МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені Володимира Даля

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з курсу

«ГІДРОМАШИНИ, ГІДРОПНЕВМОПРИВОДИ ТА ГІДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА»

*для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»*

*(Електронне видання)*

|  |
| --- |
| ЗАТВЕРДЖЕНО  на засіданні кафедри  машинобудування та прикладної механіки  Протокол № 4 від 14.04.2021 р. |

Сєвєродонецьк 2021

УДК 621 : 531 (076)

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Гідромашини, гідропневмоприводи та гідропневмоавтоматика» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / укладач І.Д. Чернікова – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021 – 32 с.

Основна частина методичних вказівок відведена прикладам розв'язання типових задач, причому їх розбір проведено настільки детально, щоб студент міг зрозуміти метод вирішення, не вдаючись до допомоги викладача. На початке кожного параграфа наводяться лише основні визначення та формули, необхідні для розуміння завдань.

Методичні вказівки повинні допомогти студентам оволодіти методами вирішення типових задач з гідравліки.

Методичні матеріали розраховані на студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

|  |  |
| --- | --- |
| Укладач: | І.Д. Чернікова, ст. викл. |
| Рецензент: | О.В. Єпіфанова, к.т.н., доц. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ВСТУП | | 5 |
| 1 | ГІДРАВЛІКА | 6 |
| 1.1 | Фізичні властивості рідин | 6 |
| 2 | ГІДРОСТАТИКА | 8 |
| 2.1 | Гідростатичний тиск | 8 |
| 3 | ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ | 10 |
| 3.1 | Основні поняття про рух рідини. Рівняння витрату (нерозривності руху) | 10 |
| 3.2 | Рівняння Бернуллі | 14 |
| 4 | ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР | 19 |
| 5 | ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ | 23 |
| 5.1 | Розрахунок простих трубопроводів постійного перетину | 23 |
| 5.2 | Розрахунок простих об’ємних гідроприводів | 25 |
| РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА | | 31 |

**ВСТУП**

При вивченні курсу «Гідромашини, гідропневмоприводи і гідропневмоавтоматика» найбільші труднощі для студентів пов'язані з рішенням задач. Саме ця практична частина курсу в найбільшій мірі сприяє розвитку інженерного мислення, свідомого оволодіння курсом, вироблення навичок застосування теоретичних відомостей до вирішення конкретних інженерних задач.

Основна частина методичних вказівок відведена прикладам розв'язання типових задач, причому їх розбір проведено настільки детально, щоб студент міг зрозуміти метод вирішення, не вдаючись до допомоги викладача.

На початке кожного параграфа наводяться лише основні визначення та формули, необхідні для розуміння завдань.

Методичні вказівки повинні допомогти студентам оволодіти методами вирішення типових задач з гідравліки.

**1 ГІДРАВЛІКА**

**1.1 Фізичні властивості рідин**

**Рідина** - фізичне тіло, що володіє плинністю, здатністю змінювати свою форму під дією як завгодно малих сил. Основними характеристиками рідин є щільність, стисливість, теплове розширення, в'язкість.

1. Щільність однорідної рідини – це відношення її маси *m* до займаного обсягу *V*:

ρ =

Одиниця щільності з СІ – кг / м3. Значення щільності деяких рідин наведені в дод. 1.

2. Стисливість - властивість рідини змінювати свій об'єм під дією тиску. Вона враховується коефіцієнтом об'ємного стиснення *βρ*, що представляє собою відносну зміну об'єму рідини, що припадає на одиницю тиску:

 (1.2)

де Δ*V* - зменшення обсягу при збільшенні тиску на Δ*p*, *V*0 - початковий обсяг рідини. Одиниця виміру *βρ* – Па-1. Коефіцієнт об'ємного стиснення *βρ* пов'язаний з об'ємним модулем пружності *Е* співвідношенням:

 (1.3)

Значення коефіцієнта об'ємного стиснення *βρ* для деяких рідин наведені в дод. 1.

3. Розширення рідини характеризується температурним коефіцієнтом об'ємного розширення, що представляє собою відносну зміну об'єму рідини при зміні температури на 1 *℃*:

 (1.4)

де Δ*t* - зміна температури рідини.

4. В'язкість – це властивість рідини чинити опір деформації зсуву. Воно проявляється при русі рідини. Сила тертя між шарами рідини

 (1.5)

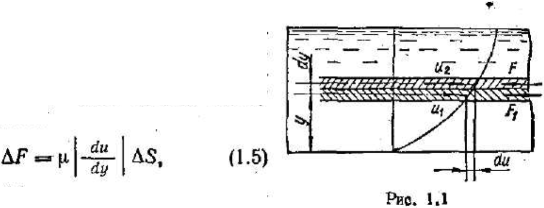
 де μ – коефіцієнт пропорційності, званий динамічною в'язкістю, *du* - приріст швидкості, відповідне збільшенню координати *dy* (рис. 1.1), Δ*S* - площа поверхні дотику шарів.

Рисунок 1.1

Дотичне напруження в рідині

 (1.6)

В СІ динамічна в'язкість вимірюється в паскаль-секундах (Па‧с).

Поряд з динамічною в'язкістю вводиться поняття кінематичної в'язкості:

 (1.7)

Вона вимірюється в м2 / с, або в мм2 / с.

**ПРИКЛАДИ**

1.1. Визначити щільність рідини, отриманої змішуванням 10 л рідини щільністю ρ1 = 900 кг / м3 і 20 л рідини щільністю ρ2 = 870 кг / м3.

*Рішення*. Щільність суміші знаходимо шляхом ділення її маси на обсяг:



1.2. Визначити підвищення тиску, при якому початковий обсяг води зменшиться на 1%.

*Рішення*. З формули (1.3) знаходимо



де за умовою задачі відносне зменшення обсягу , а коефіцієнт об'ємного стиснення для води  Отже, шукане підвищення тиску



**2 ГІДРОСТАТИКА**

**2.1 Гідростатичний тиск**

**Гідростатика** - це розділ гідравліки, в якому вивчаються закони рівноваги рідини і застосування цих законів для вирішення практичних завдань.

**Гідростатичним тиском** в точці називається напруга стиснення в ній, рівна

,

де  – елементарна площадка, яка містить данну точку;  – нормальна стискаюча сила, що діє на цю площадку.

Гідростатичний тиск направлено по нормалі до площадки, в даній точці в усіх напрямках однаково і залежить від положення точки в спочиваючій рідині.

Одиницею тиску в системі СІ є паскаль (Па):

1 Па = 1 Н/м2 = 10-3кПа = 10-6 МПа

Рівновага рідини описується диференціальними рівняннями Ейлера, в результаті перетворення яких може бути отримано основне рівняння рівноваги в диференціальної формі

, (2.1)

де *dp* – повний диференціал тиску; *X, Y, Z* – проекції прискорення масових сил на координатні осі; *dx, dy, dz* – збільшення координат.

Якщо на рідину діє тільки сила тяжіння і вісь спрямована вертикально вгору, *то X = 0, Y = 0, Z = -g*, і після інтегрування рівняння (2.1) отримуємо основне рівняння гідростатики:

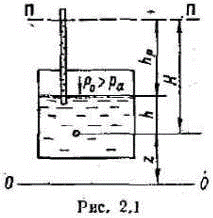
 (2.2)

Рисунок 2.1

де *р* – тиск в точці, розташованій на висоті *z* від горизонтальної площини порівняння О - О′ (рис.2.1).

Повний (абсолютний) гідростатичний тиск в будь-якій точці рідини

, (2.3)

де p0 – тиск на вільній поверхні; *ρgh –* вага стовпа рідини висотою *h* з площею поперечного перерізу, що дорівнює одиниці (*h* – глибина занурення точки).

Поверхні рівня (поверхні рівного тиску) в даному випадку є горизонтальні площини. Дійсно, з рівняння (2.1) при *p* = *const*, *dp* = 0, *X* = 0, *Y* = 0, *Z* = -*g* отримуємо

. (2.4)

Надмірним або манометричним тиском називається різниця між абсолютним і атмосферним тиском *pа*:

. (2.5)

Вакуум – це недолік тиску до атмосферного

. (2.6)

Величини

 (2.7)

та

 (2.8)

називаються відповідно п’єзометричною та вакуумметричною висотами

Площина П – П′, у всіх точках якої тиск дорівнює атмосферному, називається п′єзометричною площиною. Якщо посудина відкрита, то п′єзометрична площина збігається з вільною поверхнею рідини. Для закритої посудини п′єзометрична

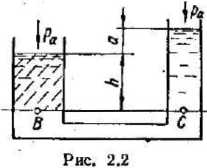
площина може розташовуватися і вище вільної поверхні рідини (при *р0* > *ра*) і нижче її (при *р0* < *ра*). Надмірне (манометричний) тиск в будь-якій точці рідини



де *H* – глибина занурення точки під п′єзометричною площиною.

**ПРИКЛАДИ**

2.1 У сполучені посудини налиті вода () і бензин (рис. 2.2). Визначити щільність бензину, якщо висота стовпа води *h* = 150 мм, а різниця рівнів рідини в судинах *а* = 60 мм.

*Рішення.* З рівняння (2.2) випливає, що у всіх точках горизонтальної площини, яка проходить в однорідній рідині, гідростатичний тиск буде однаковим. Отже, *рв* = *рс*, але

рв = ра + ρgh,

а

Рисунок 2.2

рс = ра + ρ1g (h + a),

де ρ1 – щільність бензину. Прирівнюючи праві частини виразів для тиску рв і рс, отримуємо

*pa+ρgh=pa+ρ1g(h+a),*

звідки  кг/м3.

**3 ОСНОВИ ГІДРОДИНАМІКИ**

**3.1 Основні поняття про рух рідини. Рівняння витрату (нерозривності руху**)

Рух рідини може бути усталеним або несталим, рівномірним або нерівномірним, напірним або безнапірним, плавно мінливим або різко мінливим, ламінарним або турбулентним.

Сталим називається такий рух рідини, при якому швидкість і тиск в будь-якій її точці з часом не змінюються. При несталому русі швидкість і тиск рідини змінюються в часі.

Усталений рух називається рівномірним, якщо живі перетини потоку, середні швидкості і місцеві швидкості у відповідних точках всіх живих перетинів однакові. В іншому випадку рух називається нерівномірним.

Напірним називається такий рух рідини в закритому руслі, при якому потік не має вільної поверхні, а тиск відрізняється від атмосферного. При безнапірному русі рідина має вільну поверхню, тиск у всіх точках якої дорівнює атмосферному.

Трубчаста поверхня, яка утворена лініями струму, що проведені через всі крапки нескінченно малого замкнутого контуру в рідині, який рухається, називається трубкою струму. Частина потоку, що міститься усередині трубки струму, називається елементарною цівкою. Потік – це сукупність елементарних цівок.

Живим перерізом називають поверхню всередині потоку, яка нормальна в кожній точці до відповідної лінії струму. Частина периметра живого перетину, який стикається з твердими стінками, називається змоченим периметром. Відношення площі живого перетину S до змоченого периметру П називається гідравлічним радіусом:

. (3.1)

Для круглої труби при напірному перебігу *R* = *d/4*, або *d* = *4R*. Гідравлічний діаметр

*dT=4R.* (3.2)

Наприклад, для напірного патока в трубі прямокутного поперечного перерізу (*b*‧*h*) гідравлічний радіус і гідравлічний діаметр відповідно рівні:

, .

Об'ємною витратою називається кількість рідини, що проходить через живий перетин потоку в одиницю часу. Він може бути визначений об'ємним способом

, (3.3)

де *V* – об′єм мірного бака, *Т* – час його наповнення, і може бути обчисленим за формулою

**, (3.4)

де *dS –* площа перерізу елементарної площадки, *u* – місцева швидкість в центрі ваги цього майданчика.

Середньою швидкістю *v* називається така фіктивна швидкість, яка однакова для всіх точок живого перерізу, при якому витрата підраховується за формулою

 (3.5)

та дорівнювала би фактичним витратам, підрахованим по (3.4):

. (3.6)

При усталеному русі рідини витрата через будь-яку живу перетину потоку однакова

*Q=v1S1=v2S2=…=vnSn=const,* (3.7)

де *v1*, *v2*, ..., *vn* – середні швидкості, *S*1, *S*2, ..., *S*n – площі живих перерізів.

Вираз (3.7) називається рівнянням витрати, або рівнянням нерозривності. З нього випливає, що середні швидкості обернено пропорційні площі живих перерізів:

. (3.8)

**ПРИКЛАДИ**

3.1 Визначити витрату, середню і максимальну швидкість в поперечному перерізі трубопроводу діаметром *d* = 250 мм, якщо розподіл місцевих швидкостей по перетину описується рівнянням *u* = 50( - *r2*),, де r0 = 0,5*d* – внутрішній радіус труби, *r* – відстань, м, від осі труби до точки, в якій обчислюється швидкість *u*. На якій відстані від стінки труби місцева швидкість дорівнює середній швидкості?

*Рішення.* Для обчислення витрати рідини скористаємося формулою (3.4). Елементарну площадку виберемо у вигляді кільця радіуса *r* і шириною *dr* (швидкості у всіх її точках однакові):

*dS = 2πrdr.*

Витрата рідини – обсяг епюри швидкостей (рис.3.1):

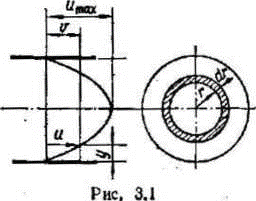


Рисунок 3.1

Середню швидкість знаходимо з (3.5):



Максимальна швидкість на осі труби (r = 0)



Для визначення відстані r1 від осі труби до точок, в яких місцева швидкість дорівнює середній, скористаємося виразом v = u, або *v* = 50 (*r*0 – *r*1), з якого



3.2 Подача шестерінчастого насоса об'ємного гідроприводу (рис. 3.2) *Q* = 80 *л/хв*. Підібрати діаметри всмоктуючої, напірної і зливної гидроліній, приймаючи такі розрахункові швидкості: для всмоктуючої гідролінії – *v*вс = 0,6 ... 1,4 *м/с*, для напірної – *v*н = 3,0 ... 5,0, для зливної – *v*c = 1,4 ... 2,0 *м/с*.

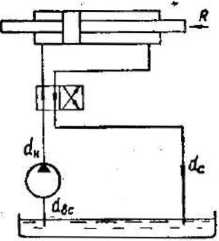
*Рішення*. Знаючи рекомендоване значення швидкості течії рідини і її витрата, діаметр трубопроводу можна визначити з формули (3.5):

Рисунок 3.2

Приймемо середні значення розрахункових швидкостей: і обчислимо внутрішні діаметри труб при Q = 80 *л/хв* = 0,0013 *м3/с:*

 м=41 мм,

 м =21 мм,  м= 32 мм.

Округлимо ці результати до стандартних значень (див. дод. 4): *d*BC = 42 *мм*, *d*H = 20 *мм*, *d*C = 32 *мм* (товщина стінок *мм*).

Дійсні швидкості течії для прийнятих діаметрів труб: *v*0 = 1,7 *м/с* (розрахунковий діаметр дорівнює стандартному),

 м/с;  м/с.

**3.2 Рівняння Бернуллі**

3.2.1 Для двох перетинів потоку в'язкої рідини, при плавно змінючому усталеному русі, рівняння Бернуллі має вигляд

,

де *v*1 і *v*2 – середні швидкості відповідно в першому і другому перетинах; *р*1 і *р*2 – тиск; *z*1 і *z*2 – відстані від довільної горизонтальної площини порівняння до центрів перетину.

З енергетичної точки зору член *αv*2/2 являє собою питому (віднесену до одиниці маси рідини) кінетичну енергію, сума  – питому потенційну енергію рідини, а *ghп* – втрату питомої енергії між перетинами.

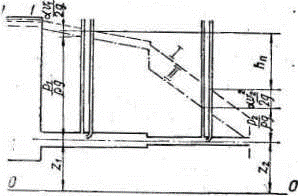
Рівняння Бернуллі можна записати і в іншому вигляді:

. (3.9)

З геометричної точки зору складові рівняння Бернуллі є наступними: *z* - висота, на якій розташовується центр живого перетину над площиною порівняння О - О′ (рис. 3.3),  – п′єзометрична висота, яку можна виміряти пьезометричною трубкою,  – висота швидкісного напору, рівна різниці рівнів в трубках повного і статичного напорів.

Суму висот



називають повним напором. На рис. 3.3 показана діаграма рівняння Бернуллі, де I – напірна лінія, або лінія повного напору; II – п′єзометрична лінія, або лінія вимірювання п′єзометрічних висот.

Гідравлічний ухил – зміна повного напору на одиницю довжини:

 (3.10)

П'єзометричний ухил - це зміна п'єзометричного напору на одиницю довжини:

Рисунок 3.3

 (3.11)

Коефіцієнт  являє собою відношення дійсної кінетичної енергії до кінетичної енергії, підрахованої по середній швидкості. При турбулентному режимі руху  1, при ламінарному в круглій трубі =2.

3.2.2 За допомогою рівняння Бернуллі (3.9) вирішуються багато завдань практичної гідравліки. Для цього вибираються два перетину потоку так, щоб в одному з них величини *z*, *p* і *v* були відомі, а в другому невідома була лише одна величина. Потім вибирається горизонтальна площина порівняння. Її доцільно провести через центр одного з вибраних перетинів, тоді *z*1 або z2, дорівнюватимуть нулю. Після спрощення рівняння Бернуллі, записаного для вибраних перетинів, знаходять невідому величину (*p*, *v* або *z*).

При двох невідомих крім рівняння Бернуллі використовується також рівняння нерозривності руху (3.7).

3.2.3 У разі відносного руху рідини, коли сам канал переміщається в просторі, рівняння Бернуллі має вигляд

, (3.12)

де *w*1 і *w*2 – середні швидкості рідини в перетинах 1 - 1 і 2 - 2 щодо стінок каналу,  – інерційний напір (робота сил інерції, віднесена до одиниці ваги рідини), інші позначення – ті ж, що і в п. 3.2.2.

При прямолінійній рівноприскореному русі каналу інерційний натиск

, (3.13)

де *l*a – проекція ділянки русла, укладеного між перетинами 1 - 1 і 2 - 2, на напрям руху, *а* – прискорення русла.

При обертанні каналу навколо вертикальної осі з постійною швидкістю

, (3.14)

де *w* – кутова швидкість, *r*1 і *r*2 – відстань центрів тяжіння перетинів 1 - 1 і 2 - 2 від осі обертання, *u*1 і *u*2 – швидкості центрів тяжіння перетинів в обертальному русі.

**ПРИКЛАДИ**

3.3 По горизонтальній трубі діаметром *d*1 = 100*мм*, що має звуження *d*2 = 40*мм*, рухається вода (витрата *Q* = 6 *л/с*). Визначити абсолютний тиск у вузькому перетині, якщо рівень води у відкритому п′єзометрі перед звуженням *h*1 = 1,5 м (рис. 3.4).

При якій витраті води *Q* ртуть в трубці, приєднаної до трубопроводу в вузькому перетині, підніметься на висоту *h* = 10 *см*, якщо при цьому *h*1 = 1,2 *м*. Втратами напору знехтувати.

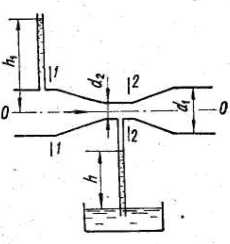
*Рішення*. 1. З рівняння Бернуллі для перетинів 1 - 1 і 2 - 2 щодо площини порівняння *О* - *О*′

Рисунок 3.4



де *z1*=*z2*=0, *p1*=*p0*+,  

знаходимо тиск у вузькому перерізі



2. Якщо ртуть в трубці, приєднаної до трубопроводу в вузькому перетині, підніметься на висоту *h* = 10*см*, то абсолютний тиск у вузькому перерізі трубопроводу

.

Підставляючи значення *р*2 в ліву частину попереднього рівняння, після перетворень отримуємо



3.4 Вихідний перетин жиклера карбюратора (рис. 3.5) розташований вище рівня бензину в камері поплавця на , вакуум в дифузорі *р*ВАК = 12 *кПа*. Нехтуючи втратами напору, знайти витрату бензину *Q*, якщо діаметр жиклера *d* = 1 *мм*. щільність бензину 

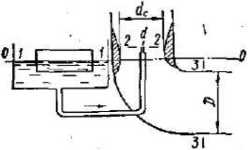
*Рішення*. Запишемо рівняння Бернуллі для перетинів 1 - 1 і 2 - 2 щодо площини порівняння О - О′, що збігається з вільною поверхнею бензину в камері поплавця,

Рисунок 3.5

,

де *v1* = 0, *p1* = *pa*, *z1*=0, *p2*=*pB* – *pВАК*, *z2* =, *a* =1,



Звідси знаходимо швидкість витікання бензину



Витрата бензину



3.5 Визначити витрату бензину (), що подається по горизонтальній трубі діаметром *D* = 25 *мм*, в якій встановлено сопло діаметром *d* = 10 *мм* і диференційний ртутний манометр, показання якого *h* = 100 *мм*. Втратами напору знехтувати (рис. 3.6).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 3.6 | |

*Рішення*. Складемо рівняння Бернуллі для перетину 1 - 1 і 2 - 2 щодо осі труби (*z*1 = *z*2 = 0, *h*П = 0,  = 1):



і рівняння нерозривності

.

Вирішуючи спільно ці два рівняння, знаходимо швидкість

. (3.15)

Різницю тисків () знайдемо, використовуючи свідчення ртутного диференціального манометра. З цією метою прирівняємо вираз для тиску в точках *B* і *C*, що належать одній горизонтальній площині

.

Звідси . Підставляючи це значення у вираз (3.15), знаходимо

*м/с*.

Витрата бензину

 *м3/с=0,514 л/с.*

**4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР**

Рух в'язкої рідини супроводжується втратами напору, зумовленими гідравлічними опорами. Визначення втрат напору є одним з головних питань практично будь-якого гідравлічного розрахунку. Розрізняють два види втрат напору – втрати на тертя по довжині, які залежать в загальному випадку від довжини і розмірів поперечного перерізу трубопроводу, його шорсткості, в'язкості рідини, швидкості течії, і втрати в місцевих опорах – коротких ділянках трубопроводів, в яких відбувається зміна швидкості за величиною або за напрямком:

, (4.1)

де  – втрати на тертя;  – сума втрат в місцевих опорах.

При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються по формулі Дарсі - Вейсбаха:

, (4.2)

де  – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині, або коефіцієнт Дарсі; *l* – довжина трубопроводу; *d* – його діаметр; *v* – середня швидкість течії рідини. Для ламінарного режиму руху в круглій трубі коефіцієнт визначається теоретичною формулою

** (4.3)

в якій *Re* – число Рейнольдса. При розрахунку трубопроводів об'ємних гідроприводів застосовується формула

, (4.4)

де *А* = 75 – для сталевих труб; *А* = 150 – для гнучких шлангів.

При турбулентному режимі руху коефіцієнт залежить в загальному випадку від числа Рейнольдса *Re* і відносної шорсткості  (де  еквівалентна шорсткість) і за емпіричними формулами. При цьому розрізняють три області гідравлічних опорів: гідравлічно гладких труб, перехідну і квадратичну.

Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя  визначається за формулою Конакова

, (4.5)

або за формулою Блазіуса

. (4.6)

Область гідравлічно гладких труб має місце при 3000 < *Re* < 20*d*/Δ. В перехідній області (20d/Δ < *Re* < 500*d*/Δ) коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначити за формулою Кольбрука-Уайта

, (4.7)

або за універсальною (застосовної для всіх областей) формулою Альштуля

. (4.8)

У квадратичної області опору (області гідравлічно шорсткуватих труб) коефіцієнт може бути знайдений за формулою Нікурадзе

, (4.9)

або за формулою Шіфрінсона

. (4.10)

Середнє значення еквівалентної шорсткості труб наведені в табл. 4.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид труби | Стан трубы | Δ, мм |
| Бесшовна сталева | Нова і чиста | 0,03 |
| Після декількох років експлуатації | 0,2 |
| Сталева зварна | Нова і чиста | 0,05 |
| Помірно заіржавіла | 0,5 |
| Стара заіржавіла | 1,0 |
| Тянутая з кольорових металів | Нова, технічно гладка | 0,005 |
| Рукава і шланги гумові |  | 0,03 |

Для труб некруглого перетину у формулі (4.2) ÷ (4.10) замість діаметра *d* підставляється значення гідравлічного діаметра

, (4.11)

де *S* і *П* - площа і периметр поперечного перерізу труби.

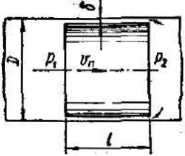
При ламінарному руху рідини в круглих трубах втрати напору і тиску можна також визначити за формулою Пуайзеля 

Рисунок 4.1

 (4.12)

де  – кінематична в'язкість; *v* – середня швидкість; *Q* – витрата рідини; *l* і *d* – довжина і діаметр труби.

При ламінарному русі рідини через малий кільцевої зазор , утворений поверхнями циліндрів (рис. 4.1), витрата рідини *Q* і перепад тиску  пов'язані між собою співвідношенням

, (4.13)

де *D* – діаметр зовнішнього циліндра;  – величина зазору; *v*п – швидкість руху поршня;  – відносний ексцентриситет;  – динамічна в'язкість; *l* – довжина кільцевого зазору; *е* – відстань між осями циліндрів. Знак + перед останнім доданком у виразі (4.13) ставиться тоді, коли поршень переміщається по току рідини. В окремому випадку, коли *v*п = 0 (поршень нерухомий) і  = 0 (зазор концентричний),

, (4.14)

або

. (4.15)

Втрати напору в місцевих опорах визначаються за формулою Вейсбаха

, (4.16

де  – коефіцієнт місцевого опору; *v*2 – швидкість після місцевого опору (в деяких випадках значення коефіцієнта  відносять і до швидкості *v*1 до місцевого опору). У більшості випадків коефіцієнт  визначають за довідковими даними, отриманим на підставі досвідчених даних. При раптовому розширенні русла втрати напору при турбулентному русі можуть бути знайдені з теоретичної формулою, яка випливає з теореми Бордо - Карно:

, (4.17)

де *v*1 і *v*2 – швидкості до і після раптового розширення.

**ПРИКЛАДИ**

4.1. При прокачуванні бензину () по трубі довжиною *l* = 5,5 *м* і діаметром *d* = 15 *мм* падіння тиску в трубопроводі . Ухвалюючи закон опору квадратичним, визначити еквівалентну шорсткість труби Δ, якщо витрата *Q* = 0,9 *л/с*.

*Рішення*. Швидкість руху рідини



З формули для визначення втрат тиску



знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя:



Еквівалентну шорсткість Δ знайдемо з формули (4.10):

 мм.

**5 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ**

**5.1 Розрахунок простих трубопроводів постійного перетину**

Простим називається трубопровід постійного або змінного перерізу, який не має відгалужень і в якому витрата рідини постійна по довжині (рис.5.1). Вихідними для гідравлічного розрахунку трубопроводу повинні бути рівняння Бернуллі, яке внаслідок сталості швидкостей по довжині набирає вигляду

 (5.1)

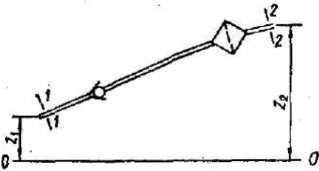
рівняння нерозривності (3.7), а також рівняння залежності для визначення втрат напору на тертя по довжині (4.2) і рівняння втрат напору в місцевих опорах (4.17).

Рисунок 5.1

При розрахунку простих трубопроводів зустрічаються такі типові завдання.

Задача 1.Потрібно визначити витрата рідини *Q* при заданих геометричних розмірах трубопроводу (*l*, *d*,Δ, *z*1 і *z*2), тисках (*р*1 і *р*2) і місцевих опорах ().

З рівняння (5.1) способом послідовних наближень знаходять



(коефіцієнт в загальному випадку залежить від числа Рейнольдса, а значить і від швидкості). Потім знаходять витрата рідини *Q* = *vS*.

Задача 2. Задані: витрата рідини *Q*, геометричні розміри трубопроводу (*l*, *d*, Δ), позначки точок *z*1 і *z*2, місцеві опори () і тиск в кінцевому перетині трубопроводу *р*2. Потрібно знайти тиск в початковому перерізі трубопроводу *р*1.

Спочатку визначають швидкість рідини, число Рейнольдса, область гідравлічного опору , коефіцієнт гідравлічного тертя і втрати напору



З рівняння (5.1) знаходять тиск p1.

Задача 3.Визначити діаметр трубопроводу, при якому витрата рідини дорівнює *Q*, якщо задані тиску *р*1 і *р*2, позначки *z*1, і *z*2, місцеві опори (), довжина трубопроводу *l* і шорсткість його стінок Δ.

Оскільки в ліву частину рівняння (5.1) входять задані величини, а права частина його є функцією діаметра, то він може бути знайдений з цього рівняння підбором.

Більш детально методика гідравлічного розрахунку простих трубопроводів ілюструється на конкретних прикладах.

**ПРИКЛАДИ**

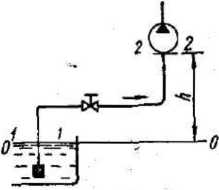
5.1. Всмоктуючий трубопровід насоса має довжину *l* = 5 м і діаметр *d* = 32 *мм*, висота всмоктування *h* = 0,8 *м* (рис. 5.2). Визначити тиск в кінці трубопроводу (перед насосом), якщо витрата масла (*ρ* = 890 *кг/м3*, *v* = 10 *мм*2/*с*), *Q* = 50 *л*/*хв*, коефіцієнт опору коліна к = 0,3, вентиля в = 4,5 , фільтра ф = 10.

Рисунок 5.2

*Рішення*. Визначаємо швидкість, число Рейнольдса і коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині при витраті





Сума коефіцієнтів місцевих опорів



Втрати напору у всмоктуючому трубопроводі



З рівняння Бернуллі для перетину 1-1 і 2-2 щодо площини порівняння О-О′



в якому *v*1 = 0, *p*1 = *p*а = 105 Па, *z*1 = 0, *v*2 = 1,04 *м*/*с*, *z*2 = *h*, *h*П = 1,2 *м*, , знаходимо тиск перед насосом



**5.2 Розрахунок простих об'ємних гідроприводів.**

Вихідними даними для розрахунку простого об'ємного гідроприводу є: принципова розрахункова схема, зусилля на штоках гідраціліндров або крутний момент на валах гідромоторів, швидкості переміщення штоків гідроциліндрів або частоти обертання валів гідромоторів, довжини ділянок гидроліній, що з'єднують гідроагрегати, граничні експлуатаційні температури. Деякі вихідні дані, наприклад номінальний тиск в гідросистемі, марка робочої рідини, підлягають вибору. Можна рекомендувати наступний загальний порядок розрахунку.

1. *Вибір номінального тиску*, МПа, з ряду нормативних, встановлених ГОСТ 12445-80: 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 6,3; 10; 16; 20; 25; 32. Для бульдозерів автогрейдерів вибирається середній тиск (до 6,3 МПа), для приводів інших вантажопідйомних і дорожньо-будівельних машин – високий тиск (до 20 МПа).

2. *Вибір робочої рідини* проводиться в залежності від температурних умов, режиму роботи гідроприводу і його номінального тиску.

*Нормальна температура робочої рідини* становить 50÷60 °C. При такій температурі рекомендується застосовувати робочі рідини з кінематичною в'язкістю *v* = 0,2 ... 0,36 *см*2/*с* при тисках до 7 *МПа* і *v* = 0,6 ... 1,1 *см*2/*с* при тисках 7 ... 20 *МПа*.

3. *Вибір гідроциліндра*. Діаметр гідроциліндра визначається зі співвідношення

 (13.29)

де *S*П – площа поршня; *R* – зусилля на штоку; *р* – номінальний тиск;  – механічний ККД гідроциліндра, рівний 0,93 ... 0,97. Діаметр гідроциліндра, а також діаметр його штока уточнюють відповідно до нормаллю ОН22-176-69 (дод. 11).

4. *Вибір насоса* проводиться за загальним витраті рідини в гідросистемі і номінальному тиску. Для визначення подачі насоса знаходять спочатку його потужність як суму потужностей *N*д всіх одночасно працюючих гідродвигунів. При цьому *потужність, споживана гідроциліндром*,

 (13.30)

де *R* – зусилля на штоку гідроциліндра; *v*п – швидкість переміщення поршня;  – ККД гідроциліндра, який можна прийняти рівним приблизно 0,90.

*Потужність гідромотора*

 (13.31)

де *М* – крутний момент на валу гідромотора;  – кутова швидкість;  – повний ККД гідромотора, який можна попередньо прийняти рівним 0,75 ... 0,85.

*Потужність насосу*

, (13.32)

де *k*С - 1,1 ... 1,3 – коефіцієнт запасу по швидкості; *k*у - 1,1 ... 1,2 – коефіцієнт запасу по зусиллю; *N*Д – сумарна потужність всіх працюючих одночасно гідродвигунів.

*Необхідна подача насоса*

, (13.33)

де *р* – номінальний тиск.

За відомими значеннями *Q*H і *р* вибирається насос (дод. 9), обчислюється частота його обертання

, (13.34

де *i* – число насосів; *V*0 – робочий об'єм;  – об'ємний ККД насоса.

У гідросистемах легкого і середнього режимів роботи доцільно застосовувати шестеренні насоси, а для важких і дуже важких режимів – аксіально- і радіально - поршневі насоси.

5. *Вибір гідромотора* можна зробити по робочому об'єму

, (13.35)

де *М* – заданий крутний момент, *Нм*; *р*М – тиск на вході в гідромотор, *МПа*;  – втрата тиску в зливний гідролінії від гідромотора до бака, *МПа*;  – механічний ККД гідромотора. У гідроприводах будівельних і дорожніх машин в основному використовуються шестеренні (типу НШ і МНШ) і аксіально - поршневі гідромотори (типу 210).

6. *Тип і марку гідророзподільника* вибирають по номінальному тиску, подачі насоса і кількості гідродвигунів. Для гідроприводів, що працюють в легкому і середньому режимах, вибирають, як правило, моноблочні розподільники, а для працюючих у важкому і дуже важкому режимах - секційні розподільники.

7. *Розрахунок трубопроводів* полягає у визначенні їх діаметрів і втрат тиску. Розрахунок проводиться по ділянках, що виділяються в гідравлічній схемі. Учасником вважають частину гідролінії між розгалуженнями, що пропускють одну витрату при однаковому діаметрі. На ділянці можуть бути гідроапарати, місцеві опори. За відомими витратами і розрахункової середньої швидкості визначають діаметр трубопроводу

 (13.36)

і округлюють до найближчих стандартних значень (дод. 4 і 5). Рекомендується вибирати швидкості: для всмоктуючої гідролінії – 0,5 ... 1,5 *м*/*с*, для зливної – 1,4 ... 2,2 *м*/*с*, для напірної – 3 ... 6 *м/с*.

8. *Розрахунок втрат тиску* в гідролінії необхідний для визначення ККД гідроприводу. У правильно спроектованій гідросистемі втрати тиску не повинні перевищувати 6% номінального тиску.

При розрахунку втрат тиску гідравлічну схему поділяють на замкнуті контури, що складаються з послідовних ділянок трубопроводів з різними гідроагрегатами. В такому контурі втрата тиску

 (13.37)

де  – втрата на тертя;  – втрати в місцевих опорах;  – втрати в гідроагрегатах. Втрати на тертя і в місцевих опорах визначаються за формулами, наведеними в гл. 4.

9. *Вибір фільтра і його типорозміру* проводиться по витраті робочої рідини в зливний гідролінії і необхідної для даного гідроприводу тонкощі фільтрації.

10. *Розрахунок потужності і ККД гідроприводу*. Повна потужність гідроприводу дорівнює потужності, споживаної насосом,

 (13.38)

Повний ККД гідроприводу дорівнює добутку механічного, об'ємного і гідравлічного ККД системи

 (13.39)

причому

де величини, відмічені індексом «н», відносяться до насоса, індексом «д» – гідродвигуна, індексом «р» – до гідророзподільника, *р*Н – тиск насоса, – втрати тиску в системі.

ККД правильно спроектованого гідроприводу 

Оскільки при практичних розрахунках неможливо підібрати насос, гідроциліндр і гідромотор, що забезпечують точні значення основних заданих параметрів системи, необхідно провести перевірочний розрахунок, в результаті якого знаходяться дійсні значення зусилля на штоку *R*, швидкості переміщення поршня, частоти обертання і крутного моменту гідромотора.

**ПРИКЛАДИ**

13.7 У гідроприводі з машинним управлінням (рис. 13.2), а застосований регульований аксіально - поршневий насос, який характеризується наступними параметрами: кількість поршнів *z* = 7, діаметри поршнів *d* = 15 *мм*, діаметр кола центрів циліндрів *D* = 40 мм, частота обертання n = 960 хв-1, кут нахилу диска може змінюватися від 0 до 30º.

Побудувати графік зміни швидкості переміщення поршня гідроциліндра в залежності від кута, якщо діаметр циліндра *D*1 = 80 *мм*, діаметр штока *D*2 = 40 *мм*.

Витоками рідини знехтувати.

*Рішення*. Робочий об'єм насоса знаходимо за формулою (12.10):



|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 13.8 | Рисунок 13.9 |

Ідеальна подача насоса



Швидкість переміщення поршня гідроциліндра



Значення швидкості *v*п при різних значеннях кута нахилу шайби, підраховані за цією формулою:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кут нахилу ͦ | 0 | 8 | 17 | 24 | 30 |
| Швидкість *v*п *см*/*с* | 0 | 3,3 | 6,4 | 9,3 | 12,1 |

За цими даними і побудована залежність (рис.13.8).

13.8. Визначити ККД об'ємного гідроприводу обертального руху, насос якого розвиває тиск *р*Н = 9,5 *МПа*, а аксіально-поршневий гідромотор має наступні параметри: частота обертання *n* = 1100 *хв*-1, діаметри циліндрів *d* = 16 *мм*, кількість циліндрів *z* = 12, діаметр кола центрів *D* = 82 *мм*, кут нахилу диска  = 20 ͦ механічний ККД  = 0,85. Характеристика насоса наведена на рис. 13.9. Напорная гидролінія має довжину *l*н = 6 *м* і діаметр *d*Н = 21 мм, зливна – *l*C = 9 *м* і *d*С = 33 *мм*. Робоча рідина – масло індустріальне ІС - 30 – має температуру 50 оС (= 890 *кг*/*м*3). Втрати тиску в місцевих опорах трубопроводів прийняти рівними 90% втрат тиску на тертя, а втратами тиску у всмоктувальній гідролінії знехтувати.

*Рішення.* 1. За тиском насоса *р*Н = 9,5 *МПа* та за допомогою його робочої характеристики (рис.13.9) знаходимо подачу і ККД насоса: *Q* = 1,2 *л*/*с*,  =0,80.

2. Визначаємо втрати тиску на тертя в гідролінії, для чого обчислюємо швидкості, числа Рейнольдса і коефіцієнти втрат на тертя, беручи до уваги, що кінематична в'язкість робочої рідини дорівнює 30 *мм*2/*с*.

Результати розрахунків представлені в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| гидролінія | *Q,* *л/с* | *d*, *мм* | , *м*/*с* |  | Формула для |  | , *Па* |
| напорна | 1,2 | 21 | 3,46 | 3300 | 4,6 | 0,042 | 62600 |
| зливна | 1,2 | 33 | 1,40 | 2100 | 4,4 | 0,036 | 8400 |

Сумарні втрати на тертя в обох гідролініях



Повні втрати тиску з урахуванням втрат в місцевих опорах



3. Знаходимо перепад тисків в гідромоторі, його робочий об'єм за формулою (12.10) і крутний момент на валу за формулою (9.17):





.

4. Визначаємо корисну потужність на валу гідромотора, споживану потужність насоса і ККД гідроприводу:







РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Андрийчук Н.Д., Вялых А.В., Коваленко А.А., Мальцев Я.И., Ремень В.И., Соколов В.И. Гидравлика и Гидропневмоприводы: Учеб. пособие для ВУЗов / Под. ред. Коваленко А.А. – Луганск: Изд- во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 320 с.
2. Соколов В.І., Кроль О.С., Єпіфанова О.В. Гідравліка: Навчальний посібник / Сєвєродонецк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017.-160 с.
3. Федорец В. А. и др. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков: Учеб. пособие для ВУЗов / Под ред. В. А. Федорец. – К.: Вищ. школа. Головное изд-во, 1987. – 376 с.
4. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.
5. Вакина В.В. и др. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов: Учеб. Пособие для ВУЗов – К.: Вищ. школа. Головное изд-во, 1987. – 208 с.

Навчальне видання

до практичних занять з курсу

«ГІДРОМАШИНИ, ГІДРОПНЕВМОПРИВОДИ ТА ГІДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»*

Укладач:

Чернікова Ірина Дем’янівна

|  |  |
| --- | --- |
| Оригінал-макет | І.Д.Чернікова |

Підписано до друку\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Формат 60х841/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_. Облік. видавн. арк. \_\_\_

Тираж \_\_\_ екз. Вид. №\_\_\_\_\_\_. Замовл. №\_\_\_\_\_\_. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Сєвєродонецьк, просп. Центральний, 59-а.

Телефон: +38 (050) 218 04 78, факс (06452) 4 03 42

E-mail: [vidavnictvosnu.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)