення надмірного і вакуумметричного тиску та звернути увагу на прилади для вимірювання тиску, одиниці, в яких вимірюється тиск. Слухач повинен вміти від фізичних, технічних атмосфер, міліметрів ртутного стовпчика та метрів водяного стовпа переходити до Паскалів. При цьому слід пам'ятати, що в системі СІ за одиницю тиску прийнятий рівномірно розподілений тиск, при якому на  $1 \text{ м}^2$  припадає сила, рівна 1 Н, тобто:

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}; 1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}; 1 \text{ мм. вод. ст.} = 9,81 \text{ Па.}$$
$$1 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ ат} = 1 \text{ бар.}$$

Важливим є вивчення тиску на плоскі та криволінійні поверхні (стінки).

Слухачам необхідно навчитися будувати епюри та визначати тиск за їх допомогою; вміти визначати центр тиску; ознайомитись із застосуванням законів Паскаля та Архімеда в техніці; вивчити три рівняння Ейлера для статички.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 10 годин.

Література: [1, с.13..37 ]; [2, с.10..22]; [3, с.55..91]; [4, с.10..34]; [5, с.23..45]; [6, с.7..25]; [7, с.9..34].

## **1.3. Основні закони гідродинаміки**

Спочатку слухачі повинні засвоїти основні поняття про потік рідини і його елементи, про основні види руху рідин (сталий та несталий, рівномірний та нерівномірний, напірний та безнапірний), а потім вивчити рівняння балансу витрат рідини та рівняння Бернуллі - рівняння балансу питомої енергії.

Слухач повинен звернути увагу на метод переходу від статички до динаміки, на фізичний та геометричний зміст рівняння Бернуллі. Ці рівняння допоможуть розв'язувати задачі Потрібно розглянути приклади розв'язування задач в літературі [1, 4, 7, 9, 10, 11].

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 6 годин.

Література: [1, с.38..68]; [2, с.22..37]; [3, с.25..55]; [4, с.34..40; с.91..105]; [5, с.45..75]; [6, с.25..363]; [7, с.34..44].

## **1.4 Гідравлічні опори**

При русі рідини виникають втрати напору (рівняння Бернуллі). Слухач повинен вивчити види опорів і знати, що коефіцієнт гідравлічного опору залежить від режиму руху рідини. Слухачу слід засвоїти, що є два режими руху: ламінарний та турбулентний. Також треба вивчити умови переходу від одного режиму до другого і знати формулу для визначення числа Рейнольдса. Оскільки число Рейнольдса залежить від швидкості руху, то слід знати розподіл швидкостей по поперечному перерізу потоку. Основну увагу слід приділити турбулентному режиму руху, бо з цим видом руху найчастіше доводиться зустрічатись (рух води в трубах, рукавах, стволах, канавах, річках). Розрізняють втрати напору по довжині та в місцевих опорах. Необхідно добре

вивчити вплив числа Рейнольдса і відносної шорсткості на коефіцієнт гідравлічного тертя. Загальні залежності між цими величинами мають логарифмічний характер. Приблизно їх можна подати у вигляді простих степеневих формул:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{екв}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{1/4},$$
$$\frac{V}{V_{MAX}} = (y/r)^{0,9\sqrt{\lambda}}.$$

Значення  $k_{екв}$  - величина еквівалентна абсолютній шорсткості та залежить від матеріалу труби, і його можна знайти в таблиці 7 [12]. Слухач повинен добре засвоїти, в якій області турбулентності опір не залежить від числа  $Re$  (квадратична), а в яких - від відносної шорсткості (абсолютно гладких труб). Вміти вибрати розрахункові залежності для кожної області турбулентності при розв'язанні задач. Значну увагу слід приділити вивченню місцевих втрат напорів, тому що в багатьох випадках, наприклад, на насосних станціях, в трубопроводах мереж опалення, вентиляції ці втрати є переважаючими. Слід вміти використовувати формулу Борда для визначення місцевих опорів при раптових розширеннях чи звуженнях потоку рідини (діафрагми, дифузори, конфузори та ін.). Багато значень коефіцієнтів місцевих опорів  $\zeta$  можна знайти в літературі [12].

Важливо розглянути приклади розв'язання задач щодо визначення втрат напорів по довжині та в місцевих опорах. Знання цього розділу буде використано при вивченні спеціального водопостачання, пожежна тактика, пожежна та аварійно-рятувальна техніка, пожежна профілактика та техногенна безпека технологічних процесів.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 10 годин.

Література: [1, с.69..80]; [2, с.37..47]; [3, с. 105..180]; [4, с.45..59]; [5, с.76..106], [6, с.36..48], [7, с.44..64].

### ***1.5 Розрахунок напірних трубопроводів***

Слухач знайомиться з класифікацією трубопроводів. Особливу увагу слід приділити розрахункам коротких трубопроводів (всмоктуючих патрубків, сифонних трубопроводів). Необхідно навчитись визначати висоту установки насоса відносно рівня води у джерелі водопостачання чи резервуарі, щоб забезпечити безперебійну роботу насоса. При розрахунках довгих трубопроводів звертається увага на з'єднання трубопроводів. Основна увага приділяється типовим задачам: визначенню витрат, напорів, діаметрів труб. Розрахунок довгих трубопроводів полегшується, якщо ввести узагальнені гідравлічні параметри, такі як модуль витрат та питомий опір. При розрахунках слід використовувати таблиці Ф.А. Шевельова та графіки А.Г. Муріна та звернути увагу на характеристики трубопроводів.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 4 години.

Література: [1, с.81..98]; [2, с.47..53]; [3, с.204..239]; [4, с.59..100]; [5, с.140..162]; [6, с 55..66] [7.с. 81..109].

### ***1.6 Неусталений рух реальної рідини***

Неусталений рух рідини відбувається при швидкому вмиканні і вимиканні подачі рідини в установки пожежогасіння, при різкому відкриванні та закриванні кранів на водопровідній мережі, при пуску і зупинці насосів. При цьому різко змінюється швидкість руху рідини, що викликає різку зміну тиску в результаті чого відбувається гідравлічний удар. Величина додаткового тиску в середині трубопроводу або пожежних рукавів буває настільки велика, що спричиняє розрив їх стінок. Слухач повинен знати причини виникнення гідравлічного удару та способи боротьби з ним, вміти розрахувати підвищення тиску для прямого і не прямого гідравлічного удару.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 6 годин.

Література: [1, с.87..98].

## **1.7 Витікання рідин із отворів, через насадки та короткі трубопроводи**

Оскільки гідравлічні струмені широко застосовуються в техніці, то необхідно знати їх основні характеристики. Для практики важливі випадки витікання рідини: із малих отворів в тонкій стінці резервуара в атмосферу чи під рівень; із насадок різної форми; через великі прямокутні отвори; при змінному рівні.

При виведенні формул для визначення швидкості витікання та витрат рідини слід користуватися рівняннями Бернуллі, рівнянням постійності та нерозривності потоку і враховувати втрати напору (в основному місцеві).

Слухач повинен знати фізичну суть коефіцієнта опору, стиснення струменя, швидкості, витрат і зв'язку між ними. Необхідно звернути увагу на спорожнення резервуарів при постійних та змінних напорах.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 8 годин.

Література: [1, с.99..116];[2, с.53..64];[3, с.181.204]; [4, С.100..112], [5, с.106..121]; [6, с.48.55]; [7, с.64.,74].

## **1.8 Гідравлічні струмені**

Слухачі повинні розрізняти суцільні та розпилені струмені. Знати способи їх розпилення. Необхідно звернути увагу на рівняння траєкторії струменя. Максимальну дальність польоту струменя можна визначити за формулою

$$l_{\max} = \frac{2H}{1 + \frac{KH}{d}};$$

На практиці максимальну дальність вильоту струменя можна досягти при напорі перед насадком  $H = 7\text{ м}$  при куті нахилу струменя до горизонту  $\theta = 45^\circ$ , а при напорі  $H = 10\text{ м} - \theta = 35...40^\circ$ , при  $H \geq 35\text{ м} - \theta = 30...40^\circ$ . При нахилі ствола до горизонту на  $30^\circ$  також можна досягти максимального вильоту струменя. Висоту вертикального струменя визначаємо за формулою Люгера. Слухачі повинні вміти визначати радіуси дії компактної та розпиленої частини струменя. Необхідно засвоїти, що мінімальний радіус дії компактної частини струменя при гасінні пожежі становить 17 м, а його можна досягти при напорі перед насадком від 23 до 33м. Треба знати що таке реакція струменя і як її розраховувати.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 4 години.

Література: [1, с.116..133];[2, с.64..77].

## **1.9 Насосно-рукавні системи**

Спочатку слухач повинен ознайомитись з гідравлічною машиною, що призначена для надання рідині кінетичної енергії та називається насосом; вивчити будову, принцип дії, основні робочі параметри та характеристики. Особливу увагу потрібно звернути на сумісну роботу насосів та водопровідної мережі. Слухач повинен знати схеми подачі води до місця пожежі та вміти проводити розрахунок насосно-рукавних систем. Необхідно пам'ятати на що витрачається напір, що забезпечує насос та як забезпечити надійну подачу води за обраною схемою. Слухач повинен звернути увагу на способи перекачки води якщо джерела водопостачання розташовані на значній відстані до місця пожежі; вміти розраховувати відстань між сусідніми насосами та необхідну кількість автонасосів. При гасінні великих пожеж використовують потужні водяні струмені від лафетних стволів. Слухачам потрібно знати схеми подачі води на лафетні стволи та особливості кожної з них. Вміти визначати витрати води із ствола та необхідну кількість насосів.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 14 годин.

Література: [1, с.145..186];[2, с.77..104].

## **1.10 Основи аеродинаміки**

Для газів, як і для рідин, що стискаються, диференційне рівняння рівноваги має вигляд:

$$dP = \rho \cdot (Xdx + Ydy + Zdz)$$

Рівняння вільної поверхні:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

Рівняння стану газу записується у вигляді:

$$\frac{P}{\rho} = R \cdot T.$$

Слід засвоїти, що:

- при ізотермічному процесі  $\frac{P}{\rho} = const$  (цей процес супроводжується теплообміном);
- при адіабатному процесі  $\frac{P}{\rho^k} = const$ ;
- при політропному процесі  $\frac{P}{\rho^n} = const$ .

Слухачу слід вивчити розподіл тиску для різних процесів газу. При вивченні руху газів обов'язково потрібно знати рівняння Бернуллі для різних процесів (політропного, адіабатного, ізотермічного), необхідно навчитись розраховувати трубопроводи для газів (виділивши трубопроводи для газів з малими та великими перепадами тиску). Треба звернути увагу, при якому процесі проходить витікання газу через отвір. Швидкість витікання газу через отвір у тонкій стінці визначається за формулою Сен-Венана:

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{\rho_1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}.$$

При визначенні масових витрат газу при витіканні через отвір можна користуватися формулою:

$$M_{\max} = \psi_{\max} \cdot \omega \cdot \sqrt{P_1 \cdot \rho_1},$$

де  $\psi_{\max}$  для повітря та двоатомних газів дорівнює  $\Psi_{\max} = 0,865$

Критична швидкість витікання газу, що відповідає максимальним витратам:

$$V_{кр} = \frac{M_{\max}}{\omega \cdot P_2} = \sqrt{k \cdot \frac{P_2}{\rho_2}} = C_2,$$

де  $C_2$  - швидкість звуку, що відповідає умовам на виході з отвору.

Знання основ аеродинаміки необхідно вміти використати при подальшому вивченні спеціального водопостачання, пожежної тактики, пожежної та аварійно-рятувальної техніки, пожежної профілактики та техногенної безпеки технологічних процесів.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 6 годин.

Література: [1, с. 134..144]; [6, с.10..24, 55..62, 104..109, 301..308].

### 1.11 Рівномірний рух рідини у відкритих руслах

При рівномірному русі рідини у відкритому руслі основні елементи, які характеризують потік (площа поперечного перерізу, гідравлічний радіус, шорсткість русла, уклон) зберігають своє значення при переході від одного перерізу до другого. Для визначення витрат рідини слід використати залежність Шезі, а для визначення коефіцієнта  $C$  краще скористатися формулою Павловського. Необхідно звернути увагу на гідравлічно найвигідніші перерізи каналів. З'ясувати, як розраховують безнапірні трубопроводи.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 4 години.

Література: [3, с.240..249]; [5, с 121..140]; [6, с.66..73]; [7, с.109..141].

### 1.12 Рух рідини в пористому середовищі

Рух через пористе середовище - це фільтрація. Знання основних законів фільтрації мас



велике значення для розв'язання різних інженерних задач: визначення притоку води до водозбірних галерей, колодязів, шурфів; розрахунок зниження рівня ґрунтових вод; визначення втрат напору води на фільтрацію із каналів та водосховищ, пожежних водоймищ; розрахунок дренажних споруд та інше. Особливу увагу потрібно звернути на вивчення закону Дарсі. Необхідно знати, що таке крива депресії, статичний, динамічний рівні, дебіт свердловини та радіус впливу свердловини, колодязя чи дрени. Вміти застосувати засвоєний матеріал для розв'язання задач.

Час на самостійне засвоєння матеріалу – 4 години.

Література: [6, с.74..77]; [7, с.276..293].

### ***Контрольні питання***

1. Основні властивості рідин.
2. Гідростатичний тиск і його властивості.
3. Основне рівняння гідростатики. Закон Паскаля.
4. Види тиску (розрахункові формули).
5. Прилади для вимірювання тиску та одиниці його вимірювання.
6. Тиск рідини на плоску стінку.
7. Тиск рідини на криволінійні поверхні.
8. Найпростіші гідравлічні машини, що розроблені на основі закону гідростатики
9. Гідродинаміка, які закони вона вивчає?
10. Дати визначення лінії течії елементарного струменя, рівняння нерозривності та елементи потоку.
11. Витрати рідини, одиниці та способи вимірювання.
12. Спосіб Ейлера для переходу від статички до динаміки.
13. Рівняння Бернілі для ідеальної рідини.
14. Рівняння Бернуллі для реальної рідини.
15. Енергетичне та геометричне тлумачення рівняння Бернуллі.
16. Використання рівняння Бернуллі для створення водоструменевого насосу.
17. Трубка Піто, її призначення, розрахункові формули.
18. Ствол водомір, його призначення, розрахункова формула.
19. Вставка Вентурі, її призначення, розрахункова формула.
20. Розрахунок коротких трубопроводів.
21. Режими руху, число Рейнольдса, його фізичне тлумачення і практичне значення.
22. Розподіл швидкості по поперечному перерізу потоку при ламінарному та турбулентному режимі руху рідини.
23. Модель турбулентного потоку, вільна та пристінна турбулентність.
24. Три області турбулентності та коефіцієнт гідравлічного тертя для цих областей.
25. Поняття про гідравлічно гладкі труби.
26. Що таке квадратична область турбулентності?
27. Втрати напору по довжині, формула Вейсбаха-Дарсі.
28. Що таке місцеві опори? Формули для визначення втрат напору в місцевих опорах.
29. Які є отвори в тонких стінках? Коефіцієнт стиснення потоку.
30. Вивести формулу для визначення витрат рідини через отвір.
31. Які Ви знаєте насадки? Їх порівняльні характеристики. Область застосування. Розрахункова формула витрат води через насадки.
32. Розрахунок трубопроводів.
33. Поняття про гідравлічний удар. Основні розрахункові формули.
34. Способи захисту від гідроудару. Гідротаран.
35. Властивості газів.
36. Рівняння Бернуллі для трьох основних станів газів.
37. Розрахунок газопроводів.
38. Визначення витрат газу при витіканні через отвір в тонкій стінці.
39. Види струменів. Розрахунок вертикальних струменів.

40. Похилі струмені. Реакція струменя.
41. Способи розпилення струменів.
42. Класифікація насосів. Принцип дії відцентрового насосу.
43. Основні робочі параметри насосів.
44. Характеристики насосів. Робота насосів на мережу.
45. Схеми подачі води до місця пожежі.
46. Розрахунок насосно-рукавних систем.
47. Перекачка води та визначення кількості автонасосів.
48. Паралельна робота насосів на лафетні стволи.
49. Рух рідин у пористому середовищі. Формули для визначення коефіцієнту фільтрації.
50. Рух рідин у відкритих руслах. Формула Шезі для визначення витрат рідини.

## 2. ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

При виконанні контрольної роботи необхідно дотримуватись таких правил: **контрольна робота виконується від руки** чорнилом одного кольору, або надрукована; залишати поля шириною 3 - 4 см для зауважень викладача; наводити обґрунтування розв'язання задачі; наводити формули з повною їх розшифровкою та порядковою нумерацією; зробити посилання на використану літературу в порядку згадування (наприклад, [1], [2] і т.д.); при необхідності розрахунки супроводжувати схемами чи рисунками; на контрольні питання давати короткі, але вичерпні відповіді; ретельно оформити роботу. В кінці роботи навести список використаної літератури, вказати прізвище та ініціали автора, повну назву підручника чи довідника, місце та рік видання (в порядку згадування по тексту).

Кожен слухач повинен розв'язати шість задач і дати відповіді на п'ять контрольних питань. На решту питань слухач повинен дати відповіді при захисті лабораторних та контрольних робіт.

Номери контрольних питань, на які необхідно дати письмові відповіді, та номери задач слухач обирає залежно від останньої цифри залікової книжки.

Таблиця 1 - Варіанти завдань з основ гідравліки

Номер варіанта	Номери задач						Номери контрольних питань
	Перша	Друга	Третя	Четверта	П'ята	Шоста	
1	10	11	21	31	2	30	1, 43, 11, 40, 30
2	9	12	22	32	3	27	2, 47, 12, 39, 29
3	8	13	23	33	4	1	3, 48, 13, 38, 28
4	7	14	24	34	5	2	4, 47, 14, 37, 27
5	6	15	25	35	11	3	5, 46, 15, 36, 26
6	5	16	26	1	12	35	6, 45, 16, 35, 25
7	4	17	27	5	13	34	7, 44, 17, 34, 24
8	3	18	28	6	14	22	8, 43, 18, 33, 23
9	2	19	29	7	15	30	9, 42, 19, 32, 22
10	1	20	30	8	16	31	10, 41, 20, 31, 21

Варіант вихідних даних задач прийняти за номером першої задачі.

Велику роль при вивченні гідравліки відіграє розв'язування задач. Це допомагає краще засвоювати теоретичний матеріал та застосовувати ці знання для вирішення подальших практичних завдань при вивченні спеціальних дисциплін.

Перед розв'язанням задач необхідно ознайомитись з розділом теоретичного матеріалу, якому присвячена задача, вибрати необхідні розрахункові формули, якщо потрібно, скласти розрахункову схему. Текст умови задачі і пояснення до неї наводиться повністю.

Якщо слухач виконав контрольну роботу не за своїм варіантом, то на захист ця робота не приймається, а слухач залік не одержує.

Для одержання заліку перевірена і підписана до захисту робота захищається шляхом пояснення її виконання та відповіді на питання по розділах.

## ЗАДАЧІ

1. Відкриті з'єднані посудини заповнені різними рідинами з  $\rho_1$  та  $\rho_2$ . Знайти відстань від лінії розділу АВ до рівня рідини в кожній посудині  $h_1$  та  $h_2$ , якщо різниця рівнів рідин у посудинах становить  $h$ . (Рис. 1)
2. До резервуара, заповненого газом з тиском  $P_0$ , приєднана трубка опущена в посудину з ртуттю. Необхідно визначити тиск  $P_0$  в резервуарі, якщо ртуть піднялась у трубці на висоту  $h$ . (Рис. 2)
3. До резервуара, заповненого газом з тиском  $P_0$ , приєднана трубка, опущена в посудину з ртуттю. Необхідно знайти висоту  $h$ , на яку піднімається ртуть у трубці, якщо вакуум у резервуарі становить  $P_0$ , а атмосферний тиск -  $P_{атм}$  (Рис. 2).
4. При гідравлічних випробуваннях резервуара допускається витікання води,  $Q$  якої за одну добу не повинне перевищувати  $3 \text{ л з } 1 \text{ м}^2$  змоченої поверхні. Чи можна прийняти в експлуатацію резервуар прямокутної форми з розмірами в плані  $a \times b$ , в якому рівень води за одну добу знизився з  $h_1$  до  $h_2$ ? Визначити масу води, що витекла.
5. Визначити абсолютний і надмірний тиск в резервуарі за показниками ртутного дифманометра, в правому коліні якого зверху над ртуттю налито масло шаром  $h_m$  з  $\rho_m$ . Висота ртуті  $h_{рм}$ . При заданому  $P_{атм}$ . (Рис. 3).
6. Визначити, на яку висоту  $H$  може піднятися вода із водяного бака гідропневматичної установки, якщо манометр, встановлений на повітряному баці, показує тиск  $P$ .
7. Визначити витрати води по горизонтальному чавунному трубопроводі довжиною  $l$  та діаметром  $d$ , якщо манометри, встановлені на початку трубопровода і в кінці його, показали відповідно тиски  $P_1$  та  $P_2$ .
8. Визначити час аварійного спорожнення резервуара з нафтою через зовнішній циліндричний насадок діаметром  $d$ . Діаметр резервуара  $D$ , висота шару нафти  $h$ .
9. Підібрати стандартний насадок для ствола внутрішнього пожежного крана, якщо необхідно одержати витрати не менше  $Q_1$ . Гарантійний напір перед насадком становить  $H$ . Коефіцієнт витрат  $\mu$ . Визначити дійсні витрати  $Q$  для вибраного насадка.
10. Канава шириною  $b$  і глибиною  $h$  перегороджена щитом прямокутної форми. Визначити силу тяги  $T$ , необхідну для підйому щита вагою  $G$ , якщо коефіцієнт тертя щита об поверхню пазів  $K$ . (Рис. 4).
11. Визначити граничну висоту розташування осі відцентрового насоса над рівнем води в джерелі, якщо насос забирає  $Q$  води через всмоктуючий трубопровід діаметром  $d$ . Вакууметричний тиск на всмоктуючому патрубку був  $P_{ВАК}$ . Втрати напору у всмоктуючій лінії  $h_w$ . (Рис. 5).
12. Визначити максимальні витрати води  $Q$  на ділянці трубопроводу діаметром  $d$ , довжиною  $l$ , щоб втрати напору не перевищували  $h_w$ . Коефіцієнт гідравлічного опору  $\lambda$ .
13. Вода витікає із відкритого бака через зовнішній циліндричний насадок діаметром  $d$ . Знайти напір  $H$ , при якому витрати води із бака дорівнюють  $Q$ . Яким буде напір  $H_1$  для пропуску цих же витрат через внутрішній циліндричний насадок того ж діаметра  $d$ .
14. Визначити дебіт артезіанської свердловини за умови, що потужність водоносного пласта  $t$ , глибина відкачки  $S$ , діаметр свердловини  $d$ , радіус впливу  $R$ , коефіцієнт фільтрації  $k_f$ .
15. Визначити радіус впливу  $R$  досконалого ґрунтового колодязя при  $H$ ,  $h$ ,  $z_0$ ,  $k$ , якщо дебіт колодязя  $Q$ .
16. На сталевому трубопроводі діаметром  $d$  встановлена засувка, час закриття якої  $t_3$ . Визначити підвищення тиску  $\Delta P$  у трубопроводі довжиною  $l$ , якщо витрати води  $Q$ . Швидкість розповсюдження ударної хвилі  $C_v$ .
17. Із верхнього резервуара в нижній надходить вода заданої температури  $t^\circ\text{C}$  по новому сталевому сифонному трубопроводі діаметром  $d$ , довжиною  $l$  і витратами  $Q$ , а відстань від початку трубопроводу до перерізу I-I  $h$ . Визначити різницю рівнів  $H$  у резервуарах. (Рис. 6).
18. Із закритого бака вода витікає через отвір діаметром  $d$  в його боковій стінці. Постійний напір над центром ваги отвору  $H$ , манометричний тиск на поверхні води в баці  $P_m$ . Знайти, при якому тиску витікатиме з бака  $Q$  води.
19. Визначити тиск  $P$  у котлі та п'єзометричну висоту  $h_1$  якщо висота підняття ртуті в ртутньому манометрі  $h_2$ . (Рис. 7).
20. За допомогою водоміра Вентурі визначити витрати води  $Q$ , яка протікає по трубці діаметром  $D$

- якщо діаметр вставки  $d$ , а різниця п'єзометричних висот  $H$ . (Рис. 8).
21. Витікання води із бака проходить по системі труб змінного перерізу. Нехтуючи опорами, визначити швидкість витікання  $V$ , витрати  $Q$  і побудувати п'єзометричну лінію, якщо напір  $H$ , а площа перерізів труби  $S_1, S_2, S_3, S_4$ . (Рис. 9).
  22. Визначити напір на стволі Б, який піднятий на висоту  $Z$ , м. Вода від автонасоса подається по прогумованій рукавній лінії діаметром  $d$ , мм, довжиною  $l$ , м. Напір на насосі  $H$ , м. (Рис. 11).
  23. Визначити реакцію струменя, який витікає з насадка лафетного ствола діаметром  $d$ , мм при напорі  $H$ , м.
  24. Визначити напір на насосі, якщо від нього прокладена магістральна лінія діаметром  $d$ , мм довжиною  $l$ , м. Від розгалуження подані два стволи Б по двох робочих лініях діаметром  $d$ , мм, довжиною  $l$ , м кожна, у вікно 3-го поверху. Рукава прогумовані. (Рис. 10).
  25. Розрахувати витрати води з пожежного ствола Б, якщо задано  $P_{ман}$ , атм.,  $d$ , мм. (Рис. 11).
  26. Визначити максимальну висоту підйому стволів, якщо вода від автонасоса подається до місця пожежі по рукавній системі, яка складається з магістральної лінії довжиною  $l$ , м і діаметром  $d$ , мм і 3-х робочих ліній, довжиною  $l$ , м та діаметром  $d$ , мм. Діаметр насадка  $d$ , мм, напір на насосі  $H$ , м. Рукава прогумовані. (Рис. 12).
  27. Визначити силу гідростатичного тиску на плоску прямокутну стінку. Ширина стінки  $B$ , м, висота стовпа води  $H$ , м.
  28. Визначити потужність, яка необхідна відцентровому насосу ПН-60, якщо відомі його подача  $Q$ , м<sup>3</sup>/сек, повний напір  $H$ , м, повний КПД  $\eta$ .
  29. Визначити час спорожнення резервуару об'ємом  $W$ , м<sup>3</sup>, якщо автонасос подавав воду до місця пожежі в кількості  $Q$ , л/с.
  30. Визначити на яку максимальну відстань можна подати ствол А від автонасоса по прогумованій рукавній лінії діаметром  $d$ , мм. Місцевість рівна, напір дорівнює  $H$ , м. (Рис. 11).
  31. Визначити радіус дії компактної частини струменя та витрату води, якщо вода виходить з насадка діаметром  $d$ , мм у вигляді вертикального струменя, висотою  $H$ , м.
  32. Визначити необхідний напір на насосі, якщо від нього поданий ствол РС-70 (А) по прогумованій рукавній лінії діаметром  $d$ , мм на висоту  $Z$ , м на відстань  $l=120$  м. (Рис. 11).
  33. Визначити напір на насосі, якщо від нього прокладена магістральна лінія діаметром  $d$ , мм довжиною  $l$ , м. Від розгалуження поданий ствол А по робочій лінії діаметром  $d$ , мм, довжиною  $l$ , м, у вікно 4-го поверху. Рукава прогумовані. (Рис. 11).
  34. Визначити час закриття засувки, щоб підвищення тиску в сталевому трубопроводі довжиною  $l$ , м і діаметром  $d$ , мм не перевищувало  $9 \cdot 10^5$  Па. Витрата води складає 60 л/с. Швидкість розповсюдження ударної хвилі 1180 м/с.

### Рисунки до задач

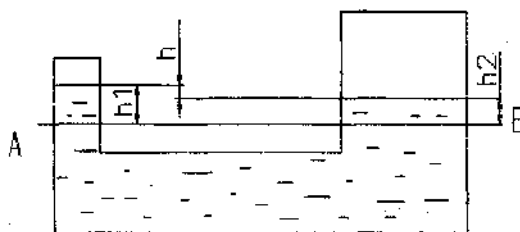


Рисунок 1

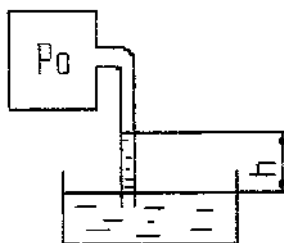


Рисунок 2

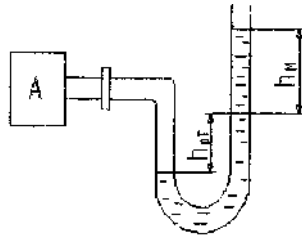


Рисунок 3

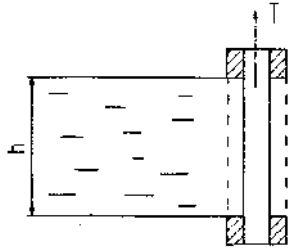


Рисунок 4

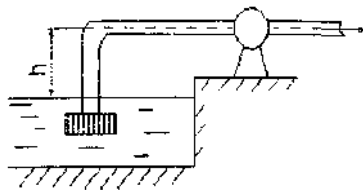


Рисунок 5

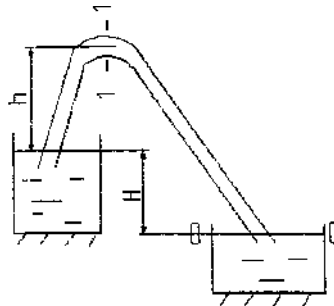


Рисунок 6

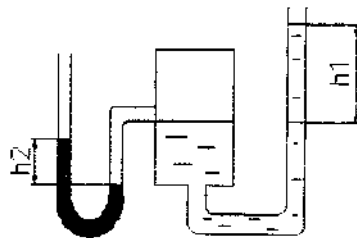


Рисунок 7

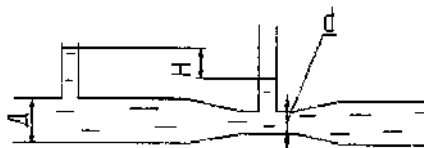


Рисунок 8

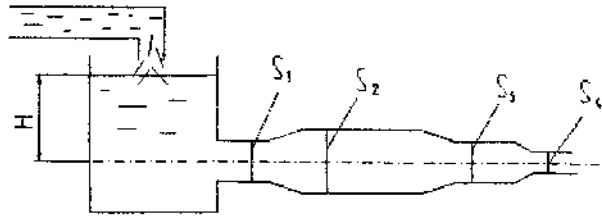


Рисунок 9

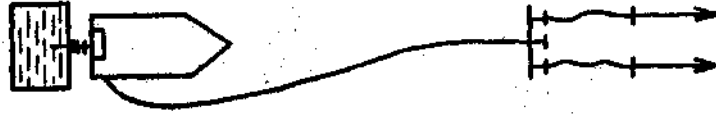


Рисунок 10

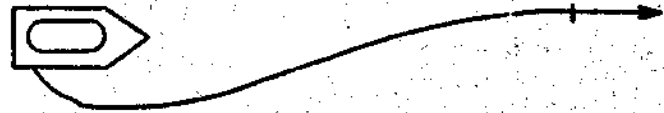


Рисунок 11

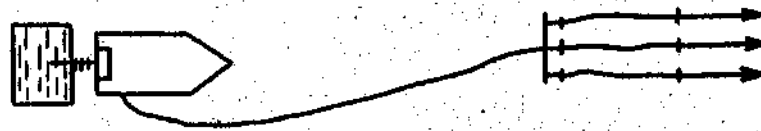


Рисунок 12

**Таблиця 2 - Чисельні значення величин до контрольних задач**

Номер задачі	Вихідні величини		Варіанти									
	Умовні позн.	Одиниці вимір.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$\rho_1$	кг/м <sup>3</sup>	750	878	888	890	895	896	750	925	760	930
	$\rho_2$	кг/м <sup>3</sup>	1250	1220	1030	1100	1150	1215	1200	1210	1200	1200
	h	см	10	25	30	12	11	9	10	21	15	18
2	h	см	23	25	27	29	19	18	20	21	25	22
	$P_{атм}$	мм рт.ст.	740	750	746	760	736	750	760	760	740	750
3	$P_0$	м вод.ст.	3	3.1	3.2	3.5	4	3.1	2.8	3.4	2.5	2.9
	$P_{атм}$	кПа	98.1	98	98.6	99	101	97	90	98	80	97
4	ахв	м	12x6	25x4	10x7	15x4	18x4	19x3	19x5	16x4	12x8	15x6
	h <sub>1</sub>	м	3.5	5	3	3.5	4	4.2	3.5	3.8	3.4	3.8
	h <sub>2</sub>	м	3.48	4.45	2.58	3.48	3.9	4	4.2	3.72	3.88	4.1
5	$P_{атм}$	мм рт.ст.	730	760	751	727	735	742	760	755	740	759
	h <sub>м</sub>	м	15	25	18	16	18	19	18	21	15	19
	h <sub>рт</sub>	м	40	50	43	41	43	44	40	46	50	47
6	$P_m$	кгс/см <sup>2</sup>	3.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3	3.5	3.1	2.5	3.4
7	$\ell$	м	1000	950	1000	989	975	1000	950	978	1000	980
	d	мм	150	100	150	100	125	125	150	100	150	150
	$P_1$	ат	4.2	4.1	4	4.2	3.5	3.2	4.4	4	3.8	3.9
	$P_2$	ат	3.1	3	3.1	3.6	2.9	2.8	3	3	2.7	2.95
8	d	мм	200	150	200	250	200	150	150	125	200	200
	Д	м	10	25	32	50	15	20	25	32	10	25
	h	м	8	10	14	25	32	17	8	20	9	19
9	$Q_1$	л/с	6	4.3	5.5	5.9	8	6.2	5.5	4	6	5
	H <sub>м</sub>	м	28	14	32	18	20	25	28	23	28	27
	$\mu$		0.98	0.96	0.98	0.94	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.94
10	b	м	4	5	4	4.45	5	4.3	4	4.5	4	4.7
	h	м	3	2.5	3.2	3	2.5	2.8	3	2.3	3	2.5
	Q	КН	15	18	20	25	18	16	15	11	16	10
	k <sub>т</sub>		0.5	0.25	0.3	3.41	0.52	0.5	0.5	0.55	0.54	0.6
11	Q	л/с	30	40	50	35	32	29	28	41	30	55
	d	мм	150	100	200	90	80	125	150	100	150	150
	$P_b$	Па	$6.5 \cdot 10^4$	$6.3 \cdot 10^4$	$6.7 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$5.9 \cdot 10^4$	$5.8 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$6.3 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$6.2 \cdot 10^4$
	h <sub>w</sub>	м	1	0.9	1.6	2.3	1.5	1.2	1.3	1.55	1.4	1.7
12	d	мм	125	150	200	100	125	150	125	200	150	125
	$\ell$	м	400	500	300	250	620	327	400	435	500	727
	h <sub>w</sub>	м	15	18	19	16	14.5	15.6	15	14.9	17	15
	$\lambda$		0.025	0.03	0.028	0.031	0.05	0.019	0.17	0.02	0.02	0.033
13	d	мм	25	20	25	32	20	25	32	25	20	20
	Q	л/с	1.8	1.6	2.2	0.9	1.8	2.2	1.8	1.9	1.6	1.95
14	t	м	15	18	17.7	15.5	19	16	13	14	10	15
	S	м	6	5	3	7	6.5	5.9	7.2	5.6	6.1	6
	d	м	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.35	0.4	0.3
	R	м	150	200	157	215	1000	750	800	700	900	800
	k	см/с	0.01	0.2	0.015	0.02	0.0019	0.03	0.027	0.06	0.03	0.01
15	H	м	10	8	9.9	7.1	10.2	10.1	11	12	8.95	10
	h	м	8	7.5	8.3	7.9	8.1	8.6	7.9	8	8	7.5
	z <sub>0</sub>	м	0.5	0.4	0.32	0.6	0.59	0.4	0.55	0.4	0.5	0.4
	k		$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$29 \cdot 10^{-5}$	$18 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$27 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
	Q	м <sup>3</sup> /добу	500	450	600	850	400	320	1200	500	600	700
16	d	мм	200	150	200	200	150	200	150	200	200	150
	t <sub>3</sub>	с	8.2	8.1	8.1	8.2	6.7	8	6.7	8	8.1	8.2
	$\ell$	км	5	4	5.9	4.9	5.2	4	3.5	5	4.9	4.8
	Q	л/с	53	50	51	56	54	81	63	52	56	53
	C <sub>v</sub>	м/с	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
17	t	°C	45	42	43	44	45	46	41	45	42	45
	d	мм	25	25	32	20	25	32	20	25	25	25
	$\ell$	м	14	13	14	17.1	20.9	18.9	21	17	23	15
	Q	л/с	0.5	0.6	0.49	0.5	0.5	0.5	0.5	0.48	0.49	0.5
	h	м	4	3.9	4.1	3.85	3.76	3.89	3.95	4	4.1	4

Номер задачі	Вихідні величини		Варіанти									
	Умов. позн.	Одиниці вимір.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	d	см	2	2.1	2.3	2	1.9	2.4	1.9	2	1.8	1.9
	H	м	2	1.9	2	2.1	2.2	2	1.9	1.9	2	2
	P <sub>м</sub>	кПа	10	11	12	13	9	14	8.5	10	9.6	11
	Q	л/с	0.86	0.9	1.1	1	0.7	1.4	0.8	0.85	0.82	0.8
19	h <sub>2</sub>	м	100	120	80	110	90	75	92	110	110	90
20	D	мм	150	100	80	200	80	120	140	100	120	150
	d	мм	80	50	40	50	65	60	70	70	50	100
	H	мм	900	1000	700	850	650	800	900	710	800	760
21	S <sub>1</sub>	дм <sup>2</sup>	0.55	0.55	0.6	0.62	0.5	0.65	0.5	0.5	0.6	0.55
	S <sub>2</sub>	дм <sup>2</sup>	5.5	5	5.5	5.3	4.5	4.9	5	5	5.5	5.8
	S <sub>3</sub>	дм <sup>2</sup>	1.3	1.2	1.3	1.25	1	1.21	1.2	1.2	1.3	1.5
	S <sub>4</sub>	дм <sup>2</sup>	0.2	0.2	0.25	0.32	0.55	0.65	0.3	0.25	0.3	0.32
	H	м	25	25	22	20	23	19	20	21	24	24
22	z	м	30	30	20	20	17	30	18	24	25	35
	d <sub>p</sub>	мм	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
	ℓ	м	80	100	80	60	90	70	68	95	80	100
	H <sub>н</sub>	м	80	80	80	70	80	70	70	80	80	80
23	d <sub>н</sub>	мм	65	50	32	38	50	65	28	32	50	65
	H	м	70	55	40	40	60	70	40	50	70	80
24	d <sub>м</sub>	мм	77	66	77	66	77	66	66	77	66	77
	ℓ <sub>м</sub>	м	120	100	80	100	120	140	120	100	100	80
	d <sub>p</sub>	мм	51	51	51	57	51	51	51	51	51	51
	ℓ <sub>p</sub>	м	60	80	70	56	80	40	40	60	80	60
25	P <sub>м</sub>	атм	5	4	3	4	5	6	7	4	5	6
	d <sub>н</sub>	мм	13	16	19	13	16	19	19	13	16	16
26	ℓ <sub>м</sub>	м	100	120	170	100	80	120	140	100	140	120
	d <sub>м</sub>	мм	66	77	77	66	66	77	66	77	77	66
	ℓ <sub>p</sub>	м	60	60	80	80	40	60	80	78	60	80
	d <sub>p</sub>	мм	51	51	51	51	51	66	51	66	66	51
	d <sub>н</sub>	мм	13	13	13	13	13	19	13	16	19	16
	H <sub>н</sub>	м	90	90	90	80	70	70	90	70	90	90
27	b	м	10	8	4	3.5	4	3.5	12	7	11.5	9.5
	H	м	3	4	5	4	2.8	3.5	6	4.5	3.8	7.2
28	Q	м <sup>3</sup> /с	0.06	0.0039	0.018	0.0611	0.0889	0.05	0.007	0.017	0.012	0.0083
	H	м	35	14	46	79.5	70	26	25	50	27	60
	η		0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5
29	W	м <sup>3</sup>	500	450	580	300	800	200	500	450	500	450
	q	л/с	15.9	16.8	17.7	15.9	14.5	13.9	12.8	13.9	15.9	16.8
30	d <sub>p</sub>	мм	51	66	51	66	51	66	51	51	66	66
	H <sub>н</sub>	м	80	90	70	90	80	80	70	65	72	78
31	d <sub>н</sub>	мм	19	16	13	13	16	19	22	25	13	16
	H <sub>b</sub>	м	25	19	9	10	17	14	17	10	20	26
32	d <sub>p</sub>	мм	66	51	66	51	66	51	51	66	51	51
	z	м	15	25	24	20	18	16	20	21	19	20
33	d <sub>м</sub>	мм	77	66	77	77	66	77	66	77	66	77
	ℓ <sub>м</sub>	м	80	120	140	140	120	100	120	140	180	160
	d <sub>p</sub>	мм	66	51	66	66	51	51	51	51	51	66
	ℓ <sub>p</sub>	м	60	40	80	60	40	50	60	40	60	80
34	ℓ q	м	700	400	600	400	500	350	220	700	600	500
	d c	мм	200	250	150	100	200	250	100	200	250	300



ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ЗАОЧНОГО ТА ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

3

---

(назва дисципліни)

Слухача \_\_\_\_\_ курсу  
напряму підготовки \_\_\_\_\_  
ФЗ та ДН

---

(прізвище та ініціали)

Шифр \_\_\_\_\_

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лаврівський З.В., Мандрус В.І. Технічна механіка рідин та газів: Навч. посібник. – Львів: Сполом, 2004.
2. Тищенко Є.А., Ленартович Є.С., Мигаленко К.І., Мигаленко О.І. Збірник задач (Технічна механіка рідини і газу. Спеціальне водопостачання). – Черкаси, ЧПБ: 2017.
3. В.І., Лещій Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. - Львів: Світ, 1995.
4. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка: Загальний курс. - Львів: Світ, 1994.
5. Мигаленко К.І., Колесніков Д.В., Костирка О.В. Лабораторний практикум по курсу «Технічна механіка рідин та газів». – Черкаси: ЧПБ НУЦЗ України, 2018.
6. Методичні вказівки по самостійному вивченню навчальної дисципліни «Технічна механіка рідини і газу». – Черкаси: ЧПБ НУЦЗ України, 2022.
7. РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ПРЕНА-1, СОФІР, АЛЬПЕН, MOUSSOL, STHAMEX, PIANOL / Сергій Стась, Артем Биченко, Денис Колесніков, Костянтин Мигаленко, Олексій Коваль // Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» Том 5 №2 (2021). С. 89-96.
8. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідин і газу. – К. «Вища школа», 2002.