

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра агроінженерії

ГІДРАВЛІКА

Контрольні завдання та методичні рекомендації
для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» напрямів 6.100101
«Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі» та
6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва»
заочної форми навчання

МИКОЛАЇВ
2016

УДК 621.1(075.8)

ББК 31.3

Г 95

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 22. 09. 2016 р., протокол № 1.

Укладачі:

А. С. Пастушенко - канд. техн. наук, старший викладач кафедри агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету.

В. В. Стрельцов - асистент кафедри агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету.

М. С. Храмов – асистент кафедри агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

В. І. Гавриш–д-р екон. наук, професор, завідувач кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївського національного аграрного університету.

В. Г. Богза– канд.техн наук, доцент, директор науково-дослідного інституту агропромислових об'єктів та учбово-інформаційних технологій, Миколаївського національного аграрного університету.

Загальні методичні вказівки

В першій частині курсу - гідравліка та гідравлічні машини - вивчають закони рівноваги та руху рідини, розглядають способи застосування цих законів до вирішення практичних інженерних задач. В другій та третій частині - лопатеві гідромашини та гідродинамічні передачі, об'ємні насоси та гідравлічні приводи - вивчають будову та принцип роботи, теорію та елементи розрахунку насосів, гідравлічних приводів та передач, в яких рідина служить носієм механічної енергії.

Курс доцільно вивчати послідовно по темах (розділам), керуючись програмою до методичних вказівок. З початку потрібно вивчити теоретичну частину розділу, потім вирішити та проаналізувати приведені в підручнику та задачниках приклади та задачі з рішенням. Після цього необхідно відповісти на запитання для самоконтролю. Навчальний матеріал можна вважати засвоєним лише при умові, якщо студент вміє правильно застосувати теорію для розв'язання практичних задач.

Істотне значення має правильний вибір підручника. Не потрібно одночасно користуватись декількома підручниками. Один з підручників, що рекомендується у списку навчальної літератури, повинен бути прийнятий в якості основного.

Література

Основна

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. - М., Машиностроение, 1982. -423 с.
2. Гишинский Н. А. Гидравлика: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей высших учебных заведений / Н. А.Гишинский.- М., Высшая школа, 1990. – 62 с.
3. Большаков В. А. Справочник с гидравлики / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов, В. Ю. Даденков. - Киев, «Вища школа», 1977, - 280 с.
4. Исаев А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А. П. Исаев, Б. И. Сергеев, В. А. Дидур. - М., Агропромиздат, 1990. – 400 с.
5. Осипов П.Є. Гидравлика и гидравлические машины / П.Є.Осипов. - М. 1981. – 424 с.
6. Руднев С.С. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / С. С. Руднева, Л.Г. Подвиз.- М., 1974. – 416 с.

Додаткова

1. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов. - М., Машиностроение, 1982. - 423 с.
2. Кукулявский И. И. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / И.И. Кукулявский, Л.Г. Подвиз. -М., 1981. – 418 с.

Методичні вказівки до тем та розділів курсу
Частина I. ГІДРАВЛІКА
I. Основні властивості рідини.

Визначення рідини. Сили що діють на рідину. Тиск в рідині. Стискування. Закон Ньютона для рідинного тертя. Густина. Поверхневий натяг. Тиск насиченого пару рідини. Розчинність газів в рідині. Модель ідеальної рідини. НеНьютоновські рідини.

Методичні вказівки.

За фізичними властивостями рідина займає проміжне положення між твердими тілами і газоподібними. Вона мало зменшує свій об'єм при зміні тиску або температури, в цьому вона схожа з твердим тілом. Рідина також має здатність текучості, із-за чого вона не має своєї форми, а приймає форму посудини, в якій знаходиться. В цьому відношенні рідина відрізняється від твердого тіла і має схожість з газом. Властивості рідин та їх відмінності від газів та твердих тіл зумовлені молекулярною будовою. Потрібно з'ясувати, яким чином особливості молекулярної будови впливають на фізичні властивості рідини.

Рідина в стані спокою піддається дії двох зовнішніх сил: масових та поверхневих. Масові сили пропорційні до маси рідини, а для однорідної рідини - її об'єму. Зовнішні поверхневі сили розташовані по граничній поверхні рідини. Необхідно знати, які сили відносяться до масових (об'ємних) та до поверхневих, які сили називаються зовнішніми і які внутрішніми.

В рідині, що знаходиться в стані спокою, може бути лише напруга стискування, тобто тиск. Потрібно чітко знати різницю між поняттями середнього гідростатичного тиску, гідростатичного тиску в точці, виражених в одиницях напруги, і поняттям сумарного гідростатичного тиску на поверхню, вираженого в одиницях сили. Студенту необхідно вміти визначати основні фізичні характеристики рідини, знати одиниці їх характеристик. Слід також розглянути основні фізичні властивості крапельних рідин: стискування, теплове розширення, густина та ін.

В'язкістю називається властивість рідини здійснювати опір відносному переміщенню шарів. Ця властивість проявляється в тому, що в рідині при її русі виникає сила опору зсування, яка називається силою внутрішнього тертя. При прямолінійному шаровому русі рідини сила внутрішнього тертя T між її шарами з площею дотику S визначається законом Ньютона:

$$T = \pm \mu \cdot S \frac{du}{dn} \quad \text{або} \quad \frac{T}{S} = \tau = \pm \frac{du}{dn}$$

де μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, він не залежить від тиску і від

характеру руху, авизначається лише фізичними властивостями рідини і її температурою. Як видно з (1), сила T і дотична напруг τ пропорційні градієнту швидкості y по нормалі n до поверхні тертя du/dn , який являє собою зміну швидкості руху рідини в напрямку нормалі на одиницю довжини нормалі. Рідини, для яких залежність зміни дотичних напруг від швидкості деформації відрізняються від закону Ньютона (1), називаються неньютоновськими або аномальними рідинами.

Облік сил в'язкості ускладнює вивчення законів руху рідини. З метою спрощення постановки задач і їх математичного розв'язання створена модель ідеальної рідини, якою називається рідина, яка характеризується повною відсутністю в'язкості до абсолютної незмінності об'єму при зміні температури. Перехід від ідеальної рідини до реальної виконується введенням в кінцеві розрахункові формули змін, які враховують вплив сил густини і отриманих, як правило, дослідним шляхом. При вивченні гідродинаміки потрібно прослідкувати особливості переходу від ідеальної рідини до реальної.

В гідравліці рідина розглядається як суцільне середовище (контікуум), тобто середовище, маса якого розподілена по об'єму безперервно. Це дозволяє розглядати всі характеристики рідини (щільність, густина, тиск, швидкість та ін.) як функції координат точки в часі, причому в більшості випадків ці функції передбачаються безперервними.

Література:

[1, с. 8-15]; [2, с. 5-8]; [3, с. 7-14]; [4, с. 8-13]; [5, с. 9-14]; [6, с. 4-12]; [9, с. 7-17].

Питання для самоперевірки

1. В чому відмінність рідин від твердих тіл рідин?
2. Який зв'язок між щільністю і питомою вагою рідини? Вкажіть їх одиниці.
3. Що називається коефіцієнтом об'ємної стисливості рідини? Який його зв'язок з модулем пружності?
4. Що називається густиною рідини? В чому полягає закон густинного тертя Ньютона?
5. В чому принцип різниці між силами внутрішнього тертя в рідині і силами тертя при відносному переміщенні твердих тіл?
6. Який зв'язок між динамічним і кінематичним коефіцієнтами густини? Вкажіть їх одиниці.
7. Вкажіть властивості ідеальної рідини. З якою метою в гідравліці введено поняття ідеальної рідини?

2. ГІДРОСТАТИКА

Властивості тиску в нерухомій рідині. Рівняння Ейлера рівноваги рідини. Інтегрування рівняння Ейлера. Поверхні рівного тиску. Вільна поверхня рідини. Основне рівняння гідростатики. Закон Паскаля. Прилади для вимірювання тиску. Сила тиску рідини на плоскі і криволінійні стінки. Закон Архімеда. Плавання тіл. Відносний спокій рідини.

Методичні вказівки

Дві властивості гідростатичного тиску обумовлені тим, що спокійна рідина не сприймає дотичних і розтяжних зусиль. Знання цих властивостей дозволяє зрозуміти фізичний зміст формул статичної силової дії рідини на тверді тіла.

Загальним рівнянням гідростатики являються диференціальні рівняння Ейлера, які встановлюють зв'язок між масовими і поверхневими силами, діючими в рідині. Ці рівняння дозволяють просто і швидко розв'язувати задачі ку випадку спокою рідини, коли на рідину діє лише сила тяжіння, такі у випадку відносного спокою, коли до сили тяжіння приєднуються сили інерції. У випадку дії на рідину однієї сили тяжіння інтегрування рівнянь Ейлера дає основне рівняння гідростатики

$$P_2 = P_1 + \gamma \cdot h$$

де P_1 і P_2 - тиск в точках 1 і 2;

h - глибина занурення точки 2 відносно точки 1;

γ - питома вага рідини;

$\gamma \cdot h$ - ваговий тиск стовпа рідини глибиною h .

В рівнянні (2) точка 1 може лежати на вільній поверхні рідини. При цьому ваговий тиск $\gamma \cdot h$ буде надлишковим тиском лише в тому випадку, коли тиск на вільній поверхні дорівнює атмосферному тиску.

Важливим поняттям в гідравліці являються гідростатична висота і гідростатичний напір. Гідростатична висота виражає в метрах стовпа рідини надлишковий (або абсолютний) тиск в точці рідини, що розглядається. Гідростатичний напір дорівнює сумі геометричної Z , і гідростатичної P/γ висотам. Для всіх точок даного об'єму спокійної рідини, гідростатичний напір відносно вибраної площини порівняння є постійною величиною.

Дія рідини на плоскі і криволінійні поверхні наглядно виражається етюрами тиску, а аналітичний розгляд задачі визначення величини сили тиску і місця його прикладання дозволяє отримати досить прості розрахункові формули. Для криволінійних циліндричних поверхонь зазвичай визначають горизонтальну і вертикальну складові повної сили гідростатичного тиску. Визначення вертикальної складової пов'язано з поняттям "тіла тиску", яке являє собою дійний або

уявний об'єм рідини, розміщений над циліндричною поверхнею. Лінія горизонтальної складової проходить через центр тиску вертикальної проєкції криволінійної поверхні, а лінія дії вертикальної складової - через центр тяжіння тіла тиску.

Прививчення даного розділу студенту корисно розглянути декілька конкретних прикладів побудови тиску для циліндричних поверхонь, визначити самостійно вертикальну і горизонтальну складові сили тиску, точки їх прикладання і результуючу силу. Необхідно розглянути тиск рідини на стінку труби резервуарів і розрахункові формули для товщини їх стінок.

Література:

[1, с. 16-39]; [2, с. 8-10]; [4, с. 13-34]; [5, с. 15-60]; [6, с. 12-16]; [8, с. 7-103]; [9, с. 20-48].

Питання для самоперевірки

1. Як властивості гідростатичного тиску?
2. Поясніть фізичне значення величин, що входять в диференціальне рівняння рідини Ейлера.
3. Що таке поверхня рівного тиску і які її форми рівняння при абсолютному спокої рідини, у випадку руху судини по горизонтальній площині з прискоренням, при обертанні судини навколо вертикальної осі?
4. Як формулюється закон Паскаля і який його зв'язок з основним рівнянням гідростатики?
5. Наведіть приклади гідравлічних установок, дія яких заснована на законі Паскаля.
6. Що більше: абсолютний тиск, рівний 0,12 МПа, або надлишковий тиск, рівний 0,06 МПа?
7. Чому дорівнює езометрична висота (в метрах водного стовба) для атмосферного тиску?
8. Чому центр тиску завжди знаходиться нижче центру тяжіння змоченої поверхні нахиленої плоскої стінки?
9. Сформулюйте закон Архімеда. В яких випадках положення судини є стійким і нестійким?

3. КІНЕМАТИКА І ДИНАМІКА РІДИНИ

Види руху рідини. Основні поняття кінематичної рідини: лінія струму, трубка струму, струйка, нормальний (живий) переріз, витрат. Потік рідини. Середня швидкість. Рівняння витрат. Диференціальні рівняння руху ідеальної рідини. Рівняння Бернулє для встановленого руху ідеальної рідини. Геометричне і енергетичне тлумачення рівняння Бернулє. Рівняння Бернулє для потоку густої рідини. Коефіцієнт Коріоліса. Загальні відомості про гідравлічні втрати. Види гідравлічних втрат. Трубка Піто, водомір Вентурі.

Методичні вказівки.

Одним із основних рівнянь гідродинаміки являється рівняння постійності розходу (рівняння нерозривності), яке паралельно стуйного руху, що плавно змінюється, може бути представлено у вигляді $V \cdot S = \text{const}$ (вздовж потоку), звідки для двох перерізів в S_1 і S_2 отримаємо $V_1/V_2 = S_2/S_1$ тобто середні швидкості потоку обернено пропорційні площам живих перерізів. Потрібно розуміти, що постійність витрат справедлива при додержанні ряду припущень, на яких заснований логічний висновок цього рівняння.

Диференціальні рівняння руху ідеальної рідини Ейлера дають загальну залежність між швидкостями і прискореннями рухомих часток рідини і силами, що діють на ці часточки. Інтегрування цих рівнянь для елементарної струмки ідеальної рідини приводить до основного рівняння гідродинаміки – рівняння Бернулє, яке представляє собою окремий випадок закону збереження енергії.

Всі члени рівняння Бернулє віднесені до одиниці ваги рідини, тому всі види енергії в цьому рівнянні мають лінійну розмірність.

При розгляданні рівняння Бернулє для елементарної струмки для потоку реальної рідини виникає ряд труднощів, які долаються введенням відповідних обмежень і змін. Рівняння Бернулє складається для двох живих перерізів потоку, в яких течія паралельно струйною аботаке, що плавно змінюється. Живі перерізи тут плоскі, тому відсутні прискорення вздовж живих перерізів, а із масових сил діє лише сила тяжіння. Оскільки, в цих перерізах (ділянках) справедливий закон гідростатики, зокрема постійність гідростатичного напору для всіх точок живого перерізу відносно будь-якої площини порівняння. Між течіями потоку, що плавно змінюються, які пов'язані рівнянням Бернулє, потік може різко змінюватись. При визначенні кінематичної енергії потоку за середньою швидкістю в даному перерізі вводить ся поправка у вигляді коефіцієнту Коріоліса α , враховуючи нерівномірність розподілу швидкості по живому перерізі.

ПривірішеніпрактичнихінженернихзадачрівнянняБернулітарівняння постійностівитратвикористовуютьсяразом.Прицьомувонистановлятьсистемуіз двохрівнянь,щодозволяютьвирішитизадачіздвоманевідомими.

Якщо для струйки ідеальної рідини рівняння Бернулі представляє собою закон збереження механічної енергії, то для потоку реальної рідини воно являється рівнянням балансу енергії з врахуванням гідравлічних втрат. Гідравлічними втратами називається робота сил тертя, затрачених на переміщення одиниці ваги рідини з одного перерізу в інший, і при цьому енергія потоку, що використовується на цю роботу, перетворюється в теплову енергію і розсіється в просторі.

Література:

[1, с.40-61];[2, с.10-12];[3, с.21-32];[4, с.34-45];[5, с.61-87];[6, с.16-21];[9, с.50-94].

Питання для самоперевірки

1. Дайте визначення і наведіть приклади основних видів руху рідини: сталого і несталого, напорного і безнапорного, що повільно змінюється.
2. Що таке лінія струму, трубка струму і елементарна струйка?
3. При яких умовах зберігається постійність витрат вздовж потоку?
4. Вкажіть фізичний зміст величин, що входять в диференціальні рівняння гідродинаміки Ейлера.
5. Поясніть геометричний і фізичний зміст понять: геодезичний, п'єзометричний і гідравлічний нахил. Чим може бути від'ємним гідравлічний нахил? п'єзометричний нахил?
6. Коли лінія повної енергії і п'єзометрична лінія паралельні? Коли на пряму руху рідини ці лінії зближуються і коли віддаляються одна від одної?
7. Які існують обмеження в застосуванні рівняння Бернулі?
8. До яких виразів приводиться рівняння Бернулі у випадках:
 - а) нерухомої рідини;
 - б) рівномірного руху в горизонтальному трубопроводі;
 - в) витoku рідини із судини через круглий малий отвір.
9. Які причини втрат напору при русі густої рідини? Дайте визначення поняттю "гідравлічні втрати напору".

4. РЕЖИМ РУХУ РІДИНИ ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ПОДІБНОСТІ

Ламінарний і турбулентний режими руху рідини. Число Рейнольдса. Основи теорії гідродинамічної подібності.

Методичні вказівки.

Для використання рівняння Бернуллі при розв'язанні практичних інженерних задач необхідно знати гідравлічні втрати (втрата напорі), які мають місце при русі рідини. Ці втрати в більшості залежать від того, чи буде режим руху в потоці турбулентним або ламінарним.

Наявність того чи іншого режиму в трубопроводі обумовлюється співвідношенням трьох основних факторів, які входять в формулу безрозмірного критерію Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

де V – середня швидкість руху рідини;

d – діаметр трубопроводу;

ν – коефіцієнт кінематичної густини.

При вивченні струменів руху рідини потрібно з'ясувати різницю в структурі потоків. Потрібно знати формулу числа Рейнольдса і його критичне значення, виразно уявляти його фізичний зміст.

В гідравліці широко застосовується метод моделювання, коли досліджується не саме явище або установка, а їх модель зазвичай менших розмірів. Основою моделювання є теорія гідродинамічної подібності.

Для сталого руху рідин необхідною і достатньою умовою гідродинамічної подібності є геометрична, кінематична і динамічна подібність потоків. Для повної гідродинамічної подібності необхідна пропорційність всіх сил, які діють у спокої, але подібність по одним силам часто виключає подібність по іншим силам. Тому вважається достатнім отримання наближеної подібності по силам, які переважають в даному потоці. Критеріями такої подібності являються: критерій Рейнольдса (переважання сил тертя), критерій Фруда (сили тяжіння), критерій Ейлера (сили тиску).

Особливу увагу необхідно звернути на критерій Рейнольдса. Він являється основою відношення сил інерції до сил тертя, а режими руху рідини переходять від одного режиму в інший пояснюється переважанням сил інерції або тертя в спокої, тобто величиною Re .

Тому більшість величин, які характеризують рух рідини, можуть бути представлені як функції Рейнольдса.

Література:

[1, с.62-74];[2, с.12-13];[3, с.27-29];[4, с.45-55];[5, с.90-94];[6, с.21-28];[8, с.103-120];[9, с.91-94].

Питання для самоперевірки

1. Від яких характеристик потоку залежить режим руху рідини?
2. Чому відмінність турбулентної течії від ламінарної?
3. Поясніть фізичний зміст практичне значення критерію Рейнольдса.
4. Сформулюйте умови гідродинамічної подібності потоку в гідравлічних машинах.
5. Поясніть фізичний зміст критеріїв Рейнольдса, Фруда, Ейлера. В яких випадках повинні застосовуватися ці критерії?

5. ЛАМІНАРНИЙ РУХ РІДИНИ

Розподіл швидкостей по радіусу круглої труби. Втрати напорів (тут і далі в тексті поняття "напор" однакові з назвою "напір" і "натиск") на тертя по довжині труби (формула Пуазейля). Початкова ділянка потоку. Особливі випадки ламінарної течії (змінна густина).

Методичні вказівки

В ламінарному потоці частинки рідини рухаються шарами з різними швидкостями паралельно осі труби без перемішування. В такому потоці дотичні напруження підкоряються закону Ньютона. Використовуючи загальний закон розподілу дотичних напружень за законом Ньютона, можна отримати диференціальне рівняння, з якого сувороматематично виводяться основні закони ламінарного руху: розподіл швидкостей по живому перерізу трубопроводу; максимальна і середня швидкості; коефіцієнт Коріоліса; закон порутертя (формула Пуазейля); коефіцієнт гідравлічного тертя в формулі Дарсі. Із формули Пуазейля випливає, що втрати напорів на тертя по довжині трубопроводу пропорціональні середній швидкості відтоку і коефіцієнту кінематичної густини рідини.

Література:

[1, с.75-94];[2, с.14];[3, с.33-35];[4, с.50-53];[5, с.94-98];[6, с.111-121];[8, с.187-225];[9, с.102-105].

Питання для самоперевірки

1. Вкажіть закон розподілу дотичних напружень в циліндричному трубопроводі. Для яких режимів цей закон дійсний?
2. Зобразьте епюру швидкостей в циліндричному трубопроводі при ламінарному русі рідини. Як співвідношення між середньою і максимальною швидкостями?

3. Від яких параметрів залежать втрати на тертя по довжині при ламінарному русі рідини?
4. Які особливості руху рідини в початковій ділянці ламінарної течії? Як визначити довжину цієї ділянки і втрати на порув ній?
5. Які особливості руху рідини в плоских і циліндричних зазорах?

6. ТУРБУЛЕНТНИЙ РУХ РІДИНИ

Особливості турбулентного руху рідини. Пульсація швидкостей і тисків. Розподіл середніх швидкостей потечії. Дотичні напруження в турбулентному потоці. Втрати на порув в трубах. Формула Дарсі-Вейсбаха та коефіцієнт втрат на тертя по довжині (коефіцієнт Дарсі). Шорсткість стінок абсолютна та відносна. Графіки Нікурадзе. Гідравлічні гладкі та шорсткі труби. Формули для визначення коефіцієнту Дарсі та області її визначення. Турбулентний рух в не круглих трубах.

Методичні вказівки

Турбулентний потік характеризується хаотичним рухом частинок рідини. Із-за складності явища досі не винайдено досить задовільної теорії турбулентного руху, яка безпосередньо витікає з основних рівнянь гідродинаміки та добре підтверджується досвідом (як для ламінарного руху). Тому всі висновки та співвідношення розраховані тут отримані експериментальним шляхом і в результаті теоретичного дослідження спрощених моделей турбулентної течії.

Насамперед необхідно з'ясувати механізм турбулентного змішування та пульсацію швидкостей а далі розглянути структуру та фізичну природу дотичних напружень, які визначаються як сумна напружень, визначених дією сили густини обумовлених турбулентним переміщенням. Втрати за рахунок тертя по всій довжині визначаються за формулою Дарсі, яка може бути отримана виходячи з розмірностей.

Центральним питанням теми є визначення коефіцієнту гідравлічного тертя λ , в формулі Дарсі, який (в загальному випадку) являється функцією числа Рейнольдса (Re) та відносно шорсткості k/d :

$$\lambda = f\left(Re; \frac{k}{\alpha}\right),$$

дек – абсолютна шорсткість;

α – діаметр труби.

Для ламінарного режиму руху рідини $Re = 0 \div 2320$; $\lambda = f(Re)$.

По формулі Паузера $\lambda = 64/Re$

Найбільша залежність повнорозкривається графіком Нікурадзе, який отриманий експериментально в трубах з штучною зернистою рівномірною шорсткістю. Цей графік дозволяє виділити та розглянути п'ять зон, починаючи з яких

характеризується певний внутрішній структурний потік в залежності від цього від R_e так/α.

Література:

[1, с.95-106]; [2, с.14-17]; [3, с.35-40]; [4, с.54-60]; [5, с.98-111]; [6, с.121-130]; [8, с.226-265]; [9, с.105-127].

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється турбулентна течія від ламінарної?
2. Чим відрізняється розподіл швидкостей в циліндричному трубопроводі при ламінарному та турбулентному режимах руху рідини?
3. Обґрунтуйте поняття "гладкі" та "шорсткі" поверхні. Чим може одна і та ж труба бути "гідравлічно гладкою" та "гідравлічно шорсткою"? В якому випадку?
4. Поясніть основні лінії та зони опору на графіку Нікурадзе.
5. Яка залежність між втратою напорів та середньою швидкістю течії рідини в різних зонах таліній на графіку Нікурадзе?
6. Від яких факторів залежить коефіцієнт гідравлічного тертя при турбулентній течії та яким формулою можна знайти?
7. Які особливості розрахунку втрат за рахунок тертя по довжині для не круглих трубопроводів?

7. МІСЦЕВИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР

Основні види місцевих опорів. Коефіцієнт місцевих опорів. Місцеві втрати напорів при великих числах Рейнольдса. Раптове розширення труби (теорема Борда). Дифузори. Звуження труби. Коліна. Місцеві втрати напорів при малих числах Рейнольдса. Еквівалентні довжини труб. Кавітація в місцевих гідравлічних напруженнях.

Методичні вказівки

Місцеві опори представляють собою короткі відрізки трубопроводів, на яких відбувається зміна величини швидкості течії, викликані зміною розмірів форм перерізу трубопроводу, а також на прямої його по довжній осі. Втрати енергії в місцевих опорах, відносно до одиниці ваги протікаючої рідини, називаються місцевими втратами напорів. Місцеві втрати поділяються на втрати тертя та втрати. Потрібно розглянути, які фактори проявляються в конкретних місцях опору.

Коефіцієнт місцевого опору (у формулі для визначення втрат в місцевих опорах) в загальному випадку залежить від форми місцевого опору; відносно шорсткості стінок; розподілення швидкостей в перерізах потоку перед місцевим опором після нього; від чисел Рейнольдса. Необхідно пояснити, як ця загальна

а

залежність конкретизується для різноманітних зон турбулентної течії і при ламінарній

течії. В технічних установках, як правило, має місце турбулентний режим, який сприяє зоні квадратичного опору, де коефіцієнт не залежить від Re іде проявляється автотурбулентність. Якщо в трубопроводі до і після місцевого опору має місце ламінарний режим (рідина підвищеною кінематичною густиною), то в місцевих опорах, майже завжди, виникає турбулентна течія.

Просте додавання втрат в місцевих опорах трубопроводу (тобто принцип накладання втрат) дає правильні результати, якщо опори розміщені один від одного на відстані, яка перевищує довжину взаємного впливу, яка складає $(30-40)d$.

Література:

[1, с. 107-121]; [2, с. 17-18]; [3, с. 41-50]; [4, с. 60-64]; [5, с. 111 -117]; [6, с. 139-150]; [8, с. 148-186]; [9, с. 134-154].

Питання для самоконтролю

1. Які опори називаються місцевими?
2. Поякій формулі визначаються втрати, викликані місцевими опорами?
3. Як визначити втрату на порупри апараті розширення трубопроводу?
4. В якому перерізі береться середня швидкість, щоб вводити формулу втрат?
5. В чому полягає принцип накладання втрат?
6. Як визначається коефіцієнт опору системи трубопроводів (сумарний коефіцієнт опору).

8. ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ

Витікання рідини через отвір в тонкій стінці при постійному напорі. Коефіцієнт опору, стиснення, швидкість, витрати. Витікання рідини через циліндричну насадку. Насадки різного типу. Витікання призмінному напорі. Поняття про отруйну техніку.

Методичні вказівки

Отвір називається малим, якщо можна знехтувати зміненням тиску на його площі. Насадки називаються невеликі по довжині труби $l \approx (3-6)d$, приєднані до таких отворів. В гідравліці між витіканням через отвори і насадки багатоспільного. III видкості витікання витікаючих витрати розраховуються позагальними формулами, виведеними на основі формули Бернуллі, причому втрати при витіканні визначаються як

місцеві витрати. Загальними являються також гідравлічні характеристики (коефіцієнт і витрат, швидкості, стискування, опору).

Необхідно знати фізичний зміст коефіцієнтів стискування швидкості і витрат, залежність їх числових значень від типу форми отворів і насадок від критерію Рейнольдса. Потрібно також звернути увагу на те, що при $Re > 10^{50}$ вплив сил густинного тертя на коефіцієнти витікання практично відсутній (квадратична зона опору). При цьому коефіцієнти витікання залежать лише від форми отворів і насадок. Це дозволяє успішно використовувати отвори з гострою кромкою і насадкамив якості витрат.

При витіканні при змінному напорі (випорожненні судів) розрахунковими являються формули для визначення часу випорожнення.

Література:

[1, с. 122-136]; [2, с. 18-19]; [3, с. 50-60]; [4, с. 72-83]; [5, с. 146-162]; [6, с. 171-177]; [8, с. 121-145]; [9, с. 298-318].

Питання для самоконтролю

1. Як пов'язані між собою коефіцієнти опору, стискування, швидкості і витрат? Поясніть фізичний зміст цих коефіцієнтів.

2. В якому випадку стискування струменю називається неповним, недосконалим? Як неповнота і недосконалість стискування впливають на коефіцієнт витрат?

3. Як розраховуються затоплені отвори і насадки?

4. Який вплив здійснює густина рідини при витіканні з отворів і насадок?

5. Як змінюються витрати і швидкість при витіканні рідини через циліндричну насадку в порівнянні з витіканням її з круглого отвору того ж діаметру і під тим же напором?

6. Чим відрізняється "насадка" від "труби"?

7. В чому особливість витікання рідини з великого отвору в порівнянні з витіканням її з малого отвору?

9. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ

Основне розрахунок перевіряння простого трубопроводу. Поняття про визначення економічної найвигіднішого діаметру трубопроводу. Сифонний трубопровід. Послідовне і паралельне з'єднання трубопроводів. Складні трубопроводи. Трубопровід з насосною подачею.

Методичні вказівки

Для гідравлічного розрахунку трубопроводів застосовуються: рівняння Бернуллі; формули для визначення витрат напору на тертя по довжині і в місцевих опорах

, рівняння постійності витрат. До числа основних гідравлічних характеристик відноситься витратна характеристика.

В залежності від гідравлічної схеми роботи і від методів гідравлічного розрахунку розрізняють трубопроводи короткі і довгі, прості і складні, розгалужені і замкнуті, з транзитними і шляховими витратами рідини. Необхідно уявити різницю між перерахованими типами трубопроводів і особливості їх гідравлічних розрахунків.

Всі випадки розрахунку простих трубопроводів зводяться до трьох типових задач по визначенню:

1. витрат;
2. напору;
3. діаметру трубопроводу.

Необхідно знати методи розв'язання цих задач. При розрахунку складних трубопроводів складається система рівнянь, які встановлюють зв'язок між розмірами труб, витратами рідини і напорами. Ця система складається з рівнянь балансу витрат для кожного вузла і рівнянь балансу напорів (рівнянь Бернуллі) для кожної гілки трубопроводу.

Література:

[1, с. 137-152]; [2, с. 19-20]; [3, с. 60-84]; [4, с. 64-72]; [5, с. 117-140]; [8, с. 225-301]; [9, с. 156-184].

Питання для самоконтролю

1. Які трубопроводи називаються короткими і довгими, простими і складними? В чому особливості гідравлічного розрахунку таких трубопроводів?

2. Викладіть методи розв'язання трьох типових задач розрахунку простого короткого трубопроводу.

3. Яка особливість розрахунку трубопроводів з паралельним з'єднанням ліній?

4. Чим відрізняється визначення діаметру магістрального трубопроводу і його відгалужень при розрахунку тупикової водопровідної мережі?

5. Що таке сифон і які особливості його гідравлічного розрахунку?

6. В чому особливість розрахунку трубопроводів з насосною подачею рідини?

10. НЕСТАЛИЙ РУХ РІДИНИ

Несталий рух рідини в жорстких трубопроводах із врахуванням інерційного напору. Явище гідравлічного удару. Формула Жуковського для прямого удару. Поняття про непрямої удар. Способи послаблення гідравлічного удару.

Методичні вказівки

Інтегрування диференційного рівняння нестійкого руху рідини в напірному трубопроводі за абсолютної жорсткості стінками і знесуваною рідиною приводить до рівняння Бернуллі з інерційним членом. Інерційний член враховує напор, витрачений на подолання локальних сил, тобто сил інерції, обумовлених прискоренням (або сповільненням) всього об'єму рідини в трубопроводі. У випадку плавно змінюючогося руху локальні прискорення визначаються по змінам перерізу потоку. Для паралельності струйного руху (трубопровод постійного перерізу) локальні прискорення в кожний момент часу однакові для всіх перерізів потоку, тобто рідина поведеться як тверде тіло.

Якщо прискорення в потоці достатньо великі, то припущення про непружність системи стає неприйнятним. Врахування пружних якостей рідини і стінок трубопроводу приводить до розгляду процесу поширення вздовж трубопроводу пружних хвиль деформації і пов'язаних з ними хвиль різкого підвищення (або зниження) тиску, що призводить до явища гідравлічного удару.

Гідравлічний удар найчастіше виникає у випадку швидкого закривання або відкривання затвора, який керує потоком в трубопроводі. Розрізняють прямий удар, коли час закриття затвора менше фази гідравлічного удару (час пробігу ударної хвилі від затвора до резервуара і назад), і непрямий удар, при якому час закриття затвора більше фази гідравлічного удару.

Формула Н.Е. Жуковського $P = \rho \cdot C \cdot V$ дає залежність величини ударного підвищення тиску P від густини рідини ρ , швидкості поширення ударної хвилі C , початкової швидкості рідини в трубопроводі V перед закриванням затвора. Формула застосовується для розрахунку прямого і непрямого удару і враховує як тискування рідини, так і розтягування стінок труби при ударному підвищенні тиску.

Після зв'язування фізичного змісту гідравлічного удару і методів його розрахунку необхідно розглянути засоби боротьби з ним.

Література:

[1, с. 153-164]; [2, с. 20-21]; [3, с. 81-83]; [4, с. 70-72]; [5, с. 140-146]; [8, с. 305-378]; [9, с. 276-285].

Питання для самоконтролю

1. Напишіть формулу для визначення інерційного напору. Поясніть фізичний зміст її складових величин.
2. Як зміниться положення п'єзометричної лінії для труби з постійним діаметром при виникненні додатного від'ємного локального прискорення?
3. Що називається прямим і непрямим гідравлічним ударом? Що називається фазою гідравлічного удару? Як вона впливає на підвищення тиску при гідравлічному ударі?

4. Що таке швидкість поширення ударної хвилі? Від яких величин вона залежить?
5. Чим гаситься коливальний процес, який має місце при гідравлічному ударі?
6. Як можна зменшити або попередити ударне підвищення тиску?
7. Що називається від'ємним гідравлічним ударом і коли він може виникнути?

11. ВЗАЄМОДІЯ ПОТОКУ ЗІ СТІНКАМИ

Взаємодія струменю на твердому перешкоди. Сили впливу потоку на стінки.

Методичні вказівки

Цей розділ необхідний для розуміння принципів дії гідравлічних машин, які вивчаються в другій частині курсу. Необхідно добре розібратися у фізичному і механічному змісті активної і реактивної взаємодії між струменем і твердою перешкодою, і опором твердого тіла, що рухаються в рідині.

Література:

[1, с. 165-171]; [2, а22]; [3, с. 57-60]; [4, с. 79-83]; [5, с. 102-174]; [8, с. 376-406]; [9, с. 90-91].

Питання для самоконтролю

1. Сформулюйте теорему про зміну кількості руху.
2. Чому дорівнює реактивна сила взаємодії між струменем і твердим тілом?
3. Чому дорівнює реактивний тиск струменя на плоску стінку? Наковшоподібну стінку?

Частина II. ЛОПАТЕВІ ГІДРОМАШИНИ І ГІДРОДИНАМІЧНІ ПЕРЕДАЧІ

Розділ А. ЛОПАТЕВІ НАСОСИ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГІДРОМАШИНИ

Насоси і гідродвигуни. Класифікація насосів. Принцип дії динамічних і об'ємних насосів. Основні параметри насосів: подача (витрати), напор, потужність, ККД.

Методичні вказівки

Насосом називається гідравлічна машина, що перетворює механічну енергію двигуна в енергію рідини, що перекачується. В гідравлічному двигуні відбувається перетворення енергії потоку рідини в механічну енергію на виходному валові двигуна.

Всі типи насосів, не дивлячись на різноманітність їх конструктивних форм, по принцип дії, тобто по способу передачі механічної енергії, діляться на дві групи: дина-

мічні (лопатеві) об'ємні (насоси витіснення). До перших належать центробіжні, діагональні, осьові, вихрові насоси; до других - поршневі і роторні насоси.

Прививчені цього розділу студент повинен за своєї загальної класифікації насосів, їх специфічні особливості і область застосування.

При розгляданні основних параметрів насосів необхідно звернути увагу на визначення напору, його фізичний зміст і дійсну розмірність, потрібно також зрозуміти і різницю між корисною і затраченою потужностями, розібратися в фізичному змісті коефіцієнта корисної дії.

Література:

[1, с. 172-177]; [2, с. 22-23]; [4, с. 89-94]; [5, с. 204-214]; [6, с. 183-184].

Питання для самоконтролю

1. Розкажіть про принцип дії динамічних об'ємних насосів.
2. Як визначається напор діючого насоса по показникам приладів по елементам насосної установки?
3. Як визначається корисна і витрачена потужність насоса?
4. Що являє собою повний коефіцієнт корисної дії насоса?

2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЛОПАТЕВИХ НАСОСІВ І ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Центробіжні насоси. Схеми одноступінчатих центр-обіжних насосів. Рівняння Ейлера. Теоретичний напір насосів. Корисний напір. Втрати енергії в насосі. Характеристика центробіжних насосів. Основи теорії подібності насосів. Коефіцієнт швидкості. Типи лопатевих насосів. Застосування формул подібності для перерахунку характеристик насоса.

Регулювання подачі. Послідовне і паралельне з'єднання насосів. Кавітація в лопатевих насосах. Кавітаційна характеристика. Кавітаційний запас. Формула Рудневої її застосування.

Методичні вказівки

При обертанні робочого колеса лопатевого насоса в потік рідини виникає різниця тисків по обидві сторони кожної лопати (підйомна сила). Сили тиску лопатей на потік створюють вимушений поступальний і обертальний рух рідини, збільшуючи її тиск і швидкісний напір, тобто механічну енергію.

При ріст енергії потоку рідини в лопатевому колесі (напір колеса) залежить від поєднання швидкостей протікання потоку, частоти обертання колеса, його розмірів, форми лопаток, тобто від поєднання конструкції, розмірів, частоти обертання подачі насосів. Таким чином, головна особливість і відмінність лопатевих насосів від об'ємних

их полягає в тому, що напор і подача у цих насосів взаємопов'язані, а подача безперервна.

Розрізняють теоретичні і дійсні характеристики кілопатових насосів. Теоретичні характеристики кілопатових насосів отримують в результаті аналізу основного рівняння лопатових насосів, але із складності протікання рідини через робочі органи насоса точний взаємозв'язок основних параметрів роботи лопатових насосів вдається отримати лише експериментально. В результаті досліджень насосів отримують їх дійсні характеристики – криві залежності напору, подачі, витраченої на пружу, ККД і частоти обертання насосу. Ці характеристики дають достатньо повне уявлення про експлуатаційні якості насосів і дозволяють вирішити питання, пов'язані з їх експлуатацією та проектуванням.

Студенту необхідно з'ясувати методику отримання робочих та універсальних характеристик, їх використання для визначення оптимальних режимів роботи діючих насосів, для вибору нових насосів, визначення режимів спільної праці на загальну мережу, а також для визначення умов праці при зміні частоти обертів і розмірів насосу.

При створенні нових зразків лопатових машин проводиться їх лабораторне дослідження і доведення на моделях. Для переходу від даних, отриманих на моделях, до дійсних насосів використовується загальна теорія гідродинамічної подібності потоку в використанні до лопатних машин. Потрібно з'ясувати умови використання теорії подібності до лопатових насосів, а також за своєї формулу перерахунку основних параметрів насосів при зміні розмірів і частоти обертання.

Для характеристики конструкційного типу насосів служить коефіцієнт швидкохідності (питома частота обертання), яка визначає область використання насосів. Студенту потрібно знати, по якій формулі знаходиться коефіцієнт швидкохідності, а які типи розділяють лопатеві насоси в залежності від його значення. Коефіцієнт швидкохідності залежить не лише від частоти обертання, але і від напору та подачі насосу. Тому не завжди насоси з великою частотою обертання мають більший коефіцієнт швидкохідності.

Негативний вплив на роботу центробіжних насосів здійснює кавітація, що виникає в результаті зниження тиску при надходженні рідини на робоче колесо центробіжного насоса у вигляді тиску пароутворення. Студент повинен знати фізичну суть впливу кавітації і її міри, необхідні для запобігання цього шкідливого явища.

Необхідно знати і вміти користуватися формулою для визначення допустимої висоти всмоктування центробіжного насоса, визначити кавітаційний запас за формулою Руднева.

Література:

[1, с. 177-254]; [2, с. 22-25]; [4, с. 97-129]; [6, с. 184-216].

Питання для самоконтролю

1. Накреслити схему і пояснити принцип дії одноступеневого центробіжного насосу.
2. Провести паралелограми швидкостей навході та виході із робочого колеса і пояснити їх.
3. Написати основні рівняння центр обіжних насосів Ейлера, пояснити його вид та фізичний зміст.
4. В чому полягає співвідношення подібності (пропорційності) для лопатевих машин? Для яких цілей вони застосовуються?
5. Що називається робочою та універсальною характеристиками центробіжних насосів?
6. Як і види поділяють лопатеві насоси по швидкості?
7. Як знайти подачу до напору (робочу точку) при роботі одного і двох центробіжних насосів на мережу? Привести відповідні графіки та характеристики.
8. Як фізична сутність вищавітації в лопатевих машинах?
9. Як впливає кавітація на роботу центр обіжних насосів і які борються з нею?
10. Вказати метод регулювання подачі центр обіжних насосів і розповісти їх фізичний зміст.

3. ВИХРЬОВІ ТА СТРУЙНІ НАСОСИ

Схема вихрового насосу, принцип дії, характеристика, області використання.
Схема струйного насосу, принцип дії, області використання.

Методичні вказівки

Робоче колесо вихрового насоса має радіальні або нахилені лопатки розміщені в циліндричному корпусі з малими торцевими зазорами.

Робочий процес вихрового насоса аналогічний центробіжному, але має деякі особливості. Натиск вихрових
насосів в 3...7 разів більший за натиск центробіжних при тих самих розмірах частоти обертання. Насоси мають малий коефіцієнт швидкості (6...40 об/хв) і використовуються для великих натисків та малих витрат.

Вони мають здатність самовсмоктування і можуть перекачувати суміші рідини і газу.

Доструйних відносяться насоси, робочий процес яких побудований на ежектируючій дії струменя робочої рідини (води, газу, пари, повітря). Може перекачувати пульпу, нафту та інші рідини і використовується для нагнітання (інжектори), відсмоктування (ежектори) і для переміщення рідини (елеватори). У зв'язку з складністю процесів в розрахунок струйних насосів базується на результатах

експериментів. Необхідно розглянути: робочий процес, характеристики, конструкцію, способи регулювання та області використання вихрових іструйних насосів.

Література:

[1, с.270-290]; [2, с.26]; [4, с.153-155].*

Питання для самоконтролю

1. Накреслити схему вихрового іструйного насосів і розказати про принципи дії.
2. Якими перевагами і недоліками володіють вихрові іструйні насоси? Яка область їх використання?
3. Від чого залежить подача іструйних насосів і як визначається їх ККД?

Розділ Б. ГІДРОДИНАМІЧНІ ПЕРЕДАЧІ

4. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ

Призначення областей використання гідродинамічних передач. Принцип дії і класифікація. Робоча рідина.

Методичні вказівки

Гідродинамічні передачі призначені для передачі механічної енергії з валу двигуна на вал приводної машини.

Основними елементами гідродинамічних передач є: робоче колесо центробіжного насосу-джерела гідравлічної енергії; робоче колесо радіально-осьової гідротурбіни-гідравлічний двигун; робоча рідина, а також реактор (напрямляючий апарат), живильні і відвідні пристрої.

В проточній частині передачі проходить перетворення механічної енергії ведучого валу (двигуна) в механічну енергію робочої рідини, яка, в свою чергу, перетворюється в механічну енергію ведучого валу (приводної машини). За принципом дії гідродинамічної передачі поділяються на два види: гідродинамічні трансформатори і обертаючого моменту і гідродинамічної муфти (зчеплення). Потрібно розглянути ці дві властивості цих передач, які визначили використання їх в різних областях техніки.

В гідродинамічних передачах як робочої рідини використовується мінеральне масло, вода, синтетична рідина. Необхідно ознайомитися з вимогами, які висуваються до робочих рідин, їх фізичні характеристики, експлуатаційні властивості, область використання.

Література:

[1,с.291-307];[2,с.27];[4,с.242-263];[6,с.379-382].

Питання для самоконтролю

1. Які призначення та область застосування гідродинамічних передач? На яких машинах та установках вони використовуються? Привести приклади.
2. Відобразити принципи гідротрансформатору і гідромуфти, пояснити принцип їх дії.
3. Які переваги і недоліки гідродинамічних передач?
3. Які вимоги висуваються робочим рідинам?

5. ГІДРОДИНАМІЧНІ МУФТИ

Будова та робочий процес. Основні параметри, рівняння характеристики. Спільна робота гідромуфти з двигуном. Регулювання гідромуфти.

Методичні вказівки

Гідродинамічна муфта складається з 2-х основних елементів: насосного і турбінного коліс, які кріпляться відповідно на ведучому і відомому валах. Лопатки робочих коліс, як правило, плоскі, радіальні. При обертанні насосного колеса виникає сила взаємодія лопатей з обтікаючим їх потоком, при цьому в потоці створюється приращення моменту кількості руху рідини. Із насосного колеса рідина потрапляє в

турбінне коло, де момент кількості руху рідини зменшується, внаслідок чого на турбінному колесі виникає обертаючий момент.

Оскільки в гідромуфті відсутні пристрої, здатні змінити момент кількості руху рідини в круті циркуляції, то збільшення моменту кількості руху в насосному колесі завжди дорівнює його зменшенню в турбінному колесі. Звідси, якщо не враховувати механічні втрати і втрати тертя об повітря, які звичайно малі, то в гідромуфті обертовий момент зведучого валу наведомий передається без змін.

Прививчені робочого процесу в гідромуфті потрібні розглянути трикутник швидкостей на вході та виході насосного та турбінного колеса, проаналізувати рівняння моментів кількості руху і з'ясувати, чому обертовий момент може передаватись, лише коли частота обертання відомого валу менше частоти обертання ведучого (передаточне відношення менше одиниці), чому ККД гідромуфти дорівнює передаточному відношенню. Потрібно знати методику побудови зовнішніх (моментних), універсальних і приведених характеристик гідромуфти, вміти ними користуватись при прививченні роботи гідромуфти в системі силової трансмісії з метою оцінки енергетичних і експлуатаційних якостей гідромуфти.

Високі експлуатаційні якості гідромуфти (гасіння обертальних коливань і пульсацій обертаючого моменту, сприятливі умови запуску двигуна, обмеження передаючого обертаючого моменту та ін.) визначаються особливостями робочого процесу і конструктивними особливостями гідромуфти.

Двигун в поєднанні з гідромуфтою представляє собою силовий агрегат, відповідає вимогам приводної машини. Потрібно розуміти методику визначення розмірів гідромуфти (активного діаметру), методику побудови вихідної характеристики агрегату "двигун-гідромуфта" і вміти користуватися нею для аналізу спільної роботи гідромуфти з двигуном.

Вексплуатаційній практиці часто необхідно змінювати частоту обертання відомого валу гідромуфти, не змінюючи обертовий момент, що передається, тобто виникає необхідність в регулюванні гідромуфти. Студенту необхідно знати найбільш розповсюджені способи регулювання, їх фізичний принцип, переваги і недоліки.

Література:

[1, с.307-323]; [2, с.28-29]; [4, с.243-251]; [6, с.382-390].

Питання для самоконтролю

1. Поясніть принцип особливості роботи гідромуфти.
2. Приведіть рівняння моментів для гідромуфти і поясніть його.
3. Які переваги і недоліки застосування гідромуфти у системі силового привода?
4. Вкажіть співвідношення подібності (пропорційності). Для чого застосовуються ці співвідношення?
5. Поясніть метод побудови вихідної характеристики агрегату "двигун-гідромуфта".
6. Дайте відповідь на третє питання, використовуючи вихідну характеристику агрегата з гідромуфтою.
7. Яке призначення регулювання гідромуфти? Які вам відомі способи регулювання гідромуфти?

6. ГІДРОДИНАМІЧНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Будова, класифікація, робочий процес, основні параметри і рівняння. Втрати енергії в гідротрансформаторі. Зовнішні характеристики. Поняття про комплексні гідротрансформатори.

Методичні вказівки

Гідротрансформатор відрізняється від гідромуфти тим, що в його проточній частині крім насосного і турбінного коліс встановлений нерухомий реактор (направляючий апарат). Лопатки колеса реактора, відхиляючи своїми лопатками рідину, змінюють момент кількості руху потоку. Тому в гідротрансформаторі обертові моменти наведучому і відомому валах не дорівнюють один одному, тому

гідротрансформатори на відміну від гідромуфта вляються перетворювачами обертового моменту.

Реактор розміщується або за турбінним колесом, або за насосом. Різноманітність конструктивних схем дозволяє будувати гідротрансформатори з різними властивостями характеристиками і підбирати їх для ефективної роботи в конкретних умовах силового привода.

До основних зовнішніх параметрів гідротрансформатора відносять: обертовий і момент на вхідному і відомому валу в реакторі, передаточне відношення, ККД, коефіцієнт трансформації моментів. Розрізняють зовнішні (моменти), універсальні і приведені характеристики. В залежності від форми кривої обертового моменту на вхідному валу розрізняють прозорі і непрозорі зовнішні (моменти) характеристики.

Вибір гідротрансформатора в різнопрозорістю характеристик диктується умовами його роботи: переважанням вимог надійності або економічності силового привода.

Гідротрансформатор зазвичай працює в системі силового привода. Економічність і згодженість роботи такої системи залежить від роботи окремих її елементів - двигуна, гідротрансформатора і привідної машини правильного узгодження один з одним. Основами для цього слугують моментна характеристика двигуна, приведена характеристика гідротрансформатора і момент на привідній машині. Для узгодження характеристик використовують формули подібності і зрівнювання моменту і гідродинамічних передач.

Студенту необхідно розібратися в методиці побудови характеристик, проаналізувати по ній режим роботи гідротрансформатора в різних манітних моментах на відомому валу, розглянути енергетичні і експлуатаційні властивості гідротрансформаторів, а також розглянути методику вибору розміру гідротрансформатора (активного діаметра), побудови вихідної характеристики агрегата "двигун-гідротрансформатор" і вміти ними користуватися для аналізу роботи трансформатора в системі силового привода.

В комплексних гідротрансформаторах реактор розміщується на муфті вільного ходу і на деяких режимах може обертатися разом з робочими колесами. Необхідно розглянути призначення таких гідротрансформаторів, їх характеристики і експлуатаційні властивості.

Література:

[1, с. 323-335]; [2, с. 29-31]; [6, с. 390-398].

Питання для самоконтролю

1. Поясніть принцип дії і особливості роботи гідротрансформатора.
2. Чим відрізняється прозорі характеристики гідротрансформатора від непрозорі? Для яких умов роботи вони застосовуються?

3. Поясніть метод вибору розмірів гідротрансформатора і узгодження характеристик елементів силового привода.

4. Як конструктивна схема, момент на характеристику і призначення комплексного гідротрансформатора.

5. Як застосовуються способи регулювання гідротрансформаторів?

Частина III. ОБ'ЄМНІ НАСОСИ ТА ГІДРОПРИВОДИ

Розділ А. ОБ'ЄМНІ НАСОСИ ТА ГІДРОДВИГУНИ

7. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Об'ємні насоси, принципи, загальні властивості і класифікація.

Методичні вказівки

В об'ємних насосах передача механічної енергії рідини відбувається при зміні об'єму її камер. Об'ємні насоси поділяються на класи: 1) поршневі - зворотньо-поступальним рухом витиснювача (поршня або плунжера і клапанним розподілом рідини); 2) роторні - зобертвим рухом витиснювачів або замикачів (наприклад, поршнів плунжерів, зубів шестерень, лопаток або пластин) із безклапанним розподілом рідини.

На відміну від лопатевих насосів в об'ємних насосах рідина передається потенціальною енергією тиску при практично незмінній кінетичній енергії рідини. В цих насосах подача і напор незалежить один від одного, насоси характеризуються нерівномірною подачею і пульсацією тиску.

Література:

[1, с. 336-342]; [2, с. 31-32]; [4, с. 141-146].

Питання для самоконтролю

1. Розповісти про принципи роботи об'ємних насосів.
2. Привести приклади об'ємних насосів і вказати елементи, які характеризують об'ємні насоси всіх типів.
3. Як переваги і недоліки, властиві об'ємним насосам всіх типів?

2. ПОРШНЕВІ ТА ПЛУНЖЕРНІ НАСОСИ

Будова та область використання поршневих і плунжерних насосів.
Індикаторна діаграма. Графіки ідеальної подачі і нерівномірності. Діафрагменні насоси.

II

Методичні вказівки

Поршневі насоси являються гідравлічною машиною, в якій перетворення механічної енергії двигуна в механічну енергію переміщеної рідини відбувається за допомогою поршня або плунжера, здійснюючого зворотньо-поступальний рух в ціліндри. Поршневі насоси відносяться до класу об'ємних насосів, вони класифікуються за кратністю дії; будовою поршня; розміщенням циліндрів; способом з'єднання поршня з двигуном; за швидкістю (кількістю подвійних ходів), за тиском, що розвивається.

Подача поршневих насосів пропорційна їх розмірам (об'єму, витисненого поршнем при його русі на гнітач) і швидкості руху поршня (кількості подвійних рухів в – або числу обертів за одиницю часу). Напір насосів не залежить від подачі і залежить від опору, який він повинен здолати. Однією із основних особливостей поршневих насосів є нерівномірність подачі рідини в часі для покращення рівномірності подачі на всмоктуючому чому і напорному патрубках насосів встановлюють повітряні клапани.

Студент повинен: 1) знати принципи роботи насосів, вміти зобразити і пояснити принципиальні схеми насосів одинарної, подвійної, диференціальної дії та ін.; 2) знати способи будови графіків миттєвої подачі і вміти виводити числові значення коефіцієнтів нерівномірності подачі для насосів різної кратності дії; 3) розглянути вплив клапана горлоподілу рідини на характеристики і властивості поршневих насосів; 4) зрозуміти, чому встановлення повітряного ковпачка на всмоктуючий патрубок дозволяє збільшити висоту всмоктування і число подвійних ходів насоса, а встановлення ковпачка на напорному патрубку зладжує нерівномірність подачі рідини до споживача.

Важливою характеристикою роботи насоса є індикаторна діаграма, яка представляє собою криву зміни тиску в камері насоса за один подвійний хід поршня. Вона дозволяє судити про якість насоса, вплив повітряних ковпачків на процес всмоктування і нагнітання, дає змогу встановлювати наявність тих чи інших неполадок, дозволяє уточнити баланс потужності і ККД насоса.

Література:

[1, с. 343-354]; [2, с. 32-33]; [4, с. 143-152].

Питання для самоконтролю

1. Привести схему і пояснити принципи роботи поршневих насосів одинарної, подвійної, диференціальної дії.

2. Від чого залежить і за якими формулами знаходиться продуктивність насосів різної кратності дії? Що таке об'ємний ККД насосу?
3. Приведіть графіки миттєвої подачі поршневих насосів одинарної і подвійної дії; пояснитиметод їх побудови та гідравлічну суму; вкажіть способи зменшення нерівномірності подачі.
4. Зобразити індикаторну діаграму поршневого насосу і пояснити її. Яка різниця між дією індикаторної діаграми та ідеальної?
5. Від чого залежить і як визначається висота всмоктування поршневих насосів?
6. Вкажіть способи збільшення висоти всмоктування.
7. Які переваги і недоліки поршневих насосів порівняно з центробіжними?
8. Як регулюється подача поршневих насосів і які правила їх запуску?

3. РОТОРНІ НАСОСИ ГІДРОДВИГУНИ

Класифікація роторних насосів. Загальні відомості та область використання. Будова та особливості роботи роторних насосів різних типів: шестерних, винтових, пластинчатих (шиберних), роторно-поршневих. Визначення робочих об'ємів. Подачата і рівномірність. Характеристики насосів. Обертний момент на валу гідродвигуна. Високомоментні гідродвигуни.

Методичні вказівки

Роторні насоси називаються об'ємними насосами обертового руху, які містять в собі статор, ротор і замикачі, герметично додотичні зі статором і ротором розділяють прийомну камеру від нагнітаючої. Роторні насоси за конструкцією поділяються на: роторно-поршневі (радіальні і осіральні), пластинчасті (шиберні, шестерні, винтові). Ці насоси широко використовуються в об'ємних гідравлічних приводах. Вони оборотні, можуть працювати як насоси і гідромотори, мають безклапанний розподіл рідини, швидкохідні, з малою нерівномірною подачею (ніж поршневі), можуть бути виконані з регулюваннями реверсування подачі (роторно-поршневі і шиберні простої дії).

Ці насоси, також поршневі, не можуть працювати із закритою задвижкою і тому постачаються з запобіжним клапаном. Студенту потрібно розібратись в принципі дії будові перелічених типів роторних насосів і знати область їх використання, принцип дії, кінематичну схему, вміти пояснити конструктивну схему, знати формулу для визначення подачі насосу і робочого об'єму, способи регулювання подачі, характеристики.

Обернені роторні насоси являються гідромоторами обертової дії. Як насоси вони можуть бути регульованими, нерегульованими, реверсними і неревверсними. Студенту привив ченні роторних гідромоторів потрібно засвоїти: принцип дії, будову, розрахункові формули для визначення обертового моменту, потужності, частоти обертання. Потрібно звернути увагу на спосіб зміни цих параметрів у випадку не регульованих і регульованих гідродвигунів.

Література:

[1, с. 354-403]; [2, с. 33-34]; [4, с. 147-149; 169-176]; [6, с. 289-316]; [7, с. 126-244].

Питання для самоконтролю

1. Привести конструктивні схеми і пояснити принцип дії радіально і аксиально-поршневих, пластинчастих (шиберних), шестерних і гвинтових насосів.
2. Написати формули для визначення подачі роторних насосів і пояснити їх.
3. Як переваги і недоліки роторних насосів?
4. Вказати область використання роторних насосів.
5. Розглянути схеми роторно-поршневих гідродвигунів трансформації зусиль на поршнях, що створюються робочою рідиною, та механічний момент на валу гідродвигуна. Від яких параметрів залежить обертовий момент що розвивається на валу гідродвигуна, потужність і частота обертання? Привести відповідні формули для кожного типу гідродвигуна і пояснити їх.
6. Розповісти про принцип роботи і конструкційні особливості високомоментних гідромоторів.

4. ГІДРОЦИЛІНДРИ

Силові гідроциліндри, їх призначення і будова. Поворотні гідроциліндри.

Методичні вказівки

Силові гідравлічні циліндри являються гідравлічними двигунами обертово-поступальної дії, вони працюють за принципом оборотних поршневих насосів, вони не мають клапанів. Студенту необхідно розглянути конструктивні схеми гідроциліндрів в односторонньої і двосторонньої дії тателескопічної, засвоїти розрахункові формули для визначення зусиль на штокі, швидкість руху поршня, потрібної подачі рідини, потужності що розвивається з врахуванням повного і часткового ККД гідроциліндра.

Література:

[1, с. 403-410]; [2, с. 34-35]; [4, с. 157-166]; [7, с. 318-328].

Питання для самоконтролю

1. Привести схем силових гідроциліндрів односторонньої і 2-х сторонньої дії пояснити їх.
2. Як визначити подачу для гідроциліндрів односторонньої дії? Як впливає об'ємний ККД на подачу?
3. Від яких параметрів гідроциліндрів залежить розвиток потужності та зусилля а штокі? Привести відповідні формули і пояснити їх.

Розділ Б. ОБ'ЄМНИЙ ГІДРОПРИВІД

5. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЕЛЕМЕНТИ ГІДРОПРИВОДУ

Принцип дії об'ємного гідроприводу. Класифікація об'ємних гідроприводів за характером руху вихідного ланцюгата іншими ознакам. Основні елементи гідропривода.

Методичні вказівки

Об'ємний гідропривід призначений для передачі за допомогою об'ємних гідромашин механічної енергії двигуна до виконуючих механізмів з перетворенням швидкості і сили або моментів. Він містить об'ємний насос (джерело гідравлічної енергії), об'ємні гідродвигуни (приймачі гідравлічної енергії або виконавчі механізми), гідроапаратуру (прилади або механізми, призначені для передачі енергії, керування і регулювання).

В залежності від типу гідродвигуна (гідроциліндра або гідродвигуна) розрізняють гідроприводи зворотньо-поступального і обертового руху вихідного ланцюга. Схема гідроприводу може бути відкритою (закумульаторною робочою рідиною в бакові) і закритою (бак відсутній, тиск в системі більше атмосферного).

Закрита схема не використовується при наявності гідроциліндрів.

Література:

[1, с. 411-412]; [2, с. 35-36]; [4, с. 290-296; с. 192-210]; [6, с. 354-360]; [7, с. 8-12; с. 68-80].

Питання для самоконтролю

1. З яких основних частин складається об'ємний гідропривід? Привести одну з відомих конструкційних схем і пояснити її.
2. Що таке відкрита і замкнена схема об'ємного гідроприводу? Привести схеми, пояснити принципи роботи і вказати переваги і недоліки.
3. Вказати переваги і недоліки об'ємного гідроприводу.

6. ГІДРОАПАРАТУРА ТА ІНШЕ ЕЛЕМЕНТИ ГІДРОПРИВОДУ

Розподільчі пристрої: призначення, принцип дії та основні типи (золотникові, кранові, клапани). Клапани: принцип роботи, будова і характеристики. Дросельні пристрої: призначення, принцип роботи і характеристики. Фільтри. Гідроакумулятори.

Методичні вказівки

Розподільчі пристрої призначені для направлення розподілення потоку робочої рідини від насоса до гідродвигуна і відведення від них відпрацьованої рідини на злив. Найбільш розповсюджені золотникові розподільчі пристрої вони порівняно прості у виготовленні, компактні, надійні в роботі, дозволяють розподіляти великі потоки рідини. За функціональними ознаками клапани поділяються на запобіжники, воротні, редуційні.

Для регулювання об'ємного гідроприводу використовуються дроселі, площа прохідного отвору якої можна змінювати в процесі роботи гідроприводу. За видами прохідного отвору дроселі поділяються на голчасті, щілеві, канавкові і пластинчасті.

Студенту необхідно знати принцип роботи і конструкційні особливості механізмів, їх місце та умови праці в загальній схемі гідроприводу, а також вивчити умовні позначення всіх елементів об'ємного гідроприводу.

Література:

[1, с.418-458; 472-499]; [2, с.36-37]; [4, с.216-238]; [7, с.329-454].

Питання для самоконтролю

1. Привести конструктивну схему золотникового розподільвача і його умовне зображення по ГОСТу і пояснити як здійснюється подача робочої рідини до гідродвигуна.

2. Пояснити принцип роботи і конструкцію клапанів різного призначення. Привести формули для їх розрахунку.

3. За якою формулою визначається розхід робочої рідини через дросель? За допомогою яких приладів забезпечується постійність передачі тиску на дроселі?

4. Для яких цілей в системах гідроприводу використовуються фільтри і гідроакумулятори?

2. СХЕМА ГІДРОПРИВОДУ І СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

Дросильне і об'ємне регулювання швидкості. Гідропривід з дросельним регулюванням. Основні схеми. Характеристики. Переваги і недоліки. Груповий

гідропривід з дросельним регулюванням. Гідропривід з об'ємним регулюванням. Основні схеми. Характеристики. Переваги і недоліки.

Методичні вказівки

Для зміни частоти обертання валу роторного гідродвигуна або швидкості переміщення поршня гідроциліндра використовують дросильне або об'ємне регулювання.

Дросельне регулювання виконується регульованим опором (дросилем), яке встановлюється на вході, на виході або паралельно гідродвигуну. В першому та другому випадках частина рідини віднасосу іде налив через переливний клапан, тиск за насосом визначається настройкою клапану, а насос завжди працює з максимальною подачею. В 3-

му випадку тиск за насосом визначається навантаженням гідродвигуну, клапан працює як запобіжний, і лише тоді коли тиск перевищує допустиме межу, потужність що споживається буде пропорційною навантаженню. Таким чином, 3-й випадок буде більше економічним.

Всі три схеми розміщення дроселя не забезпечують постійної швидкості при зміні навантаження, при цьому перепад тиску на дроселі не постійний. Для створення "жорсткої" характеристики, коли потрібно, щоб швидкість переміщення поршня або частота обертання валу не була залежною від навантаження, разом з дроселем використовують регулятор перепаду тиску на дроселі (регулятор швидкості).

Об'ємне регулювання виконується зміною робочого об'єму насоса або гідродвигуна або обох разом. Регулювання відбувається майже без втрат, але для здійснення його необхідні складні конструкції і дорогі в побудові регулюючі гідромашини.

Студенту потрібно розглянути основні схеми з дросильним і об'ємним регулюванням, розібратись в їх роботі та взаємодію вузлів і механізмів, з'ясувати переваги, недоліки та область використання.

Література:

[1, с. 412-417]; [2, с. 37-38]; [4, с. 192-200]; [6, с. 300-379].

Питання для самоконтролю

1. Якими способами виконуються безступінчаті регулювання частоти обертання або переміщення робочого органу гідроприводу?

2. Які особливості дросельного регулювання при різному розміщенні дроселя в схемі гідроприводу?

3. Вказати відносні переваги і недоліки дросельного і об'ємного регулювання. В яких випадках вони використовуються?

4. Законкретними схемами гідроприводу з об'ємним і дросельним регулюванням розповісти про взаємодію всіх елементів системи в процесі регулювання.

1. СЛІДКУЮЧИЙ ГІДРОПРИВІД

Призначення, принцип роботи, схема і область використання слідкуючого гідроприводу.

Методичні вказівки

Слідкуючим гідроприводом, або гідропідсилювачем, називається прилад, в якому використовується двигун (вихід) автоматично і безперервно відтворює рухи задаючого приладу (входу) при підсиленні вихідної потужності двигуна зарахунок використання енергії рідини що подається. Принцип дії його побудований на тому, що зміна положення задаючого приладу (ручки керування або елемента автоматики) приводить до розузгодження системи, а визвані ним дії виконавчого двигуна аусуваєці

розузгодження, приводячи вихідну ланку в положення задаючого пристрою.

Розрізняють слідкуючий привід беззворотнього зв'язку (замкнутий), переривчатої (імпульсного) і непреривної (пропорційного) дії.

Студент повинен розглянути конкретні схеми слідкуючих гідроприводів різного типу, конструктивні схеми механізмів та приладів, вміст гідроприводів, область використання, переваги і недоліки порівняно, наприклад, з електричними слідкуючими системами.

Література:

[1, с. 459-471]; [2, с. 38-39]; [4, с. 194-200]; [7, с. 455-512].

Питання для самоконтролю

1. Для яких цілей використовуються слідкуючі гідроприводи?
2. З яких механізмів та пристроїв складається слідкуючі гідроприводи?
3. За конкретною схемою слідкуючого гідроприводу розповісти про принцип його роботи, будову окремих елементів, його характеристики.

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Взаємозв'язок спеціальності та навчального плану контрольних завдань може складатися із однієї або двох контрольних робіт, в кожну з яких входить визначення кількості контрольних задач (табл. 1)

Номери контрольних задач вибираються відповідно до останньої цифри залікової книжки студента (див. табл. 1), число визначення вказаних величин – за передостанню цифрою залікової книжки студента (табл. 2)

ЗАДАЧІ

1. Визначити величину і напрям сили F , прикладеної до штоку поршня для утримання його на місці. Праворуч від поршня знаходиться повітря, ліворуч від поршня – в резервуарі, куди опущений відкритий кінець труби, – рідина J (мал. 1).

Пружний манометр показує P_m

2. Паровий прямо діючий насос подає рідину J на висоту H (мал. 2). Який абсолютний тиск пару, якщо діаметр парового циліндру D , а насосного циліндру d ? Втрати на тертя нехтувати.

3. Визначити силу пресування F , розвиваємою гідравлічним пресом, у якого діаметр більшого плунжера D діаметр меншого плунжера d . Більший плунжер розташований вище меншого на величину H , робоча рідина J , зусилля, прикладене до рукоятки R (мал. 3).

4. Замкнений резервуар розділений на дві частини плоскою перегородкою, щонає квадратний отвір зі стороною a , закритий кришкою (мал. 4). Тиск на рідину J в

лівій частині резервуару визначається свідченням манометра p_m , тиск повітря в правій частині – свідченням мановакуумметра. Визначити величину і точку додатку результуючої сили тиску на кришку.

Вказівка. Ексцентриситет центра тиску для результуючої сили може бути визначений за формулою

$$e = \frac{l_e}{\left(h_{ц.т.} + \frac{\Delta p}{\gamma}\right) S}$$

де $\Delta p = p_m - p_v$

5.

Куля діаметром D наповнена рідиною \mathcal{J} . Рівень рідини в пьезометрі, приєднаному до кулі, встановився на висоті H від осі кулі. Визначити силу тиску на бічну половину внутрішньої поверхні кулі (мал. 5). Показати накресленні вертикальну і горизонтальну складові, а також повну силу тиску.

6. Визначити силу тиску на конічну кришку горизонтального циліндричного суду діаметром D , заповненого рідиною \mathcal{J} (мал. 6). Свідчення манометра в точці його приєднання – p_m . Показати накресленні вертикальну і горизонтальну складові, а також повну силу тиску.

7. Привітканні рідини з резервуару в атмосферу по горизонтальній трубі діаметром d і довжиною $2l$ рівень в пьезометрі, встановленому посередині довжини труби, рівний h (мал. 7). Визначити витрату Q і коефіцієнт гідравлічного тертя труби λ , якщо статичний натиск в баку постійний і рівний H . Побудувати пьезометричну і напірну лінії. Опором входу в трубу знехтувати.

8.

Рідина \mathcal{J} подається у відкритий верхній бак вертикальній трубі довжиною L і діаметром d зарахунок тиску повітря в нижньому замкненому резервуарі (мал. 8). Визначити тиск p повітря, при якому витрати будуть рівні Q . Прийняти коефіцієнти опору: вентиля $\xi_v = 8,0$; входу в трубу $\xi_{ex} = 0,5$; виходу з баку $\xi_{вих} = 1,0$. Еквівалентна шорсткість стінок труби $k_s = 0,2$ мм.

9. Поршень діаметром D рухається рівномірно в низ циліндрі, подаючи рідину \mathcal{J} у відкритий резервуар з постійним рівнем (мал. 9). Діаметр трубопроводу d , його довжина l . Коли поршень знаходиться нижче за рівень рідини в резервуарі на $H = 0,5$ м, п отрібна для його переміщення сила рівна F . Визначити швидкість поршня і витрату рідини в трубопроводі. Побудувати напірну і пьезометричну лінії для трубопроводу. Коефіцієнт гідравлічного тертя труби прийняти $\lambda = 0,03$. Коефіцієнт опору входу в трубу $\xi_{ex} = 0,5$. Коефіцієнт опору виходу з резервуару $\xi_{вих} = 1,0$.

10. Визначити діаметр трубопроводу, при якому подається рідина \mathcal{J} з витратою Q , з умови отримання в ньому максимально можливої швидкості при збереженні ламінарного режиму. Температура рідини $t = 20^\circ\text{C}$.

11. При ламінарному режимі руху рідини по горизонтальному трубопроводу діаметром $d = 30$ см витрата дорівнює Q , а падіння пьезометричної висотина

дільниці даної склало h . Визначити кінематичний і динамічний коефіцієнти в'язкості рідини, що перекачується.

12. Потрубопроводу діаметром d і довжиною l рухається рідина \mathcal{J} (мал. 10). Чому рівний натиск H , при якому відбувається зміна ламінарного режиму турбулентним? Місце втрати натиску не враховувати. Температура рідини $t = 20^\circ\text{C}$.

Вказівка. Скористатися формулою для втрати натертя при ламінарному режимі (формула Пуазейля).

13. Напор шень діаметром D діє сила F (мал. 11). Визначити швидкість рушення поршня, якщо в циліндр знаходиться вода, діаметр отвору в поршні d , товщина поршня a . Силою отертя поршня об циліндр знехтувати, тиск рідини на верхню площину поршня не враховувати.

14. Визначити довжину труби l , при якій витрата рідини з бака буде удвічі менше, ніж через отвір того ж діаметра d . Напір над отвором рівний H . Коефіцієнт гідравлічного тертя в трубі прийняти $\lambda = 0,025$ (мал. 12).

15. Визначити довжину труби L , при якій випорожнення циліндричного бака діаметром D на глибину H буде відбуватися удвічі повільніше, ніж через отвір того ж діаметра a . Коефіцієнт гідравлічного тертя в трубі прийняти $\lambda = 0,025$ (мал. 12).

Вказівка. У формулі для визначення часу випорожнення бака коефіцієнт витрати μ випускного пристрою визначається його конструкцією. Для труби

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}}}$$

де ξ – сумарний коефіцієнт місцевих опорів.

16. Визначити діаметр d горизонтального сталюго трубопровода довжиною $l = 20\text{ м}$, необхідний для пропуску по ньому води в кількості Q , якщо натиск, що розташовується рівний H . Еквівалентна шорсткість стінок труби $k = 0,15\text{ мм}$.

Вказівка. Для ряду значень d заданого Q визначається ряд значень потрібного натиску H_n . Потім будується графік $H_n = f(d)$ і по заданому H визначається d .

17. З бака A , в якому підтримується постійний рівень, вода протікає по циліндричному насадку діаметром d в бак B з якого зливається в атмосферу по короткій трубі діаметром D забезпеченої краном (мал. 13). Визначити найбільше значення коефіцієнта опору крана ξ , при якому витікання з насадки буде здійснюватися в атмосферу. Втрати натертя в трубі не враховувати.

18. При раптовому розширенні трубопровода швидкість рідини в трубі більшого діаметра дорівнює v . Відношення діаметрів труб $D/d = 2$ (мал. 14). Визначити h – різницю свідчення пьезометрів.

19. Горизонтальна труба служить для відведення рідини \mathcal{J} в кількості Q з великого відкритого бака (мал. 15). Вільний кінець труби забезпечений краном. Визначити

ударне підвищення тиску в трубі перед краном, якщо діаметр труби d , довжина L , товщина стінки b , матеріал стінки – сталь. Кран закривається за час згідно із законом, що забезпечує лінійне зменшення швидкості рідини в трубі перед краном в функції часу.

20. Вода в кількості Q перекачується по чавунній трубі діаметром d , довжиною $l/3$ товщиною стінки δ . Вільний кінець труби забезпечений затвором. Визначити час закриття затвора при умові, щоб підвищення тиску в трубі внаслідок гідравлічного удару не перевищувало $\Delta p = 1 \text{ МПа}$. Як підвищиться тиск при миттєвому закритті затвора?

21. Визначити час закриття засувки, встановленої на вільному кінці сталого водопроводу діаметром d , довжиною $l/3$ товщиною стінки δ , при умові, щоб максимальне підвищення тиску у водопроводі було в три рази менше, ніж при миттєвому закритті засувки. Через скільки часу після миттєвого закриття засувки підвищення тиску розповсюдиться до перетину, що знаходиться на відстані $0,7l$ від засувки?

22. Відцентровий насос продуктивністю Q працює при частоті обертання n (мал. 16). Визначити допустиму висоту всмоктування, якщо діаметр всмоктуючої труби d , а її довжина l . Коефіцієнт кавітації в формулі Руднева прийняти рівним S . Температура води $t = 20^\circ\text{C}$. Коефіцієнт опору коліна $\xi = 0,2$. Коефіцієнт опору входу в трубу $\xi_{\text{ex}} = 1,8$. Еквівалентна шорсткість стінок труби $k_s = 0,15 \text{ мм}$.

23. Відцентровий насос подає воду в кількості Q з колодязя відкритий напірний бак по трубі діаметром d на геодезичну висоту H . Визначити коефіцієнт швидкості і коефіцієнт корисної дії насоса, якщо потужність на валу насоса N_e , частота обертання n , а сумарний коефіцієнт опору системи (мережі) $\xi = 12$.

24. Вода перекачується насосом із відкритого бака в розташований нижче резервуар B , де підтримується постійний тиск p_e , по трубопроводу загальною довжиною l діаметром d . Різниця рівнів в двох баках h (мал. 17). Визначити тиск, що створюється насосом для подачі в бак h витрати води Q . Прийняти сумарний коефіцієнт місцевих опорів $\xi = 6,5$. Еквівалентна шорсткість стінок трубопровода $k_e = 0,15 \text{ мм}$.

25. Визначити продуктивність напірного насоса (робочої точки) при подачі води у відкритий резервуар з колодязя на геодезичну висоту H по трубопроводу діаметром d , довжиною l з коефіцієнтом гідравлічного тертя $\lambda = 0,03$ і еквівалентною довжиною місцевих опорів $l_{\text{екв}} = 8 \text{ м}$.

Як змінюється подача напірного насоса, якщо частота обертання робочого колеса поменшає на 10%?

Дані, необхідні для побудови характеристики $Q-H$ відцентрового насоса:

Q	0	$0,2 Q_0$	$0,4 Q_0$	$0,6 Q_0$	$0,8 Q_0$	$1,0 Q_0$
H	$1,0 H_0$	$1,05 H_0$	$1,0 H_0$	$0,88 H_0$	$0,65 H_0$	$0,35 H_0$

26. Два однакових насоси працюють паралельно і подають воду у відкритий резервуар з колодязя на геодезичну висоту H по трубопроводу діаметром d , довжиною l , з коефіцієнтом гідравлічного тертя $\lambda = 0,03$ і сумарним коефіцієнтом місцевих опорів $\xi = 30$. Визначити робочу точку (подачу і напір) при спільній роботі насосів на мережу. Як зміняться сумарна подача і напір, якщо частота обертання робочого колеса одного з насосів збільшиться на 10% ? (Дані, необхідні для побудови характеристик $Q-H$, ті ж, що в задачі 25.)

27. Два однакових насоси працюють послідовно і подають воду у відкритий резервуар з колодязя на геодезичну висоту H_c . Визначити робочу точку (напір і подачу) при спільній роботі насосів на мережу, якщо коефіцієнт опору мережі (системи) $\xi = 1200$, а діаметр трубопровода d . Як змінюються сумарний напір і подача, якщо частота обертання робочого колеса одного з насосів збільшиться на 12% ? (Дані, необхідні для побудови характеристик $Q-H$, ті ж, що в задачі 25.)

28.

Визначити середній об'ємний коефіцієнт корисної дії, максимальну теоретичну подачу і ступінь нерівномірності подачі поршневого насоса подвійної дії з діаметром циліндра D , ходом поршня S і діаметром штока d при подвійних ходах в хвилину, що заповнює мірний бак місткістю W протягом t_c .

29.

Поршневий насос подвійної дії подає воду в кількості Q з колодязя у відкритий резервуар на геодезичну висоту H_c , по трубопроводу довжиною l , діаметром d ; коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda = 0,03$ і сумарний коефіцієнт місцевих опорів $\xi = 20$. Визначити діаметр циліндра і потужність електродвигуна, якщо відношення довжини ходу поршня до його діаметра $S:D = 1,0$; число подвійних ходів в хвилину n , відношення діаметра штока до діаметра поршня $d:D = 0,15$; об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{об} = 0,9$; повний коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,7$.

30. Поршневий насос простої дії з діаметром циліндра D , ходом поршня S і числом подвійних ходів в хвилину n і об'ємним ККД $\eta_{об} = 0,9$ подає робочу рідину в систему гідроприводу. При якій частоті обертання повинен працювати включений паралельно шестерний насос з початковим діаметром шестерень d_n , шириною шестерень b , числом зубів $z = 30$ і об'ємним ККД $\eta_{об} = 0,86$, щоб кількість рідини, що подається подвоїлась?

31.

Силовий гідравлічний циліндр (мал. 18) навантажений силою F і робить n подвійних ходів в хвилину. Довжина ходу поршня S , діаметр поршня D , діаметр штока d . Визначити тиск масла, потрібну подачу і середню швидкість поршня. Механічний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра $\eta_{мех} = 0,95$, об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{об} = 0,98$.

32. Переміщення поршнів гідроциліндрів з діаметром $D=25\text{ см}$ здійснюється по дачею робочої рідини ($\nu=1,5\text{ см}^2/\text{с}$, $\gamma=14000\text{ Н/м}^3$) по трубах I і 2 однакових еквівалентних довжини $l=20\text{ м}$ діаметром $d=5\text{ см}$ (мал. 19). Визначити силу F_2 , при якій швидкість переміщення другого поршня була б вдвічі більше швидкості першого поршня. Витрата в магістралі Q , перший поршень навантажений силою F_1 .

Вказівка. На переміщення поршнів витрачується однаковий сумарний натиск (вважаючи від точки А).

33. Переміщення поршнів гідроциліндрів з діаметром $D=20\text{ см}$, навантажених силами F_1 і F_2 , здійснюється по дачею мінерального масла по трубах I і 2 з однаковим діаметром $d=4\text{ см}$ (мал. 19). Сумарний коефіцієнт опору першого трубопроводу $\xi=18$. Яким повинен бути сумарний коефіцієнт опору другого трубопроводу, щоб при витраті Q в магістралі швидкості поршнів були однаковими?

Вказівка. На переміщення поршнів витрачується однаковий сумарний натиск, вважаючи від точки А.

34. Визначити корисну потужність насоса об'ємного гідроприводу, якщо зовнішнє навантаження на поршень силового гідроциліндра F , швидкість робочого ходу ν , діаметр поршня D_1 , діаметр штока D_2 (мал. 20). Механічний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра $\eta_{\text{мех}}=0,96$, об'ємний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра $\eta_{\text{об}}=0,97$. Загальна довжина трубопроводів системи l ; діаметр трубопроводів d ; сумарний коефіцієнт місцевих опорів $\xi_c=20$. Робоча рідина в системі – спиртоглицеринова суміш ($\gamma=12100\text{ Н/м}^3$; $\nu=1,2\text{ см}^2/\text{с}$).

Вказівка. На пір насоса витрачується на переміщення поршня, навантаженого силою F , і на подолання гідравлічних втрат в трубопроводах системи.

35. Визначити робочий напір і подачу насоса об'ємного гідроприводу якщо зусилля на шток силового гідроциліндра F , хід поршня S , число подвійних ходів в хвилину n , діаметр поршня D_1 , діаметр штока механічний коефіцієнт корисної дії гідроциліндра $\eta_{\text{мех}}=0,95$, об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{об}}=0,98$. Загальна довжина трубопроводів системи з урахуванням еквівалентної довжини місцевих опорів l , діаметр трубопроводів d (мал. 20). Робоча рідина в системі трансформаторне масло ($\gamma=8900\text{ Н/м}^3$, $\nu=9,0\text{ см}^2/\text{с}$).

Вказівка. Натиск насоса витрачується на переміщення поршня, навантаженого силою F , і на подолання гідравлічних втрат в трубопроводах системи.

36. Побудувати графік зміни швидкості переміщення поршня силового гідроциліндра в залежності від кута μ нахилу шайби регульованого аксиально-поршневого насоса (мал. 21). Межі зміни кута $\mu=0\dots 30^\circ$. Параметри гідроциліндра: діаметр поршня D_1 , діаметр штока $D_2=0,6$. Параметри насоса: $z=7$, $n=800\text{ об/хв}$, діаметр циліндрів d , діаметр кола центрів циліндрів $D=2,7d$. Об'ємні втрати не враховувати.

37. У об'ємному гідроприводі насос сполучений з гідромотором двоматрубамиз еквівалентною довжиною L діаметром d (мал. 22). Визначити потужність, що

втрачається в трубопроводі, і перепад тиску на гідромоторі, якщо корисна потужність насоса N_n втратарідин Q . Робоча рідина трансформатора не мастила.

38.

Визначити силу F , яку треба прикласти до хвостовика клапана розподільного пристрою об'ємного гідроприводу для відриву його від сидла, якщо зусилля затягування пружини $F_{пр}$, тиск в порожнині підведення рідини до клапана p_1 , в порожнині відведення рідини p_2 (мал. 23). Силитертя спокою і масу клапана не враховувати.

39. Визначити силу попереднього натягнення пружини диференціального запобіжного

(переливного) клапана об'ємного гідроприводу, при якій клапан спрацює і відкриє доступ масла до системи, як тільки тиск в системі досягне величини p_c (мал. 24).

Діаметри поршнів D_1 і D_2 діаметр їх загального штока d .

40. Користуючись характеристикою гідромуфти, визначити розрахунковий максимальний момент, що передаються нею, а також передавальне відношення, коефіцієнт корисної дії і ковзання при цих режимах, якщо активний діаметр гідромуфти D , частота обертання ведучого пасла n_1 , робоча рідина трансформатора не мастила. Як змінюються передавальний момент і потужність, якщо частоту обертання ведучого вала збільшити в дві рази?

Характеристика гідромуфти

$i = n_2/n_1$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
$\lambda, \text{хв}^2/\text{м}$	$60 \cdot 10^{-7}$	$56,5 \cdot 10^{-7}$	$51 \cdot 10^{-7}$	$43 \cdot 10^{-7}$	$32 \cdot 10^{-7}$	$24 \cdot 10^{-7}$	0

41.

Користуючись характеристикою, приведеною в задачі 40, визначити активний діаметр і побудувати зовнішню (моментну) характеристику гідромуфти, призначеної для роботи з асинхронним електродвигуном, що розвиває обертовий момент $M_{д.макс}$ при частоті обертання n_d . Робоча рідина мінеральне масло.

Вказівка. Активний діаметр може бути визначений порівнянням моментів поєднання режимів гідромуфти при $i = 0$ і електродвигуна $M_{д.макс}$.

42. Пневматичний силовий циліндр навантажений корисною силою F_n .

Довжина ходу

поршня S , надмірний тиск в мережі p , маса рухомих частин m . Визначити діаметр пневмоциліндра, спільне зусилля на поршень, швидкість переміщення поршня, час його переміщення за один подвійний хід, число подвійних ходів в хвилину, об'ємну витрату повітря і потужність, що розвивається поршнем пневмоциліндра.

ДОДАТОК

Додаток 1

Таблиця 1 Номера задач в контрольних роботах

Остання цифра шифру	В першій контрольній роботі				В другій контрольній роботі			
	0	1	7	10	19	22	28	31
1	2	8	11	20	23	29	32	35
2	3	9	12	21	24	30	33	36
3	4	7	13	19	25	30	36	37
4	5	8	14	20	26	29	35	38
5	6	9	15	21	27	28	34	39
6	1	7	16	19	22	30	32	34
7	2	8	17	20	23	28	33	35
8	4	9	18	21	24	29	31	36
9	6	8	13	20	25	29	34	37

Додаток 1

Таблиця 2. Числове значення величин
(тут і далі в таблиці показники пружинного манометра p_m –МПа; (вак.) – вакуум;
(надл.) – надлишковий тиск; (абс.) – абсолютний тиск)

№ задачі	Найменування величин і одиниці	Передостання цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Ж	Вода	Гас	Бензин	Мастило трансформаторне	Нафта	Мастило турбінне	Гліцерин	Спирт	Гас	Бензин
	p_m , МПа*	0,02 (вак.)	0,08 (надл.)	0,07 (абс.)	0,08 (абс.)	0,05 (вак.)	0,10 (абс.)	0,02 (вак.)	0,02 (надл.)	0,10 (абс.)	0,05 (надл.)
	H, м	5	6	7	8	6	5	5	8	7	6
	D, мм	100	200	300	120	140	160	180	200	180	100
	d, мм	50	100	140	60	70	80	90	100	90	80
2.	Ж	Нафта	Бензин	Гас	Вода	Мастило трансформаторне	Гліцерин	Вода	Гас	Мастило турбінне	Бензин
	H, м	10	20	30	40	30	20	10	50	45	30
	D, мм	300	200	100	300	140	160	180	200	180	160
	d, мм	150	100	50	150	70	90	80	90	100	90
3.	Ж	Мастило трансформаторне	Вода	Гліцерин	Вода	Мастило турбінне	Мастило трансформаторне	Вода	Мастило турбінне	Вода	Гліцерин
	R, Н	50	100	150	200	250	200	150	100	50	100
	H, м	2	1	700	2	3	1,5	2	100	1	1,5
	D, мм	500	600	180	600	500	400	350	650	300	200
	d, мм	120	150	1000	150	120	100	90	60	75	50
	a, мм	700	700	100	700	800	500	600	500	500	400

	b, мм	70	80		80	70	60	55		45	45
4.	Ж	Вода	Бензин	Гас	Вода	Масти ло трансф ормато рне	Гліцур ин	Нафта	Гас	Масти ло турбін не	Бензин
	P_m , МПа*	0,08 (надл.)	0,09 (абс.)	0,07 (абс.)	0,08 (надл.)	0,05 (надл.)	0,09 (абс.)	0,10 (абс.)	0,03 (надл.)	0,10 (абс.)	0,05 (надл.)
	P_v , МПа*	0,01 (вак.)	0,01 (вак.)	0,02 (абс.)	0,02 (ізб.)	0,03 (вак.)	0,03 (ізб.)	0,01 (вак.)	0,01 (ізб.)	0,02 (вак.)	0,02 (ізб.)
	a, мм	200	300	400	100	200	300	200	100	400	200
	h, мм	500	3000	1300	600	500	400	500	300	600	300
5.	Ж	Бензин	Масти ло турбін не	Гас	Вода	Гліцер ин	Масти ло трансф ормато рне	Вода	Гас	Бензин	Нафта
	H, мм	3	4	5	6	5	4	6	5	7	8
	D, мм	500	600	700	600	500	400	500	600	700	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6.	Ж	Нафта	Гас	Бензин	Масти ло трансф ормато рне	Вода	Масти ло турбін не	Гліцер ин	Вода	Гас	Бензин
	P_m , МПа*	0,5 (надл.)	0,4 (абс.)	0,3 (надл.)	0,8 (надл.)	0,4 (надл.)	0,2 (абс.)	0,6 (надл.)	0,4 (надл.)	0,7 (абс.)	0,6 (абс.)
	D, мм	1000	1500	2000	2500	2000	1500	1000	1500	2000	2500
	a, мм	700	900	1200	1500	1200	900	700	1000	1300	1500
7.	H, м	10	10	7	8	7	9	10	9	8	7
	h, м	4,5	4,5	3	3,5	3	4	4,5	4	3,5	3
	l, м	46	4,5	3	6	4	4	5,2	6,7	4,65	2
	d, мм	300	30	30	50	40	30	35	50	40	20
8.	Ж	Вода	Масти ло турбін не	Бензин	Гас	Гліцер ин	Вода	Масти ло трансф ормато рне	Вода	Бензин	Гліцер ин
	Q, л/с	4	8	0,7	1,5	2,5	10	6	7,5	8	6
	l, м	6	8	10	6	8	10	12	8	6	15
	d, мм	50	70	20	40	40	80	60	70	70	60
9.	Ж	Вода	Гас	Бензин	Масти ло трансф ормато рне	Вода	Масти ло турбін не	Гліцер ин	Нафта	Бензин	Гас
	F, Н	12400	27700	16700	12400	22000	5500	3100	1370	16700	8550
	D, мм	180	270	210	180	240	120	90	60	210	150
	d, мм	60	90	70	60	80	40	30	20	70	50
	l, мм	18	27	21	18	24	12	9	6	21	15
10.	Ж	Гас	Бензин	Вода	Гліцер ин	Масти ло індуст ріальне	Вода	Масти ло трансф ормато рне	Бензин	Вода	Гас
	Q, л/с	0,72	0,21	0,29	251,3	14,4	0,29	8,66	0,21	0,29	0,72
11.	Q, м ³ /с	0,259	0,285	0,306	0,330	0,352	0,376	0,400	0,424	0,447	0,470

	l, см h _t , см	259 30	315 40	366 50	407 60	446 70	179 30	224 40	264 50	300 60	334 70
12.	Ж d, мм l, мм	Гас 20 500	Масти ло верете нне 50 20	Вода 10 400	Масти ло верете нне 60 34	Гас 30 1710	Бензин 10 745	Вода 8 203	Гас 25 990	Вода 12 685	Масти ло трансф ормато рне 80 225
13.	F, Н D, мм d, мм a, мм	4·10 ⁻⁴ 200 10 45	9·10 ⁻⁴ 300 15 60	7·10 ⁻⁴ 250 12 55	11·10 ⁻⁴ 300 14 50	3·10 ⁻⁴ 200 16 70	7·10 ⁻⁴ 150 10 15	20·10 ⁻⁴ 350 15 20	2·10 ⁻⁴ 200 12 20	1·10 ⁻⁴ 200 14 25	2·10 ⁻⁴ 250 16 30
14.	H, м d, мм	6 30	5 50	4 70	5 90	6 70	5 50	4 40	8 60	7 80	6 70
15.	H, м d, мм	6 70	7 30	8 50	4 70	5 90	6 70	5 50	4 40	5 60	6 80
16.	Q, л/с H, м	2,5 3,4	3,1 5,2	3,8 7,5	4,4 10	5,0 13,5	5,6 17	6,2 21	7,0 25	7,5 30	8,1 35
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17.	d, мм D, мм h, см H, см	15 19 35 98	20 25 40 110	25 31 45 125	30 38 50 140	35 44 55 154	30 37 52 145	25 31 42 128	20 25 38 105	15 18,5 36 100	20 25 40 112
18.	v, м/с	2	2,5	3,0	1,5	2,3	2,8	1,6	3,5	3,2	3,0
19.	Ж Q, л/с d, мм l, м δ, мм t _{зак} , с	Бензин 0,2 16 20 2 0,5	Вода 10 55 1000 3 2,0	Мастило трансф орматорн е 0,5 22 50 2 0,7	Бензин 0,3 16 25 2 0,8	Глицер ин 0,2 16 20 2 0,6	Гас 0,2 18 25 3 0,7	Нафта 0,2 16 25 2 0,6	Мастило трансф орматорн е 0,1 10 10 2 0,2	Масти ло трансф ормато рне 0,5 20 50 2 0,6	Вода 15 70 1500 3 2,0
20.	Q, м ³ /хв d, мм l, м δ, мм	0,352 50 1200 7	1,41 100 1400 8,5	3,18 150 1600 9,5	5,66 200 2000 10,5	8,85 250 1500 11,5	12,7 300 1100 12,5	8,85 250 1300 11,5	5,66 200 1500 10,5	3,18 150 1700 9,5	1,41 100 1200 8,5
21.	d, мм l, м δ, мм	100 1900 7	150 1700 8	200 1850 8	250 1750 10	300 1450 12	250 1900 11	200 1600 10	150 1800 9	100 1500 8	50 2000 6
22.	Q, л/с d, мм l, м n, об/мин C	15 100 15 2860 1000	25 125 18 2850 1100	35 150 12 2740 1200	62 200 15 1470 800	30 150 14 2500 1000	22 125 13 2890 900	14 100 17 1475 1200	100 250 16 1450 800	53 200 20 1500 900	32 150 15 2000 1000
23.	Q, л/с H, м d, мм N _с , кВт n, об/хв	15 10 100 2,3 3000	25 8 125 3,2 2500	36 9 150 5,0 2000	63 20 200 17,3 1500	36 15 150 7,7 3000	25 12 125 4,4 3000	15 10 100 2,3 2000	25 5 125 2,3 2800	36 8 150 4,6 3000	5 16 100 3,4 2700
24.	P _в , Мпа l, м d, мм h, м	0,17 (абс.) 90 100 2,0	0,075 (надл.) 112 125 2,5	0,18 (абс.) 225 250 3,0	0,18 (абс.) 180 200 3,5	0,08 (надл.) 135 150 4,0	0,02 (вак.) 113 125 1,0	0,02 (надл.) 90 100 5,0	0,025 (вак.) 225 250 0,5	0,03 (вак.) 180 200 0	0,09 (абс.) 135 150 2,0

	Q, л/с	15	25	98	63	36	24	14	100	62	35
25.	H _D , м	30	45	6	30	30	60	60	6	15	15
	d, мм	200	100	250	100	50	80	100	200	70	300
	l, м	6	25	40	15	60	7	36	8	12	280
	Q ₀ , м ³ /с	0,7	0,1	0,3	0,1	0,01	0,1	0,1	0,3	0,03	0,3
	H ₀ , м	100	150	20	100	100	200	200	20	50	50
26.	H _D , м	24	30	45	40	60	30	25	40	50	60
	d, мм	180	185	180	180	200	170	130	170	190	250
	l, м	185	190	185	190	210	175	125	175	200	260
	Q ₀ , м ³ /с	0,05	0,06	0,07	0,065	0,10	0,05	0,025	0,06	0,08	0,15
	H ₀ , м	80	100	150	130	200	100	80	140	160	200
27.	H _D , м	60	24	30	45	40	60	30	25	40	50
	d, мм	260	187	195	190	190	210	180	135	180	200
	Q ₀ , м ³ /с	0,15	0,05	0,06	0,07	0,065	0,10	0,05	0,025	0,06	0,08
	H ₀ , м	200	80	100	150	130	200	100	80	140	160
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.	D, мм	200	300	250	100	200	300	160	250	300	280
	S, мм	150	250	200	60	250	300	100	250	350	250
	d, мм	50	75	62,5	25	50	75	40	62,5	75	70
	n, об/хв	50	60	70	60	80	60	50	75	60	90
	W, м ³	0,52	1,45	1,13	0,077	0,86	3,5	0,2	1,76	3,7	3,0
t, с	80	50	60	100	50	100	80	70	90	80	
29.	Q, л/с	30	50	65	150	200	150	100	60	120	200
	H ₀ , м	10	15	20	15	10	25	20	30	35	25
	l, м	20	25	30	35	40	35	30	25	20	40
	d, мм	100	150	200	250	300	250	200	150	250	300
	n, об/хв	100	90	80	70	60	90	80	70	60	100
30.	D, мм	80	90	100	110	120	70	90	100	110	80
	S, мм	200	260	160	220	180	240	280	300	320	340
	V, хід/хв.	60	75	50	65	55	70	80	85	90	95
	d _H , мм	64	72	80	88	96	56	72	80	88	64
	b, мм	50	65	40	55	45	60	70	75	80	85
31.	F, Н	90000	80000	70000	60000	50000	60000	70000	80000	90000	10000
	S, см	100	115	120	100	110	105	120	130	105	112
	n, об/хв.	12	10	20	11	10	20	25	20	10	15
	D, мм	145	150	130	120	110	120	130	140	145	155
	d, мм	50	50	45	40	40	40	45	45	50	52
32.	F ₁ , Н	5500	8250	11000	13750	16500	4130	6900	9600	12400	15100
	Q, л/с	6	9	12	15	18	4,5	7,5	10,5	13,5	16,5
33.	F ₁ , Н	7000	9500	12000	10500	12400	20700	20500	20700	28700	30700
	F ₂ , Н	3230	1350	5250	2140	2000	80000	5400	3000	8000	7000
	Q, л/с	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
34.	F, Н	50000	60000	70000	80000	90000	100000	90000	80000	70000	60000
	v, см/с	4	9,5	12,5	8,6	3,5	5,6	3,4	11	8	5,3
	D ₁ , мм	110	120	130	138	145	155	145	138	130	120
	D ₂ , мм	36	40	44	46	48	52	48	46	48	40
	l, м	10	15	12	10	8	14	12	10	8	12
d, мм	15	20	25	22	14	20	15	25	20	15	
35.	F, Н	60000	70000	80000	90000	100000	90000	80000	70000	60000	50000
	S, мм	150	120	220	100	112	105	130	150	145	120
	n, об/хв.	10,6	20	10	10	15	10	20	25	20	10
	D ₁ , мм	120	130	138	145	155	145	138	130	120	110
	D ₂ , мм	40	43	46	48	52	48	46	44	40	36

	l, м d, мм	25 15	20 20	22 25	25 15	18 20	16 14	20 22	24 25	30 20	20 15
36.	D ₁ , мм d, мм	95 20	135 25	175 30	225 35	275 40	112 22	210 34	255 38	325 45	235 36
37.	N ₁ , кВт Q, л/с l, м d, мм	5 0,5 36 18	6 0,62 40 20	7,5 0,75 44 22	10 0,98 50 25	12 1,24 56 28	14 1,4 60 30	5 0,5 36 18	10 1,0 50 25	8 0,96 44 22	10 1,06 52 26
38.	F _{пр} , Н p ₁ , МПа p ₂ , МПа D ₁ , мм D ₂ , мм d, мм	300 0,6 0,4 50 40 10	350 0,7 0,5 55 45 12	400 0,8 0,6 45 35 11	250 0,5 0,3 40 30 10	420 0,85 0,55 50 40 12	320 0,62 0,35 56 45 11	300 0,6 0,3 48 38 12	350 0,7 0,4 50 42 10	400 8,0 0,6 55 45 12	450 0,85 0,65 45 35 11
39.	p _c , МПа D ₁ , мм D ₂ , мм d, мм	0,255 100 50 25	0,315 90 45 20	0,4 80 40 20	0,52 70 35 18	0,71 60 30 10	0,52 70 35 16	0,4 80 40 15	0,315 90 45 20	0,255 100 50 25	1,0 50 25 12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40.	D, см n, об/хв.	440 1500	420 2000	500 1500	450 1200	440 2200	430 1800	420 1400	460 1000	480 1300	500 1600
41.	M _{макс.} , Н·м n _{д.} , об/хв	300 2200	350 1100	250 1100	400 2200	300 1100	350 2200	250 2200	400 2200	270 1100	280 2200
42.	F _{пр} , Н S, мм p _{нал.} , МПа m, кг	14500 200 0,45 80·10 ⁴	1500 220 0,45 85·10 ⁴	1400 240 0,5 75·10 ⁴	14800 250 0,45 78·10 ⁴	16000 300 0,55 90·10 ⁴	17000 180 0,4 70·10 ⁴	17500 300 0,6 74·10 ⁴	15200 280 0,58 85·10 ⁴	18000 240 0,45 70·10 ⁴	15800 200 0,5 82·10 ⁴

Додаток 2

Питома вага γ і густина ρ рідини при $t=20^{\circ}\text{C}$

Назва	γ , Н/м ²	ρ , кг/м ³
Бензин авіаційний	7250 ... 7350	739 ... 751
Вода прісна	9790	998,2
Гліцерин безводний	12260	1250
Керосін	7770 ... 8450	792 ... 840
Мастило касторове	9250	970
Мастило мінеральне	8600 ... 8750	877 ... 892
Нафта	8340 ... 9320	850 ... 950
Ртуть	132900	13547
Спирт етиловий безводний	7740	789,3
Мастило трансформаторне	8870 ... 8960	904 ... 915
Мастило турбінне	9200 ... 9300	940 ... 952

Додаток 3

Кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини ν при $t=20^{\circ}\text{C}$

Рідина	ν, cm^2/c
Бензин авіаційний	0,0073
Керосін Т-1	0,025
Вода	0,010
Ртуть	0,0016
Гліцерин	8,7
Повітря	0,149
Мастило трансформаторне	0,3
Мастило індустріальне (веретенне)	0,5

Додаток 4

Тиск насичених парів, МПа (абс.)

Речовина	Температура, $^{\circ}\text{C}$				
	20	40	60	80	10
Бензин	0,0163	0,0332	0,056	0,1	–
Гас	0,0035	0,0058	0,0075	0,0012	0,02
Вода	0,0033	0,008	0,02	0,048	0,1
Спирт	0,008	0,02	0,049	–	–

Додаток 5

Модуль пружності рідини $t=50^{\circ}\text{C}$, МПа

Рідина	Модуль пружності
Вода	2100
Нафта	1300
Гас	1400
Ртуть	25100
Турбінне мастило	1750
Спирт	1000
Гліцерин	4150

Додаток 6

Модуль упру гості металів, МПа
 Сталь $2 \cdot 10^5$
 Чавун 10^5

Додаток 7

Рисунки до задач

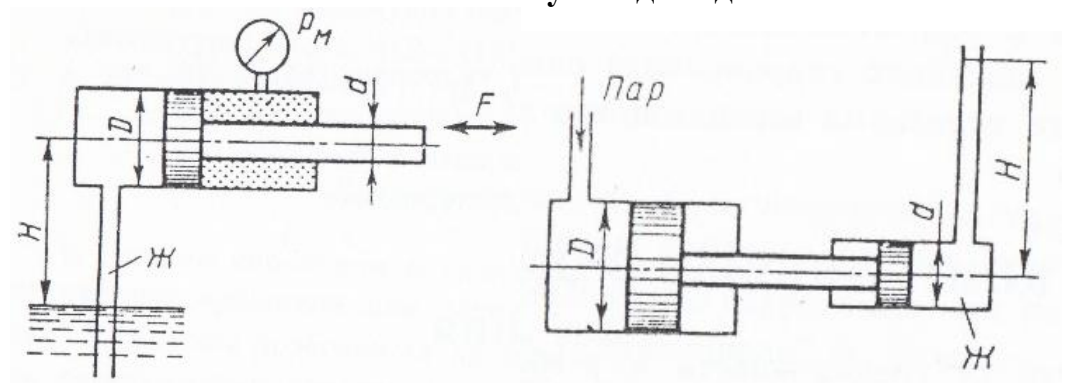


Рис. 1

Рис. 2

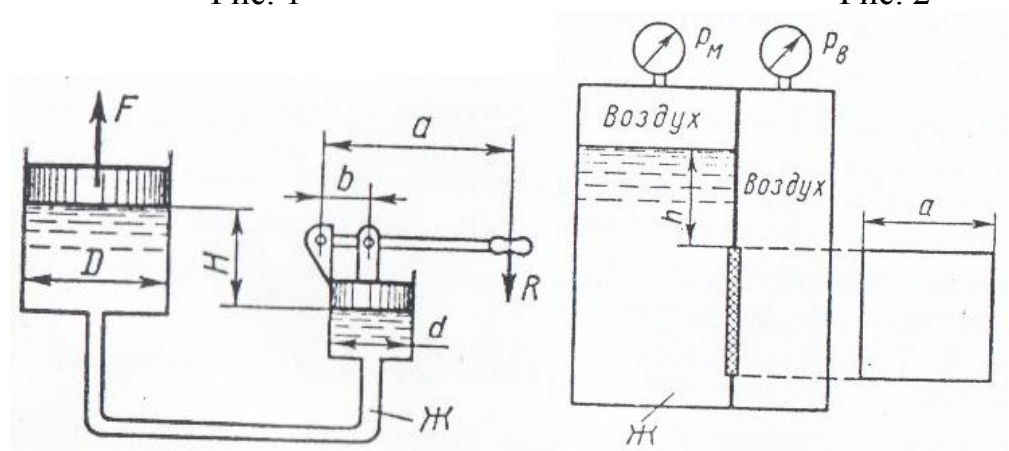


Рис. 3

Рис. 4

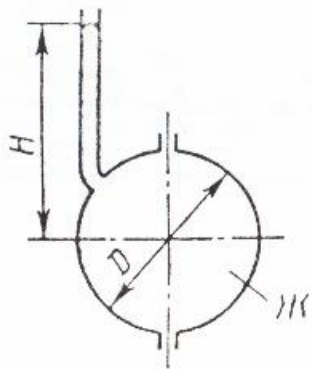


Рис. 5

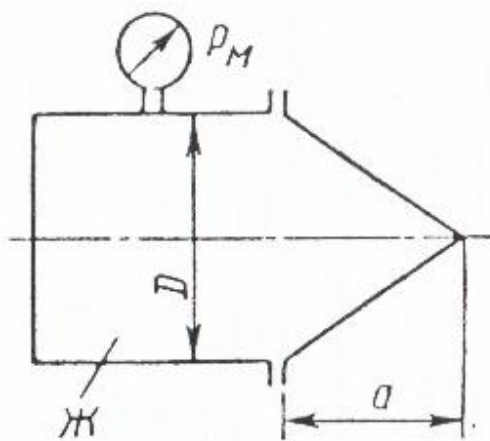


Рис. 6

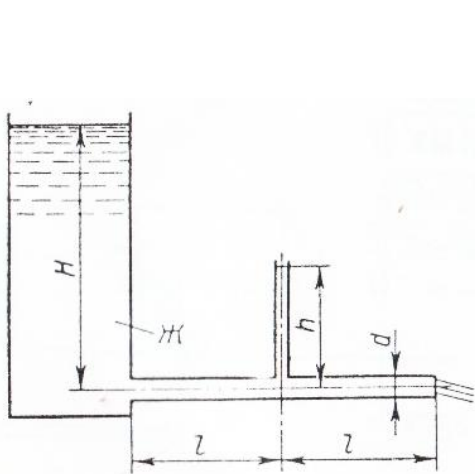


Рис. 7

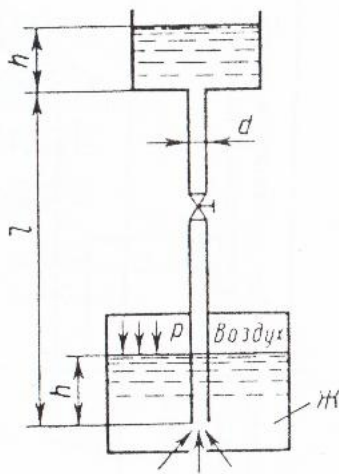


Рис. 8

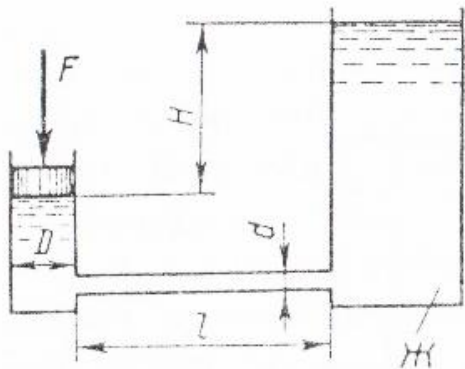


Рис. 9

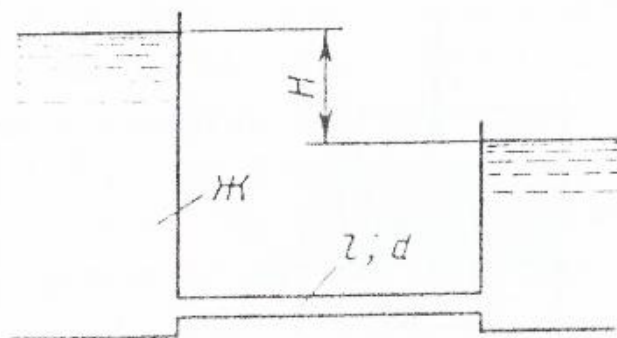


Рис. 10

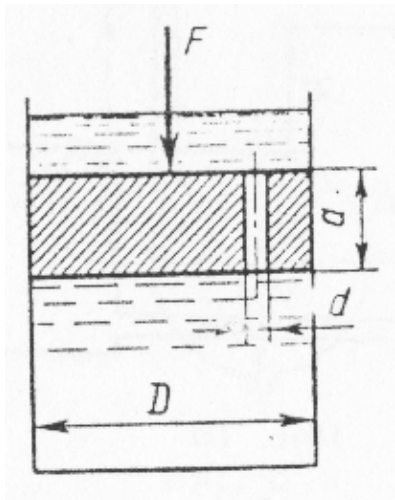


Рис. 11

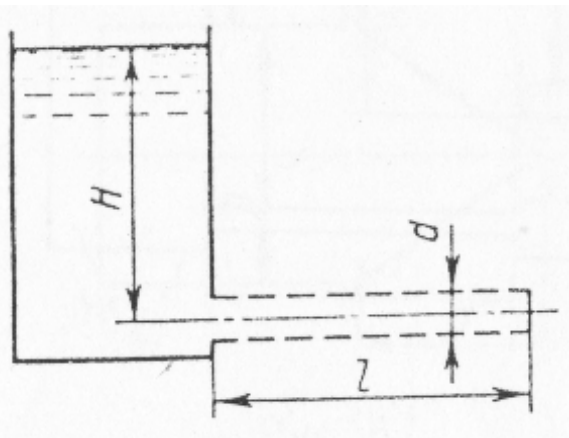


Рис. 12

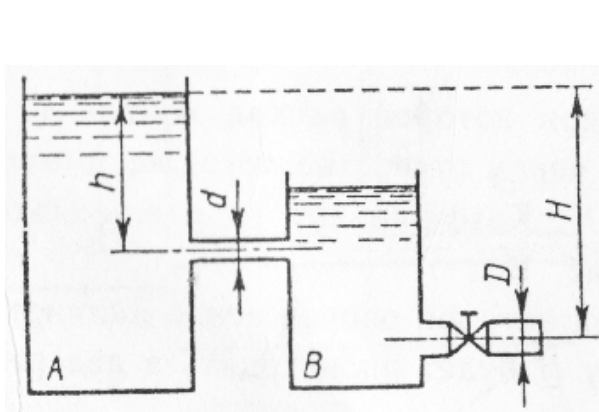


Рис. 13

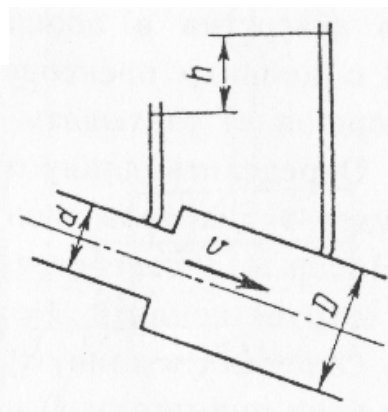


Рис. 14

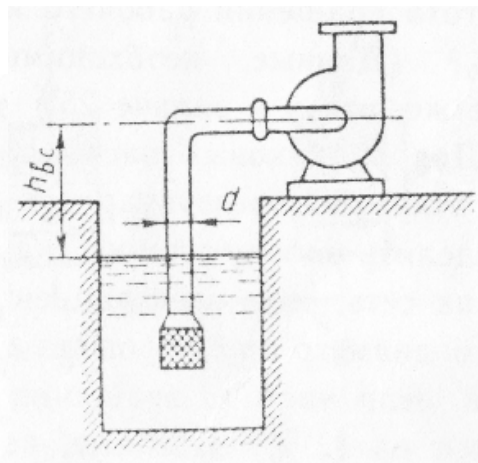
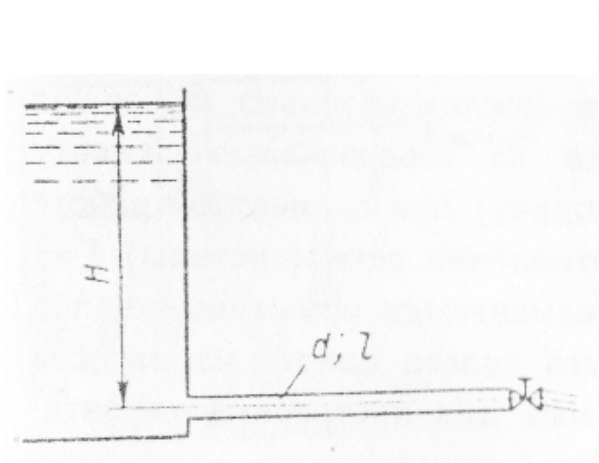


Рис. 15

Рис. 16

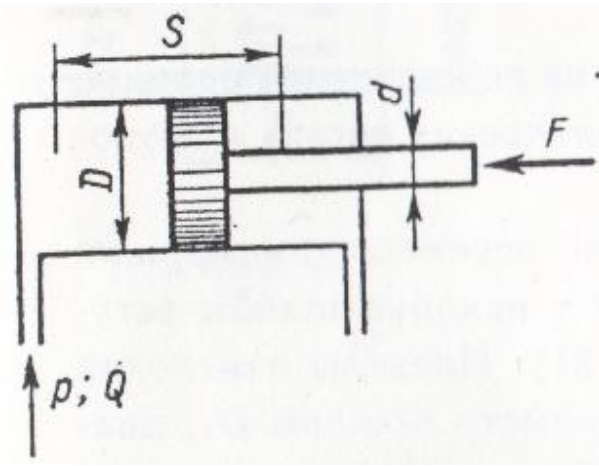
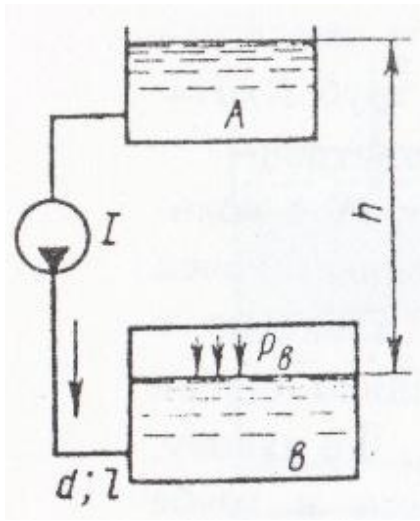


Рис. 17

Рис. 18

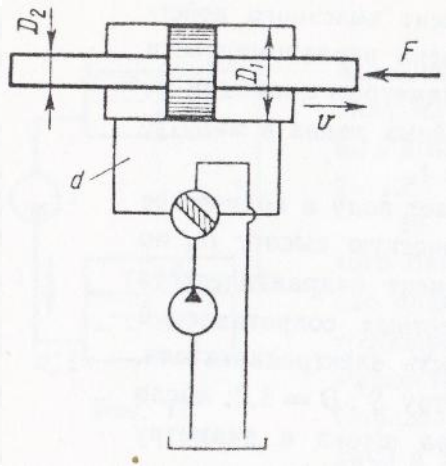
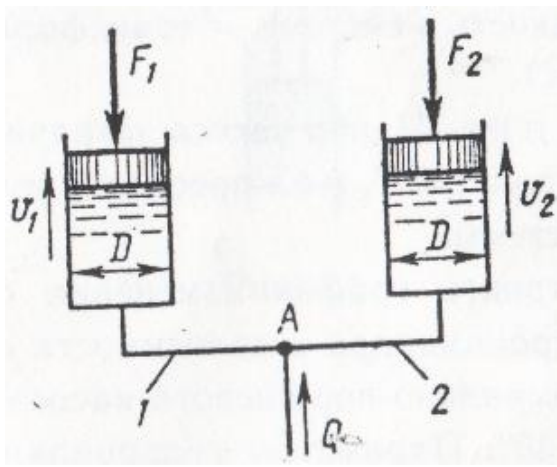


Рис. 19

Рис. 20

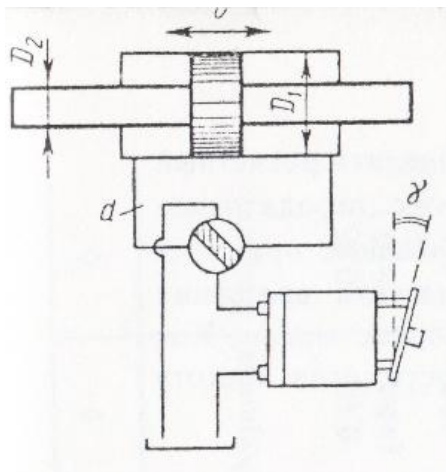


Рис. 21

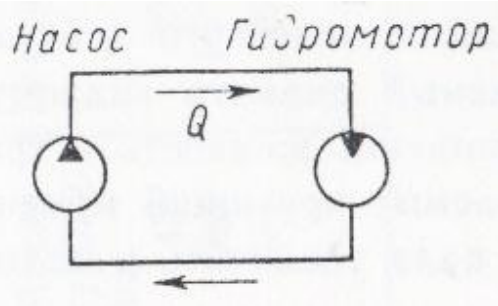


Рис. 22

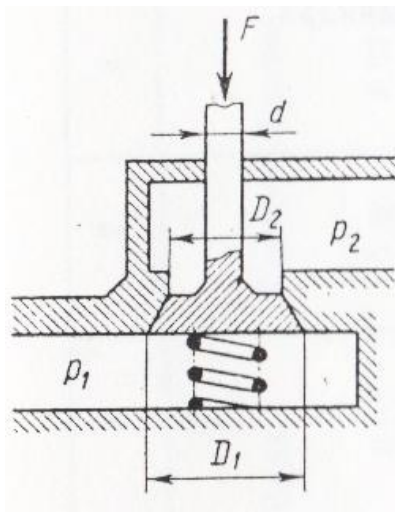


Рис. 23

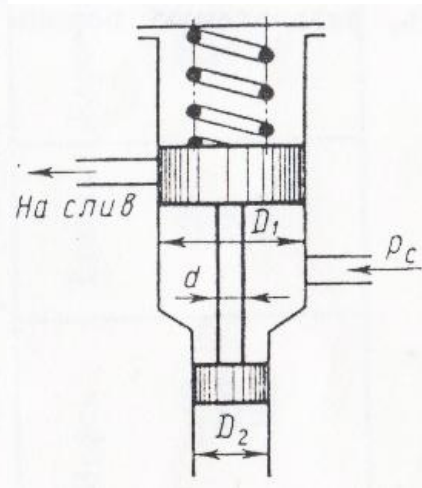


Рис. 24

Навчальне видання

ГІДРАВЛІКА

Контрольні завдання та методичні рекомендації

Укладачі: **Пастушенко** Андрій Сергійович
Стрельцов Володимир Вадимович
Храмов Микита Сергійович

Формат 60x84 1/16. Ум. Друк. Арк. ____
Тираж ____ прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013