

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Теплотехніка та теплові двигуни”

РОБОЧА ПРОГРАМА

**та методичні вказівки до виконання
контрольної роботи з дисципліни**

«ГІДРОГАЗОДИНАМІКА»

за спеціальністю «Теплоенергетика»

Харків - 2009

Робочу програму, завдання та методичні вказівки до виконання контрольної роботи розглянуто та рекомендовано

до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» 14 квітня 2008 р., протокол № 12.

У методичних вказівках наведено загальні положення, робочу програму з питаннями для самоконтролю, задачі з основних розділів курсу «Гідрогазодинаміка» і методи їх розв'язання.

Рекомендується для студентів спеціальності «Теплоенергетика» денної та заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. О.А. Ярхо,
доценти В.М. Лялюк,
С.В. Комар

Рецензент

доц. С.В. Угольніков

Робоча програма та методичні вказівки до
виконання контрольної роботи з дисципліни
«Гідрогазодинаміка»
за спеціальністю «Теплоенергетика»

Відповідальний за випуск Комар С.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 25.04.08 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 2,25. Обл.-вид.арк. 2,5.
Замовлення № Тираж 200 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, майд. Фейербаха, 7

Українська державна академія залізничного транспорту

Механічний факультет
Кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни»

**Робоча програма та методичні вказівки до виконання
контрольної роботи з дисципліни «Гідрогазодинаміка»
за спеціальністю «Теплоенергетика»**

Харків 2009

Робочу програму, завдання та методичні вказівки до виконання контрольної роботи розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» 14 квітня 2008 р., протокол № 12.

У методичних вказівках наведено загальні положення, робочу програму з питаннями для самоконтролю, задачі з основних розділів курсу «Гідрогазодинаміка» і методи їх розв'язання.

Рекомендується для студентів спеціальності «Теплоенергетика» денної та заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. О.А. Ярхо,
доценти В.М. Лялюк,
С.В. Комар

Рецензент

доц. С.В. Угольніков

ЗМІСТ

1	Загальні методичні вказівки	4
2	Робоча програма дисципліни	6
2.1	Фізичні властивості, кінематика та динаміка рідин (газів)	6
2.2	Теорія подібності. Гідростатика. Рух нестисливої рідини у трубах	7
2.3	Одновимірний рух газу. Рух газу з надзвуковою швидкістю. Газові струмені	8
2.4	Рекомендований перелік лабораторних робіт	9
3	Завдання до контрольної роботи	10
3.1	Контрольні питання	10
3.2	Контрольні задачі	14
4	Методичні рекомендації для розв'язання задач контрольної роботи	29
	Список літератури	38

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Дисципліну «Гідрогазодинаміка» студенти денної та заочної форми навчання вивчають згідно з наведеною робочою програмою. Ця дисципліна є базовою для вивчення у подальшому дисциплін за спеціальністю «Теплоенергетика». При вивченні курсу слід твердо

знати і уміти використовувати:

- значення та місце гідрогазодинаміки в теплоенергетиці;
- основи кінематики рідин та газів;
- закони та рівняння динаміки рідин та газів;
- теорію подібності та моделювання гідрогазодинамічних явищ;
- рівняння рівноваги рідин у стані спокою та сили тиску її на тверді поверхні;
- режими руху рідин у трубах, гідравлічні опори, розрахунок трубопроводів, гідравлічний удар у трубах та заходи боротьби з ними;
- елементи газодинаміки однорідного руху газу;
- рух газу з надзвуковою швидкістю;
- витікання рідини та газу через отвори, насадки та сопла;
- структуру газового струменя та струминні апарати;
- основи теорії примежового шару.

Основною формою вивчення дисципліни є самостійна робота з підручниками, в процесі якої слід ознайомитися зі змістом робочої програми, методичними вказівками, підібрати літературу, що рекомендується, і взятися до опрацювання наведених тем. Доцільно вести стислий конспект основних положень тем, яким було б зручно користуватися при повторенні матеріалу і підготовки до екзамену.

З метою закріплення теоретичного матеріалу дисципліни кожний студент заочної форми навчання повинен виконати контрольну роботу, яка складається із шести питань і п'яти задач, а також виконати лабораторні роботи, скласти за ними звіт і захистити.

За виконаними контрольними роботами проводиться співбесіда з викладачем.

При виконанні контрольної роботи студент повинен спочатку письмово відповісти на контрольні запитання, а потім розв'язати відповідні задачі. Відповіді на контрольні питання мають бути стислими, але повністю їх розкривати. Відповіді супроводжувати формулами, графіками і схемами. При розв'язанні задач необхідно наводити формулу, з якої визначається величина, і в яких одиницях

вона вимірюється, а також зазначити, звідки взяті величини, які підставлені у формулу (якщо вони не містяться в умові задачі).

При використанні довідкових матеріалів слід показати, з якого літературного джерела вони були взяті.

Обчислення необхідно виконувати у розгорнутому вигляді в одиницях системи СІ. Розв'язання задач необхідно ілюструвати схемами.

Контрольні запитання і задачі студент обирає із таблиці варіантів до контрольної роботи.

Важливим етапом вивчення дисципліни є також виконання курсового проекту, основною метою якого є набуття навичок розрахунку типових течій рідини (газу) в теплоенергетичних установках.

Постановка задачі, обсяг і строки виконання курсового проекту наведені в окремих методичних вказівках.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Фізичні властивості, кінематика та динаміка рідин (газів)

2.1.1 Основні фізичні властивості, кінематика та динаміка рідин

та газів

Предмет гідрогазодинаміки. Короткі історичні відомості про розвиток механіки рідин та газів. Роль досягнень механіки рідини та газів для науково-технічного прогресу у теплоенергетиці.

Фізична будова рідин та газів. Гіпотеза суцільності. Сили, що діють на рідину. Основні фізичні властивості рідин та газів. Питома маса і питома вага. Стисливість. В'язкість. Закон в'язкісного тертя Ньютона. Коефіцієнти та одиниці вимірювання в'язкості. Залежність в'язкості від температури та тиску.

2.1.2 Основи кінематики рідини та газу

Методи, які використовують для опису руху рідини та газу. Усталений та неусталений рух, рівномірний та нерівномірний рух. Лінія течії, трубка течії, траєкторія, струминка. Розклад руху елементарного об'єму рідини на квазітвердий та деформаційний (перша теорема Гельмгольца). Вихрова лінія та вихрова трубка. Друга теорема Гельмгольца. Циркуляція швидкості. Теорема Стокса. Потенціал швидкості.

2.1.3 Загальні закони та рівняння динаміки рідини та газу

Основні закони руху рідини та газу. Закон збереження маси. Закон зміни кількості руху. Закон зміни моменту кількості руху. Закон збереження енергії для рідини та газу. Зв'язок між напруженнями зі швидкістю деформації суцільного середовища. Ньютонівські рідини.

Рівняння нерозривності, руху, енергії для одновимірного стаціонарного руху в'язкої рідини та газу. Рівняння стану.

Рівняння витрати рідини та рівняння Бернуллі.

2.2 Теорія подібності. Гідростатика. Рух нестисливої рідини у трубах

2.2.1 Основи теорії подібності та розмірностей

Основи теорії подібності та моделювання руху рідини та газу.

Суть та практичне значення теорії подібності. Подібність гідродинамічних явищ. Критерії подібності. Автомодельність. Часткова подібність. Метод розмірностей та π -теорема.

2.2.2 Гідро- і газостатика

Стан спокою рідини (газу). Рівняння рівноваги рідини у стані спокою. Спокій важкої нестисливої рідини. Відносний спокій нестисливої рідини. Сили тиску рідини, що знаходиться у спокої, на тверді, плоску та криволінійні поверхні.

2.2.3 Рух нестисливої рідини у трубах

Режими течії рідини. Критичне число Рейнольдса. Гідравлічні опори (опір тертя і місцеві опори). Принцип суперпозиції витрат енергії.

Ламінарний рух нестисливої рідини у трубах, його закономірності. Турбулентний рух нестисливої рідини у трубах.

Гідравлічно гладкі та шорсткі труби. Залежність коефіцієнта втрати на тертя від числа Рейнольдса та відносної шорсткості. Рух рідини у трубах некруглого перерізу. Місцеві опори.

Прості та складні трубопроводи.

Гідравлічний розрахунок простих трубопроводів. Гідравлічний удар у трубах та заходи боротьби з ним.

2.3 Одновимірний рух газу. Рух газу з надзвуковою швидкістю. Газові струмені

2.3.1 Одновимірний рух газу

Залежність параметрів газу від швидкості руху при

ізоентропійному процесі. Параметри гальмування. Критична та максимальна швидкість. Число Маха, коефіцієнт швидкості. Вплив зовнішніх діянь на швидкість одновимірного потоку. Умова обертання впливу (геометричне, теплове, витратне, механічне сопло). Вплив тертя на швидкість газу.

Течія газу у циліндричних трубопроводах (адіабатна та ізотермічна).

2.3.2 Рух газу з надзвуковою швидкістю

Поширення слабких збурень у газі. Конус Маха. Поширення сильних збурень у газі. Стрибок згущення (ударна хвиля). Основні рівняння стрибка згущення. Зміна параметрів газу на ударній хвилі. Ударна адіабата. Ударна поляра. Обтікання поверхні надзвуковим потоком газу.

2.3.3 Витікання рідини та газу через отвори, насадки та сопла

Прикладні задачі, пов'язані з питаннями витікання рідини та газу, отвори та насадки. Витікання нестисливої рідини через отвори та насадки.

Витікання газу через сопло Лаваля на розрахунковому та нерозрахунковому режимі. Витікання газу через сопло з косим зрізом.

Надзвукові дифузори.

2.3.4 Газові струмені та струминні апарати (ежектори)

Структура газового струменя. Розподіл параметрів газу по довжині струменя. Загальні відомості про струминні апарати. Елементи розрахунку ежектора.

2.3.5 Рух двофазних та двокомпонентних речовин. Основи теорії примежового шару

Рух твердих частинок та бульбашок газу в рідині. Перенос твердих частинок потоком рідини або газу.

Поняття про динамічний та тепловий примежовий шар. Ламінарний та турбулентний примежовий шар. Поняття про методи розрахунку примежового шару.

2.4 Рекомендований перелік лабораторних робіт

Прилади для вимірювання тиску.

Ілюстрація рівняння Бернуллі, побудова повного та п'єзометричного напорів.

Тарування витратоміра - труби Вентурі.

Визначення середньовитратної швидкості повітря в циліндричній трубі при різних опорах на виході.

Визначення режимів течії рідини у трубі.

Визначення коефіцієнта втрати на тертя по довжині трубопроводу.

Визначення коефіцієнтів місцевих втрат при звуженні каналу та при встановленні вентиля.

Визначення коефіцієнтів витрати при витіканні рідини через отвори та насадки.

3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Таблиця 1 – Таблиця варіантів

Найменування	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контрольні	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

питання	13	14	15	16	17	12	18	20	11	19
	23	25	24	26	27	28	29	31	21	22
	34	35	36	37	38	39	40	41	30	32
	44	45	46	47	48	49	50	51	42	43
	54	55	56	57	58	59	60	61	52	53
Контрольні задачі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	28	29	30	52
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

3.1 Контрольні питання

- 1 Що вивчає гідрогазодинаміка? Яка різниця між рідиною і газами? В чому сутність гіпотези суцільності?
- 2 Дайте класифікацію і визначення сил, що діють в рідині.
- 3 Що таке питома маса і питома вага? Який зв'язок між ними?
- 4 Що таке стисливість рідини(газу), як вона визначається і як пов'язана з об'ємним модулем пружності?
- 5 Як визначається коефіцієнт об'ємного розширення? Що таке відносна вага рідини?
- 6 Сформулюйте закон тертя рідини Ньютона. Що таке в'язкість рідини, коефіцієнт в'язкості?
- 7 Як змінюється в'язкість у краплинних рідин та газів зі збільшенням їх температури? Наведіть графік залежності $\mu = f(t)$
- 8 Що таке капілярність? Що таке кавітація? Коли може виникати кавітація і які її негативні наслідки?
- 9 Перерахуйте моделі рідини та газу, що розглядаються при їх дослідженні.
- 10 Що таке тиск і в яких одиницях він вимірюється?
- 11 Які ви знаєте властивості гідростатичного тиску.

- 12 Що таке поверхні рівного тиску і їх властивості?
- 13 Наведіть приклади абсолютного і відносного покою рідини.
- 14 Напишіть основне рівняння гідростатики і дайте його пояснення.
- 15 Що таке об'ємна, масова і вагова витрата рідини (газу)?
- 16 Який рух рідини (газу) має назву усталений, неусталений, рівномірний і нерівномірний?
- 17 Яка різниця між методами дослідження руху рідини Лагранжа і Ейлера?
- 18 Яка різниця між лінією течії і траєкторією частин рідини? Що таке переріз потоку?
- 19 Сформулюйте першу теорему Коші–Гельмгольца. Що таке потенціал швидкості?
- 20 Що таке вихровий рух, вихрова лінія?
- 21 Сформулюйте другу теорему Гельмгольца і наведіть висновки з цієї теореми.
- 22 Який фізичний закон виражає рівняння витрати рідини (газу)? Як записується рівняння витрати для потоку реальної рідини (газу)?
- 23 Як записується рівняння енергії для одновимірного усталеного руху рідини (газу) у загальній формі (з підведенням теплоти і виконанням роботи)?
- 24 Як записується рівняння Бернуллі для потоку нестисливої в'язкої рідини?
- 25 Сформулюйте рівняння кількості руху і запишіть його.
- 26 Поясніть закон збереження моменту імпульсу (кількості руху) і запишіть його.
- 27 У чому сутність теорії подібності, сутність моделювання?
- 28 Які явища називають фізично подібними? Які умови повинні одночасно виконуватися для гідродинамічних явищ?
- 29 Напишіть критерії Рейнольдса, Ейлера, Маха, Фруда і Струхалія і поясніть їх фізичний смисл.
- 30 Які критерії подібності є визначними для виконання гідродинамічної подібності при русі:
- в'язкої нестисливої рідини;
 - в'язкої стисливої рідини(газу)?

- 31 Що таке часткова подібність, автомодельність?
- 32 сформулюйте π - теорему в теорії розмірності. Поясніть її сутність
- 33 Що таке ламінарний і турбулентний режими руху рідини? Які особливості руху рідини при цих режимах?
- 34 За яким критерієм може бути встановлено режим руху рідини? Як записується число Рейнольдса для круглої труби?
- 35 Чим обумовлені втрати напору рідини (газу) при його русі? Як їх розділяють?
- 36 За якими рівнями визначаються втрати питомої енергії (напору) по довжині труби (втрати на тертя) і місцеві втрати?
- 37 Коли буде більша нерівномірність швидкості рідини в перерізі потоку, при ламінарному чи при турбулентному режимах руху?
- 38 Напишіть закон розподілу швидкостей при ламінарному русі рідини (газу) у круглих трубах.
- 39 Як визначається об'ємна витрата рідини при ламінарному русі рідини у круглих трубах?
- 40 Які основні характеристики турбулентної течії рідини?
- 41 Поясніть поняття „гладкі і шерсткі труби”. Як їх розрізняють?
- 42 Що таке коефіцієнти швидкості, стисливості і витрати?
- 43 Як визначається витрата при витіканні крапельних рідин із ємностей через отвори і насадки?
- 44 Що таке потрібний напір і як він визначається?
- 45 Що таке характеристика трубопроводу? Який вигляд вона має при ламінарному і турбулентному русі рідини?
- 46 Як будується характеристика трубопроводу при послідовному з'єднанні труб?
- 47 Як будується характеристика трубопроводу при паралельному з'єднанні труб?
- 48 Як будується характеристика розгалуженого трубопроводу?
- 49 Що таке гідравлічний удар в трубах? Які способи пом'якшення тиску існують при гідравлічному ударі?
- 50 Що таке швидкість звуку і як вона визначається для газу?
- 51 Які безрозмірні швидкості використовуються при

розгляданні руху стисливої рідини (газу)? Який зв'язок між ними?

52 Як змінюється температура зі швидкістю газу при адіабатному русі?

53 Як змінюються питома маса і тиск зі швидкістю газу при ізоентропійному русі?

54 Які способи впливу на швидкість одновимірного потоку газу ви знаєте?

55 Що містить в собі закон обертання впливу на газовий потік?

56 Що таке хвилі слабких збурень у газі? З якою швидкістю вони розповсюджуються?

57 Що таке стрибки згущення (ударні хвилі) і коли вони виникають в газі?

58 Що таке ударна адіабата?

59 Що таке примежовий шар? Режими течії в примежовому шарі.

60 В чому сутність робочого процесу газового ежектора?

61 Що таке двофазне та двокомпонентне середовище?

3.2 Контрольні задачі

Задача 1

Визначити тиск D в котлі з водою і п'езометричну висоту z_1 , якщо висота підняття ртуті в трубці U -подібного манометра складає $z_2=55$ м.

Задача 2

Визначити кінематичну в'язкість повітря ($R = 287$ Дж/(кг·К)) при температурі 150 °С і тискові $5 \cdot 10^5$ Па, якщо динамічна в'язкість змінюється залежно від температури за законом

$$\mu = 1,745 \cdot 10^{-6} + 5,03 \cdot 10^{-9} \cdot t,$$

де μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с.

Задача 3

Труба, яка має довжину $l=8$ м, діаметр $d=76$ мм, заповнена водою при атмосферному тиску. Визначити, який об'єм води треба додати у трубу, щоб при гідравлічних випробуваннях створити надлишковий тиск 25 МПа. Деформацією труби знехтувати. Коефіцієнт об'ємного стиску води

$$\beta_p = 4,85 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}.$$

Задача 4

Визначити питому масу ρ морської води на глибині 320 м, де надлишковий тиск дорівнює $3,29$ МПа.

Задача 5

Для охолоджуючої системи дизеля зробили суміш: до 60 л антифризу ($\rho=800$ кг/м³) додали 50 л води ($\rho=1000$ кг/м³). Визначити питому масу ρ і питому вагу γ суміші.

Задача 6

Визначити динамічну в'язкість μ дизельного палива при температурі $t = 20$ °С, якщо кінематична в'язкість при цій температурі $\nu = 0,28$ см²/с. Питома маса палива $\rho = 846$ кг/м³.

Задача 7

Людина може підняти сталевий шар у звичайних умовах вагою $G = 300$ Н. Якої ваги шар вона може підняти під водою? Питома маса сталі $\rho = 7800$ кг/м³.

Задача 8

Визначити об'єм розширювальної посудини $W_{\text{д.і.}}$, яку необхідно установити в системі водяного опалення з об'ємом води W_0 , якщо відомо, що максимальна різниця температур води у трубопроводі, що подає, і зворотньому складає 25 °С. Запас щодо об'єму розширювальної посудини прийняти трикратним. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води $\beta_t = 0,0006$ 1/°С.

Задача 9

Як зміниться об'єм води в системі опалення, що має місткість $W_1 = 100$ м³, після підігріву води від початкової температури $t_{\text{д.і.}}$ = 15 °С до $t_{\text{з.д.}}$ = 95 °С? Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води прийняти $\beta_t = 0,0006$ 1/°С.

Задача 10

Визначити зміну об'єму 27 т нафтопродукту у сховищі при коливанні температури від 20 до 50⁰С, якщо при $t=20$ ⁰С питома маса нафтопродукту дорівнює $\rho=900$ кг/м³, а температурний коефіцієнт об'ємного розширення $\beta_t = 0,001$ 1/⁰С.

Задача 11

Тепловоз рівносповільнено зменшує швидкість від 85 до 25 км/год за 14 с. Визначити, як буде розташована вільна поверхня у паливному баці.

Задача 12

Тепловоз набирає прискорення від швидкості 20 км/год до 90 км/год за 15 с. Вимірником прискорення є U -подібна трубка, вертикальні частини якої знаходяться на відстані 65 см одна від одної. Трубка частково заповнена водою. Визначити різницю рівнів води в трубці.

Задача 13

Для вимірювання прискорення тіла, що рухається горизонтально використовується наповнена частково рідиною U -подібна трубка малого діаметра, яка кріпиться до нього. З яким прискоренням \dot{a} рухається тіло, якщо при його русі різниця рівнів у трубці склала $h=8$ см при довжині між її складовими $l=40$ см?

Задача 14

Вертикальна циліндрична посудина ємністю 314 м³ і висотою 4 м заповнена дизельним паливом. Питома маса його при 20 ⁰С складає 860 кг/м³. Визначити сили тиску палива на бокову стінку і на

дно резервуара.

Задача 15

Призматична ємність довжиною $3l=3\text{м}$ і шириною $b=1\text{м}$ переміщується горизонтально з постійним прискоренням $a=0,4g$. Ємність розділена плоскою перегородкою на два відсіки, які заповнені водою до висот $h_1=1\text{ м}$ і $h_2=1,75\text{ м}$. Визначити сумарну силу P тиску води на перегородку.

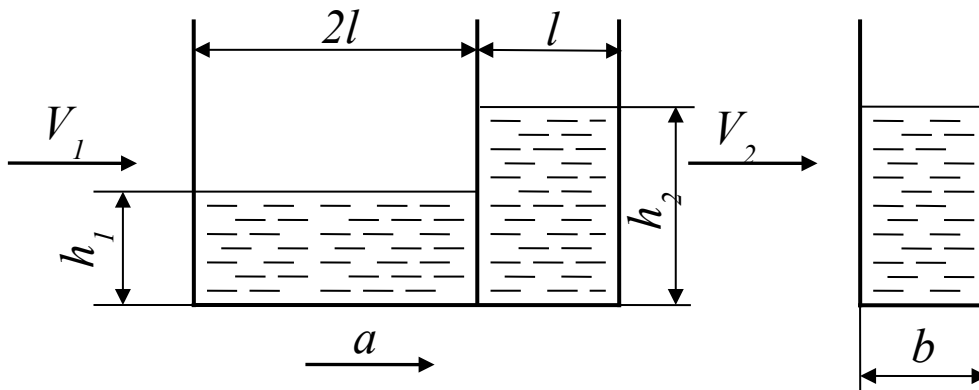


Рисунок до задачі 15

Задача 16

Розв'язати задачу 15 за умови, що рух ємності направлено у протилежний бік.

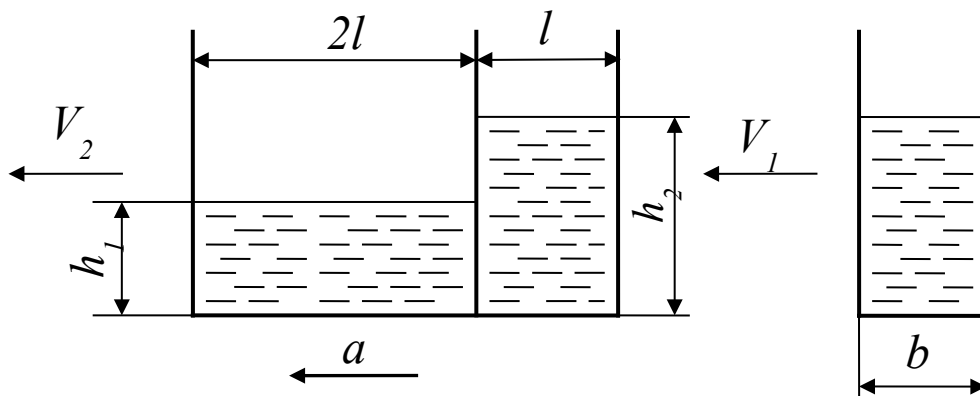


Рисунок до задачі 16

Задача 17

По горизонтальному трубопроводу з діаметром $d = 4$ мм рухається вода з температурою $T = 293$ К і витратою $Q = 0,2$ л/хв. Визначити різницю рівнів рідини в манометрах, що вимірюють тиск на довжині трубопроводу $l = 1$ м, а також число Рейнольда за швидкістю на осі труби ($\mu_a = 0,01004$ П), $1\text{П} = 0,1$ Па·с).

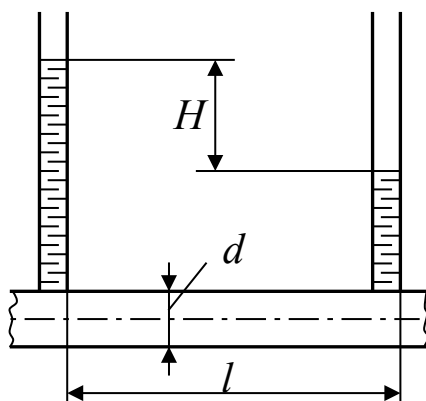


Рисунок до задачі 17

Задача 18

Розрахуйте max витрату керосину ($\mu = 14,9 \cdot 10^{-4}$ Па·с, $\rho = 800$ кг/м³) через трубу з діаметром $d = 24$ мм при збереженні ламінарного режиму руху. Критичне число Рейнольдса визначити за швидкістю на осі труби ($V_{сер} = \frac{1}{2} \cdot V_{max}$).

Задача 19

Ртуть при кімнатній температурі ($\mu = 1,6 \cdot 10^{-3}$ Па·с) рухається по горизонтальному трубопроводу, що має діаметр $d = 2$ мм; при

цьому число Рейнольдса визначено за швидкістю на осі труби і дорівнює $Re = 2000$. Визначити перепад тиску на довжині трубопроводу $l = 1$ м.

Задача 20

Газоподібний водень (H_2) ($\mu = 86,6 \cdot 10^{-6}$ П) перекачується по горизонтальній трубі діаметром $d = 50$ мм з витратою $M = 0,7$ г/с при температурі 295 К. В початковому перерізі труби тиск $P_1 = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Який буде тиск в кінці трубопроводу довжиною $l = 200$ м?

Задача 21

По трубопроводу з діаметром $d = 30$ мм і довжиною $l = 40$ м перекачується рідина, при цьому число Рейнольдса за середньою швидкістю дорівнює $Re = 2100$. Визначити об'ємну витрату рідини через трубопровід, якщо втрата напору при цьому складає $h = 7$ м.

Задача 22

Визначити втрати напору Δh в трубопроводі з діаметром $d = 30$ мм і довжиною $l = 10$ м при русі в ньому рідини з середньою швидкістю $V = 5$ м/с при в'язкості рідини $\nu = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м²/с.

Задача 23

Визначити число Рейнольдса і режим течії при русі мастила по трубі діаметром $d = 250$ мм з витратою $M = 90$ кг/с. Питома маса мастила $\rho = 900$ кг/м³, а коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu = 0,17$ П (1П = 10⁻¹ Па·с).

Задача 24

По трубопроводу з діаметром $d = 100$ мм рухається повітря з середньою швидкістю $V = 100$ м/с, тиск потоку при цьому $P = 6 \cdot 10^5$ Па, а температура $T = 293$ К. Визначити режими течії, число Рейнольдса і число Маха потоку у трубопроводі ($\mu = 1,7 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $R = 287$ Дж/(кг·К), $k = 1,4$).

Задача 25

Нафта тече у трубі діаметром $D = 280$ мм. Об'ємна витрата $Q = 76$ л/с. Визначити яка мусить бути витрата води у трубі діаметром $d = 162$ мм, щоб виконувалась гідродинамічна подібність у цих потоках.

Кінематична в'язкість нафти $\nu_i = 0,14$ см²/с, кінематична в'язкість води $\nu_a = 0,01$ см²/с.

Задача 26

Опір ділянки водопровідної труби з арматурою перед встановленням потрібно перевірити в лабораторії шляхом дослідження з використанням повітря.

1 Визначити, з якою швидкістю V_i слід вести продувку при збереженні подібності, якщо швидкість води в трубі $V_a = 2,5$ м/с.

Значення кінематичної в'язкості при ($t = 20$ °С) для повітря $\nu_i = 0,156$ см²/с, води $\nu_a = 0,01$ см²/с, питома маса повітря $1,166$ кг/м³.

2 Яка буде витрата напору h при роботі труби на воді з наведеною швидкістю, якщо при дослідженні з використанням повітря втрати тиску складають $\Delta P = 8,35$ кПа?

Задача 27

По трубопроводу перекачують метан. При швидкості $V = 80$ м/с тиск $P = 1$ МПа, питома маса $\rho = 6,29$ кг/м³. Визначити показання термометра, який встановлено у потоці газу. Теплоємність метану при постійному тиску $c_p = 2,22$ кДж/(кг·К), питома газова стала метану $R = 517,8$ Дж/(кг·К), $c_p - c_v = R$.

Задача 28

Яка швидкість нафти в трубі з діаметром $d_i = 30$ мм динамічно подібна швидкості руху води $V_a = 6$ м/с при температурі 283 К в трубі з діаметром $d_a = 5$ мм. Які необхідні перепади тиску ΔP для руху води і нафти? Питома маса і в'язкість нафти - $\rho = 840$ кг/м³, $\mu = 0,20$ П; води $\rho = 1000$ кг/м³, $\mu = 0,01306$ П (П – пуаз, 1П = 0,1 Па·с).

Задача 29

По трубопроводу з діаметром $D_i = 150$ мм перекачується нафта ($\rho = 840$ кг/м³, $\mu = 0,20$ П) з витратою $Q = 0,354$ м³/с. Яка повинна бути швидкість руху води при температурі 283 К у трубопроводі того ж діаметра, щоб режим течії був динамічно подібний руху нафти за заданими умовами ($\rho = 1000$ кг/м³, $\mu = 0,01306$ П)?

Задача 30

Паливна система двигуна, яка виконана із труб з діаметром $D_e = 150$ мм, пропускає 100 л/с керосину. Визначити секундну витрату води за модельним складанням системи з діаметром труб 20 мм при дотриманні динамічної подібності, знайти також швидкість прокачування води і керосину. Динамічна в'язкість керосину і води при температурі прокачування складає: $\mu_e = 0,2$ П, $\mu_e = 0,01004$ П, питома маса керосину $\rho_e = 835$ кг/м³.

Задача 31

Визначити витрату води із теплової мережі через утворений внаслідок аварії отвір у стінці трубопроводу. Надлишковий тиск в мережі $P_{\text{дод}} = 0,392$ МПа, температура 95 °С ($\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³), площа отвору складає $F = 1$ см². Коефіцієнт витрати отвору $\mu = 1$.

Задача 32

Визначити кількість води, яка надходить через пробій корпусу посудини площею $F = 0,1$ м² за годину, якщо центр пробою розташовано на 5 м нижче рівня води за бортом. Коефіцієнт витрати $\mu = 0,6$.

Задача 33

Визначити, як зміниться час витікання рідини з баку, якщо до отвору додати зовнішню циліндричну насадку. Коефіцієнт витрати отвору прийняти $\mu_0 = 0,62$, а коефіцієнт витрати насадки $\mu_i = 0,82$.

Задача 34

Вода з постійним напором $H = 2,6$ м витікає в атмосферу через отвір, діаметр якого складає $d = 14$ мм. Визначити швидкість V і витрату води Q . На скільки змінюється швидкість витікання і витрата води, якщо до отвору додати зовнішню циліндричну насадку? Прийняти коефіцієнт швидкості $\varphi_0 = 0,97$, коефіцієнт витрати $\mu_0 = 0,62$ при витіканні води через отвір, а через зовнішню циліндричну насадку $\varphi_i = \mu_i = 0,82$.

Задача 35

Рідина з постійним надлишковим тиском $P_{\text{дод}} = 25,5$ кПа витікає в атмосферу через насадку діаметром $d = 12$ мм. Чому дорівнює коефіцієнт витрати насадки, якщо об'ємна витрата рідини складає $Q = 0,53$ л/с (питому масу рідини прийняти $\rho = 1000$ кг/м³).

Задача 36

Визначити коефіцієнти витрати μ і швидкості φ , а також швидкість витікання води із ємності в атмосферу через отвір, що має діаметр $d = 10$ мм, під напором $H = 2$ м, якщо витрата її складає $Q = 0,294$ л/с. Ступінь стискання струменя дорівнює $\varepsilon = 0,616$.

Задача 37

Визначити витрату Q і діаметр струменя $D_{\text{н0}}$ при витіканні води із ємності через отвір діаметром $D_0 = 10$ мм з гострою кромкою під напором $H = 1$ м (коефіцієнт витрати $\mu = 0,604$, швидкості $\varphi = 0,92$).

Задача 38

У повітряний потік, що рухається по трубі з числом Маха $M = 0,9$ і температурою гальмування $T_0 = 400$ К, ввели легкий предмет, який набув швидкості повітряного потоку. Яка буде температура предмету після встановлення теплової рівноваги?

Задача 39

В трубу, де рухається газоподібний водень, заведена термопара, один спай якої вимірює температуру потоку, а другий спай –

температуру стінки труби. Показник температури зафіксував різницю температур 6К. Вважаючи, що температура стінки близька до температури гальмування, визначити швидкість водня у трубі ($k = 1,4$, $R = 4160$ Дж/(кг·К)).

Задача 40

На передню частину тіла, що знаходиться на глибині 5 м у річці, діє максимальний надлишковий тиск, що дорівнює $P = 0,815 \cdot 10^5$ Па. Визначити швидкість течії річки на цій глибині.

Задача 41

Визначити температуру потоку повітря в кінці адіабатичного стискання без тертя, якщо відомий ступінь підвищення тиску $\pi = 10$ і температура на початку стискання 288 К. Яка буде температура гальмування в кінці стискання при числі Маха $M = 0,6$?

Задача 42

На трубопроводі діаметром 100 мм встановлено витратомір Вентурі з діаметром вузького перерізу 70 мм. Вважаючи течію ідеальною, визначити масову витрату повітря по трубопроводу, якщо відомо, що різниця тисків у витратомірі складає $\Delta D = 500$ мм вод. ст., а тиск і температура на вході у витратомір $D_1 = 1,5 \cdot 10^5$ Па, $T_1 = 300$ К.

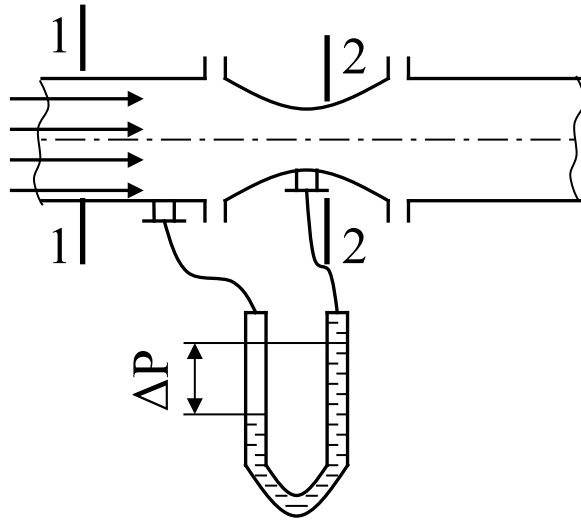


Рисунок до задач 42 і 43 – Труба Вентурі з манометром

Задача 43

На трубопроводі діаметром $D = 350$ мм встановлено витратомір Вентурі з діаметром вузького перерізу $d = 225$ мм. По трубопроводу перекачують $m = 20$ кг/с повітря при тиску $P = 10^6$ Па і температурі $T = 350$ К. Визначити різницю тисків ΔP , яку покаже заповнений водою U -подібний манометр, що підключений до витратоміра. Втрати не враховувати.

Задача 44

Лемніскатний насадок для заміру витрати повітря встановлено на вході у газотурбінний двигун. Визначити витрату і швидкість повітря у вимірному насадку, якщо показання U -подібного манометра, що заповнений водою, складає перепад тиску $\Delta P = -350$ мм вод. ст. Діаметр насадка 500 мм, тиск навколишнього середовища $B = 760$ мм рт. ст., температура $T = 288$ К.

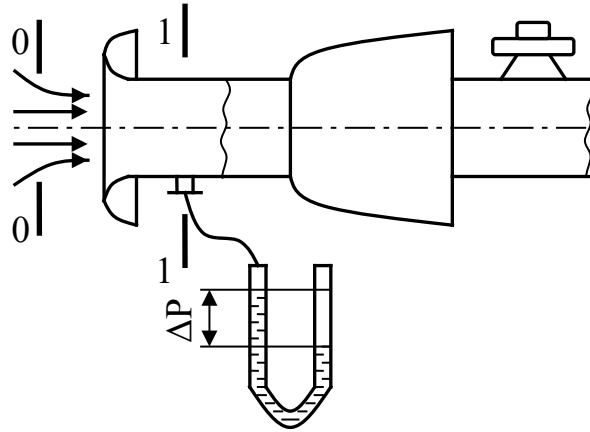


Рисунок до задачі 44

Задача 45

Потік повітря при тиску $P = 1$ МПа і температурі $t = -10$ °С рухається зі швидкістю $V = 100$ м/с. Визначити температуру T_0 , тиск p_0 і питому масу ρ_0 цього потоку при адіабатичному гальмуванні до стану спокою, а також знайти швидкість звуку в потоці (тертя не враховується).

Задача 46

Визначити швидкість адіабатичного (ізоентропного) витікання кисню, що знаходиться під тиском $P_0 = 7$ МПа, в середовище з тиском $P_0 = 0,2$ МПа при температурі $t = -40$ °С. Знайти також критичну швидкість $a_{\text{ед}}$.

Задача 47

Визначити швидкість потоку після прямого стрибка згущення при русі повітря по трубі зі швидкістю до стрибка $V_1 = 600$ м/с з тиском $P_1 = 3$ МПа і температурою $t_1 = 27$ °С, а також визначити параметри загальмованого потоку.

Задача 48

Струмінь повітря рухається зі швидкістю 520 м/с, маючи тиск $p_1 = 10^5$ Па і температуру $T_1 = 323$ К. Визначити швидкість, температуру і тиск за прямим стрибком згущення, що виник у потоці.

Задача 49

Визначити найбільшу швидкість потоку повітря, при якому повітря можна розглядати як нестисливе середовище, якщо допустиме нехтування зміною його питомої маси до 3%. Швидкість звуку у повітрі прийняти 340 м/с.

Задача 50

Потік перегрітої водяної пари ПТУ рухається зі швидкістю $V = 250$ м/с. Статичний тиск $p_1 = 1,5 \cdot 10^5$ Па, статична температура $T_1 = 573$ К. Визначити параметри ізоентропійного гальмування (ентальпію h_0 , тиск p_0 і температуру T_0) за умови, що при цих параметрах пару можна розглядати як ідеальний газ $k = c_p / c_v = 1,3$, $R = 461,5$ Дж/(кг·К), $c_p - c_v = R$).

Задача 51

Визначити тиск на вході до трибової помпи системи змащення ДВЗ, витрати масла складають $Q = 1$ л/с при температурі 20°C (кінематична в'язкість $\nu = 2$ см²/с, питома маса $\rho = 900$ кг/м³). Довжина та діаметр сталевого всмоктувального трубопроводу $l = 5$ м, $d = 35$ мм. Вхідний переріз помпи розташований нижче вільної поверхні у масляному баці на $z_0 = 1$ м. Місцеві витрати енергії прийняти як 10 % витрат напору по довжині. (Шерсткість стінок сталевих труби $\Delta = 0,03$ мм).

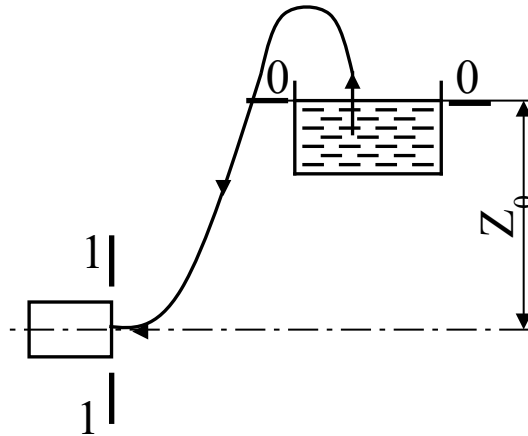


Рисунок до задачі 51

Задача 52

Визначити об'ємну витрату масла у трубопроводі діаметром $d = 126$ мм, якщо при ламінарному русі замір місцевої швидкості на відстані $l = 40$ мм від стінки труби дав результат $V = 1,62$ м/с.

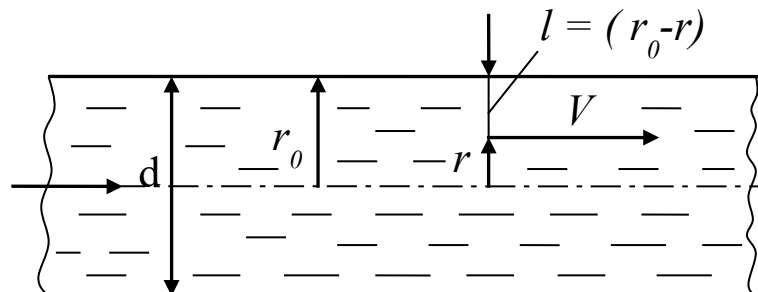


Рисунок до задачі 52

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

При розв'язанні задач, згідно з варіантом, слід користуватися наведеними нижче основними поняттями, параметрами і рівняннями руху рідини та газу.

Фізичні властивості рідини і газу

1 Питома маса – маса рідини, що міститься в одиниці об'єму, кг/м³

$$\rho = \frac{m}{W},$$

де m – маса рідини, кг;
 W – об'єм рідини, м³.

2 Об'ємна (питома) вага – вага одиниці об'єму, Н/м³

$$\gamma = \frac{G}{W},$$

де G – вага рідини, Н.

Питома вага і об'ємна вага пов'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g.$$

3 Стисливість – властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску. Характеризується коефіцієнтом об'ємного стискання β_p , 1/Па,

$$\beta_p = -\frac{1}{W_1} \cdot \left(\frac{W_2 - W_1}{P_2 - P_1} \right),$$

де $W_2 - W_1$ – зміна об'єму, м³;

$P_2 - P_1$ – зміна тиску, Па;
 W_1 – початковий об'єм, м³.

4 При нагріванні рідини збільшення об'єму оцінюється температурним коефіцієнтом об'ємного розширення β_t , 1/К,

$$\beta_t = \frac{1}{W_1} \cdot \left(\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \right),$$

де $T_2 - T_1$ – зміна температури.

5 В'язкість – властивість рідини протидіяти відносному переміщенню шарів рідини. Характеризується коефіцієнтом динамічної μ , Па·с і кінематичної ν , м²/с в'язкості, які пов'язані таким співвідношенням:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Сили, що діють на частинки рідини

1 Поверхневі і масові сили

До поверхневих відносяться сили тиску, які направлені нормально до площадки, на яку вони діють, і сили тертя – дотичні.

До масових сил відносяться сили ваги і сили інерції. Масові сили характеризуються прискореннями, які вони надають одиниці маси.

Гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини складається з тиску на її вільну поверхню і тиску стовпа рідини, висота якого дорівнює відстані від цієї точки до вільної поверхні, Па,

$$P = P_0 + \rho gh.$$

Надлишковий тиск

$$P_{\text{надл}} = \rho gh .$$

Вакуум

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{абс}} .$$

Повна сила, що діє на плоску стінку,

$$P = (P_o + \rho gh) \cdot F_{\text{зм}} ,$$

де $F_{\text{зм}}$ – змочена площа стінки.

У відкритій посудині при $P_o = 0$ повна сила тиску

$$P = \rho gh F_{\text{зм}} .$$

Сила тиску рідини на вертикальну проекцію криволінійної поверхні – горизонтальна складова сили тиску

$$P_z = \rho gh_{\text{цг}} F_g .$$

Вертикальна складова сили тиску, що діє на горизонтальну поверхню,

$$P_g = \rho gh F_z .$$

Повна сила тиску, що діє на криволінійну поверхню,

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_g^2} .$$

На будь-яке тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини, витісненої цим тілом (закон Архімеда)

$$G = \rho g W ,$$

де G – вага рідини, витісненої тілом, об'ємом W .

Одинична сила інерції дорівнює прискоренню і має протилежний йому напрям.

Рух рідини у трубах

Основна задача для протікання в'язкої рідини у трубах – визначення опору труби.

Рівняння для визначення втрат на тертя по довжині труби має вигляд

$$h_{mp} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

або

$$\Delta P_{mp} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2},$$

де ℓ і d – відповідно, довжина і діаметр труби;

V – швидкість руху рідини в трубі;

λ – коефіцієнт опору тертя, який залежить від числа Рейнольдса

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \text{ – при ламінарному режимі руху рідини;}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \text{ – при турбулентному режимі руху рідини в гладких трубах;}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \text{ – при турбулентному режимі руху рідини в шорстких трубах (\Delta – шорсткість стінок труби, мм).}$$

Режими руху рідини визначаються значенням критерію Рейнольда

$$\text{Re} = \frac{V d}{\nu}, \quad \text{або} \quad \text{Re} = \frac{4Q \rho}{\pi d \mu}.$$

Якщо $\text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}} = 2300$ – режим руху рідини ламінарний.

Якщо $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$ – режим руху рідини турбулентний.

Критерій Рейнольда враховує в'язкісні властивості середовища

і є критерієм подібності за в'язкістю і силами тертя.

Ламінарний рух рідини в круглих трубах

Закон розподілу швидкостей, м/с,

$$V = \frac{P_{mp}}{4\mu l} (r_0^2 - r^2).$$

Об'ємна витрата рідини, м³/с,

$$Q = \frac{P_{mp}}{8\mu l} \pi r_0^4$$

Витікання нестисливої рідини через отвори і насадки

Дійсна швидкість витікання рідини

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

де φ – коефіцієнт швидкості;
 H – напір.

Об'ємна витрата рідини

$$Q = \varepsilon \varphi S_o \sqrt{2gH}, \quad \text{або} \quad Q = \mu \frac{\pi d_o^2}{4} \sqrt{2gH},$$

де S – площа отвору;

$\varepsilon = \left(\frac{d_{cmp}}{d_o} \right)^2$ – коефіцієнт стискання струменя;

$\mu = \varepsilon \varphi$ – коефіцієнт витрати.

Одновимірний рух рідини (газу) (основні рівняння)

1 Рівняння стану

$$\frac{P}{\rho} = RT .$$

2 Рівняння витрати

Масова витрата рідини, кг/с, визначається рівнянням

$$M = \rho V S .$$

Об'ємна витрата, м³/с,

$$Q = VS .$$

Залежність масової витрати від об'ємної

$$M = \rho Q .$$

3 Рівняння енергії (Бернуллі)

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_{mo} + h_{mp}$$

при $Z_1 = Z_2, \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 1, \quad h_{mo} = 0, \quad h_{mp} = 0,$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} .$$

4 Рівняння кількості руху

$$\rho_1 V_1 \overline{V_1} S_1 = \rho_2 V_2 \overline{V_2} S_2 .$$

5 Безрозмірні швидкості

Число Маха

$$M = \frac{V}{a} .$$

Коефіцієнт швидкості

$$\lambda = \frac{V}{a_{кр}}, \quad \text{де } a_{кр} = \sqrt{kRT_{кр}} .$$

У випадку енергетично ізольованого руху, за умови, що газову струмину загальмувати

$$\frac{V^2}{2} + h = h_0.$$

Так як $h = c_p T$, то

$$T_0 = T + \frac{V^2}{2c_p}.$$

При $h = 0$, $V = V_{max}$, тоді

$$V_{max} = \sqrt{2h_0} = \sqrt{2c_p T_0}.$$

Оскільки швидкість звуку

$$a = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{kP}{\rho}} = \sqrt{kRT},$$

то

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2.$$

За допомогою рівняння Бернуллі легко визначити швидкість витікання з ємності з відомими P_0 і T_0 для енергетично ізольованого, ізоентропного процесу

$$V = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]},$$

де P – статичний тиск в потоці, що рухається зі швидкістю V .

Зв'язок відносного тиску і питомої маси з числом Маха

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}, \quad \frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} M^2 \right)^{\frac{1}{\kappa-1}}.$$

Зв'язок відносної температури, відносних тиску і питомої маси з коефіцієнтом швидкості λ

$$\frac{T}{T_0} = 1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} \lambda^2, \quad \frac{P}{P_0} = \left(1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} \lambda^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}, \quad \frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} \lambda^2\right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}.$$

При $\lambda = 1$

$$\frac{T_{кр}}{T_0} = 0,833, \quad \frac{P}{P_0} = 0,528, \quad \frac{\rho_{кр}}{\rho_0} = 0,634.$$

Дані залежності дають можливість за будь-яким безрозмірним параметром знайти всі інші величини.

Адіабатні надзвукові течії. Прямий стрибок згущення

Співвідношення між швидкостями перед і за стрибком

$$V_1 \cdot V_2 = a_{кр}^2.$$

Стрибок швидкості $\Delta V = V_1 - V_2 = V_1 \left(1 - \frac{1}{\lambda_1^2}\right).$

Стрибок тиску $\Delta P = P_2 - P_1 = \rho_1 V_1^2 \left(1 - \frac{1}{\lambda_1^2}\right).$

Стрибок температури $\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{\kappa - 1}{2\kappa R} V_1^2 \left(1 - \frac{1}{\lambda_1^2}\right).$

Наведені розрахункові формули дають можливість розв'язати задачі, що надаються для контрольної роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1991. - 591 с. – Ч. 1.
- 2 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1991. - 301 с. – Ч. 2.
- 3 Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы - М.: Машиностроение, 1970. - 504 с.
- 4 Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. - М.: Машиностроение, 1978. - 463 с.
- 5 Самойлович Г.С. Газодинамика. - М.: Машиностроение, 1990. - 382 с.
- 6 Ярхо А.А., Счастный Е.Е., Лялюк В.М. Газодинамика. - Харьков: УкрГАЗТ, 2007. - 230 с.

