

532  
К31

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

О. О. Кащенко

**ГІДРАВЛІКА**  
**І ГАЗОВА ДИНАМІКА**

Частина 1. Гідравліка

Харків  
2020

532  
К 31

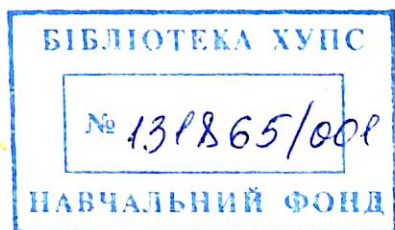
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

О. О. Кащенко

**Гідравліка  
і газова динаміка**

Частина 1. Гідравліка

*Навчальний посібник*



Харків

2020

УДК 532  
К12

*Затверджено до видання вченою радою  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
(протокол № 8 від 26. 06. 2018 року)*

**Рецензенти:**

*С. А. Калкаманов, д-р техн. наук, професор (Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба);*

*І. Б. Ковтолюк, д-р техн. наук, професор (Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба).*

**Кашенко О. О.**

К12 Гідравліка і газова динаміка. Ч. 1. Гідравліка : навч. посіб. /  
О. О. Кашенко. – Х.: ХНУПС, 2020. – 308 с.

Наведено загальні теоретичні відомості, про основні поняття, терміни і визначення гідравліки, основні характеристики і властивості рідини, основне рівняння гідростатики, диференціальні рівняння рівноваги рідини, інтегрування диференціальних рівнянь рівноваги рідини, силу сумарного тиску рідини на стінку, моделі потоку рідини, рівняння Бернуллі для потоку ідеальної та в'язкої нестисливої рідини, гідравлічні втрати, теорію подоби та критерії гідродинамічної подоби, ламінарний та турбулентний плин у трубах, місцеві гідравлічні опори, витікання рідини через отвори і насадки, гідравлічний розрахунок трубопроводів, несталий рух рідини в трубах, взаємодію потоку із твердими тілами та розрахункові формули, необхідні для рішення завдань і виконання розрахунково-графічних робіт курсантами.

Призначений для курсантів інженерно-авіаційного факультету, які вивчають загальний курс машинобудівної гідравліки за напрямком “Транспорт”, спеціальності “Авіаційний транспорт”, спеціалізації „Військові літаки, вертольоти та авіадвигуни”.

**УДК 532**

© Кашенко О. О., 2020

© Харківський національний  
університет Повітряних Сил  
імені Івана Кожедуба, 2020

## ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник з дисципліни «Гідравліка і газова динаміка» складається із трьох частин – «Гідравліка», «Газова динаміка» та «Гідравлічні машини і гідроприводи».

Перша частина «Гідравліка» містить у собі розділи «Гідростатика» і «Гідродинаміка», теоретичний і практичний матеріал яких вивчається на лекціях, групових заняттях та під час лабораторних робіт.

У навчальному посібнику наведено загальні теоретичні відомості про основні поняття, терміни і визначення гідравліки, основні характеристики і властивості рідини і газу, основне рівняння гідростатики, диференціальні рівняння рівноваги рідини, інтегрування диференціальних рівнянь рівноваги рідини, силу сумарного тиску рідини на стінку, моделі потоку рідини, рівняння Бернуллі для потоку ідеальної та в'язкої нестисливої рідини, гідравлічні втрати, теорію подоби та критерії гідродинамічної подоби, ламінарний та турбулентний плин у трубах, місцеві гідравлічні опори, витікання рідини через отвори і насадки, гідравлічний розрахунок трубопроводів, несталий рух рідини в трубах, взаємодію потоку із твердими тілами та розрахункові формули, необхідні для розв'язання завдань і виконання розрахунково-графічних робіт курсантами.

Передбачається, що для закріплення теоретичного матеріалу курсант повинен самостійно вирішити певну кількість завдань з будь-якого задачника по машинобудівній гідравліці.

Навчальний посібник призначений для самостійної роботи курсантів інженерно-авіаційного факультету, які вивчають загальний курс машинобудівної гідравліки. Він може бути корисним і для фахівців, професійна діяльність яких пов'язана з проектуванням і експлуатацією гідравлічних і пневматичних систем.

Зміст цієї книги відповідає вимогам кредитно-модульної системи навчання і діючої робочої навчальної програмі з дисципліни «Гідравліка і газова динаміка».

## З М І С Т

ПЕРЕДМОВА.....	3
РОЗДІЛ 1. ГІДРОСТАТИКА.....	4
Глава 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІКИ.....	4
1.1. Роль і місце гідравліки серед наукових дисциплін...	4
1.2. Основні поняття, терміни і визначення гідравліки...	7
1.3. Сили, що діють на рідину.....	8
1.4. Загальні поняття про тиск і температуру.....	11
Контрольні запитання.....	14
Глава 2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ВЛАСТИВОСТІ РІДИНИ.....	15
2.1. Основні характеристики рідини і газу.....	15
2.2. Основні властивості рідини і газу.....	18
2.2.1. Об'ємні властивості рідини і газу.....	18
2.2.2. В'язкість рідини і газу.....	26
2.2.3. Опір розтягання.....	34
2.2.4. Сили поверхневого натягу.....	34
2.2.5. Пароутворення.....	35
2.2.6. Розчинність газів.....	37
Контрольні запитання.....	38
Глава 3. ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ ГІДРОСТАТИКИ.....	40
3.1. Гідростатичний тиск і його властивість.....	40
3.2. Основне рівняння гідростатики.....	43
3.3. Гідростатичний напір. Наведена висота.....	44
3.4. П'єзометричний напір. П'єзометрична висота.....	48
3.5. Вакуум і його вимірювання.....	50
Контрольні запитання.....	54
Глава 4. ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ РІВНОВАГИ РІДИНИ.....	55
4.1. Прилади для вимірювання тиску.....	55

4.2.	Закон Паскаля і його практичне застосування.....	63
4.3.	Диференціальні рівняння рівноваги рідини.....	66
	Контрольні запитання.....	72
<b>Глава 5. ІНТЕГРУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ РІВНОВАГИ РІДИНИ.....</b>		<b>73</b>
5.1.	Абсолютний спокій рідини.....	73
5.2.	Відносний спокій рідини.....	74
5.2.1.	Відносний спокій рідини при прямолінійному рівноприскореному русі посудини.....	74
5.2.2.	Відносний спокій рідини при рівномірному обертанні посудини.....	80
	Контрольні запитання.....	88
<b>Глава 6. СИЛА СУМАРНОГО ТИСКУ РІДИНИ НА СТІНКУ...</b>		<b>89</b>
6.1.	Епюри гідростатичного тиску.....	89
6.2.	Сила сумарного тиску рідини на плоску стінку.....	92
6.3.	Сила тиску рідини на дно посудини.....	98
6.4.	Закон Архімеда.....	99
6.5.	Основи теорії плавання тіл.....	101
6.6.	Сила тиску рідини на криволінійні стінки.....	108
	Контрольні запитання.....	116
<b>РОЗДІЛ 2. ГІДРОДИНАМІКА.....</b>		<b>118</b>
<b>Глава 7. МОДЕЛІ ПОТОКУ РІДИНИ.....</b>		<b>118</b>
7.1.	Моделі потоку рідини.....	118
7.2.	Основні поняття про кінематичні характеристики потоку рідини.....	120
7.3.	Лінії та трубки струму. Живий перетин потоку.....	122
7.4.	Поняття про струминну модель потоку рідини. Витрата рідини.....	124
7.5.	Рівняння витрати.....	126
	Контрольні запитання.....	127

Глава 8. РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ ДЛЯ СТРУМИНКИ СТРУМУ ІДЕАЛЬНОЇ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ.....	128
8.1. Диференціальні рівняння руху ідеальної нестисливої рідини.....	128
8.2. Рівняння Бернуллі для струминки струму ідеальної нестисливої рідини.....	133
8.3. Енергетичний зміст рівняння Бернуллі для струминки струму ідеальної нестисливої рідини.....	135
Контрольні запитання.....	141
Глава 9. РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ ДЛЯ ПОТОКУ В'ЯЗКОЇ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ.....	142
9.1. Одномірна модель потоку в'язкої нестисливої рідини.....	142
9.2. Рівняння Бернуллі для потоку в'язкої нестисливої рідини.....	145
9.3. Енергетичний зміст рівняння Бернуллі для потоку в'язкої нестисливої рідини. Ухили.....	148
9.4. Приклади застосування рівняння Бернуллі в техніці	150
9.4.1. Витратомір Вентурі.....	150
9.4.2. Трубка Піто.....	153
9.4.3. Струминний насос (ежектор).....	154
9.4.4. Карбюратор поршневого двигуна внутрішнього згорання.....	155
Контрольні запитання.....	157
Глава 10. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ГІДРАВЛІЧНІ ВТРАТИ..	158
10.1. Загальні поняття про гідравлічні втрати.....	158
10.2. Основи теорії подоби.....	164
10.3. Критерії гідродинамічної подоби.....	172
Контрольні запитання.....	178
Глава 11. ЛАМІНАРНИЙ ПЛИН У КРУГЛИХ ТРУБАХ.....	180
11.1. Режими плинину рідини в каналах.....	180
11.2. Ламінарний плин у круглих трубах.....	183

11.3.	Початкова ділянка ламінарного плину.....	188
	Контрольні запитання.....	192
Глава 12. ТУРБУЛЕНТНИЙ ПЛИН У КРУГЛИХ ТРУБАХ.....		193
12.1.	Загальні відомості про турбулентний режим плину..	193
12.2.	Турбулентний плин у гідравлічне гладких трубах....	197
12.3.	Турбулентний плин у шорсткуватих трубах.....	200
12.4.	Плин у не круглих трубах.....	205
	Контрольні запитання.....	207
Глава 13. МІСЦЕВІ ГІДРАВЛІЧНІ ОПОРИ.....		208
13.1.	Загальні відомості про місцеві опори.....	208
13.2.	Місцеві гідравлічні опори при турбулентному режимі плину.....	209
13.2.1.	Раптове розширення каналу.....	209
13.2.2.	Поступове розширення каналу.....	214
13.2.3.	Звуження каналу.....	219
13.2.4.	Поворот каналу.....	222
13.3.	Місцеві гідравлічні опори при ламінарному режимі плину.....	224
	Контрольні запитання.....	229
Глава 14. ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ		230
14.1.	Витікання рідини через малі отвори в тонкій стінці при постійному напорі.....	230
14.2.	Витікання рідини через насадки при постійному напорі.....	236
14.3.	Витікання рідини через отвори і насадки при змінному напорі.....	242
14.4.	Витікання рідини під рівень.....	244
	Контрольні запитання.....	245
Глава 15. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ..		247
15.1.	Загальні відомості та класифікація трубопроводів...	247
15.2.	Розрахунок простих трубопроводів.....	248



15.3.	Характеристика трубопроводу. Криві потрібного напору.....	254
15.4.	З'єднання простих трубопроводів.....	258
15.4.1.	Послідовне з'єднання простих трубопроводів.....	258
15.4.2.	Паралельне з'єднання простих трубопроводів.....	261
15.4.3.	Розгалужене з'єднання простих трубопроводів.....	263
	Контрольні запитання.....	264
Глава 16. НЕСТАЛИЙ РУХ РІДИНИ В ТРУБАХ.....		266
16.1.	Несталий рух рідини у твердих трубах.....	266
16.2.	Рівняння Бернуллі для відносного руху рідини .....	273
16.3.	Гідравлічний удар.....	279
	Контрольні запитання.....	289
Глава 17. ВЗАЄМОДІЯ ПОТОКУ ІЗ ТВЕРДИМИ ТІЛАМИ.....		290
17.1.	Сили дії потоку на стінки каналу.....	290
17.2.	Сила дії струменя на стінку.....	294
17.3.	Рівняння моменту кількості руху для сталого плину рідини в рівномірно обертових каналах.....	298
	Контрольні запитання.....	300
	ЛІТЕРАТУРА.....	302