

620.9
Г46

**Євген Сокол, Михайло Черкашенко,
Олег Потетенко, Євгеній Крупа**

ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

ТОМ 1. ГІДРОГАЗОДИНАМІКА



135-річчю Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

Присвячується

**Євген СОКОЛ, Михайло ЧЕРКАШЕНКО,
Олег ПОТЕТЕНКО, Євгеній КРУПА**

ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

ТОМ 1. ГІДРОГАЗОДИНАМІКА

Підручник

Харків НТУ «ХП» 2020

Ч-48

УДК 62-82.001.2

Ч 48 Євген Сокол, Михайло Черкашенко, Олег Потетенко, Євгеній Крупа.

Гідроенергетика. Том 1. Гідрогазодинаміка. Харків. *НТУ «ХПІ»*, 2020. 274 с.

Викладено основні визначення і методи, що застосовуються в кінематиці рідини і газу. Розглянуто питання динаміки ідеальної рідини та загальні рівняння суцільного середовища. Представлені спеціальні питання гідромеханіки. Містить контрольні запитання після кожного розділу.

Призначений для студентів і аспірантів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю «Гідроенергетика». Корисний також для інженерів-фахівців, що займаються розробкою високоефективних лопатевих систем гідравлічних турбін, насосів, компресорів та інших машин.

Yevhen Sokol, Mikhaylo Cherkashenko Oleg Potetenko, Yevheniy Krupa. Hydropower.

Volume 1. Fluid dynamics. Kharkiv. *NTU «KhPI»*, 2020. 274 p.

Outlines the basic definitions and methods used in the kinematics of liquid and gas. The problems of the dynamics of an ideal fluid and the general equations of a continuous medium are considered. Special questions of hydromechanics are represented. There are control questions in each chapter.

This book is for students and post-graduate students of the specialty "Hydropower". It is also useful for engineers involved in the development of high-efficiency blade systems of hydraulic turbines, pumps, compressors and other machines.

Рецензент: *Андрій Русанов, чл.-кор. НАНУ\ проф., д-р техн. наук, ІПМаш
НАНУ, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки*

Іл. 144. Бібліогр. 6 назв.

ISBN 978-617-7634-95-8

© Є. Сокол, М. Черкашенко, та ін. 2020р.

ЗМІСТ

Передмова.....	7
Глава 1. Вступ. Основні положення.....	8
1.1. Місце механіки рідини і газу (гідромеханіки) серед інших наук.....	8
1.2. Основні методи механіки рідини і газу.....	13
1.3. Історія розвитку механіки рідини і газу.....	16
1.4. Будова речовини і гіпотеза суцільності. Поняття елементарного макроскопічного об'єму. Сили, що діють в рідині. Основні властивості рідин і газів. Моделі рідин.....	21
Глава 2. Кінематика рідини і газу. Основні визначення і методи, що застосовуються в кінематиці рідини і газу.....	37
2.1. Лінії току і траєкторії.....	37
Глава 3. Теореми про вихори.....	50
3.1. Перша теорема Гельмгольца. Деформаційний рух елемента рідини.....	50
3.2. Класифікація руху рідини.....	57
3.3. Вихрові лінії і трубки. Інтенсивність вихрової трубки і її зв'язок з циркуляцією швидкості (теорема Стокса).....	62
3.4. Теорема Гельмгольца про сталість інтенсивності вихору уздовж вихрової трубки (друга теорема Гельмгольца).....	66
3.5. Теорема Кельвіна (Томсона) про циркуляцію швидкості.....	68
3.6. Формула Біо-Савара для швидкості, індукованої вихровою трубкою.....	70
3.7. Конвекція завихореності.....	74
Глава 4. Динаміка ідеальної рідини. Загальні рівняння суцільного середовища.....	77
4.1. Розподіл маси в суцільному середовищі. Закон збереження маси і рівняння нерозривності.....	77
4.2. Закон зміни кількості руху. Рівняння динаміки суцільного середовища «в напруженнях».....	84
4.3. Напружений стан рідини. Тензор напружень. Рівняння в напруженнях.....	86
4.4. Виведення рівняння в напруженнях з принципу Даламбера.....	91
4.5. Закон збереження (зміни) моменту кількості руху (моменту імпульсу).....	93

4.6.	Рівняння переносу енергії.....	95
4.7.	Рівняння переносу енергії при русі ідеальної рідини.....	96
4.8.	Рівняння переносу енергії для випадку, коли поле масових сил \vec{f} породжується незалежним від часу потенціалом.....	97
4.9.	Закон збереження енергії (постульований).....	100
4.10.	Основні задачі гідромеханіки і граничні умови. Пряма і зворотна задачі. Задачі Дирихле, Неймана і змішана (третя) крайова задача. Ньютонів або об'ємний потенціал, потенціал простого і подвійного шарів.....	101
Глава 5.	Гідростатика.....	110
5.1.	Диференціальні рівняння рівноваги у формі Ейлера.....	110
5.2.	Основне рівняння гідростатики в диференціальній формі	114
5.3.	Формула для визначення тиску в нерухомій рідині.....	115
5.4.	Надлишковий тиск і вакуум. П'єзометрична висота.....	116
5.5.	Рівняння гідростатики для неінерційних систем координат, у випадку, коли масові сили мають потенціал, що не залежить від часу.....	118
5.6.	Визначення сумарної сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню.....	125
5.7.	Сумарна сила гідростатичного тиску на плоску похилу стінку.....	127
5.8.	Проекція сумарної сили гідростатичного тиску на довільну криволінійну поверхню.....	128
5.9.	Визначення центра гідростатичних сил тиску, що діють на криволінійну поверхню.....	129
5.10.	Положення центра надлишкових сил гідростатичного тиску, що діють на плоску стінку.....	130
5.11.	Закон Архімеда. Плавання тіл.....	132
Глава 6.	Основні рівняння динаміки ідеальної рідини та газу при дозвукових швидкостях руху.....	135
6.1.	Основне рівняння динаміки ідеальної рідини в формі Ейлера	135
6.2.	Рівняння руху ідеальної рідини в формі Громеки.....	138
6.3.	Інтеграл Коші-Лагранжа (Лагранжа).....	139
6.4.	Випадки інтегрування рівняння динаміки ідеальної рідини при усталеному русі. Інтеграл Ейлера і Бернуллі	142

6.5.	Рівняння Бернуллі для елементарної струминки та трубопроводу кінцевого перерізу.....	146
6.6.	Неінерційна система координат. Рівняння Бернуллі для відносного руху рідини у системі координат, що обертається	150
6.7.	Ізотермічний рух ідеального газу.....	152
6.8.	Адіабатичний рух ідеального газу.....	153
Глава 7.	Одномірний рух газу.....	156
7.1.	Швидкість поширення малих збурень в ідеальному газі. Швидкість звуку.....	156
2	До- і надзвукові течії газу. Критерій Маха. Швидкісний коефіцієнт λ	162
7.3.	Рівняння балансу енергії при адіабатичному русі ідеального і досконалого газу.....	163
7.4.	Ізентропічні формули.....	167
7.5.	Одновимірний стаціонарний рух газу в трубі змінного перерізу.....	169
Глава 8.	Плоскі потенціальні потоки.....	172
8.1.	Застосування функції комплексного змінного до вирішення задач механіки рідини і газу.....	172
8.2.	Гідродинамічний зміст комплексного потенціалу швидкості.....	174
8.3.	Плоскопаралельний потік (рівношвидкісний потік)	178
8-4.	Потік джерела.....	183
8-5.	Потік вихору.....	186
8.6.	Потік вихороджерела.....	191
8.7.	Суперпозиція (складання) потоків.....	193
8.8.	Потік усередині прямого кута.....	199
8.9.	Потік, заданий комплексним потенціалом.....	200
8.10.	Потік диполя.....	202
8.11.	Безциркуляційне обтікання кругового циліндра (безциркуляційне обтікання круга).....	204
8.12.	Характер розподілу тиску по окружності при безциркуляційному обтіканні. Парадокс Даламбера. Відмінність в розподілі тиску при русі реальної рідини...	206
8.13.	Поступальний (без обертання) рух циліндра (круга) з постійною швидкістю в нерухомій нев'язкій рідині. Поняття приєднаної маси.....	210