

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни
«Гідравліка і гідропневмопривод»
для студентів спеціальностей:
6.090200, 6.050503

Затверджено
методичною
радою університету,
протокол № від

Харків 2015

Укладач Роговий А.С.

Кафедра «Теоретична механіка і гідравліка»

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Дані методичні вказівки складені відповідно до програми курсу «Гідравліка», включають питання для самоперевірки, контрольні завдання, короткі вказівки до рішення завдань і необхідну літературу.

Теоретичний курс проробляється послідовно по темах, при цьому звертається увага на застосування основних формул у прикладах і завданнях (у підручниках).

Контрольні завдання, тип завдань та їх кількість (не більше десяти в одному завданні) визначаються викладачем. Варіант вибирається за останньою цифрою залікової книжки студента.

Вивчивши умови задачі, спробуйте вирішити її самостійно, а якщо буде потреба зверніться до вказівок дійсного видання. Рішення кожної задачі супроводжуйте коротким поясненням, у якому необхідно вказати застосовувані формули, рівняння й теореми. Величини, що входять у розрахункові формули, повинні бути в одиницях СІ.

Контрольне завдання зараховується, якщо всі задачі вирішені правильно. При наявності грубих й істотних помилок роботу повертають для виправлення, потім вона повторно пред'являється з першим варіантом і зауваженнями викладача.

Контрольні питання

1. Введення. Основні властивості рідин.
 - 1.1. Що таке гідравліка? Назвіть основні етапи розвитку.
 - 1.2. Що називається рідиною? Назвіть основні фізичні властивості рідин.
 - 1.3. Що таке питома вага й питома маса рідини? Напишіть і поясніть зв'язок між питомою вагою й питомою масою рідини.
 - 1.4. Що називається стискальністю рідини?
 - 1.5. Що являє собою коефіцієнт температурного розширення?
 - 1.6. Як змінюється питома маса рідини при збільшенні тиску й температури? Назвіть прилад, застосований для виміру питомої маси.

- 1.7. Що таке в'язкість рідини?
- 1.8. Як зв'язані між собою динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості?
- 1.9. Як залежить в'язкість рідини від температури й тиску?
- 1.10. Опишіть будову віскозиметра.
- 1.11. Від чого залежить розчинність повітря й інших газів у рідині?
- 1.12. Що називається тиском насиченої пари рідини? Від чого він залежить?
- 1.13. Які рідини називаються в'язкими й нев'язкими? У яких випадках при практичних розрахунках рідину можна вважати ідеальною?
- 1.14. У яких одиницях виражають питому вагу, питому масу, коефіцієнт температурного розширення й об'ємного стиску, об'ємний модуль пружності, динамічний і кінематичний коефіцієнти в'язкості?

2. Гідростатика

- 2.1. Що таке масові й поверхневі сили?
- 2.2. Що називають гідростатичним тиском у точці і які його властивості? Назвіть одиниці виміру гідростатичного тиску.
- 2.3. Напишіть диференціальні рівняння рівноваги рідини – рівняння Ейлера. Поясніть величини, що в них входять.
- 2.4. Як записується основне рівняння гідростатики? Що таке абсолютний, манометричний й вакуумметричний тиск?
- 2.5. Що називається вільною поверхнею, поверхнею рівного рівня, площиною порівняння, напірною площиною?
- 2.6. У чому різниця між напором і тиском?
- 2.7. Що називається епюрою гідростатичного тиску?
- 2.8. Назвіть прилади, які служать для виміру тиску.
- 2.9. Як визначити силу тиску рідини на плоску поверхню?
- 2.10. Що таке центр тиску і як його визначають? У якому випадку центр тиску збігається із центром ваги площини?
- 2.11. Як визначається сила гідростатичного тиску рідини на криволінійні поверхні циліндричної форми?
- 2.12. Сформулюйте закон Паскаля.

- 2.13. Як формулюється закон Архімеда? Що таке вісь плавання, центр водотоннажності, метацентр, метацентрична висота, метацентричний радіус, ексцентриситет?
- 2.14. Яка умова стійкого стану тіл, що плавають на глибині й на поверхні рідини?
3. Кінематика й динаміка рідини
- 3.1. Який рух рідини називається сталим й несталим, рівномірним, напірним і безнапірним?
- 3.2. Що таке траєкторія, лінія струму, трубка струму, елементарний струмок? Якими властивостями володіє елементарний струмок?
- 3.3. Що називається витратою рідини? Напишіть формулу витрати й рівняння нерозривності. Назвіть одиниці виміру витрати рідини.
- 3.4. Напишіть диференціальні рівняння руху рідини.
- 3.5. Як записується рівняння Бернуллі для елементарного струмка нев'язкої рідини?
- 3.6. Поясніть геометричний і фізичний (енергетичний) зміст рівняння Бернуллі.
- 3.7. Що називається гідравлічним і п'єзометричним ухилами? Напишіть вираження для цих ухилів.
- 3.8. Що являє собою коефіцієнт Коріоліса? Від чого залежить його числове значення?
- 3.9. Чим відрізняються рівняння Бернуллі для потоку рідини й елементарного струмка, в'язкої і нев'язкої рідини?
- 3.10. Для яких цілей використовують витратомір Вентурі, трубку Піто?
- 3.11. Що являють собою гідравлічні втрати у вигляді формул?
4. Режими руху рідини та втрати напору в трубах
- 4.1. Чим відрізняється структура потоку при ламінарному й турбулентному режимах руху рідини?
- 4.2. Що таке число Рейнольдса і як його визначити для круглої труби? Що називається критичною швидкістю?

- 4.3. Для чого необхідно знати режим руху рідини? Як залежать втрати на тертя від швидкості потоку при різних режимах руху рідини?
- 4.4. Зобразите епюри розподілу швидкостей у круглій трубі при ламінарному й турбулентному режимах руху рідини. Яке співвідношення між середньою й максимальною швидкостями?
- 4.5. Напишіть формули визначення втрат напору за довжиною при ламінарному й турбулентному режимах руху рідини.
- 4.6. Чому дорівнює значення коефіцієнта Коріоліса при ламінарному й турбулентному режимах руху рідини в круглій трубі?
- 4.7. Скільки є зон опору і які з них відповідають турбулентному руху рідини?
- 4.8. Які є формули для коефіцієнта Дарсі (коефіцієнта гідравлічного тертя) λ при ламінарному й турбулентному режимах руху рідини?
- 4.9. Що називається гідравлічним радіусом? Запишіть формулу втрат напору за довжиною для некруглих труб.
- 4.10. Запишіть формулу визначення місцевих втрат. Від чого залежить значення коефіцієнта ζ і як воно визначається?
- 4.11. Коли місцеві втрати окремих опорів можна просто підсумувати?
5. Витікання рідини через отвори й насадки
 - 5.1. Які отвори вважаються малими? Перелічите випадки стиску струменя.
 - 5.2. Які коефіцієнти характеризують витікання рідини через малі отвори в тонкій стінці? Як зв'язані ці коефіцієнти між собою?
 - 5.3. Чому коефіцієнт стиску ϵ , швидкості ϕ й витрати μ завжди менше одиниці?
 - 5.4. Чим відрізняється насадок від труби? Перелічите основні типи насадків.
 - 5.5. Яке практичне застосування отворів та насадків?
 - 5.6. Запишіть формулу швидкості й витрати через отвір у тонкій стінці й через насадок.

- 5.7. Запишіть формулу швидкості витікання ідеальної рідини через отвір у тонкій стінці – формулу Торрічеллі.
- 5.8. Чому в зовнішньому циліндричному насадці коефіцієнт витрати більше, ніж у випадку малого отвору в тонкій стінці?
- 5.9. Як розраховуються затоплені отвори й насадки?
- 5.10. Які формули є розрахунковими при розгляді витікання рідини при змінному напорі?
6. Гідравлічний розрахунок трубопроводів
 - 6.1. Які трубопроводи називаються короткими й довгими, простими й складними? У чому особливості гідравлічного розрахунку таких трубопроводів?
 - 6.2. Перелічите три типових задачі гідравлічного розрахунку простого трубопроводу.
 - 6.3. На яких рівняннях заснований розрахунок простих і складних трубопроводів?
 - 6.4. Що називається кривою потрібного напору, гідравлічною характеристикою трубопроводу?
 - 6.5. Яка особливість розрахунку трубопроводів із паралельним і послідовним з'єднанням ліній?
 - 6.6. Як будують гідравлічні характеристики систем послідовно й паралельно з'єднаних трубопроводів?
 - 6.7. У якому випадку трубопровід називається самопливним?
 - 6.8. Що таке гідравлічний удар? Які сили його викликають? Як міняється тиск у трубопроводі при гідравлічному ударі?
 - 6.9. Що називається швидкістю поширення ударної хвилі? Фазою гідравлічного удару? Що таке прямий і непрямий удар?
 - 6.10. Напишіть формулу для визначення ударного тиску для прямого й непрямого удару.
 - 6.11. Від яких параметрів залежить швидкість поширення ударної хвилі в трубопроводі з рідиною?
 - 6.12. Перелічите міри боротьби з гідравлічним ударом.
7. Взаємодія потоку із твердим тілом
 - 7.1. Сформулюйте теорему про зміну кількості руху.

- 7.2. Чому дорівнює активна сила струменя рідини на плоскі, увігнуті й опуклі стінки?
- 7.3. У якому випадку й на скільки більше діє сила на плоску стінку: коли рідина перебуває в стані рівноваги або руху?
- 7.4. Чому дорівнює активна сила струменя рідини на плоску стінку, що рухається зі швидкістю « u »?
- 7.5. Чому дорівнює реактивна сила взаємодії між струменем і твердим тілом?
- 7.6. Яке практичне застосування активної й реактивної сил взаємодії між струменем і твердою перешкодою.

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

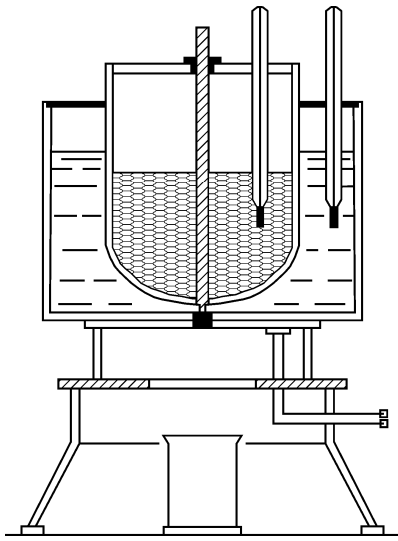


Рисунок 1 – Схема до задачі 1

Задача 1. Визначити динамічний коефіцієнт в'язкості нафтопродукту, якщо відомо, що при температурі $50\text{ }^\circ\text{C}$ час витікання 200 см^3 нафтопродукту через калібрований отвір віскозиметра (рис. 1) дорівнює t_1 с. Час витікання 200 см^3 води при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$ $t_2 = 51$ с. Питома маса нафтопродукту при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$ – ρ , а коефіцієнт об'ємного розширення – β_t . Дані для рішення задачі – у табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до рішення задачі 1

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кг/м ³	919	924	745	808	819	846	999	960	884	868
t_1 , с	147	147	138	142	141	143	164	149	145	144
β_t , $10^{-4}\text{ 1/}^\circ\text{C}$	7	6	5	8	4	7	8	5	6	4

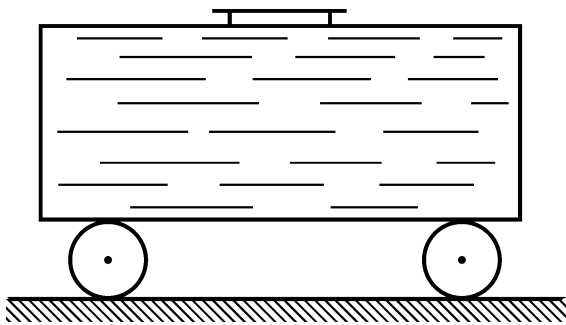


Рисунок 2 – Схема до задачі 2

Задача 2. Циліндрична цистерна (рис. 2), обсягом W заповнена рідиною й закрита герметично. Коефіцієнт температурного розширення рідини β_t , модуль пружності K . Визначити зміну тиску в цистерні при зміні температури рідини на величину

Δt . Об'ємними деформаціями зневажити. Дані для рішення задачі – табл. 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані до рішення задачі 2

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$W, \text{ м}^3$	25	30	25	30	35	40	35	40	50	60
$\beta_t, 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	150	536	187	735	943	351	698	832	649	655
$K, 10^9 \text{ Па}$	2,06	4,08	2,46	1,72	1,53	2,08	1,67	1,95	1,58	1,65
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	40	21	5,5	32	20	45	39	11	41	30

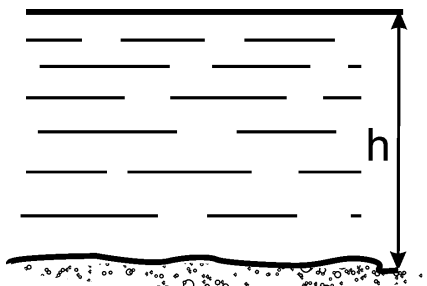


Рисунок 3 – Схема до задачі 3

Задача 3. Визначити питому масу морської води ρ_m на глибині h . Питома маса морської води на поверхні $\rho_{m0} = 1030 \text{ кг/м}^3$, а об'ємний модуль пружності $E_m = 2 \cdot 10^3 \text{ МПа}$. Дані для рішення задачі – табл. 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані до рішення задачі 3

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h, \text{ м}$	100	50	25	15	10	300	250	60	70	80

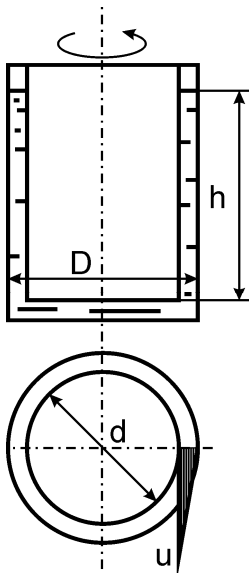


Рисунок 4 – Схема до задачі 4

Задача 4. Кільцева щілина між двома циліндрами діаметрами $D = 200 \text{ мм}$ і d залита трансформаторним маслом ($\rho_m = 915 \text{ кг/м}^3$) при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4). Внутрішній циліндр обертається рівномірно із частотою n . Визначити динамічний μ і кінематичний ν коефіцієнти в'язкості масла, якщо момент, прикладений до внутрішнього циліндра, M , а висота стовпа рідини в щілині між циліндрами – h . Тертям підвалини внутрішнього циліндра зневажити. Дані для рішення задачі – табл. 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані до рішення задачі 4

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	198	197	196	195	194	193	192	191	190	189
n , хв ⁻¹	110	120	100	115	125	130	100	95	130	180
M , Нм	0,06	0,05	0,04	0,03	0,07	0,08	0,09	0,1	0,06	0,07
h , мм	100	90	80	110	120	115	95	100	85	115

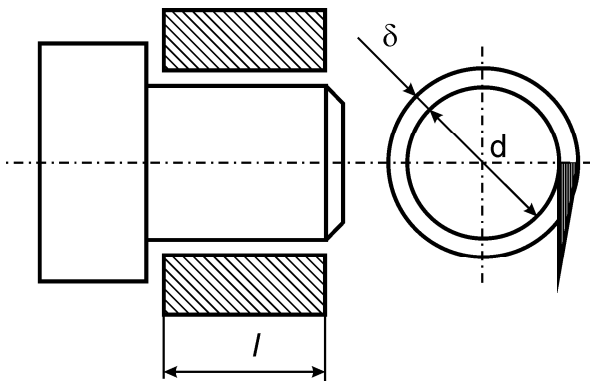


Рисунок 5 – Схема до задачі 5

Задача 5. Визначити потужність, затрачувану на подолання тертя в підшипнику при обертанні вала. Частота обертання вала n . Діаметр шийки (цапфи) вала d , довжина – l , товщина шару змащення між цапфою й підшипником $\delta = 0,15$ мм. Кінематичний коефіцієнт

в'язкості масла $\nu_m = 0,7 \cdot 10^{-4}$ м²/с, питома маса $\rho_m = 915$ кг/м³. Уважати, що вал обертається в підшипнику соосно, а швидкість руху рідини в шарі масла змінюється за лінійним законом (рис. 5). Дані для рішення задачі – табл. 5.

Таблиця 5 – Вихідні дані до рішення задачі 5

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	100	102	104	108	120	101	110	98	95	99
n , хв ⁻¹	900	800	1000	850	950	105	1100	1200	1500	1350
l , мм	120	110	95	100	108	125	135	130	150	200

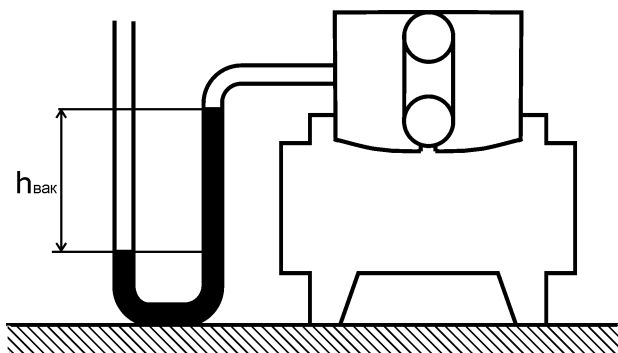


Рисунок 6 – Схема до задачі 6

Задача 6. Визначити абсолютний тиск і вакуум у поршневому вакуум-наосі НВМ-300 (рис. 6), якщо показання ртутного U-образного вакуумметра становлять h_{vac} . Дані для рішення задачі – у табл. 6.

Таблиця 6 – Вихідні дані до рішення задачі 6

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_{vac} , мм.рт.ст	550	560	570	580	500	450	510	470	530	490

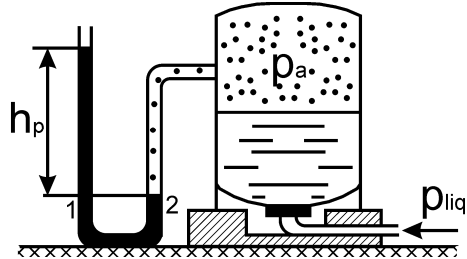


Рисунок 7 – Схема до задачі 7

Задача 7. Визначити абсолютний і надлишковий тиски в гідропневматичному акумуляторі (рис. 7), якщо висота підйому ртуті в трубці ртутного U-образного манометра становить h_p . Дані для рішення задачі – у табл. 7.

Таблиця 7 – Вихідні дані до рішення

задачі 7

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_p , м	1,4	1,2	1,0	0,9	0,5	0,7	0,6	0,8	1,3	1,1

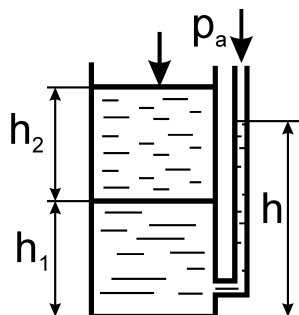


Рисунок 8 – Схема до задачі 8

Задача 8. У циліндричному відстійнику (рис. 8) поверхня розділу між маслом й осілою водою встановилася на глибині h_1 . Визначити питому масу масла, якщо глибина води h_2 , а рівень води в трубці встановився на висоті h . Дані для рішення задачі – у табл. 8.

Таблиця 8– Вихідні дані до рішення задачі 2

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_1 , м	1,4	1,2	1,0	0,9	0,5	0,7	0,6	0,8	1,3	1,1
h_2 , м	1	0,9	0,8	0,7	0,4	0,3	0,2	0,6	0,9	0,9
h , м	2	2	1,5	1,5	0,8	0,9	0,9	1,3	1,8	1,9

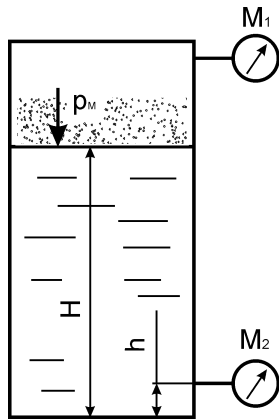


Рисунок 9 – Схема до задачі 9

Задача 9. Визначити рівень нафти H ($\rho_o = 900$ кг/м³) у закритому резервуарі (рис. 9), якщо манометри M_1 і M_2 показують тиск відповідно p_1 й p_2 . Дані для рішення задачі – у табл. 9.

Таблиця 9 – Вихідні дані до рішення задачі 9

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_1 , МПа	0,2	0,15	0,1	0,05	0,08	0,06	0,01	0,03	0,08	0,25
p_2 , МПа	0,35	0,3	0,25	0,15	0,19	0,20	0,2	0,1	0,1	0,3
h , м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,05	0,07

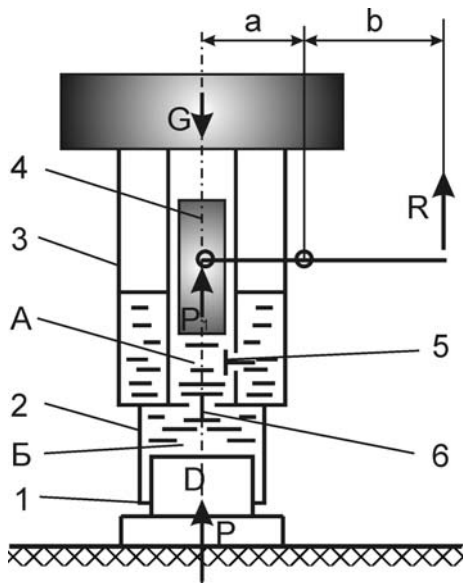


Рисунок 10 – Схема до задачі 10

Задача 10. Гідростатичний домкрат (рис. 10) складається з нерухомого поршня 1 і ковзного по ньому циліндра 2, на якому змонтований корпус 3, що утворює масляну ванну домкрата, і плунжерний насос 4 ручного приводу із усмоктувальним 5 і нагнітальним 6 клапанами. Визначити тиск p робочої рідини в циліндрі й масу вантажу m , що він піднімає, якщо зусилля на рукоятці приводного насоса R , діаметр поршня домкрата D , діаметр плунжера насоса d , ККД домкрата

η , плечі важеля a й b . Вагою стовпа рідини між плунжером насоса й поршнем домкрата зневажити. Дані для рішення задачі – у табл. 10.

Таблиця 10 – Вихідні дані до рішення задачі 10

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R, \text{Н}$	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
$D, \text{мм}$	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
$d, \text{мм}$	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$a, \text{мм}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110
$b, \text{мм}$	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100
η	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,75	0,80

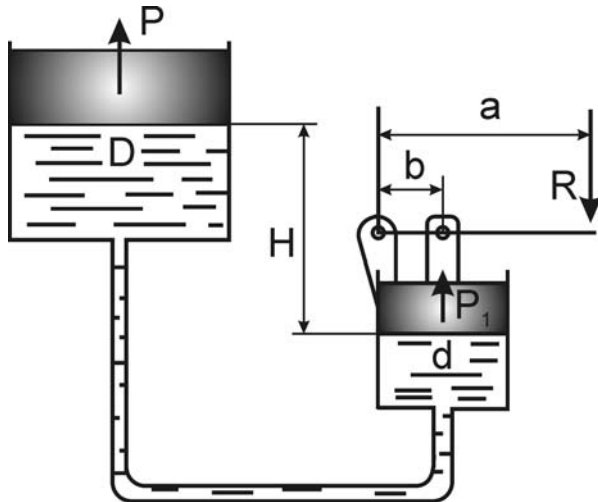


Рисунок 11 – Схема до задачі 11

Задача 11. Визначити тиск під поршнем робочого циліндра й силу P , що розвиває гідравлічний прес (рис. 11), у якого діаметр поршня D , а діаметр плунжера d . Поршень розташований вище плунжера на величину H , питома маса робочої рідини ρ , зусилля, прикладене до рукоятки, R . Дані для рішення задачі – у табл. 11.

Таблиця 11 – Вихідні дані до рішення задачі 11

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R, \text{Н}$	50	100	150	200	250	75	125	225	275	300
$D, \text{мм}$	600	400	200	600	980	320	360	400	360	320
$d, \text{мм}$	150	100	50	150	70	90	80	90	100	90
$a, \text{м}$	0,75	0,50	0,25	0,75	0,35	0,45	0,4	0,45	0,5	0,45
$b, \text{м}$	0,075	0,05	0,025	0,075	0,075	0,045	0,04	0,045	0,05	0,045
$H, \text{м}$	1,0	2,0	2	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,6
$\rho, \text{кг/м}^3$	850	900	950	970	880	890	860	870	910	920

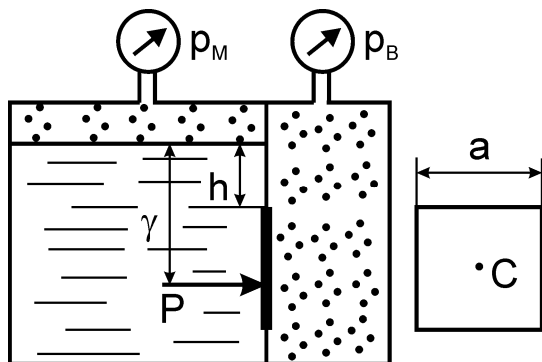


Рисунок 12 – Схема до задачі 12

Задача 12. Замкнутий резервуар (рис. 12) розділений на дві частини плоскою перегородкою, що має квадратний отвір зі стороною a , закритий кришкою. Тиск над рідиною із питомою масою ρ в

лівій частині резервуара визначається показаннями манометра p_M , тиск повітря в правій частині – показаннями манометра p_B . Визначити величину й точку прикладення результуючої сили тиску на кришку. Дані для рішення задача – у табл. 12.

Таблиця 12 – Вихідні дані до рішення задачі 12

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кг/м ³	1000	750	800	1000	910	1250	900	830	950	740
p_M , МПа	0,08	0,09	0,07	0,08	0,05	0,09	0,1	0,03	0,09	0,05
p_B , МПа	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
a , мм	200	300	400	100	200	300	200	100	400	200
h , мм	500	3000	1300	600	400	500	600	300	500	300

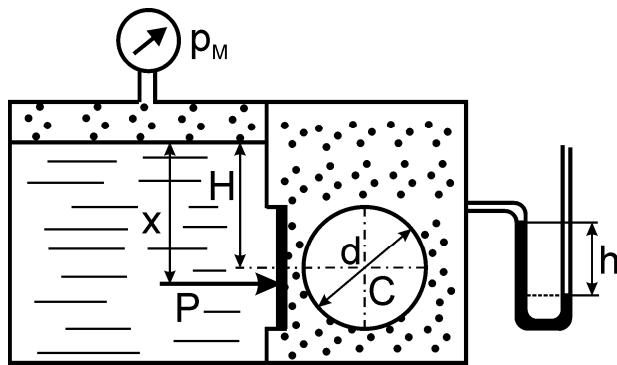


Рисунок 13 – Схема до задачі 13

Задача 13. Визначити величину й точку прикладення сили тиску на кришку, що перекриває круглий отвір діаметром d у вертикальній перегородці закритого резервуара (рис. 13), якщо його лівий відсік заповнений рідиною із питомою масою ρ ,

правий – повітрям. Надлишковий тиск на поверхні рідини – p_M , показання ртутного мановакуумметра, підключеного до правого відсіку резервуара – h , центр отвору розташований на глибині H , атмосферний тиск $p_a = 100$ кПа. Дані для рішення задачі – у табл. 13.

Таблиця 13 – Вихідні дані до рішення задачі 13

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кг/м ³	900	800	750	910	950	1250	790	810	740	1000
p_M , МПа	15	13	11	9	7	5	12	14	6	10
h , мм	80	70	60	90	50	100	65	75	85	95
d , мм	500	510	520	530	540	550	560	570	580	600
H , м	0,8	0,7	0,6	0,9	0,5	1,0	0,65	0,75	0,85	0,95

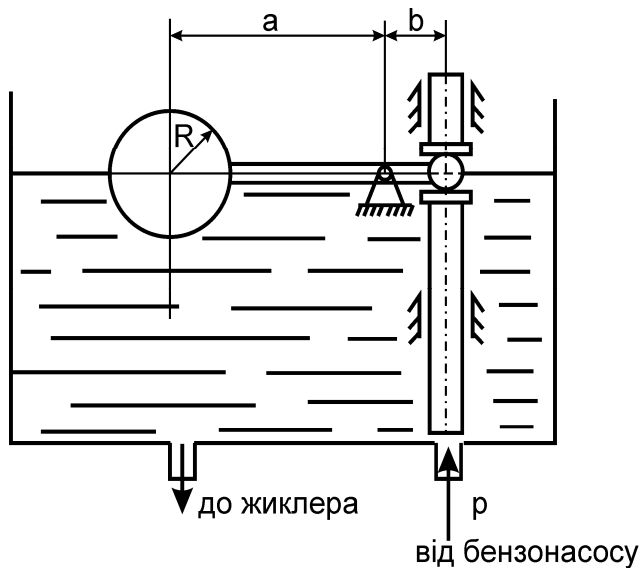


Рисунок 14 – Схема до задачі 14

Задача 14. Визначити надлишковий тиск бензину з відносною питомою масою δ , що підводиться до поплавкової камери карбюратора (рис. 14) від бензонасосу по трубці діаметром d , якщо в момент відкриття отвору, що перекривається голкою, кульовий поплавець радіусом R занурений у рідину наполовину. Маса поплавця m_1 , маса голки m_2 , плечі

важеля a та b . Тертям у шарнірі, масою важеля й силою Архімеда, що діє на голку, зневажити. Дані для рішення задачі – табл. 14.

Таблиця 14 – Вихідні дані до рішення задачі 14

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
δ	0,7	0,75	0,7	0,745	0,7	0,75	0,7	0,75	0,7	0,75
d , мм	4	5	5	4	4	5	5	4	4	5
R , мм	25	30	35	40	20	26	28	32	34	36
m_1 , м	25	30	20	25	30	20	25	20	30	25
m_2 , м	12	15	10	10	12	15	15	12	10	15
a , мм	40	50	45	50	45	40	45	40	50	45
b , мм	10	15	20	15	20	10	15	10	20	20

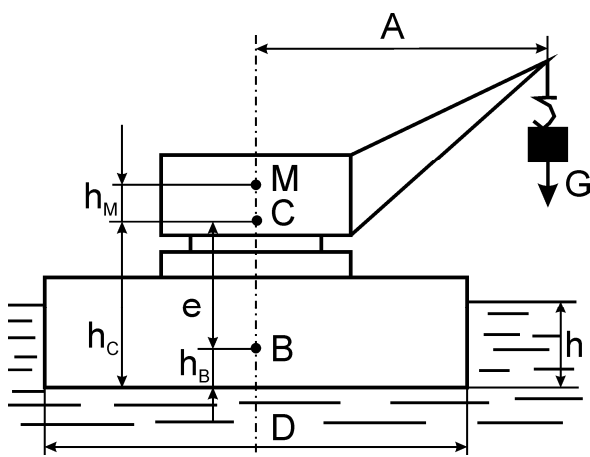


Рисунок 15 – Схема до задачі 15

Задача 15. На баржі розмірами дна $Z \times D$ й осадженням h установлений кран вантажопідйомністю G з максимальним вильотом стріли A (рис. 15). Визначити кут θ крену баржі при максимальному навантаженні крана, якщо центр ваги системи розташований вище дна баржі на h_c . Дані для рішення

задачі – у табл. 15.

Таблиця 15 – Вихідні дані до рішення задачі 15

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Z, \text{ м}$	60	50	40	50	60	45	55	60	55	65
$D, \text{ м}$	10	12	15	10	12	12	15	10	12	10
$h, \text{ м}$	1,5	1,5	1,4	1,6	1,6	1,4	1,3	1,3	1,4	1,5
$G, \text{ кН}$	50	60	45	50	60	45	55	45	55	50
$A, \text{ м}$	15	10	12	15	12	10	14	20	12	15
$h_c, \text{ м}$	4,25	4,0	4,1	4,3	4,1	4,2	4,15	4,3	4,1	4,15

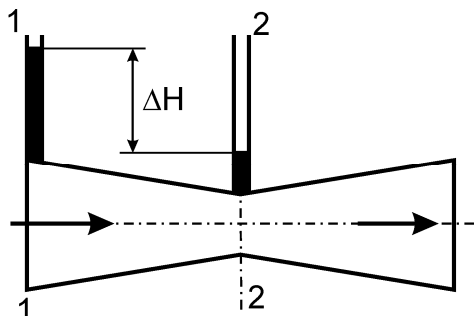


Рисунок 16 – Схема до задачі 16

Задача 16. Вітратомір Вентурі (рис. 16) складається із ділянок труби, що плавно звужується (сопло) і поступово розширюється (дифузор). Різниця тисків, що виникає в широкому й вузькому перетинах діаметрами d_1 й d_2 , вимірюється двома п'єзометрами й певним чином пов'язана з витратою води. Знайти витрату води Q при

перепаді тисків ΔH . Визначити постійну величину для даного витратоміра. Розрахунок зробити для коефіцієнта місцевого опору витратоміра ζ та турбулентного режиму руху рідини. Дані для рішення задачі – в табл. 16.

Таблиця 16 – Вихідні дані до рішення задачі 16

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d_1, \text{ м}$	0,015	0,01	0,01	0,015	0,01	0,02	0,015	0,01	0,02	0,01
$d_2, \text{ м}$	0,06	0,05	0,04	0,055	0,045	0,06	0,05	0,055	0,04	0,035
$\Delta H, \text{ м}$	0,45	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,55	0,45	0,6	0,55
ζ	0,2	0,15	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,15	0,1

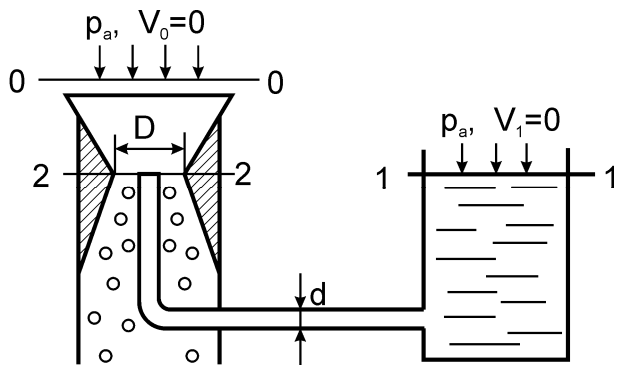


Рисунок 17 – Схема до задачі 17

Задача 17. Карбюратор поршневих двигунів внутрішнього згорання (рис. 17) служить для підсмоктування бензину й змішання його з потоком повітря. Потік повітря, що засмоктується у двигун, звужується в тім місці,

де встановлений розпилювач бензину. Швидкість повітря в цьому перетині зростає, а тиск за законом Бернуллі падає. Внаслідок різниці тисків у поплавковій камері й дифузори бензин відсмоктується й виходить по трубці через жиклер, а потім, роздрібнюючись і змішуючись із повітрям, утворює потік падаючої робочої суміші. Потрібно знайти співвідношення між ваговими витратами повітря G_a й бензину G_b при заданих розмірах діаметра горла дифузора D й діаметра трубки d , коефіцієнтах опору повітряного каналу ζ_a й жиклера ζ_b . Опором бензотрубки зневажити. При розрахунку вважати, що $z_0 = z_2$, $z_1 = z_2$, і $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 1$. Дані для рішення задачі – у табл. 17.

Таблиця 17 – Вихідні дані до рішення задачі 17

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, 10^{-3}, \text{ м}$	27	28	29	30	26	25	24	23	22	20
$d, 10^{-3}, \text{ м}$	6	5	4	6	5	4	6	5	4	6
ζ_a	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085
ζ_b	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$\rho_a, \text{ кг/м}^3$	1,225	1,125	1,23	1,12	1,22	1,13	1,22	1,13	1,22	1,2
$\rho_b, \text{ кг/м}^3$	700	710	720	730	745	700	710	720	730	745

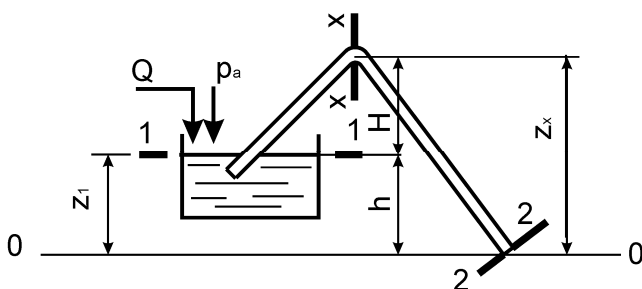


Рисунок 18 – Схема до задачі 18

Задача 18. По сифонному трубопроводі рухається вода. Визначити витрату Q й тиск води в перетині $x-x$ (рис. 18), зневажаючи втратами напору.

Верхня точка осі трубопроводу розташована вище рівня води в резервуарі на H , а нижня – нижче на h . Внутрішній діаметр трубопроводу d . Дані для рішення задачі – у табл. 18.

Таблиця 18 – Вихідні дані до рішення задачі 18

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
h , м	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,35	2,3	2,25	2,1
d , мм	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

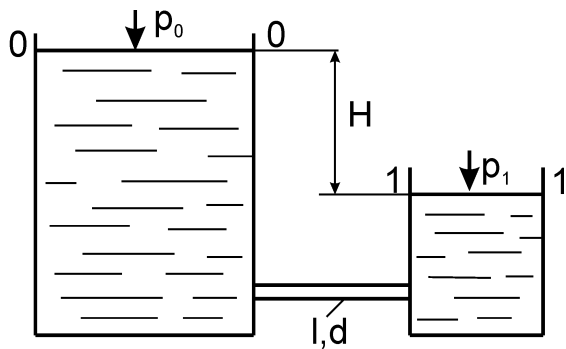


Рисунок 19 – Схема до задачі 19

Задача 19. З основного бака (рис. 19) по трубопроводу діаметром d і довжиною l перетікає рідина питомою масою ρ та в'язкістю ν . Потрібно визначити напір H , при якому відбувається зміна ламінарного режиму турбулентним. Дані для рішення задачі – у табл. 19.

Таблиця 19 – Вихідні дані до рішення задачі 19

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	12	3	700	4	15	10	700	10	700	2
d , мм	50	100	10	100	45	40	8	50	12	60
ρ , кг/м ³	808	910	1000	910	808	745	1000	800	1000	884
ν , см ² /с	0,025	0,48	0,01	0,48	0,025	0,007	0,01	0,025	0,01	0,28

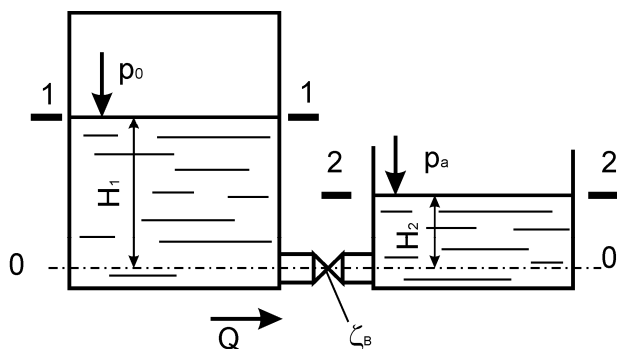


Рисунок 20 – Схема до задачі 20

Задача 20. Горизонтальна труба (рис. 20) діаметром d з'єднує резервуари з водою, у яких підтримуються постійні рівні H_1 та H_2 . Для регулювання витрати на трубопроводі встановлений вентиль. Визначити коефіцієнт

опору вентиля й втрату напору в ньому, якщо витрата води Q , а надлишковий тиск на поверхні води в напірному баці p_0 . Іншими втратами напору зневажити. Дані для рішення задачі – у табл. 20.

Таблиця 20 – Вихідні дані до рішення задачі 20

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , см	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75
H_1 , м	3	3,2	4	4,5	5	6,8	5,5	6	7	8
H_2 , м	0,5	1	1,5	2	3	4	5	4,5	4,5	5
Q , л/с	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
p_0 , кПа	11	12	15	18	22	18	17	16	15	14

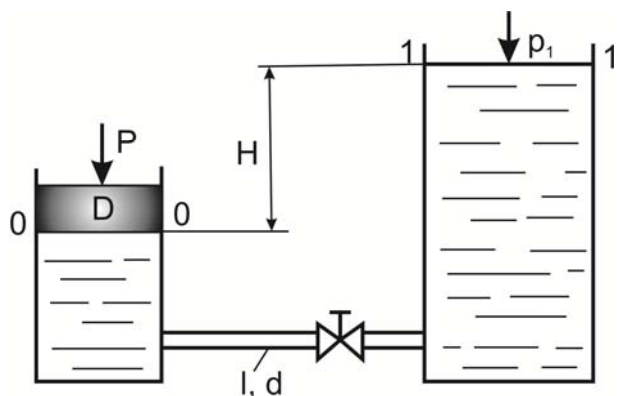


Рисунок 21 – Схема до задачі 21

Задача 21. Поршень діаметром D рухається рівномірно вниз у циліндрі, подаючи рідину питомою масою ρ у відкритий резервуар (рис. 21). Коли поршень перебуває нижче рівня рідини резервуара H , необхідна для переміщення сила дорівнює P . Визначити швидкість поршня й витрату

рідини в трубопроводі. Діаметр трубопроводу d , довжина l , коефіцієнт опору крана $\zeta_{кр}$, коефіцієнт гідравлічного тертя труби $\lambda = 0,03$, коефіцієнт опору входу в трубу $\zeta_{in} = 0,5$ й виходу в резервуар $\zeta_{out} = 1$. При розрахунку рівень рідини у відкритому резервуарі вважати постійним. Дані для рішення задачі – у табл. 21.

Таблиця 21 – Вихідні дані до рішення задачі 21

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	18	27	21	18	24	12	9	6	21	15
d , мм	60	90	70	60	80	40	30	20	70	80
ρ , кг/м ³	1000	810	750	910	1000	945	1250	900	750	810
D , мм	180	220	210	180	240	120	90	60	210	150
P , кН	12,4	27,7	16,7	12,4	22	5,5	3,1	1,37	16,7	8,55
H , м	5	4	3	6	7	3	4	5	6	7
$\zeta_{кр}$	3	4	5	6	7	3,5	4,5	5,5	6,5	5

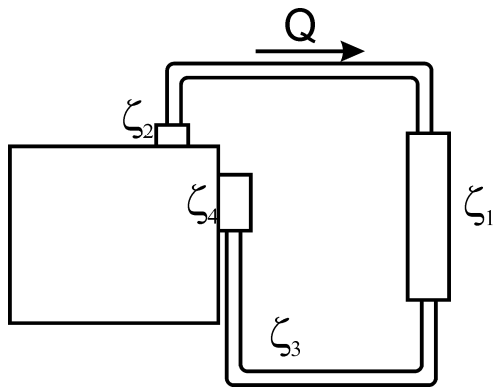


Рисунок 22 – Схема до задачі 22

Задача 22. Визначити режим руху та втрати напору в системі охолодження двигуна внутрішнього згоряння (рис. 22), що включає відцентровий насос, радіатор, термостат, трубопроводи й водяну сорочку двигуна, якщо витрата води Q . Коефіцієнти місцевих опорів для радіатора ζ_1 , термостата ζ_2 , трубопроводів ζ_3 і водяної сорочки

ζ_4 віднесені до швидкості в трубі діаметром d ; довжина трубопроводу l , а шорсткість $\Delta = 0,05$. Дані для рішення задачі – у табл. 22.

Таблиця 22 – Вихідні дані до рішення задачі 22

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l, \text{ м}$	2	2,5	1,5	2,4	1,8	1,6	1,7	2,1	2,2	2,4
$d, \text{ мм}$	50	40	45	55	40	45	50	55	50	40
ζ_1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,7	4,8	4,9	4,0	3,9
ζ_2	5	5,2	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	4,7	4,6
ζ_3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1
ζ_4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	4,6	4,7	4,8	5,0
$\nu, \text{ мм}^2/\text{с}$	1,0	0,55	0,65	0,75	0,85	1,0	0,55	0,65	0,75	0,85

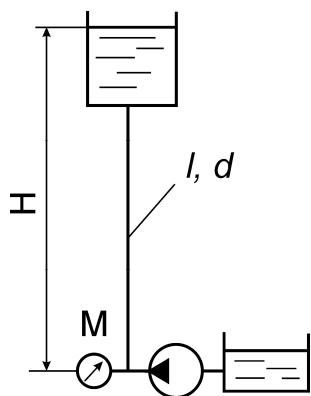


Рисунок 23 – Схема до задачі 23

Задача 23. Насос подає воду у водонапірну башту (рис. 23) по трубопроводу. Витрата води в трубопроводі – Q . Визначити показання манометра M , приєданого до напірного трубопроводу, якщо вода піднімається на висоту H , довжина трубопроводу від точки приєднання манометра до рівня в напірному баці – l , діаметр d , коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda = 0,032$. Місцевими втратами напору зневажити. Дані для рішення задачі – у табл. 23.

Таблиця 23 – Вихідні дані до рішення задачі 23

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
d , мм	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Q , л/с	4,7	4,8	4,9	5,2	5	5,3	5,5	5,8	5,9	6,0
H , м	18	16	19	17	20	22	24	26	28	30

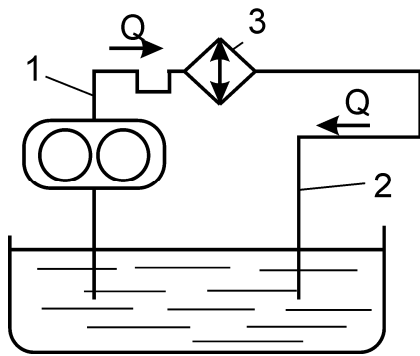


Рисунок 24 – Схема до задачі 24

Задача 24. У системі змащення ДВЗ одна із секцій насоса нагнітає масло по трубопроводу 1 у масляний радіатор 3, з якого воно, остудившись, зливається в піддон по трубопроводу 2 (рис. 24). Визначити необхідний тиск насоса, зневажаючи втратами тиску в усмоктувальній трубі, якщо його подача Q ; розміри трубопроводу l_1, d_1, l_2, d_2 , кінематична в'язкість масла в трубопроводах – ν_1, ν_2 (після охолодження), питома маса масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Трубопровід 1 має п'ять колін, а трубопровід 2 – три. Коефіцієнт опору коліна ζ_k . Радіатор 3 розглядається як місцевий опір з коефіцієнтом ζ ; коефіцієнти опору входу й виходу труб – $\zeta_{in} = 0,5$ і $\zeta_{out} = 1$. Труби гладкі. Дані для рішення задачі – у табл. 24.

Таблиця 24 – Вихідні дані до рішення задачі 24

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5
l_1 , м	1,8	2,0	1,6	2,2	2,4	1,8	2,1	2,0	2,2	2,6
d_1 , мм	10	12	12	10	8	8	10	12	10	12
l_2 , м	1,1	1,2	1,0	1,4	1,6	1,0	1,3	1,4	1,6	1,8
d_2 , мм	15	16	18	15	16	18	15	16	18	15
ν_1 , мм ² /с	8	9	7	8	9	7	9	8	7	8
ν_2 , мм ² /с	11	12	10	11	12	10	11	10	12	12
ζ_k	0,3	0,25	0,4	0,35	0,3	0,35	0,4	0,25	0,3	0,35
ζ	2	2,5	2,2	2,4	2,3	2,5	2	2,1	2,2	2,3

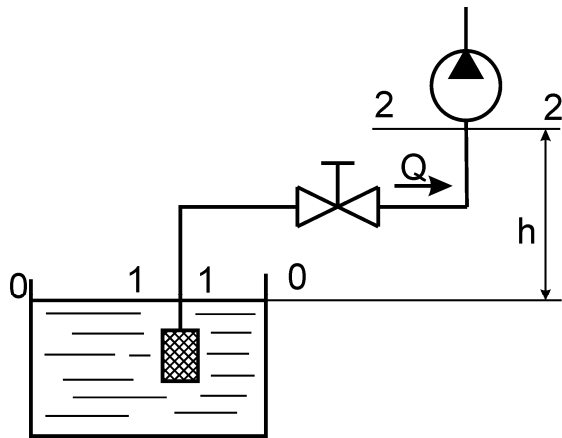


Рисунок 25 – Схема до задачі 25

Задача 25. Усмоктувальний трубопровід насоса має довжину l й діаметр d , висота всмоктування h (рис. 25). Визначити тиск наприкінці трубопроводу (перед насосом), якщо витрата масла Q , питома маса ρ і в'язкість ν , коефіцієнти опору коліна ζ_k , вентилля ζ_B , фільтра ζ_Φ . Дані для рішення задачі – табл. 25.

Таблиця 25 – Вихідні дані до рішення задачі 25

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/хв	50	45	40	45	50	40	50	40	45	55
l , м	5	6	5,5	4,5	5	6	5,5	4,5	5	6
d , мм	32	30	28	32	30	28	30	28	32	30
ρ , кг/м ³	890	900	880	850	880	885	890	910	920	890
ν , мм ² /с	10	30	55	10	12	20	28	51	57	10
ζ_k	0,3	0,2	0,35	0,4	0,25	0,3	0,2	0,35	0,4	0,25
ζ_B	4,5	4,0	5,0	4,5	4,0	5,0	4,5	4,0	5,0	4,5
ζ_Φ	10	9	11	8	12	10	9	11	8	12
h , м	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0

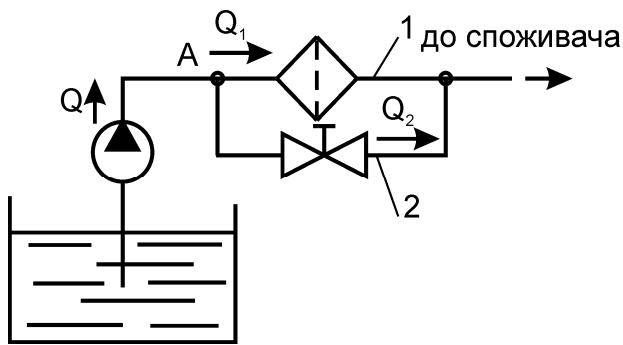


Рисунок 26 – Схема до задачі 26

Задача 26. Насос подає до вузла А постійну витрату рідини Q (рис. 26). Зневажаючи втратами тиску на тертя в трубопроводах, побудувати графік залежності витрати Q_1 рідини через фільтр із коефіцієнтом опору ζ_Φ від

коефіцієнта опору вентилля ζ_B . При якому значенні ζ_B фільтр буде пропускати половину повної витрати? Діаметри трубопроводів d_1 й d_2 . Втратами тиску на поворотах трубопроводу 2 зневажити. Дані для рішення задачі – у табл. 26.

Таблиця 26 – Вихідні дані до рішення задачі 26

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/хв	30	40	50	60	25	35	45	55	65	70
d_1 , мм	20	22	18	24	20	22	18	24	22	20
ζ_{Φ}	10	12	8	9	10	12	8	9	10	12
$\zeta_{B \max}$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
d_2 , мм	32	34	30	32	32	34	30	32	32	34

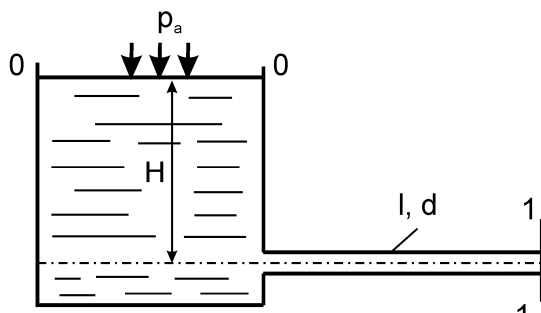


Рисунок 27 – Схема до задачі 27

Задача 27. Визначити довжину труби l , при якій витрата рідини з бака (рис. 27) буде у два рази менше, ніж через отвір того ж діаметра d . Напір над отвором дорівнює H . Коефіцієнт витрати для отвору – μ_0 . Коефіцієнт гідравлічного тертя в трубі – λ ,

коефіцієнт опору входу в трубу $\zeta_{in} = 0,5$; режим руху рідини – турбулентний. Дані для рішення задачі – у табл. 27.

Таблиця 27 – Вихідні дані до рішення задачі 27

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	30	50	40	60	40	30	50	35	25	60
H , м	6	5	4	5	6	7	4	5	3	7
λ	0,025	0,03	0,035	0,03	0,025	0,035	0,025	0,035	0,03	0,04
μ_0	0,62	0,63	0,64	0,6	0,62	0,6	0,63	0,64	0,62	0,61

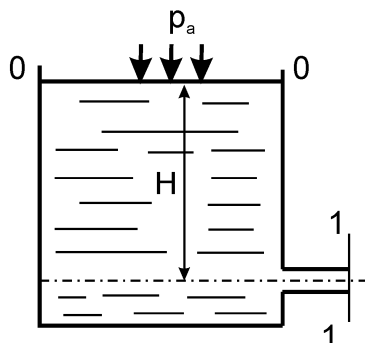


Рисунок 28 – Схема до задачі 28

Задача 28. З резервуара (рис. 28) в атмосферу виходить рідина із питомою масою ρ під напором H через отвір у тонкій стінці. Діаметр отвору d . Потрібно визначити коефіцієнт опору отвору ζ_0 й коефіцієнт стиску струменя ϵ_0 , якщо коефіцієнти швидкості $\varphi_0 = 0,96$, витрати $\mu_0 = 0,62$, режим руху рідини – турбулентний. Як зміниться витрата рідини,

якщо до отвору приєднати циліндричний насадок того ж діаметра з коефіцієнтом опору $\zeta_H = 0,55$. Дані для рішення задачі – у табл. 28.

Таблиця 28 – Вихідні дані до рішення задачі 28

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	15	20	25	30	25	20	15	20	10	20
H , м	3	6	5	4	5	6	5	4	2	3
ρ , кг/м ³	900	750	800	1000	910	1200	940	880	970	790

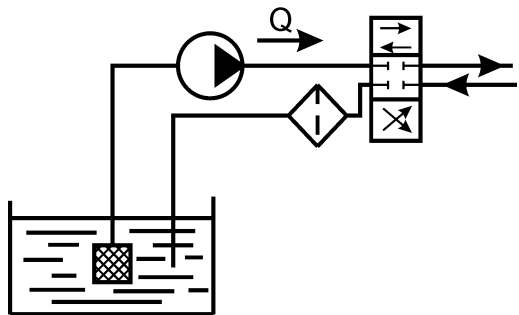


Рисунок 29 – Схема до задачі 29

Задача 29. Від насоса до гідророзподільника (рис. 29) рідина подається з витратою Q по трубопроводу довжиною l і діаметром d . Визначити величину ударного й повного тисків при спрацьовуванні гідророзподільника, а також від можливого гідроудару, якщо питома маса рідини ρ , модуль

пружності для трубопроводу E , рідини K , товщина стінки трубопроводу δ , а час спрацьовування гідророзподільника $T = 0,001$ с. Дані для рішення задачі – у табл. 29.

Таблиця 29 – Вихідні дані до рішення задачі 29

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , МПа	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,55
Q , л/с	1	1,5	2	2	2	1,5	1,5	1	1	1
l , м	7,5	8,0	7,0	9,0	10	12	7	7,5	8	10
d , мм	16	18	12	14	16	12	14	18	16	14
ρ , кг/м ³	900	880	885	850	910	850	920	900	820	850
E , 10^{11} Па	2,06	2,16	1,52	1,18	0,7	2,06	2,06	2,16	2,16	2,06
K , 10^9 Па	1,79	1,28	1,39	1,39	1,47	1,35	1,79	1,79	1,79	1,36
δ , мм	1	1,2	1	1,2	1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2

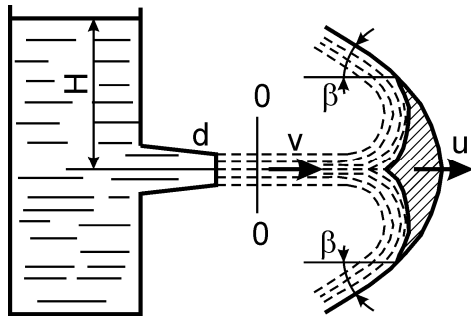


Рисунок 30 – Схема до задачі 30

Задача 30. У ковшовій гідротурбіні (рис. 30) струмінь води діаметром d зі швидкістю v витікає на ківш, вихідний кут якого дорівнює β . Визначити дію струменя на ківш, що переміщається поступально з постійною швидкістю u . Втрати напору при протіканні води по ковші зневажити. Дані для рішення задачі – у табл. 30.

Таблиця 30 – Вихідні дані до рішення задачі 30

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	30	35	40	45	50	45	60	55	40	35
v , м/с	50	55	60	70	65	75	80	85	90	50
u , м/с	20	30	40	35	30	20	40	30	20	15
β , °	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

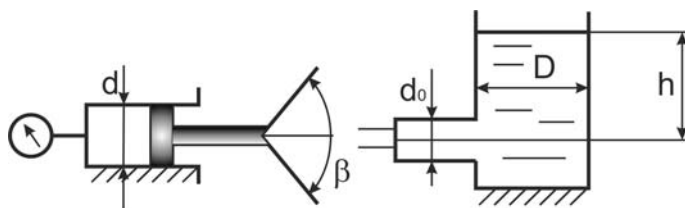


Рисунок 31 – Схема до задачі 31

Задача 31. Вода, випливаючи з відкритого циліндричного бака діаметром D (рис. 31) через циліндричний насадок діаметром d_0 , впливає на

гідроциліндр діаметром d , на штоку якого закріплений конус із кутом β . Визначити тиск у гідроциліндрі в початковий момент часу, коли рівень рідини в баці дорівнює h . Дані для рішення задачі – у табл. 31.

Таблиця 31 – Вихідні дані до рішення задачі 31

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	400	450	500	550	560	600	650	700	655	555
d_0 , мм	100	120	130	105	110	115	125	135	140	90
D , м	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58
β , °	20	23	26	28	30	33	36	39	40	42
h , м	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,0

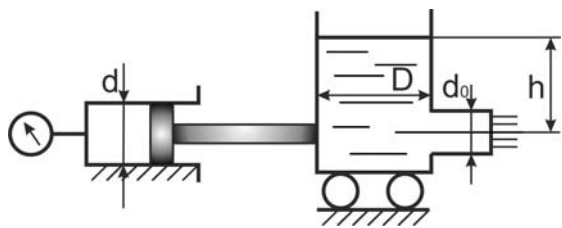


Рисунок 32 – Схема до задачі 32

Задача 32. Вода, витікаючи через циліндричний насадок діаметром d_0 , з розташованого на котках відкритого циліндричного бака діаметром D , з'єднаного з поршнем гідроциліндра (рис. 32),

впливає на гідроциліндр діаметром d . Визначити тиск у гідроциліндрі в початковий момент часу, коли рівень рідини в баці дорівнює h . Дані для рішення задача – у табл. 32.

Таблиця 32 – Вихідні дані до рішення задачі 32

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	650	700	655	555	300	400	500	560	600	700
d_0 , мм	125	135	140	90	100	105	108	110	115	125
D , м	0,52	0,54	0,56	0,58	0,55	0,52	0,49	0,48	0,5	0,45
β , °	36	39	40	42	38	34	32	30	33	37
h , м	3,3	3,6	3,9	4,0	3,8	3,6	3,4	2,8	3,0	3,2

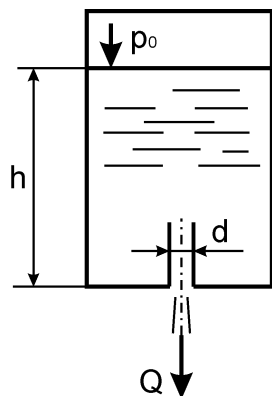


Рисунок 33 – Схема до задачі 33

Задача 33. Вода витікає із закритого резервуара в атмосферу через отвір діаметром d (рис. 33). Глибина занурення центра отвору – h , надлишковий тиск на поверхні рідини – p_0 . Визначити витрату рідини, а також необхідний надлишковий тиск для пропуску тієї ж витрати, якщо до отвору приєднати циліндричний зовнішній насадок довжиною $l = 0,1$ м. Дані для рішення задачі – у табл. 33.

Таблиця 33 – Вихідні дані до рішення задачі 33

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	15	17	19	20	21	23	25	27	29	30
h , м	0,4	0,42	0,44	0,5	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41
p_0 , кПа	7	6	5	4	8,0	9	10	11	12	13

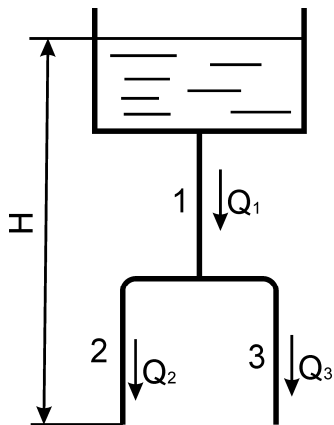


Рисунок 34 – Схема до задачі 34

Задача 34. З бака вода надходить по трьох сталевих трубах в атмосферу (рис. 34). Визначити витрати в трубах, якщо напір $H = 10$ м, приведені довжини труб – l_1, l_2, l_3 , діаметри – d_1, d_2, d_3 . Дані для рішення задачі – у табл. 34.

Таблиця 34 – Вихідні дані до рішення задачі 34

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1 , м	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
l_2 , м	15	20	22	25	27	30	33	35	40	45
l_3 , м	20	22	26	30	32	34	36	38	40	42
d_1 , мм	50	50	75	75	100	100	125	125	100	100
d_2 , мм	30	30	30	50	50	50	75	75	75	50
d_3 , мм	30	50	30	75	50	75	75	50	50	50

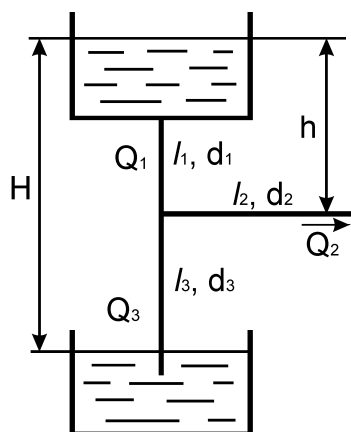


Рисунок 35 – Схема до задачі 35

Задача 35. З верхнього водонапірного бака вода з витратою Q_2 надходить в атмосферу та у нижній бак (рис. 35) по сталевих трубах довжинами l_1, l_2, l_3 й діаметрами d_1, d_2, d_3 . Визначити витрати Q_1 й Q_3 , напір H , якщо $h = 5$ м. Дані для рішення задачі – у табл. 35.

Таблиця 35 – Вихідні дані до рішення задачі 35

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1, \text{ м}$	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70
$l_2, \text{ м}$	30	33	35	40	45	15	20	22	25	27
$l_3, \text{ м}$	34	36	38	40	42	20	22	26	30	32
$d_1, \text{ мм}$	100	125	125	100	100	50	50	75	75	100
$d_2, \text{ мм}$	50	75	75	75	50	30	30	30	50	50
$d_3, \text{ мм}$	75	75	50	50	50	30	50	30	75	50
$Q_2, \text{ л/с}$	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

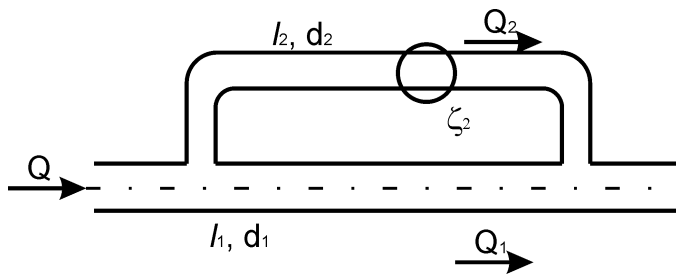


Рисунок 36 – Схема до задачі 36

Задача 36. Визначити, як розподілиться витрата Q між двома паралельними трубами, одна йз яких має довжину l_1 й діаметр d_1 , а інша – довжину l_2 й діаметр d_2 . Які будуть втрати

напору в розгалуженій ділянці, якщо коефіцієнт місцевих втрат $\zeta_2 = 5$, а коефіцієнти опору тертя відповідно рівні λ_1 та λ_2 (рис. 36). Дані для рішення задачі – у табл. 36.

Таблиця 36 – Вихідні дані до рішення задачі 36

Величина	Остання цифра шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1, \text{ м}$	20	22	24	28	30	33	38	40	50	51
$l_2, \text{ м}$	40	44	44	48	50	47	48	45	55	60
$d_1, \text{ мм}$	40	42	44	46	50	48	52	55	56	56
$d_2, \text{ мм}$	40	60	80	90	100	90	80	70	60	50
$Q, \text{ л/с}$	20	18	24	20	26	30	25	30	20	25
λ_1	0,03	0,035	0,04	0,04	0,04	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037
λ_2	0,028	0,029	0,03	0,031	0,03	0,029	0,028	0,027	0,026	0,025

ВКАЗІВКИ ДО РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Всі обчислення варто робити в Міжнародній системі одиниць (СИ).

Задача 1. Використати формулу перекладу умовної в'язкості в градуссах Енглера в кінематичну в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$:

$$\nu_{50} = \left(0,0731 \cdot {}^\circ E - \frac{0,0631}{{}^\circ E} \right) \cdot 10^{-4},$$

після чого визначити динамічну в'язкість із урахуванням питомої маси нафтопродукту при $50\text{ }^\circ\text{C}$:

$$\rho_{50} = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t \Delta t}.$$

Задача 2. Визначити відносне збільшення обсягу $\Delta W / W$ через підвищення температури й надалі використати його у формулі підвищення тиску в цистерні.

Задача 3. Використати формулу визначення питомої маси краплинних рідин при температурі й тиску, відмінних від початкових

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \Delta t - \beta_p \Delta p}.$$

Задачі 4-5. Виходячи з того, що сила тертя пропорційна обертальному моменту й може бути визначена, за допомогою формули $F = \mu S \frac{du}{dy}$ визначити динамічний коефіцієнт в'язкості, а потім кінематичний. Градієнт швидкості в шарі змащення при її лінійній зміні $-\frac{du}{dy} = \frac{u}{\delta}$.

Задачі 6-9. Визначити тиск за основним рівнянням гідростатики. Для знаходження необхідних величин використати залежність тиску від висоти стовпа рідини, визначення вакууму, надлишкового й абсолютного тисків.

Задачі 10-11. Тиск, створюваний насосом, визначити після знаходження сили P_1 з умов рівноваги важеля. Вважаючи в задачі 10 тиск у порожнинах A й B однаковим, визначити силу, що розвиває домкрат, яка повинна дорівнювати вазі вантажу, що піднімається, з урахуванням ККД домкрата, а після знайти масу вантажу. У задачі 11, використовуючи рівняння гідростатики, визначити тиск під поршнем робочого циліндра й силу, що розвиває прес.

Задачі 12-13. Визначити силу абсолютного тиску повітря на стінку праворуч і ліворуч: тиск рідини й результуючу силу тиску на стінку. Абсолютний тиск повітря на стінку праворуч $p_n = p_a + p_e$ (задача 12) і $p_n = p_a - \rho_{pm}gh$ (задача 13). У формулі центра тиску рідини на стінку $J_o = a^4/12$ (задача 12) і $J_o = \pi d^4/64$ (задача 13). Відстань x результуючої сили P від поверхні рідини обчислити з використанням теореми про момент рівнодіючої, тобто $P \cdot x = P_l \cdot h_c + P_r y_D - P_n \cdot h_c$, де $h_c = h + \frac{d}{2}$ (задача 12) і $h_c = H$ (задача 13).

Задача 14. Зобразити напрямок активних сил, що діють на важіль, і записати їхнє вираження. Скласти рівняння рівноваги важеля й визначити величину надлишкового тиску палива. Відносна питома маса $\delta = \rho/\rho_r$, де $\rho_r = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Задача 15. Зобразити рисунок з кутом крену θ й напрямком сили Архімеда P_A . Визначити відстань h_e від дна баржі до центра водотоннажності B , ексцентриситет e , метацентричну висоту h_M , момент інерції $J = zD^3/12$, обсяг зануреної частини W й силу Архімеда P_A . Скласти умову рівноваги крана щодо центра ваги C й визначити кут θ .

Задача 16. Скласти рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) – (2-2), після чого з рівняння нерозривності виразити одну швидкість і визначити необхідні величини. При розрахунках прийняти $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Задача 17. Скласти рівняння Бернуллі для повітря й бензину відповідно між перетинами (0-0) – (2-2) і (1-1) – (2-2). Вважаючи тиск у потоці падаючої суміші однаковим, з рівнянь Бернуллі

знайти відношення швидкостей V_{2a} й V_{2p} і підставити їх у вагові співвідношення витрат повітря й бензину.

Задача 18. Скласти рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) й (2-2) щодо площини порівняння (0-0). Для розрахунку абсолютного тиску у верхній точці трубопроводу скласти рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) і $(x-x)$ щодо площини порівняння (0-0).

Задача 19. Вибрати площину порівняння й скласти рівняння Бернуллі для перетинів (0-0) – (1-1) з урахуванням втрат на раптове звуження й розширення. При $Re_{кр} = 2320$ визначити $V_{кр}$ й $\lambda_{кр}$, після чого знайти витрату та напір.

Задача 20. Скласти рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) та (2-2) щодо горизонтальної площини порівняння (0-0). Втрати напору у вентилі знайти з рівняння Бернуллі. З іншого боку, втрати напору у вентилі можна знайти за формулою $h_B = \zeta_B V^2 / 2g$.

Задача 21. Вибрати площину порівняння й скласти рівняння Бернуллі для перетинів (0-0) – (1-1) з метою визначення швидкості руху рідини в трубопроводі й витрати. Використовуючи рівняння витрати рідини в циліндрі й трубопроводі, знайти швидкість переміщення поршня.

Задача 22. Визначити швидкість руху рідини й число Рейнольдса. Якщо $Re < Re_{кр}$, то коефіцієнт Дарсі визначити за формулою $\lambda = 64/Re$. Якщо $Re > Re_{кр}$, то для

1) $2320 < Re \leq 20d/\Delta$ коефіцієнт $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$;

2) $20d/\Delta < Re \leq 500d/\Delta$ коефіцієнт $\lambda = 0,11(\Delta/d + 68/Re)^{0,25}$;

3) $500d/\Delta < Re \leq 1000d/\Delta$ коефіцієнт $\lambda = 0,11(\Delta/d)^{0,25}$.

Знайти втрати в системі охолодження двигуна.

Задача 23. Вибрати площину порівняння й скласти рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) – (2-2) з метою визначення показань манометра. Перший перетин вибрати в місці кріплення манометра, другий – за рівнем у напірному баці.

Задача 24. Визначити швидкості, числа Рейнольдса й коефіцієнти Дарсі λ для трубопроводів 1 і 2. Якщо $Re < Re_{кр}$, то

$\lambda_{1,2} = 64/Re$, якщо $Re > Re_{кр}$, то $\lambda_{1,2} = 0,3164/Re^{0,25}$. Після визначення втрат у трубопроводах 1 і 2 (h_{w1} і h_{w2}), і в радіаторі (h_p) знайти необхідний тиск насоса $p = \rho g(h_{w1} + h_{w2} + h_p)$.

Задача 25. Обчислити швидкість руху рідини, число Рейнольдса й коефіцієнт Дарсі λ для визначення втрат напору в усмоктувальному трубопроводі. Для обчислення коефіцієнта Дарсі λ скористатися вказівками до задачі 24. З рівняння Бернуллі для перетинів (1-1) – (2-2) щодо площини порівняння (0-0) знайти тиск перед насосом. При розрахунках коефіцієнт Коріоліса прийняти $\alpha = 1$.

Задача 26. Втрати тиску в паралельних трубопроводах 1 і 2 записати у вигляді рівності $\zeta_{\Phi} \rho V_1^2 / 2 = \zeta_B \rho V_2^2 / 2$. Виразити швидкості V_1 й V_2 через витрати Q_1 й Q_2 , і підставити в записану рівність. Вважаючи, що $Q_2 = Q - Q_1$, після перетворень одержимо

вираження $Q_1 / Q_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \sqrt{\frac{\zeta_B / \zeta_{\Phi}}{1 + (d_1/d_2)^2 \sqrt{\zeta_B / \zeta_{\Phi}}}}$, за яким варто

побудувати графічну залежність $Q_1 / Q_2 = f(\zeta_B)$ для ζ_B й Q_1 / Q_2 відповідно в межах $0 \dots 100$ та $0 \dots 1$. Після побудови графіка знайти ζ_B , при якому $Q_1 = 0,5Q$.

Задача 27. Визначити витрату через отвір: $Q_o = \mu_o S_o \sqrt{2gH}$. Записати рівняння Бернуллі для перетинів (0-0) – (1-1), з якого знайти довжину трубопроводу, вважаючи, що $V = \frac{4Q}{\pi d^2}$ і $Q_o = 2Q$, коефіцієнт Коріоліса $\alpha = 1$.

Задача 28. Визначити швидкість витікання й витрату рідини через отвір. Обчислити коефіцієнт опору отвору з вираження коефіцієнта швидкості $\varphi_o = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_o}}$. Визначити коефіцієнт стиску струменя через отвір з формули $\mu_o = \varepsilon \varphi_o$. Обчислити коефіцієнт витрати й витрату через насадок, порівняти витрати через насадок й отвір.

Задача 29. Визначити швидкість руху рідини до удару, величину ударного й повного тисків. Визначити час τ пробігу прямої та зворотної хвилі. Порівняти час τ із часом T_3 для визначення виду гідравлічного удару. Швидкість поширення ударної хвилі $a = \frac{1}{\sqrt{\rho/K + \rho d/\delta E}}$.

Задача 30. Визначити витрату рідини, що поступає на ківш гідротурбіни. Силу струменя, що діє на ковшову турбіну, розрахувати за формулою $P = \rho QV(1 + \cos\beta)$. Для турбіни, що рухається, у формулу визначення сили необхідно внести виправлення.

Задача 31-32. Визначити витрату рідини через насадок по формулі: $Q = \mu S \sqrt{2gh}$. Силу струменя, що діє на поршень циліндра, розрахувати за формулою $P = \rho QV(1 + \cos\beta/2)$. Потім розрахувати тиск у циліндрі.

Задача 33. Визначити витрату при витіканні рідини через отвір з урахуванням того, що витікання відбувається із закритого резервуара, тобто необхідно врахувати надлишковий тиск на поверхні рідини. Для визначення витрата рідини, а також необхідного надлишкового тиски для пропуску тієї ж витрати, якщо до отвору приєднати циліндричний зовнішній насадок у формулі витрати необхідно при обчисленні напорі рідини врахувати довжину насадка.

Задачі 34-36. Використати рівність втрати напорів у паралельних лініях і рівність витрат при послідовному з'єднанні трубопроводів. За відомим значенням витрати визначають швидкість рідини, число Рейнольдса, режим течії. Знаючи режим течії обчислюють коефіцієнт тертя й втрати напорі.

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ Й РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

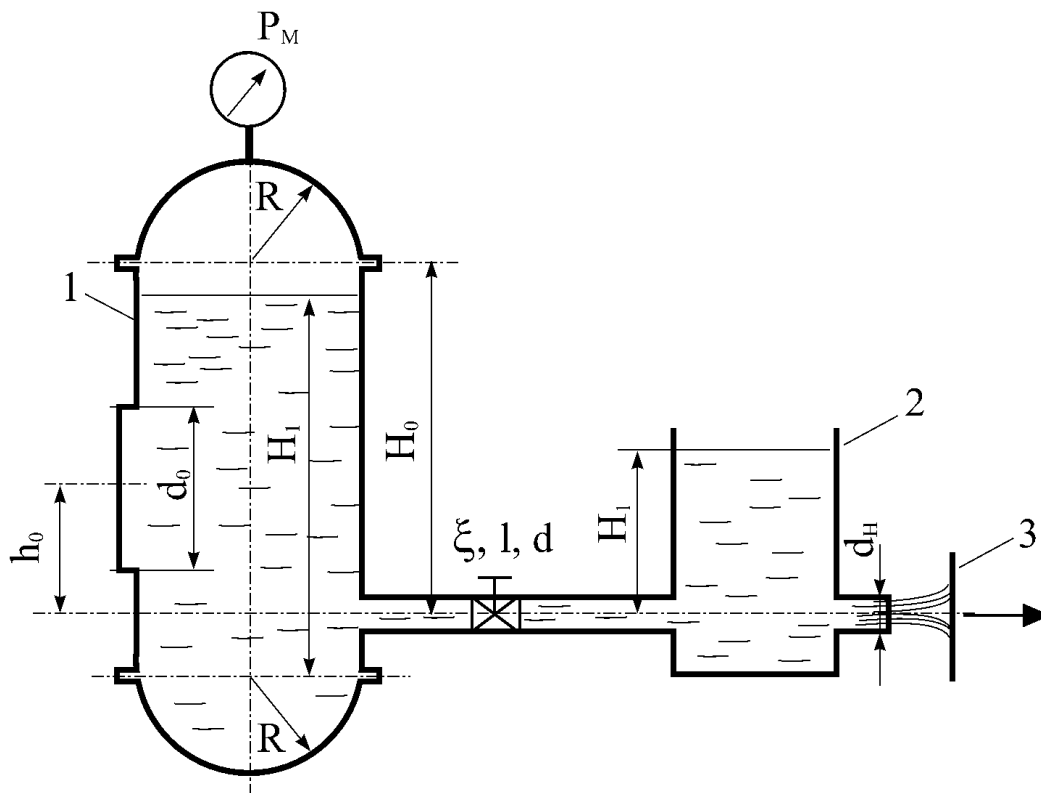


Рисунок 37 – Схема гідросистеми

Циліндричний резервуар 1 (рис. 37) з напівсферичними верхньою й нижньою кришками радіусом $R = 2,0$ м, має бічний люк діаметром $d_o = 0,70$ м і трубопровід, що перебуває на відстані $h_o = 2,0$ м від осі, закритий плоскою кришкою, з'єднаний з резервуаром 2 трубопроводом, виготовленим зі старої сталевій труби довжиною $L = 12$ м і діаметром $d = 40$ мм і коефіцієнтом опору засувки $\zeta = 5,5$. Вода під напором $H_o = 3,0$ м і тиском повітря на вільній поверхні $p_M = 0,5$ МПа перетікає з резервуара 1 у резервуар 2, а з нього при постійному напорі $H_1 = 4,0$ м через циліндричний насадок діаметром d_H витікає в атмосферу, ударяючись об плоску перешкоду 3.

Рішення. 1. *Визначити сили тиску на верхню, нижню й бічну кришки резервуара 1.*

Тиск у будь-якій точці рідини, що знаходиться у спокої, можна визначити по основному рівнянню гідростатики:

$$p = p_o + \rho gh.$$

Силу тиску на будь-яку плоску поверхню можна визначити як:
 $P = p_c F$.

Сила тиску на плоский люк:

$$\begin{aligned} P &= p_c F = (p_m + \rho g(H_o - h_o)) \cdot \frac{\pi d_o^2}{4} = \\ &= (0,5 \cdot 10^6 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (3,0 - 2,0)) \cdot \frac{\pi \cdot 0,7^2}{4} = 196 \text{ кН} \end{aligned}$$

Силу тиску на криволінійну поверхню можна розрахувати, попередньо розклавши її на складові – горизонтальну P_Γ і вертикальну P_B :

$$P = \sqrt{P_\Gamma^2 + P_B^2}.$$

Сила тиску на верхній люк, з огляду на, що там перебуває повітря й тиск на кришку буде однаковим у всіх точках:

$$P = p_M F = p_M \pi R^2 = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 2,0^2 \cdot 10^{-3} = 6280 \text{ кН}$$

На нижній люк: $P_\Gamma = 0$;

$$\begin{aligned} P_B &= \rho g W_{m\partial} = \\ &= \rho g \left(\left(\frac{p_m}{\rho g} + H_1 \right) \cdot \pi R^2 + \frac{2}{3} \pi R^3 \right) = \\ &= 1000 \cdot 9,81 \left(\left(\frac{0,5 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 4,0 \right) \cdot \pi \cdot 2,0^2 + \frac{2}{3} \pi \cdot 2,0^3 \right) \cdot 10^{-3} = \\ &= 6940 \text{ кН} \end{aligned}$$

2. *Визначити тиск на вході в трубопровід при закритій засувці.*

$$\begin{aligned} p &= p_m + \rho g H_o = \\ &= 0,5 \cdot 10^6 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,0 = 520000 \text{ Па} = 0,52 \text{ МПа} \end{aligned}$$

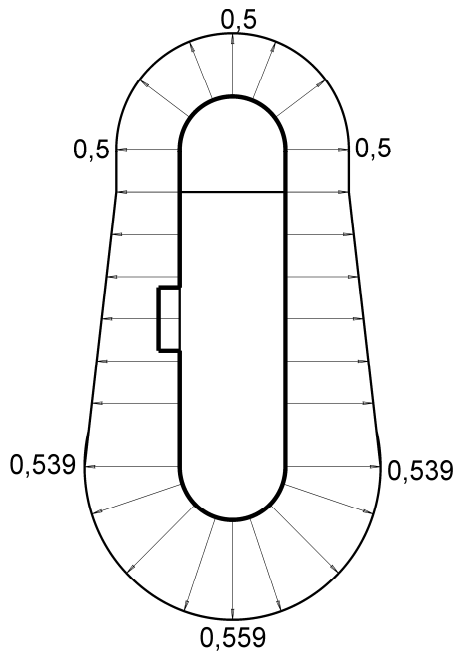


Рисунок 38 – Епюра гідростатичного тиску на внутрішній поверхні резервуару 1 (в МПа)

3. Побудувати епюри гідростатичного тиску на внутрішній поверхні резервуара.

Знаючи закон зміни тиску за глибиною, можна графічно побудувати епюри тиску на поверхні резервуара. Для цього знаходять тиск у крайніх точках, відкладають його величину в масштабі нормально до поверхні й з'єднують лініями.

4. Визначити величину витрати води, що надходить у резервуар 2.

Витрату рідини, що перетікає з бака 1 у бак 2 можна визначити графоаналітичним способом, побудувавши графік залежності необхідного напору H_n від витрати

Q , і по напорі H_h знайти шукану витрату.

Для графічної побудови цього рівняння (тобто графіка виду $H_n = f(Q)$) задаються декількома значеннями витрат і визначають всі величини, що входять у рівняння. Максимальну величину витрати, що задається, можна приблизно визначити за формулою:

$$Q_{\max} = \mu f \sqrt{2gH_h}$$

Напір на вході в трубопровід, визначається за основним рівнянням гідростатики:

$$H_h = \frac{p_m}{\rho g} + H_o = \frac{0,5 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 2,0 = 53,0 \text{ м}$$

$$Q_{\max} = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,040^2}{4} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 53,0} = 0,024 \text{ м}^3/\text{с} = 24 \text{ л/с}$$

Розрахувавши максимальне значення витрати Q_{\max} , задаються декількома значеннями поточних витрат Q (найчастіше трьома) і визначають інші величини в наступній послідовності:

Розраховуються поточні значення швидкості рідини в трубопроводі:

$$V = \frac{Q}{f} = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Підраховують критерій Рейнольдса Re й визначають режим руху рідини – $Re = \frac{Vd}{\nu}$. Визначивши режим руху рідини, розраховують величину коефіцієнта опору тертя λ .

У загальному випадку коефіцієнт опору тертя λ є функцією двох параметрів – числа Рейнольдса Re й відносної шорсткості $\frac{\Delta_e}{d}$.

Статичний напір H_{st} визначається умовами виходу.

Після визначення всіх величин, що входять у рівняння необхідного напору, розраховують кілька значень H_n для всіх величин витрати, що задані.

$$H_n = H_{st} + 0,0827 \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{Q^2}{d^4}$$

Таблиця 37 – Розрахунок трубопроводу

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$V, \text{ м/с}$	Re	λ	$\sum \zeta$	$H_{st}, \text{ м}$	$H_n, \text{ м}$
0	0	0	-	7,0	4,0	4,0
0,004	3,18	127000	0,0368	7,0	4,0	13,3
0,08	6,36	254000	0,0368	7,0	4,0	41,3
0,012	9,54	381000	0,0368	7,0	4,0	87,9

Розрахунок одного значення витрати

$$Q = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V = \frac{Q}{f} = \frac{4 \cdot 0,004}{\pi \cdot 0,04^2} = 3,18 \text{ м/с}; \quad Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{3,18 \cdot 0,04}{1 \cdot 10^{-6}} = 127000$$

$$Re \cdot \frac{\Delta_e}{d} = 127000 \cdot \frac{0,0005}{0,04} = 1590 > 500, \text{ отже,}$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_e}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot (0,0125)^{0,25} = 0,0368$$

$$\sum \zeta = \zeta + \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вих}} = 5,5 + 0,5 + 1 = 7,0$$

$$H_n = H_{st} + 0,0827 \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{Q^2}{d^4} =$$

$$= 4,0 + 0,0827 \cdot \left(0,0368 \cdot \frac{12}{0,04} + 7,0 \right) \frac{0,004^2}{0,04^4} = 13,3 \text{ м}$$

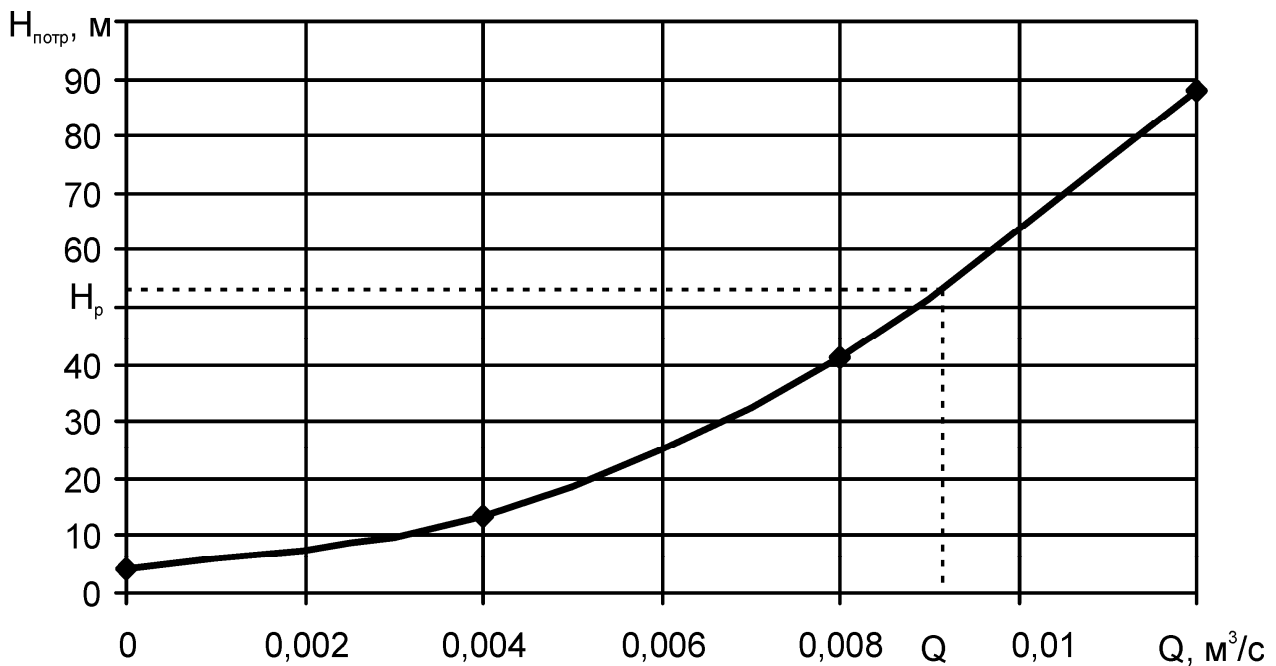


Рисунок 39 – Напірна лінія трубопроводу ($Q = 0,0092 \text{ м}^3/\text{с}$)

5. Знайти діаметр d_H насадка, що забезпечує постійний рівень H_1 у резервуарі 2.

Діаметр насадка, що забезпечує постійний рівень у резервуарі 2 можна знайти, використовуючи формули для витікання рідини через отвори й насадки. Витрата рідини через них визначається:

$$Q = \mu f \sqrt{2gH}.$$

Знаючи витрату Q , що витікає з резервуара 2 (тому що рівень H_1 за умовами задачі величина постійна, то дотримується рівність

витрат, що втікає й витікає), можна знайти площу насадка, і, отже, його діаметр.

$$f = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2gH}} = \frac{0,0092}{0,82 \cdot \sqrt{2g \cdot 4,0}} = 0,00127 \text{ м}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00127}{\pi}} = 0,04 \text{ м} = 40 \text{ мм.}$$

6. Знайти силу взаємодії між струменем, що витікає з насадка й перешкодою.

$$R = \rho \cdot QV(1 - \cos\beta) = \rho \cdot V^2 f(1 - \cos\beta) =$$

$$= 1000 \cdot \left(\frac{0,0092}{0,00127} \right)^2 \cdot 0,0092 \cdot (1 - \cos 90) = 483 \text{ Н}$$

7. Знайти підвищення тиску в трубопроводі при миттєвому закритті засувки, на його кінці, прийнявши товщину стінки $\delta = 0,05d$.

Підвищення тиску в трубопроводі при миттєвому закритті засувки можна знайти, використовуючи формули для розрахунку гідравлічного удару, що виникає при миттєвому перекритті прохідного перетину трубопроводу. Величина такого підвищення тиску дорівнює: $\Delta p = \rho \cdot c \cdot V$. Швидкість поширення ударних хвиль можна знайти по формулі Жуковського:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot d}{E \cdot \delta}}} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot 10^9}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10^9 \cdot 0,04}{2 \cdot 10^{11} \cdot 0,05 \cdot 0,04}}} = 1292 \text{ м/с.}$$

$$\text{Тоді } \Delta p = 1000 \cdot 1292 \cdot \frac{4 \cdot 0,0092}{3,14 \cdot 0,040^2} \cdot 10^{-6} = 9,46 \text{ МПа.}$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. – М. : Машиностроение, 1982.- 423 с.
2. Васильченко В А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справ. - -М.: Машиностроение, 1983. – 386 с.
3. Некрасов Б. Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах. – М.: Машиностроение, 1967. – 368 с.
4. Угинчус А. А. Гидравлика и гидравлические машины. – Харьков: ХГУ, 1970. – 400 с.
5. Бутаев Д. А., Калмыкова З. А., Подвиз Л. Г. и др. Задачник по машиностроительной гидравлике. – М.: Машиностроение, 1981.- 464 с.
6. Вакина В. В., Денисенко И. Д., Столяров А. А. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. – Киев: Выща шк. Головное изд-во, 1987. – 208 с.
7. Байбаков О. В., Бутаев Д. А., Калмыкова З. А. и др. Лабораторный курс гидравлики насосов. – М.: Машиностроение, 1974.- 416 с.
8. Методические указания к выполнению лабораторных работ по гидравлике и гидравлическим машинам для студентов 3 и 4 курсов специальностей 0511, 1609, 1617. – Харьков: ХАДИ, 1983. - 32с.
9. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей высших учебных заведений. – М.: Высш. шк., 1984, 1982, 1977, 1972.