Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

О.В. Паневник, Л.В.Возняк, М.І.Мердух, П.Р.Гімер

ГІДРАВЛІКА. ГІДРАВЛІКА І ГІДРОПНЕВМОПРИВОД

КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Кафедра нафтогазової гідромеханіки

О.В. Паневник, Л.В.Возняк, М.І.Мердух, П.Р.Гімер

ГІДРАВЛІКА. ГІДРАВЛІКА І ГІДРОПНЕВМОПРИВОД

КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ

Для бакалаврів напряму підготовки
6.050304 – «Нафтогазова справа»
6.050502 – «Інженерна механіка»
6.070106 – «Автомобільний транспорт»

Івано-Франківськ
2010

МВ 02070855-2966-2010

Паневник О.В., Возняк Л.В., Мердух М.І., Гімер П.Р. Гідравліка: Методичні вказівки для курсового проектування. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 108 с.

Методичні вказівки до курсового проектування складено на основі програми дисциплін «Гідравліка» і «Гідравліка і гідропневмопривод».

У методичних вказівках викладено рекомендації до змісту і оформлення курсової роботи з дисциплін «Гідравліка» і «Гідравліка і гідропневмопривод» для бакалаврів напряму підготовки 6.050304 – «Нафтогазова справа», 6.050502 – «Інженерна механіка», 6.070106 – «Автомобільний транспорт», які використовуються студентами денної та заочної форм навчання.

Рецензент: д-р техн. наук, зав. каф. спорудження і ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ ІФНТУНГ Грудз В.Я.

Рекомендовано методичною радою університету (протокол № 5 від 22.04.2010 р.)

© Паневник О.В., Возняк Л.В., Гімер П.Р., Мердух М.І., 2010
© ІФНТУНГ, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1. МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ 7
2. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВОЮ РОБОТОЮ 7
3. ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ 9
3.1 Перелік питань для розроблення 9
3.2 Варіанти розрахункових схем та вихідні дані 13
3.2.1 Установка для перекачування бензину 13
3.2.2 Насосна установка для водопостачання 15
3.2.3 Установка для бензину при нижньому зливанні 17
3.2.4 Установка для верхнього наливання нафтопродуктів 19
3.2.5 Насосна установка для перекачування нафтопродуктів 21
3.2.6 Установка для перекачування нафтопродуктів при нижньому зливанні з вагоноцистерни через нульовий резервуар 23
3.2.7 Установка для перекачування нафтопродуктів при верхньому наливанні у вагоноцистерни через проміжний резервуар 25
3.2.8 Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробуванні трубопроводів 27
3.2.9 Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробуванні горизонтального трубопроводу 29
3.2.10 Установка для самопливного зливання сифоном через нульовий резервуар 31
4. СТРУКТУРА І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ 33
4.1 Пояснювальна записка 33
4.1.1 Титульний аркуш 33
4.1.2 Завдання на курсову роботу 33
4.1.3 Зміст 34
4.1.4 Вступ 34
4.1.5 Основна частина 34
4.1.6 Висновки 35
4.1.7 Перелік посилань на джерела 35
4.1.8 Додатки 35
4.1.9 Бібліографічна довідка 36
4.2 Загальні рекомендації з виконання курсової роботи 36
4.2.1 Загальна частина (вступ) 37
4.2.2 Гідравлічний розрахунок трубопроводів 37

4.2.2.1 Оброблення вихідних даних 37
4.2.2.2 Визначення діаметрів труб всмоктувальної і нагнітальної лінії 37
4.2.2.3 Побудова графіка необхідного напору 39
4.2.3 Вибір типу і підбір за каталогом марки насоса 41
4.2.4 Перерахунок характеристики відцентрових насосів з води на в'язку рідину 45
4.2.5 Регулювання роботи відцентрового насоса 47
4.2.5.1 Регулювання дроселюванням 48
4.2.5.2 Регулювання перепуском рідини з нагнітання на всмоктування (байпасування) 49
4.2.5.3 Регулювання зміною частоти обертання вала 50
4.2.5.4 Регулювання обточкою робочого колеса 51
4.2.5.5 Спільна робота насосів на трубопровід 53
4.2.6 Визначення допустимої висоти всмоктування 55
4.3 Приклад виконання розрахунків 58
4.3.1 Загальна частина 58
4.3.1.1 Вихідні дані 58
4.3.1.2 Опис насосної установки 58
4.3.1.3 Оброблення вихідних даних 59
4.3.2 Гідравлічний розрахунок трубопроводу 60
4.3.2.1 Визначення діаметрів труб 60
4.3.2.2 Визначення необхідного напору насоса 61
4.3.3 Підбір насосно-силового обладнання 66
4.3.4 Моделювання напірної характеристики насоса 68
4.3.5 Регулювання подачі насосної установки 70
4.3.5.1 Регулювання характеристики трубопроводу дроселюванням 70
4.3.5.2 Регулювання характеристики відцентрового насоса зміною частоти обертання вала 72
4.3.5.3 Регулювання обточкою робочого колеса. 73
4.3.6 Перерахунок характеристики насоса з води на в'язку рідину 75
4.3.7 Перевірка всмоктувальної здатності насоса 77
4.3.8 Розрахунок товщини стінок трубопроводу 82
4.3.9 Розрахунок зусиль, що діють у характерних перерізах 85
5. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ 88

5.1 Загальні вимоги до оформлення ПЗ 88
5.1.1 Вимоги до викладу тексту 89
5.1.2 Поділ тексту 90
5.1.3 Заголовки 91
5.1.4 Переліки 91
5.1.5 Нумерція аркушів 92
5.1.6 Таблиці 92
5.1.7 Ілюстрації ПЗ 93
5.1.8 Розрахунки 95
5.1.9 Посилання 98
5.1.10 Захист курсової роботи 98
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ 99
ДОДАТКИ 100

ВСТУП

У практичній діяльності інженерам часто доводиться зустрічатися з питаннями, пов'язаними з використанням законів руху та рівноваги рідин. Уміння використовувати закони гідравліки для розв'язку практичних питань може бути досягнуте виключно шляхом оволодіння навиками проведення гідравлічних розрахунків. Багаторічна практика засвідчує, що при проектуванні навіть простих насосних установок будь-якого призначення у студентів виникають труднощі у виборі алгоритму розв'язку задач, методу його реалізації, підборі необхідного обладнання. Суттєві складності виникають, зокрема, при побудові суміщених характеристик насоса і гідравлічної системи, в якій він працює, та подальшому виборі необхідних технічних параметрів насосної установки.

Відповідно з призначенням даних методичних вказівок тематика приведених завдань наближена до питань, пов'язаних з специфікою напряму підготовки «Нафтогазова справа», «Інженерна механіка», «Автомобільний транспорт». Важливою особливістю завдань є наявність комплексних задач, які охоплюють основні закони гідростатики та гідродинаміки.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Курсова робота є самостійно виконаною і відповідно оформленою творчою роботою студента з вирішення конкретного практичного завдання на основі набутих теоретичних знань.

Метою курсового проектування є засвоєння основних положень курсу «Гідравліка». Дана курсова робота ставить перед собою такі завдання :

- закріплення навиків проектування та гідравлічного розрахунку трубопроводів і самостійної роботи студентів з технічною літературою ;
- засвоєння методів аналізу виробничих умов та підбору насосно-силового обладнання ;
- вивчення шляхів забезпечення роботи гідравлічної системи у заданому режимі шляхом регулювання подачі напірної характеристики насоса або трубопроводу.

2 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВ0Ю РОБОТОЮ

Вихідним документом для виконання курсової роботи є завдання, яке видається студенту не пізніше, ніж через тиждень від початку семестру, в якому виконується проект.

Завдання на курсову роботу видається керівником курсової роботи.

Керівник курсової роботи узгоджує з студентом календарний план роботи на весь період виконання роботи з зазначенням конкретних термінів завершення окремих розділів.

Графік консультацій керівника курсової роботи затверджується на засіданні кафедри і доводиться до відома студента через тиждень від початку навчального семестру.

Керівник роботи рекомендує необхідну літературу, дає методичні вказівки з її використання, роз'яснює студенту принципові питання. За прийняті в курсовій роботі рішення, достовірність всіх даних відповідає студент – автор роботи.

Студент представляє керівнику роботи свої підготовлені рішення з поставлених питань. Керівник роботи розглядає представлені студентом розділи і дає зауваження з обсягу і по

суті виконаної роботи та виявлених у ній помилок і недоробок. До розроблення наступного розділу роботи студент приступає після узгодження з керівником правильності виконання попереднього розділу.

Розрахункова частина курсової роботи повинна бути виконана з використанням сучасної обчислювальної техніки і оригінального самостійно розробленого програмного забезпечення, написаного на зручній для студента мові програмування. Текст програми та результати розрахунків включаються до роботи як додатки.

Не пізніше вказаного в завданні терміну завершену курсову роботу студент підписує і подає керівнику, який перевіряє, відмічає допущені помилки, попередньо оцінює зміст і оформлення курсової роботи та приймає рішення щодо її допуску до захисту, фіксуючи підписом і відповідним написом на обкладинці пояснювальної записки.

3 ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ

3.1 Перелік питань для розроблення

Під час курсового проектування необхідно розглянути наступні питання:

1) Гідравлічний розрахунок трубопроводів.
2) Підбір насосно-силового обладнання.
3) Перерахунок характеристики насоса з води на більш в'язку рідину.
4) Регулювання подачі насосної установки.
5) Перевірка всмоктувальної здатності насоса.
6) Розрахунок зливу із залізничних цистерн.
7) Розрахунок наливу в залізничні цистерни.
8) Розрахунок товщини стінок резервуара (трубопроводу).
9) Розрахунок зусиль, що діють у заданих перерізах окремих типів резервуарів.
10) Визначення кількості води, яку необхідно подати в трубопровід, щоб тиск у найвищій точці був рівний $P = P_{випр}$.
11) Побудова п'єзометричних і напірних ліній на всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах.

Перелік питань, які необхідно розглянути при виконанні курсової роботи за заданою схемою, наведений в таблиці 3.1.

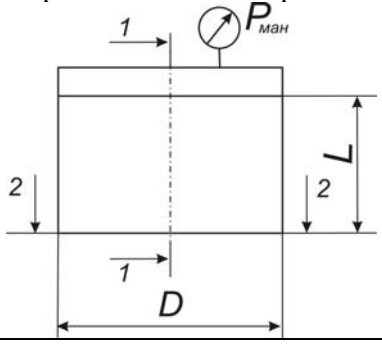
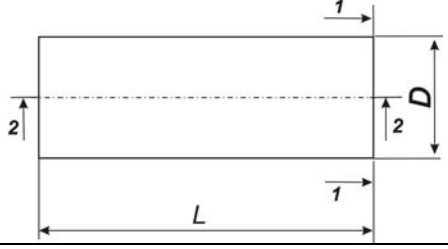
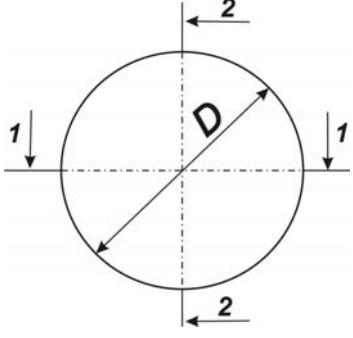
Таблиця 3.1 – Перелік питань, які виконуються у курсовій роботі.

Завдання	Рисунок	Тип резервуара	Перелік питань для розроблення	
			Спеціалізація	
			$ПС_п$	$ПС_с$
1	1	А	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,8
2	2	Г	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,8
3	3	Б	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,8
4	4	А	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,8
5	5	Б	1,3,4,6,9,11	1,2,3,4,5,8
6	6	В	1,3,4,7,9,11	1,2,3,4,5,8
7	7	А	1,4,10,8,11	1,4,10,8,11
8	8	-	1,4,10,8,11	1,4,10,8,11
9	9	-	1,4,10,8,11	1,4,10,8,11
10	10	Б	1,3,4,6,9,11	1,2,3,4,5,9
1	1	В	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,9
2	2	Д	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,9
3	3	Б	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,9
4	4	В	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,9
5	5	А	1,3,4,9,11	1,2,3,4,5,8
6	6	Б	1,3,4,6,9,11	1,2,3,4,5,9
7	7	В	1,3,4,7,9,11	1,2,3,4,5,8
8	8	-	1,4,8,10,11	1,4,8,10,11
9	9	-	1,4,8,10,11	1,4,8,10,11
10	10	А	1,3,4,6,9,11	1,2,3,4,5,9

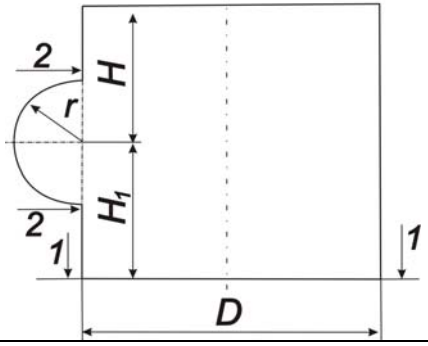
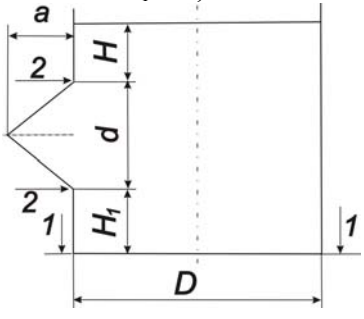
Примітка: для напряму підготовки «Інженерна механіка» і «Автомобільний транспорт» завдання для виконання курсової роботи обирає викладач.

Конструкції окремих типів резервуарів, що входять до складу розрахункових схем, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Конструкція окремих типів резервуарів

	Тип резервуара	*L, м*	*D, м*
1	2	3	4
А	Вертикальний циліндричний 	6	10
Б	Горизонтальний циліндричний 	10	6
В	Сферичний 	-	6

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
Г	$r = 0{,}5$ *м* $H = 4{,}0$ *м* $H = H_1$ 	-	6
Д	$d = 1{,}0$ *м* $H = 2{,}0$ *м* $a = 0{,}5$ *м* $H_1 = 1{,}0$ *м* 	-	10

3.2 Варіанти розрахункових схем та вихідні дані

3.2.1 Установка для перекачування бензину

Схема насосної установки для перекачування бензину наведена на рисунку 3.1. Задано витрату бензину Q , довжину всмоктувальної лінії l, нагнітальної лінії - l_1, p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями живильного і приймального резервуарів, $h_в$ – геометричну висоту всмоктування, $h_н$- висоту нагнітання, t – температуру бензину.

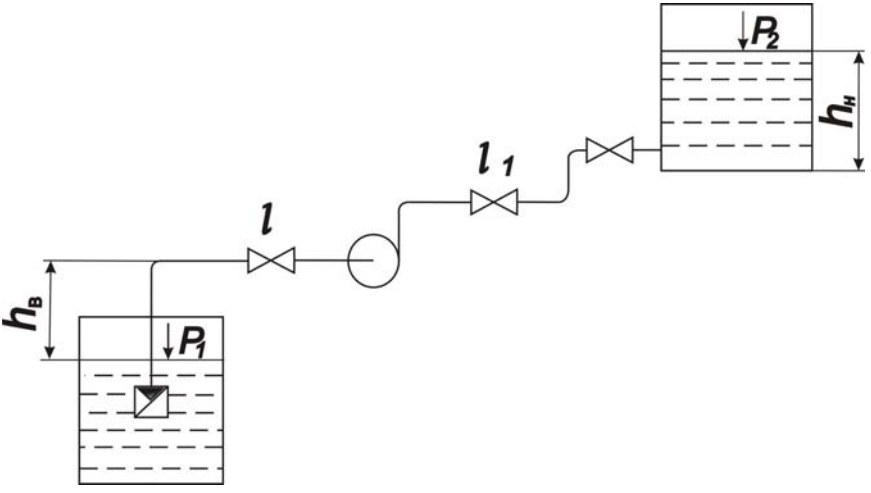


Рисунок 3.1 – Установка для перекачування бензину

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Установка для перекачування бензину»

Варіант	Q, м^3/год	l, м	l_1, м	$h_в$, м	$h_н$, м	P_2, мм рт.ст.	t, ^{o}C
1	16,0	20	100	2	10	200	10
2	15,4	15	80	3	8	300	12
3	14,5	10	60	4	6	400	14
4	15,1	5	40	5	5	100	16
5	16,6	15	90	2	9	500	18
6	14,0	10	70	3	7	150	20
7	10,0	8	50	4	5	250	22
8	17,0	7	40	5	3	350	24
9	18,0	10	190	2	8	450	26
10	15,4	9	95	3	7	100	30
11	14,5	8	80	4	6	150	11
12	15,2	7	75	5	5	200	13
13	17,0	18	80	2	9	250	15
14	16,0	16	70	3	8	300	17
15	14,5	14	60	4	7	350	19
16	11,0	12	80	5	6	100	21
17	12,0	16	95	2	8	150	23
18	14,0	14	85	3	7	200	25
19	15,0	12	75	4	6	250	27
20	15,5	10	65	5	5	300	29

3.2.2 Насосна установка для водопостачання

Схема насосної установки для водопостачання наведена на рисунку 3.2. Задано витрату води Q , довжину всмоктувальної лінії l, нагнітальної лінії – l_1, $h_в$ – геометричну висоту всмоктування, $h_н$- висоту нагнітання, t – температуру води.

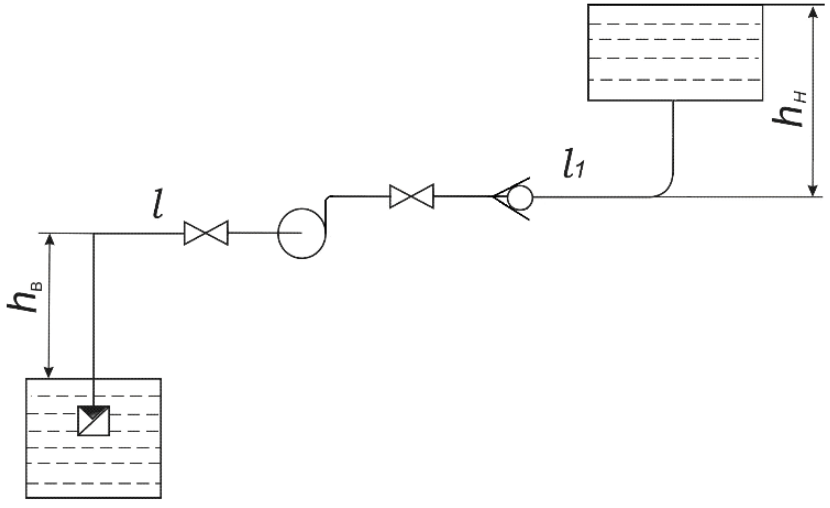


Рисунок 3.2 – Насосна установка для водопостачання

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Насосна установка для водопостачання»

Варіант	$h_н$, м	l, м	l_1, м	$h_в$, м	Q, м^3/год	t, °С
1	20	40	1000	4.5	20	10
2	22	50	950	4.0	30	11
3	24	60	900	3.5	40	12
4	21	35	830	3.0	45	13
5	23	45	850	2.5	50	14
6	21	65	790	2.0	40	15
7	22,5	32	800	1.5	15	16
8	24	37	980	1.0	16	17
9	22	42	500	4.5	10	18
10	20	49	400	4.0	18	19
11	21	54	1000	3.5	22	20
12	23	59	960	3.0	35	9
13	23	41	1900	2.5	40	8
14	19	46	880	2.0	45	7
15	18	51	800	1.5	50	6
16	19,5	56	790	1.0	25	5
17	24	61	1790	4.0	35	10
18	22	43	790	3.5	50	11
19	20,5	48	1720	3.0	18	12
20	22,5	53	700	2.5	20	13
21	23,5	58	1600	2.0	15	14
22	24,5	44	1200	1.5	12	15
23	21,5	47	1500	1.0	10	16
24	22,5	50	800	3.0	16	17
25	21,5	53	900	2.5	18	18

3.2.3 Установка для бензину при нижньому зливанні з вагоноцистерни

Схема насосної установки для бензину при нижньому зливанні з вагоноцистерни наведена на рисунку 3.3. Задано витрату бензину Q, довжину вертикальної ділянки l_1, всмоктувальної лінії l_2, нагнітальної лінії - l_3, $p_н$ - надлишковий тиск над вільною поверхнею приймального резервуара, $h_н$- висоту нагнітання, t – температура бензину.

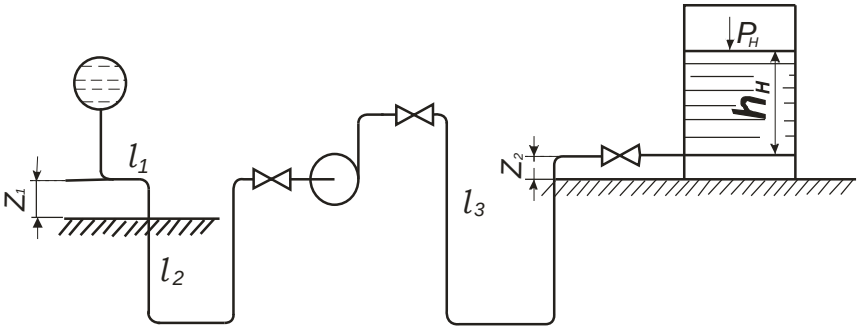


Рисунок 3.3 – Установка для бензину при нижньому зливанні з вагоноцистерни

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Установка для бензину при нижньому зливанні»

Варіант	Q, м^3/год	z_1, м	l_1, м	l_2, м	l_3, м	z_2, м	$P_н$, мм рт.ст.	t, °С
1	28	0,6	1	6	60	1	266	20
2	30	0,6	1	10	80	1	266	20
3	35	0,6	1	14	100	1	266	20
4	27	0,6	1	28	120	1	266	20
5	34	0,6	1	20	140	1	266	20
6	28	0,6	1	6	60	1	266	10
7	30	0,6	1	10	80	1	266	10
8	35	0,6	1	14	100	1	266	10
9	27	0,6	1	28	120	1	266	10
10	34	0,6	1	20	140	1	266	10
11	28	0,6	1	6	60	1	266	5
12	30	0,6	1	10	80	1	266	5
13	35	0,6	1	14	100	1	266	5
14	27	0,6	1	28	120	1	266	5
15	34	0,6	1	20	140	1	266	5
16	28	0,6	1	6	60	1	266	15
17	30	0,6	1	10	80	1	266	15
18	35	0,6	1	14	100	1	266	15
19	27	0,6	1	28	120	1	266	15
20	34	0,6	1	20	140	1	266	15
21	28	0,6	1	6	60	1	266	8
22	30	0,6	1	10	80	1	266	8
23	35	0,6	1	14	120	1	266	8
24	27	0,6	1	28	140	1	266	8
25	34	0,6	1	20	60	1	266	8

Примітка: Рівень рідини в приймальному резервуарі $h_н = 6$ м.

3.2.4 Установка для верхнього зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни

Схема насосної установки для верхнього зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни наведена на рисунку 3.3. Задано витрату бензину Q , довжину горизонтальної ділянки l_1, всмоктувальної лінії l_2, нагнітальної лінії - l_3, $p_н$ - надлишковий тиск над вільною поверхнею приймального резервуара, $h_в$ – висоту всмоктування, $h_н$- висоту нагнітання, t – температуру нафтопродукту.

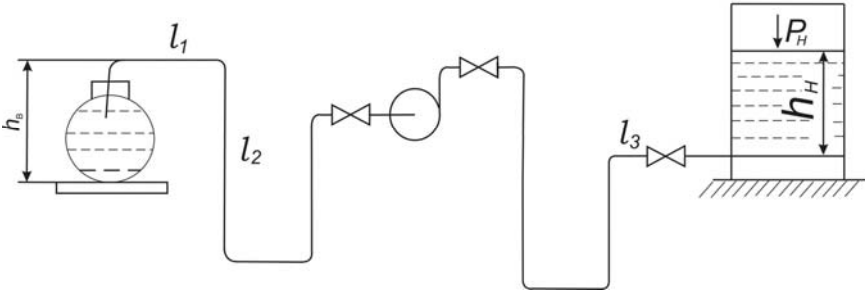


Рисунок 3.4 – Установка для верхнього зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - Вихідні для розрахункової схеми «Установка для верхнього зливання нафтопродуктів»

Варіант	Q, м^3/год	$h_в$, м	l_2, м	l_3, м	$h_н$, м	l_1, м	$P_н$, кгс/см^2	t, °С
1	35	3,5	15	100	6	5	0,1	20
2	16	4	17	120	7	6	0,15	20
3	20	5	20	140	8	7	0,2	20
4	40	4	19	160	6	6	0,1	20
5	30	5	21	180	7	7	0,15	20
6	35	3,5	15	100	6	5	0,1	10
7	16	4	17	120	7	6	0,15	10
8	20	5	20	140	8	7	0,2	10
9	40	4	19	160	6	6	0,1	10
10	30	5	21	180	7	7	0,15	10
11	35	3,5	15	100	6	5	0,1	5
12	16	4	17	120	7	6	0,15	5
13	20	5	20	140	8	7	0,1	5
14	40	4	19	160	6	6	0,15	5
15	30	5	21	180	7	7	0,1	5
16	35	3,5	15	100	6	5	0,15	15
17	16	4	17	120	7	6	0,2	15
18	20	5	20	140	8	7	0,1	15
19	40	4	19	160	6	6	0,15	15
20	30	5	21	180	7	7	0,1	15
21	35	3,5	15	100	6	5	0,15	25
22	16	4	17	120	7	6	0,2	25
23	20	5	20	140	8	7	0,1	25
24	40	4	19	160	6	6	0,15	25
25	30	5	21	180	7	7	0,1	25

Примітка: Нафтопродукт – масло індустріальне 12.

3.2.5 Насосна установка для перекачування нафтопродуктів

Схема насосної установки для перекачування нафтопродуктів наведена на рисунку 3.5. Задано витрату нафтопродукту Q, загальну довжину трубопроводів l, p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями живильного і приймального резервуарів, $H_в$ – геометричну висоту всмоктування, $H_н$- висоту нагнітання, t – температуру нафтопродукту .

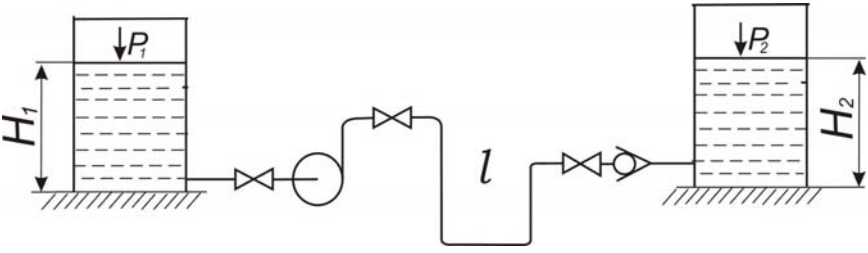


Рисунок 3.5 – Насосна установка для перекачування нафтопродуктів

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Вихідні для розрахункової схеми «Насосна установка для перекачування нафтопродуктів»

(Рисунок 3.5) Варіант	Q, м^3/год	H_1, м	l, м	H_2, м	p_1, Па	p_2, Па	t, °С	Рідина
1	60	10	150	2	2000	6000	20	Нафта легка
2	70	8	140	4	3000	5000	20	
3	80	10	130	6	4000	2000	20	
4	90	8	110	8	5000	4000	20	
5	100	6	100	10	6000	3000	20	
6	60	10	150	2	2000	6000	10	Нафта важка
7	70	8	140	4	3000	5000	10	
8	80	10	130	6	4000	2000	10	
9	90	8	110	8	5000	4000	10	
10	10	10	100	10	6000	3000	10	
11	60	8	150	2	2000	6000	5	Гас Т - 1
12	70	6	140	4	3000	5000	5	
13	80	10	130	6	4000	2000	5	
14	90	8	110	8	5000	4000	5	
15	100	10	100	10	6000	3000	5	
16	60	8	150	2	2000	6000	15	Бензин
17	70	10	140	4	3000	5000	15	
18	80	8	130	6	4000	2000	15	
19	90	6	110	8	5000	4000	15	
20	100	10	100	10	6000	3000	15	
21	60	8	150	2	2000	6000	8	Дизельне паливо
22	70	10	140	4	3000	5000	8	
23	80	8	130	6	4000	2000	8	
24	90	6	110	8	5000	4000	8	
25	100	10	100	10	6000	3000	8	

Примітка: Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$;

3.2.6 Установка для перекачування нафтопродуктів при нижньому зливанні з вагоноцистерни через нульовий резервуар

Схема насосної установки для перекачування нафтопродуктів при нижньому зливанні з вагоно-цистерни через нульовий резервуар наведена на рисунку 3.6. Задано загальну довжину трубопроводів l, p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями проміжного і приймального резервуарів, $H_в$ – геометричну висоту всмоктування, $H_н$- висоту нагнітання, t – температуру нафтопродукту , τ - час зливання нафтопродукту.

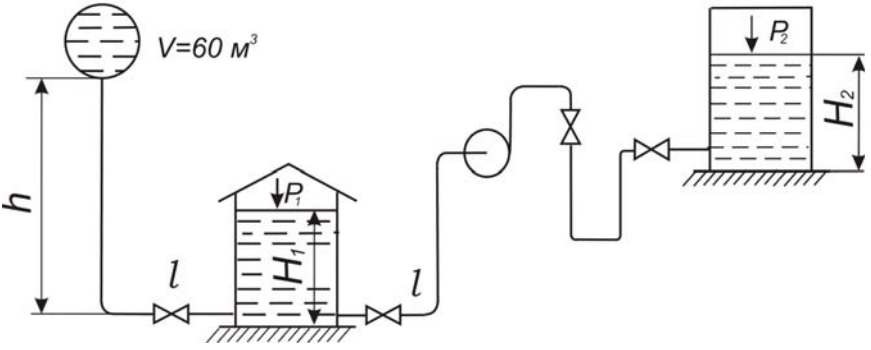


Рисунок 3.6 – Установка для перекачування нафтопродуктів при нижньому зливанні з вагоноцистерни через нульовий резервуар

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Вихідні для розрахункової схеми «Установка для перекачування нафтопродуктів при нижньому зливанні з вагоноцистерни через нульовий резервуар»

Варіант	H_1, м	H_2, м	l, м	p_1, Па	p_2, Па	τ, хв	t, °С	Рідина
1	10	4	160	1800	7000	38	15	Масло індустріальне
2	6	10	100	2000	5000	45	18	– ” –
3	8	8	140	2100	4000	50	20	– ” –
4	10	6	120	3000	2000	46	10	– ” –
5	9	7	110	3200	4500	52	6	– ” –
6	7	8	100	4000	5200	40	20	Дизпаливо літнє
7	8	9	150	2500	4800	42	12	– ” –
8	9	2	155	6300	3900	39	5	– ” –
9	6	8	165	1800	2100	43	8	– ” –
10	10	9	180	1900	7000	50	11	– ” –
11	6	10	175	2000	6500	44	15	Гас Т-1
12	8	3	150	1700	5500	40	18	– ” –
13	10	4	100	3000	4500	39	20	– ” –
14	7	6	160	3400	2500	45	10	– ” –
15	5	6	170	3600	6000	49	6	– ” –
16	4	7	140	3500	5000	47	20	Нафта легка
17	6	3	130	4000	4800	40	12	– ” –
18	7	8	120	3800	4000	48	5	– ” –
19	8	4	110	4000	2500	46	3	– ” –
20	9	2	165	3800	7000	40	11	– ” –
21	10	3	170	3400	6500	50	15	Масло індустріальне
22	6	6	180	1700	5500	35	18	– ” –
23	7	5	165	1500	4500	34	20	– ” –
24	5	5	170	1800	3500	40	10	– ” –
25	9	2	180	1600	4500	50	6	– ” –

Примітка: Об'єм цистерни $V = 60$ м^3.

Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$; довжина нагнітальної лінії $l_н = 0{,}5l$; довжина самопливної лінії $l_с = 0{,}4l$.

3.2.7 Установка для перекачування нафтопродуктів при верхньому наливанні у вагоноцистерни через проміжний резервуар

Схема насосної установки для перекачування нафтопродуктів при верхньому наливанні у вагоноцистерни через проміжний резервуар наведена на рисунку 3.7. Задано загальну довжину трубопроводів l, p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями живильного і проміжного резервуарів, $H_в$ – геометричну висоту всмоктування, $H_н$- висоту нагнітання, t – температуру нафтопродукту , τ - час наливання нафтопродукту.

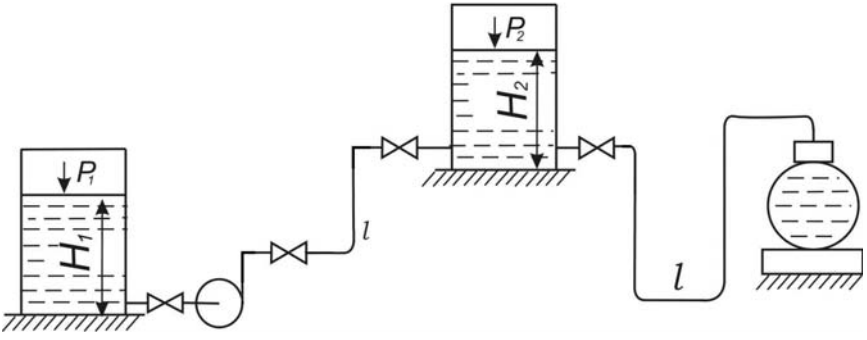


Рисунок 3.7 - Установка для перекачування нафтопродуктів при верхньому наливанні у вагоноцистерни через проміжний резервуар

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Установка для перекачування нафтопродуктів при верхньому наливанні у вагоноцистерни через проміжний резервуар»

Варіант	H_1, м	H_2, м	p_1, Па	p_2, Па	l, м	τ, хв.	t, °С	Рідина
1	10	8	1500	8000	200	60	10	Дизпаливо
2	8	7	1800	8500	250	50	9	– ” –
3	6	7,5	2000	7300	300	65	8	– ” –
4	4	9,5	2500	6900	280	45	7	– ” –
5	7	6,5	1900	5300	180	40	6	– ” –
6	9	6	1400	4800	220	58	5	Бензин
7	5	7,5	2400	3900	190	52	9	– ” –
8	10	8	2300	4200	240	48	8	– ” –
9	9	10	1700	2100	230	46	7	– ” –
10	8	8	1900	2200	210	49	6	– ” –
11	10	8	1500	8000	200	60	10	Масло індустріальне
12	8	7	1800	8500	250	50	9	– ” –
13	6	7,5	2000	7300	300	65	8	– ” –
14	4	9,5	2500	6900	280	45	7	– ” –
15	7	6,5	1900	5300	180	40	6	– ” –
16	9	6	1400	4800	220	58	5	Гас Т-1
17	5	7,5	2400	3900	190	52	9	– ” –
18	10	8	2300	4200	240	48	8	– ” –
19	9	10	1700	2100	230	46	7	– ” –
20	8	8	1900	2200	210	49	6	– ” –
21	10	8	1500	8000	200	60	10	Нафта легка
22	8	7	1800	8500	250	50	9	– ” –
23	6	7,5	2000	7300	300	55	8	– ” –
24	4	9,5	2500	6900	280	45	7	– ” –
25	7	6,5	1900	5300	180	40	6	– ” –

Примітка: Об'єм цистерни $V = 60$ м^3.

Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$; довжина нагнітальної лінії $l_н = 0{,}5l$; довжина самопливної лінії $l_с = 0{,}4l$.

3.2.8 Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу

Схема насосної установки для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу наведена на рисунку 3.8. Задано загальну довжину трубопроводів насосної установки *l,* довжину та діаметр магістрального трубопроводу *L, $d_{тр.}$,* тиск, за якого проводиться випробовування $p_{випр.}$, *t* – температуру води, τ - час заповнення водою магістрального трубопроводу, z – геодезична відмітка найвищої точки магістрального трубопроводу.

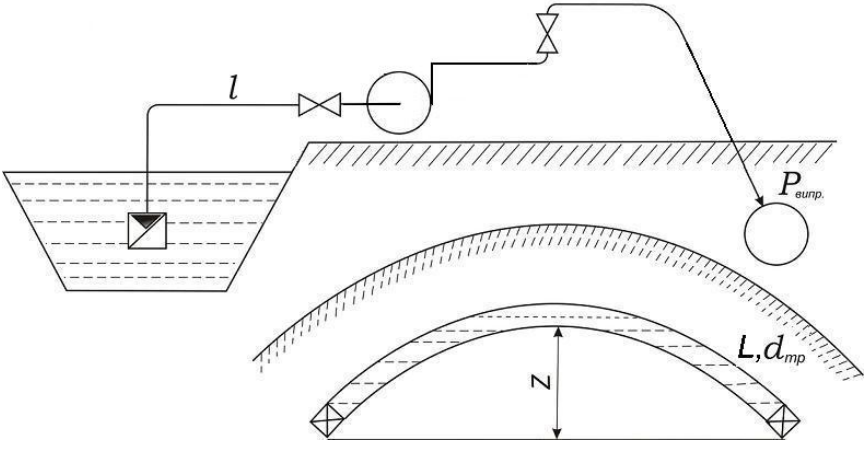


Рисунок 3.8 – Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу»

Варіант	$d_{тр}$, мм	$p_{випр}$, МПа	t, °С	l, м	z, м	L, м	τ, год
1	219	9	5	150	20	13000	5
2	273	7,8	10	200	10	13500	6
3	325	6,5	15	250	8	12800	7
4	377	5,5	20	180	15	12400	7,5
5	426	6,0	25	100	16	11800	6,5
6	530	5,7	30	70	14	12100	5,5
7	219	9,5	35	80	12	13200	7
8	273	8,5	40	90	11	11600	6
9	325	6,0	45	120	13	11900	5
10	377	5,0	50	170	17	12900	6,5

Примітка: Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$;

Розрахункова схема для заданого варіанта курсової роботи наведена на рисунку 3.8.

3.2.9 Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу

Схема насосної установки для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу наведена на рисунку 3.9. Задано загальну довжину трубопроводів насосної установки *l,* довжину та діаметр магістрального трубопроводу *L, $d_{тр.}$,* тиск, за якого проводиться випробовування $p_{випр.}$, *t* – температуру води, τ - час заповнення водою магістрального трубопроводу, z – геодезична відмітка найвищої точки магістрального трубопроводу.

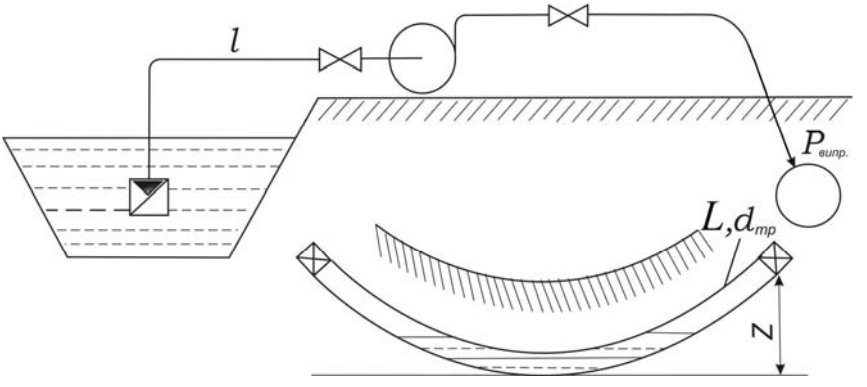


Рисунок 3.9 – Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Вихідні дані для розрахункової схеми «Насосна установка для перекачування води при гідравлічному випробовуванні трубопроводу»

Варіант	$d_{тр}$, мм	$p_{випр}$, МПа	t, °С	l, м	z, м	L, м	τ, год
1	530	5,5	10	210	10	14000	8
2	630	5,8	20	190	15	13500	7
3	720	5,7	30	230	20	13000	6
4	820	4,9	40	170	16	13800	5
5	920	5,1	50	140	12	12800	7,5
6	1020	4,8	60	120	14	12500	6,5
7	1220	4,6	25	160	13	12000	5,5
8	820	5,6	35	205	8	13900	7
9	630	5,6	45	180	6	13100	6
10	720	6,0	55	150	7	12400	5

Примітка: Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$;

3.2.10 Установка для самопливного зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни сифоном через нульовий резервуар

Схема насосної установки для самопливного зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни сифоном через нульовий резервуар наведена на рисунку 3.10. Задано загальну довжину трубопроводів l, p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями нульового та приймального резервуарів, $H_в$ – геометричну висоту всмоктування, $H_н$- висоту нагнітання, t – температуру нафтопродукту , τ - час зливання нафтопродукту.

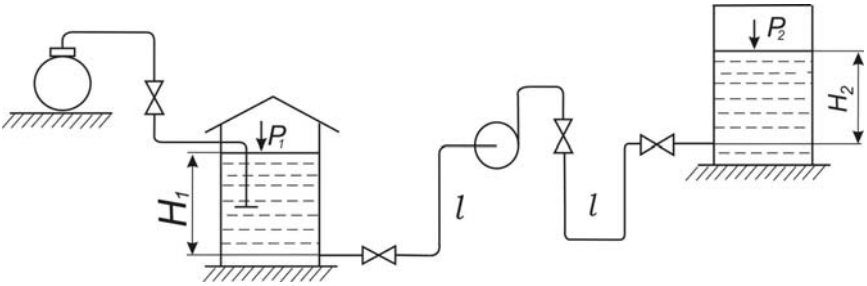


Рисунок 3.10 –Установка для самопливного зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни сифоном через нульовий резервуар

Вихідні дані для виконання курсової роботи наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Вихідні для розрахункової схеми «Установка для самопливного зливання нафтопродуктів з вагоноцистерни сифоном через нульовий резервуар»

Варіант	H_1, м	H_2, м	p_1, Па	p_2, Па	l, м	τ, хв.	t, °С	Рідина
1	6	4	1600	4200	500	40	25	Гас Т-1
2	7	5	1700	3800	480	37	28	– ” –
3	8	6	1800	3500	460	48	30	– ” –
4	9	3	2000	3000	440	39	27	– ” –
5	10	2	4500	1800	420	36	17	– ” –
6	9	4	5000	2500	400	45	21	Дизпаливо
7	8	5	3000	4500	410	46	16	– ” –
8	7	4	3500	2400	430	37	8	– ” –
9	6	7	2500	5100	450	38	10	– ” –
10	5	4	1000	6000	460	39	6	– ” –
11	6	4	1600	4200	500	40	25	Бензин
12	7	5	1700	3800	480	37	28	– ” –
13	8	6	1800	3500	460	48	30	– ” –
14	9	3	2000	3000	440	39	27	– ” –
15	10	2	4500	1800	420	36	17	– ” –
16	9	4	5000	2500	400	45	21	Легка нафта
17	8	5	3000	4500	410	46	16	– ” –
18	7	4	3500	2400	430	37	8	– ” –
19	6	7	2500	5100	450	38	10	– ” –
20	5	4	1000	6000	460	39	6	– ” –

Примітка: Об'єм цистерни $V = 60$ м^3.

Довжина всмоктувальної лінії $l_{вс} = 0{,}1l$; довжина нагнітальної лінії $l_н = 0{,}5l$; довжина самопливної лінії $l_с = 0{,}4l$.

4 СТРУКТУРА І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота у загальному випадку включає:

- пояснювальну записку;
- графічні матеріали (креслення, специфікації, схеми, графіки, карти, фотознімки, плакати тощо).

4.1 Пояснювальна записка

Пояснювальна записка (надалі ПЗ) – це документ, в якому приводяться необхідні розрахунки та обґрунтування прийнятих у проекті конструкторських, технологічних, техніко-економічних та інших рішень.

У загальному випадку ПЗ повинна включати:

- титульний аркуш;
- завдання на проектування;
- зміст;
- вступ;
- основну частину;
- висновки;
- перелік посилань на джерела;
- додатки;
- бібліографічну довідку.

4.1.1 Титульний аркуш

Титульний аркуш, як правило, оформляється на бланку (формату А4 ГОСТ 2.301), виконаному друкарським способом, і заповнюється креслярським шрифтом (ГОСТ 2.304) або машинописом із використанням стрічки чорного кольору. За відсутності бланку титульний лист проекту може бути надрукований методами комп'ютерного набору.

4.1.2 Завдання на курсову роботу

Завдання на роботу, як правило, оформляють на бланку, виконаному друкарським способом, або надрукованому методами комп'ютерного набору. Завдання обов'язково повинно бути підписане як викладачем, так і студентом із зазначенням дати видачі.

4.1.3 Зміст

Зміст ПЗ оформляють на окремих аркушах і розміщують після завдання на курсову роботу.

Слово "ЗМІСТ" розміщують посередині сторінки. У змісті мають бути наведені порядкові номери і назви розділів (за необхідності – підрозділів), а також додатків із поданням їх позначення та заголовків із зазначенням номерів сторінок, на яких вони наведені.

Зміст включають у загальну кількість аркушів ПЗ.

Перший і наступні аркуші змісту ПЗ повинні мати основні написи за ГОСТ 2.104.

4.1.4 Вступ

У вступі висвітлюються основні тенденції розвитку нафтотранспортної галузі, завдання, які повинні бути вирішені колективами цієї галузі, а також дається оцінка сучасного стану вирішуваного в проекті конкретного інженерного завдання, його актуальність і новизна, а також робиться обґрунтування необхідності вирішення цього завдання.

4.1.5 Основна частина

Зміст основної частини ПЗ визначається специфікою проекту і повинен включати розділи, зазначені в завданні на курсову роботу.

У роботі мають бути наведені коротко, в логічній послідовності, з необхідними поясненнями обґрунтування, методики та розрахунки, які безпосередньо відносяться до теми роботи.

Під час виконання однотипних розрахунків наводиться детальний приклад для одного варіанта, результати для інших варіантів зводяться в таблиці.

Громіздкі розрахунки повинні виконуватись за допомогою програмного забезпечення з використанням сучасної обчислювальної техніки.

Розділи ПЗ, виконані з використанням сучасної обчислювальної техніки, повинні включати:

1) Постановку задачі з обґрунтуванням необхідності використання сучасної комп'ютерної техніки.

2) Алгоритм розрахунку.

3) Характеристику програми і таблицю ідентифікаторів.

4) Початкові дані і контрольний приклад розрахунку.

5) Результати розрахунків, оформлені у вигляді таблиць і рисунків, їх аналіз.

Текст програми і роздрук результатів наводяться у додатках. Роздрук результатів, наведений у додатку, підтверджує факт виконання розрахунків з використанням сучасної обчислювальної техніки, але не є, власне, розв'язком інженерної задачі. В основній частині ПЗ обов'язково повинні бути наведені інформативні таблиці або графіки, які містять конкретні результати розрахунку, виконаного з допомогою комп'ютерної обчислювальної техніки.

4.1.6 Висновки

Висновки повинні включати короткі підсумки результатів виконаної студентом роботи, пропозиції їх використання, підтверджуватись цифровим матеріалом.

4.1.7 Перелік посилань на джерела

Перелік джерел, на які є посилання в ПЗ, наводять у кінці тексту пояснювальної записки на окремому аркуші. У відповідних місцях ПЗ мають бути посилання (які наводяться в квадратних дужках) на джерела інформації.

Бібліографічні описи в переліку посилань подають у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті. Порядкові номери описів у переліку джерел інформації повинні відповідати номерам посилань у тексті ПЗ.

Відомості про джерело інформації потрібно подавати у відповідності до вимог стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

4.1.8 Додатки

Матеріали, що доповнюють курсову роботу, розміщують у додатках. У додатки можуть бути включені: графічний матеріал, таблиці великого формату, блок-схеми і програми розрахунків, розрахунки проведені з використанням сучасної обчислювальної техніки, таблиці ідентифікаторів, специфікації тощо.

Додатки оформляють як продовження ПЗ на наступних її аркушах (без рамки та основного напису), розташовуючи у порядку появи посилань на них у тексті ПЗ.

Кожний такий додаток повинен починатись з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, написаний вгорі симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка заголовком малими літерами з першої великої повинно бути написано слово “Додаток ___” і велика літера, що позначає додаток.

Додатки позначають великими літерами української абетки, починаючи з А, за винятком літер Ґ, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, додаток А, додаток Б.

Один додаток позначається як додаток А.

Додатки повинні мати спільну з рештою ПЗ наскрізну нумерацію аркушів.

За необхідності текст додатків може поділятися на розділи, підрозділи, пункти і підпункти. У цьому разі перед кожним номером пишуть позначення додатку (літеру) і крапку, наприклад, А.2 – другий розділ додатку А; Б.3.1 – підрозділ 3.1 додатку Б; Д.4.1.2 – пункт 4.1.2 додатку Д; Ж.1.3.3.5 – підпункт 1.3.3.5 додатку Ж.

Ілюстрації, що є у тексті додатку, слід нумерувати в межах кожного додатку, наприклад, Рисунок В.3 – третій рисунок додатку В; Таблиця А.2 – друга таблиця додатку А.

Додатки, як правило, виконують на аркушах формату А4 (ГОСТ 2.301). Допускається оформляти додатки на аркушах формату А3, А2 і А1.

4.1.9 Бібліографічна довідка

Бібліографічна довідка подається у ПЗ після додатків на окремому аркуші (без рамки і основного надпису).

Бібліографічна довідка повинна включати:

- назву теми проекту;
- обсяг ПЗ в аркушах;
- перелік креслень графічної частини.

У кінці потрібно зазначити дату закінчення виконання проекту і поставити підпис студента.

4.2 Загальні рекомендації з виконання курсової роботи

4.2.1 Загальна частина (вступ)

У вступі необхідно навести схему насосної установки і її опис відповідно до завдання на курсову роботу, а також обґрунтувати необхідність вирішення даного завдання.

4.2.2 Гідравлічний розрахунок трубопроводу

4.2.2.1 Оброблення вихідних даних

Для виконання гідравлічного розрахунку необхідно знати фізичні властивості рідини, яка транспортується, а саме: густину ρ, в'язкість ν, тиск насиченої пари p_t. Ці властивості залежать від температури рідини. Для їх визначення можна використати додатки А, В, Г за якими, знаючи рідину, що транспортується, її температуру, визначають розрахункові значення ρ_t, ν_t, p_t.

4.2.2.2 Визначення діаметрів труб всмоктувальної і нагнітальної лінії

В залежності від роду рідини, що транспортується, її агресивності по довіднику [9, 8] вибирається матеріал труб з урахуванням середньої швидкості транспортування і у відповідності з Державними Стандартами України на дані труби визначається матеріал і діаметр трубопроводу [9].

Швидкості, що рекомендуються для транспортування по трубопроводах, можуть бути вибрані у відповідності до таблиці 4.1.

Задаючись швидкістю транспортування у рекомендованих в таблиці 4.1 межах, визначають внутрішній діаметр трубопроводу на нагнітанні та всмоктуванні, використовуючи при цьому рівняння витрати:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v, \qquad (4.1)$$

де, v - середня швидкість, м/с;

d - внутрішній діаметр, м.

Одержані значення діаметрів заокруглюють до найближчих стандартних таким чином, щоб швидкості транспортування залишались у рекомендованих межах. Після цього визначають дійсні швидкості рідини, що транспортується в трубопроводах.

Таблиця 4.1 – Швидкість транспортування нафтопродуктів.

Рідина, що транспортується	Швидкість, м/с
Рідини, що рухаються самопливно (конденсат і інші)	0,1 – 0,5
Малов'язкі рідини (вода, бензин, гас та інші) в нагнітальному трубопроводі	1,0 – 3,0
В'язкі рідини (легкі і важкі масла, розчини солей та ін.) в нагнітальному трубопроводі	0,5 – 1,0
Малов'язкі рідини у всмоктувальному трубопроводі	0,8 – 1,2
В'язкі рідини у всмоктувальному трубопроводі	0,2 – 0,8

Насосна установка (рисунок 4.1) складається із насоса, всмоктувального і нагнітального трубопроводу. Насос перекачує рідину з живильної ємкості в приймальну ємкість, подолавши гідравлічний опір системи, протитиск (p_2 - p_1) і геометричну висоту $H_г = H_в + H_н$.

Геометрична висота нагнітання насосної установки $H_н$ визначається відстанню від осі насоса до вільної поверхні рідини в приймальному резервуарі.

Геометрична висота всмоктування $H_в$ – це віддаль від вільної поверхні живильного резервуара до осі насоса.

Наявність і характер місцевих опорів може бути різноманітним.

Насос повинен бути підібраний таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу насосної установки в заданому режимі. Подача насоса Q повинна дорівнювати проектній величині, а напір H, який розвиває насос, повинен дорівнювати необхідному напору системи $H_{необх}$.

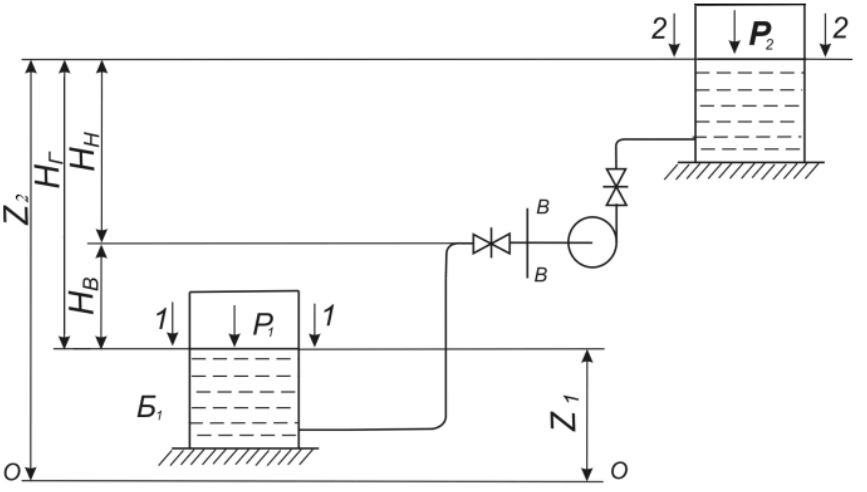


Рисунок 4.1 – Схема насосної установки

4.2.2.3. Побудова графіка необхідного напору

Розрахункові рівняння для визначення необхідного напору можна одержати, записавши рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 і 2-2 відносно площини порівняння 0-0 з урахуванням джерела енергії (напір насоса H) - див. рисунок 4.1

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} + H = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{1-2} \qquad (4.2)$$

де z_1- віддаль від площини порівняння до вільної поверхні живильного резервуара;

z_2- віддаль від площини порівняння до вільної поверхні приймального резервуара;

p_1, p_2 - надлишкові тиски над вільними поверхнями живильного та приймального резервуарів;

v_1, v_2 - середні швидкості рідини в резервуарах;

h_{1-2} – втрати напору на тертя по довжині всмоктувального та нагнітального трубопроводу.

З урахуванням позначень, прийнятих на рисунку 4.1, нехтуючи різницею швидкісних напорів, одержимо необхідний напір

$$H_{необх} = H_г + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + h_{1-2} = \Delta Z^1 + h_{1-2}, \qquad (4.3)$$

де величину ΔZ^1 називають статичним напором установки.

$$H_г = H_в + H_н,$$

де $H_в$- геометрична висота всмоктування;

$H_н$- висота нагнітання.

Для визначення сумарних втрат напору h_{1-2} виконують гідравлічний розрахунок трубопроводів.

Як правило, діаметр всмоктувального трубопроводу насоса більший діаметра нагнітального.

Тому гідравлічний розрахунок для кожного трубопроводу виконується окремо. При цьому рекомендується наступний порядок дій:

- визначається режим руху рідини в трубопроводі за числом Рейнольдса *Re*;
- у разі турбулентного режиму визначається зона гідравлічного опору і за відповідними формулами визначається коефіцієнт гідравлічного опору λ.

В загальному випадку λ залежить від двох параметрів: числа Рейнольдса і відносної шорсткості $\varepsilon = \Delta_e / d$. Величину еквівалентної шорсткості Δ_e можна вибрати з таблиці, що є вміщена в додатку Ж;

- коефіцієнти місцевих опорів визначаються із додатку 3, в залежності від виду місцевих опорів;
- визначаються втрати напору в трубопроводі як сума втрат на тертя і місцеві опори;

- необхідний напір розраховують за формулою (4.3).

Графік необхідного напору представляє собою зміщену на величину статичного напору $\Delta z'$ по осі ординат характеристику трубопроводу.

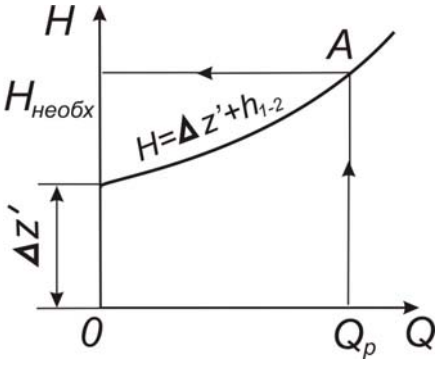


Рисунок 4.2 – Залежність необхідного напору від витрати

Характеристика трубопроводу – залежність втрат напору від витрати рідини – будується за результатами гідравлічного розрахунку, виконаного не менше, ніж для 5-7 значень витрат.

Виконавши графічну побудову в координатах *Q-H*, знаходять точку *A*, що відповідає проектній подачі Q_p і $H_{необх}$ (рисунок 4.2). За параметрами режимної точки *A* проводять підбір насоса.

Примітка: за заданою характеристикою насоса знаходять робочу точку насосної установки, після чого роблять перерахунок характеристики насоса на іншу рідину і необхідну подачу.

4.2.3 Вибір типу і підбір за каталогом марки насоса

Вибір типу і марки насоса, що забезпечить задану подачу нафтопродукту в технологічну установку, є відповідальним моментом. При правильному підборі насоса забезпечується не

лише неперервність процесу транспортування, але і режим роботи самого насоса з максимально можливим коефіцієнтом корисної дії.

При виборі типу насоса необхідно врахувати:

- характер продукту, що транспортується (його в'язкість, текучість, вогненебезпечність, токсичність, хімічну агресивність);
- наявність в ньому завислих твердих частинок;
- температурний режим;
- надійність і економічність роботи насоса в даних умовах;
- вигоду і безпеку обслуговування.

Наприклад, відцентрові насоси доцільно застосовувати для перекачування порівняно малов'язких рідин. Відцентрові насоси економічні при перекачуванні великих кількостей рідини при відносно низьких напорах. Вони краще, ніж будь-які інші, пристосовані для перекачування суспензій і забруднених рідин. Вони прості в експлуатації, компактні і дешевші за інші типи такої ж потужності.

Для створення великих напорів при малій подачі, що характерні для роботи опресовних, дозувальних насосів, переважно використовуються поршневі насоси. Незважаючи на ряд істотних недоліків (дороговизна, великі габарити, складність експлуатації та інші) поршневі насоси широко використовуються при перекачуванні високов'язких нафтопродуктів і газорідинних сумішей. У всіх інших випадках перевагу необхідно віддавати відцентровим насосам, як дешевшим, простим в обслугову-

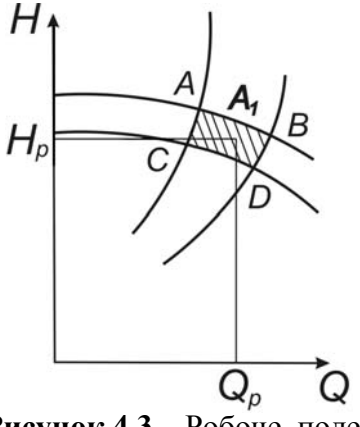


Рисунок 4.3 – Робоче поле насоса

ванні і компактним. Крім цього, відцентрові насоси швидкохідніші, що дозволяє з'єднати їх безпосередньо з електродвигунами без редуктора. Істотною перевагою відцентрових насосів є їх саморегулювання. Після вибору типу насоса за заданими Q і H по каталогу вибирається марка насоса. Для вибору марки насоса вигідні зведені графіки, на яких нанесені робочі поля окремих насосів. Робоче поле відцентрового насоса (рисунок 4.3) обмежовується робочими відрізками характеристик $Q - H$ при максимальному (AB) і мінімальному ($СД$) діаметрі робочого колеса. Насос потрібно підібрати таким чином, щоб задані Q_p і H_p знаходились в межах робочого поля насоса. Якщо режимна точка попадає на поле декількох насосів, то необхідно вибрати насос, для якого даний режим ближче до оптимального (при найбільшому діаметрі робочого колеса і максимальному к.к.д). Якщо робоча точка не попадає ні в одне із робочих полів відцентрових насосів, то вибирають декілька спільно працюючих насосів. При цьому з'єднують їх послідовно, якщо робоча точка лягає вище робочого поля, і паралельно, якщо вона виявляється правіше. Кількість необхідних насосів визначається в процесі побудови кривої необхідного напору і сумарної характеристики насосів. Параметри робочої точки при цьому повинні бути: $Q \geq Q_p$, $H \geq H_p$. Рекомендується при підборі насоса (насосів) використовувати зведений графік відцентрових насосів нормального ряду для нафти і нафтопродуктів. Подібні графіки приводяться в каталогах насосів.

Якщо перекачуванню підлягає в'язка рідина, то при виборі відцентрового насоса необхідно враховувати:

- коефіцієнт швидкохідності n_s повинен бути більше 80-ти;

- корпус насоса повинен бути спірального типу.

При цьому необхідно пам'ятати про необхідність перерахунку характеристик з води на в'язку рідину. Характеристику вибраного відцентрового насоса необхідно перерисувати із

каталога на міліметровий папір. На характеристику нанести графік необхідного напору і відмітити режимну точку *A* (рисунок 4.4).

Рахується, що насос підібраний правильно, якщо режимній точці *A* з подачею Q_p відповідає η_p, що відрізняється від $\eta_{\max}$ не більше, ніж на (5-7)%.

При підборі насоса необхідно враховувати, що для на-

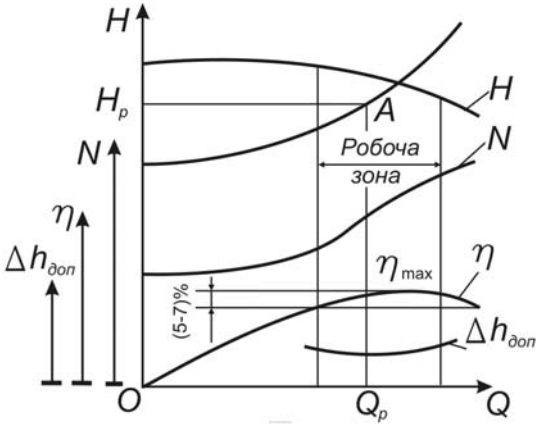


Рисунок 4.4 – Визначення робочої точки насосної установки

сосів, які мають характеристику *Q-H* з перегином, робота на мережу може бути нестійкою і супроводжуватися явищем помпажу.

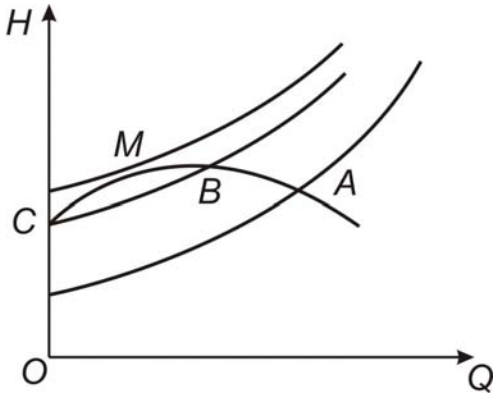


Рисунок 4.5 – Нестійка робота насоса

Відрізок СМВ (рисунок 4.5) є відрізком нестійкої роботи насоса. Тому необхідно, щоб при роботі насоса режимна точка *A* завжди лежала правіше точки *B*.

При змінних режимах роботи необхідно використовувати насоси зі стабільними характеристиками (без згину).

4.2.4 Перерахунок характеристики відцентрових насосів з води на більш в'язку рідину в'язку рідину

При перекачуванні високов'язких рідин характеристики відцентрових насосів відрізняються від аналогічних характеристик, одержаних на воді. Існує декілька методів перерахунку характеристик насоса з води на в'язку рідину. В курсовій роботі рекомендується виконувати перерахунок за методом М.Д. Айзенштейна. Цей метод оснований на наступних припущеннях:

- коефіцієнт швидкохідності відцентрового насоса при роботі його на рідинах, що відрізняються за в'язкістю, вважається постійним, $n_s=const$;

- напір при нульовій подачі $Q=0$ залишається однаковим для рідини будь-якої в'язкості;

- коефіцієнти перерахунку k_H, k_Q, $k_з$ одержані за графіком для $Re=Q_0/D_{екв}\cdot\nu$, (див. рисунок 4.6) приймаються постійними в діапазоні $Q=(0,8\text{-}1,2)Q_0$, де Q_0 – подача насоса при максимальному к.к.д при випробуваннях на воді; $D_{екв}$ – еквівалентний діаметр при випробування на воді, $D_{екв}$ - еквівалентний діаметр робочого колеса,

$$D_{екв} = \sqrt{4D_2 b_2 k} \quad , \tag{4.4}$$

де D_2 - зовнішній діаметр робочого колеса; b_2 - ширина робочого колеса на зовнішньому діаметрі; k – коефіцієнт стиснення потоку рідини лопатками робочого колеса на виході, $k = 0.96 - 0.98$.

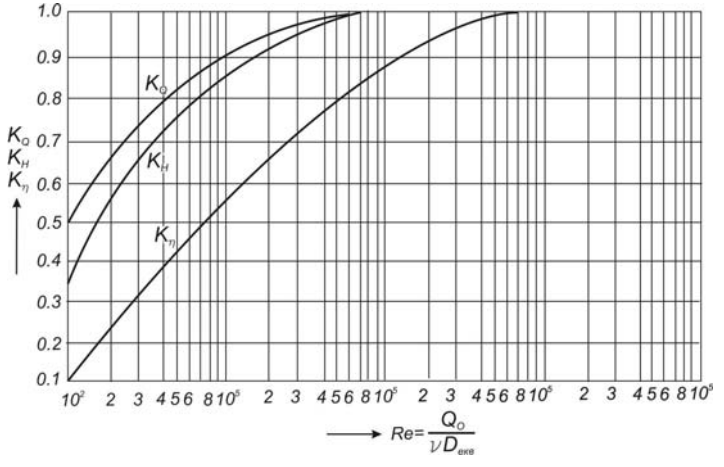


Рисунок 4.6 – Коефіцієнти перерахунку характеристики насоса

Нові характеристики відцентрового насоса при роботі його на в'язкій рідині будують за значеннями

$$
\begin{aligned}
Q_v &= k_Q Q \\
H_v &= k_H H \\
\eta_v &= k_\eta \eta
\end{aligned}
\qquad (4.5)
$$

в діапазоні зміни подачі $0{,}8Q_0 \le Q_0 \le 1{,}2Q_0$.

Залежність $Q_V - N_V$ будують вираховуючи потужність N_V, що споживається насосом, за формулою:

$$N_v = \frac{Q_v \rho_v g H_v}{\eta_v} \quad ,(4.6)$$

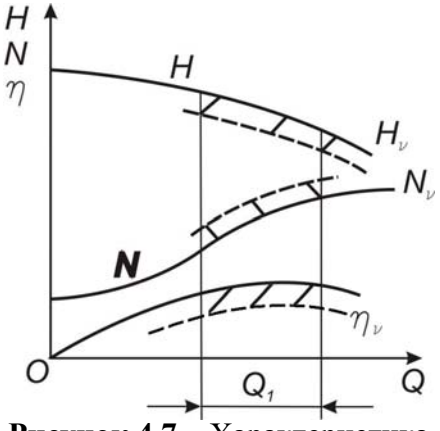


Рисунок 4.7 – Характеристика відцентрового насоса при роботі на в'язкій рідині

де, N_V - потужність, Вт;

Q_V - витрата, $м^3/с$;

ρ_v - густина, $кг/м^3$

g - прискорення вільного падіння, $м/с^2$;

H_v - напір, м; η_v - к.к.д.

Із графіка (рисунок 4.7) видно, що при перекачуванні в'язких рідин найбільше змінюється η насоса. На рисунку 4.7 суцільними лініями показана вихідна характеристика відцентрового насоса (на воді), а пунктирними лініями – після перерахунку на в'язку рідину.

4.2.5 Регулювання роботи відцентрового насоса

Якщо режимна точка А не співпадає з робочою точкою перетину характеристик насоса і трубопроводу, точкою *A'*, (рисунок 4.8) то роботу насоса регулюють. Методи регулю-

вання можуть бути різноманітними: регулювання дроселюванням, зміною частоти обертання вала насоса, обточкою робочих коліс, застосуванням обвідних трубопроводів (байпасів) і ін.

4.2.5.1 Регулювання дроселюванням

Регулювання дроселюванням проводиться засувом (рисунок 4.8), При роботі підібраного насоса на даний трубопровід (без регулювання) параметри його роботи визначаються робочою точкою A' – балансовою точкою, в якій напір, що розвиває насос, дорівнює напору, необхідному для подолання гідравлічного опору трубопроводу, а подача насоса дорівнює витраті рідини по трубопроводу.

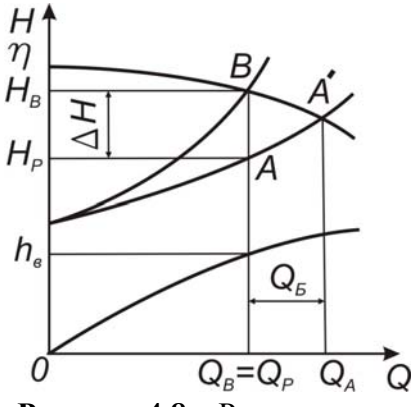


Рисунок 4.8 – Регулювання дроселюванням

Під час прикриття засуву на нагнітанні збільшується гідравлічний опір трубопроводу, його характеристика стає крутішою, робоча точка переходить із положення A' в B. При цьому подача насоса зменшується, залишаючись однаковою з витратою рідини в трубопроводі. При забезпеченні подачі $Q_p = Q_в$ робочою точкою насоса буде точка B. Очевидно, ΔH буде відображати втрати напору в дроселюючому засуві.

Відповідно зменшується к.к.д. насоса і в цілому установки η_p

$$\eta_p = \frac{N_n}{N} = \frac{H_p}{H_в}\eta_в = \left(1 - \frac{\Delta H}{H_в}\right)\eta_в \ , \qquad (4.7)$$

де N_n – корисна потужність, що створюється насосом; N – потужність, що споживається насосом. Звідси видно, що дросельне регулювання, хоча і є найбільш простим, але економічно невигідне через сильне зниження к.к.д. Зоною оптимального регулювання належить рахувати для насоса в межах к.к.д. $\eta_p = (0{,}8 - 1{,}0)\eta_{\max}$

Регулювання дроселюванням на всмоктувальному трубопроводі може викликати явище кавітації, тому його проводять лише у виключних випадках, наприклад, при перекачуванні кислот, коли кислота поступає в насос під напором.

4.2.5.2. Регулювання перепуском рідини з нагнітання на всмоктування (байпасування)

Регулювання перепуском здійснюється подачею частини рідини, що перекачується, із напірного трубопроводу до всмоктувального по обвідному трубопроводу (байпасу, на якому встановлений засув (рисунок 4.9)).

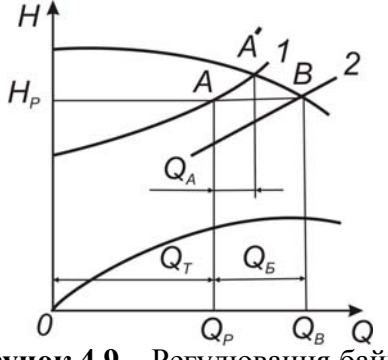


Рисунок 4.9 – Регулювання байпасуванням

На даному рисунку I, 2 - крива потрібного напору трубопроводу і сумарна, відповідно.

При зміні ступеня відкриття засуву змінюється характеристика гідравлічної системи. Засув відкривається таким чином, щоби напір насоса

став рівним необхідному напору (точка A).

При цьому напір насоса дорівнює гідравлічному опорові системи (байпас + трубопровід), а подача насоса дорівнює витраті рідини через байпас і трубопровід.

При закритті засуву робоча точка B і режимна точка A перемістяться в положення балансової точки A'. Діапазон регулювання витрати рідини по трубопроводу знаходиться в межах $Q_б = Q_в - Q_р$

К.к,д. насосної установки при цьому зменшується:

$$\eta_{рег} = \frac{Q_р}{Q_в}\eta_в = \left(1 - \frac{Q_б}{Q_в}\right)\eta_в \qquad (4.8)$$

Ось чому регулювання байпасуванням неекономічне і використовується лише як короткочасний захід, наприклад, при здійсненнях пуску насосного агрегата, при переключеннях і т. п.

4.2.5.3 Регулювання зміною частоти обертання вала

Цей спосіб регулювання є економічний, якщо для зміни частоти обертання вала насоса використовується електродвигун постійного струму, парова турбіна або двигун внутрішнього згоряння. Якщо як привід використовується електродвигун змінного струму, то частоту обертання вала насоса доцільно змінювати за допомогою гідромуфт або магнітних муфт.

Однак необхідно врахувати, що к.к.д. гідромуфт в робочій зоні дорівнює η = 0,94 - 0,98 і використовується для регулювання роботи насосів у вузькому діапазоні подач. Вибір конкретного пристрою регулювання необхідно обґрунтувати. Для визначення числа обертів вала насоса, який забезпечує подачу $Q_1 = Q_р$, використовують формули подібності (4.9 і 4.10)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n'}{n} \quad , \tag{4.9}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 , \tag{4.10}$$

де n і n' - число обертів до і після зміни числа обертів.

Точки 1 і 2 відповідають подібним режимам і лежать на параболі подібних режимів (рисунок 4.10)

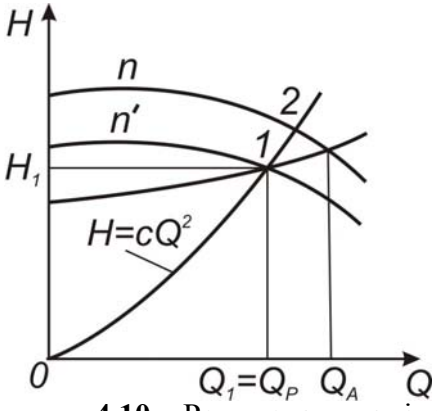


Рисунок 4.10 – Регулювання зміною частоти обертання вала

$$\eta_1 = const$$

$$H = cQ^2 , \tag{4.11}$$

де $c = \frac{H_1}{Q_1^2}$.

Параметри точки 1 відповідають параметрам режимної точки $Q_1 = Q_p$, $H_1 = H_p$. Параболу подібних режимів будують, задаючись деякими значеннями Q.

Таким чином, одержують точку 2 – перетин параболи подібних режимів, яка проходить через точку 1, з характеристикою насоса. Після цього за будь-якою формулою(4.9-4.10) визначають шукане число обертів n'. При такому регулюванні к.к.д. установки змінюється незначно.

4.2.5.4. Регулювання обточкою робочого колеса

Регулювання подачі насоса шляхом зміни діаметра (обточки) робочого колеса знаходить все більше застосування. Воно просте і достатньо економічне. Незважаючи на те, що при обрізці робочого колеса на виході геометрична подібність порушується, існують режими, для яких залишаються справедливими формули, аналогічні формулам подібності (4.12 - 4.13).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_2'}{D_2}, \qquad (4.12)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2. \qquad (4.13)$$

Точка 1 (рисунок 4.11) відповідає режимній точці . Точка 2 знаходиться як перетин напірної характеристики насоса з параболою обрізок:

$$H = cQ^2, \qquad (4.14)$$

де $c = \frac{H_1}{Q_1^2}$.

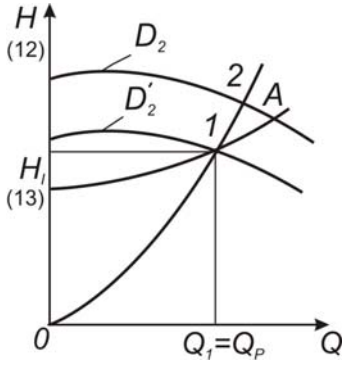


Рисунок 4.11 – Регулювання обточкою робочого колеса

Визначивши коефіцієнт *c*, за параметрами режимної точки 1, будують параболу обрізок, одержуючи при цьому на перетині з характеристикою насоса точку 2 з параметрами, які задовольняють рівняння (4.12, 4.13).

При обрізці колеса спостерігається незначне зменшення к.к.д. насоса, який залежить від коефіцієнта швидкохідності n_s

і ступеню обрізки робочого колеса. Гранична величина обрізки робочого колеса залежить від коефіцієнта швидкохідності.

Таблиця 4.2 – Залежність величини обрізки колеса від коефіцієнта швидкохідності

n_s	60	120	200	300	320	350
$\frac{D_2 - D_2'}{D_2}$	0,20	0,15	0,11	0,09	0,07	0,05

4.2.5.5. Спільна робота насосів на трубопровід

При підборі насосів нерідко виникає ситуація, коли один насосний агрегат не може забезпечити необхідний напір при заданій подачі. В таких випадках підбирається група насосів.

При визначенні числа насосів, які працюють спільно в заданому режимі, необхідно врахувати, що:

- економічно вигідніше встановлювати як можна менше робочих насосів, оскільки великі насоси мають більш високий к.к.д., ніж група малих;
- при врахуванні особливостей технологічного процесу, в якому бере участь дана насосна установка, визначаючи число насосів, необхідно вводити в розгляд коефіцієнт використання обладнання;

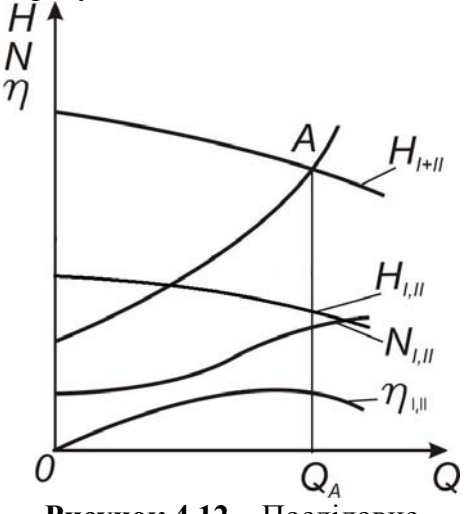


Рисунок 4.12 – Послідовне з’єднання насосів

- доцільно встановлювати насоси одного типорозміру, що забезпечує взаємну замінюваність насосів і спрощує їх експлуатацію.

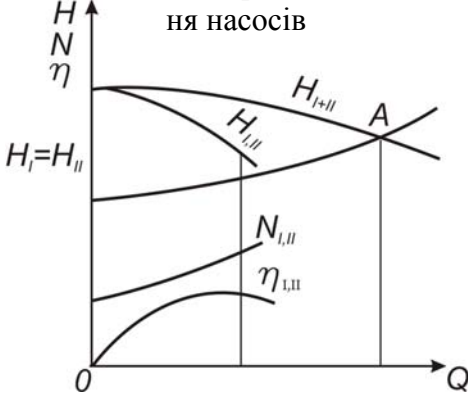
Відцентрові насоси можуть включатись паралельно і послідовно.

1) Послідовне з'єднання насосів використовується для збільшення напору в тих випадках, якщо один насос не може створити необхідного напору. Сумарна характеристика насосів (*Q-H* одержується додаванням ординат окремих характеристик $H = \Sigma H_i$ при $Q=const$. Якщо при підборі насосного обладнання вибір впав, наприклад, на два ($i = 2$) послідовно з'єднані насоси, тоді сумарна характеристика їх будується як показано на рисунку 4.12.

При послідовній роботі насосів необхідно звертати особливу увагу на вибір насосів, оскільки не усі вони можуть бути використані для послідовної роботи з умови міцності корпусу. Ці умови застерігаються в технічній характеристиці насоса. Звичайно послідовне з'єднання насосів допускається в 2 ступені, к.к.д. насосної установки визначається за формулою

$$\eta_{уст} = \frac{Q\rho g \sum H_i}{\sum N_i}$$

Рисунок 4.13 – Паралельне з'єднання насосів



2) При паралельному з'єднанні насосів для роботи на трубопровід сумарна характеристика будується шляхом складання абсцис

характеристик насосів $Q = \Sigma Q_i$ при $H = const$ (рисунок 4.13).

При виборі насосів необхідно пам'ятати, що відцентрові насоси можуть працювати лише при умові, якщо вони мають однаковий напір. В противному випадку насос, який має менші подачу і напір буде "задавлений" другим насосом, і його подача на загальний трубопровід буде дорівнювати нулю.

Тому для паралельної роботи особливо важливо підібрати насоси однотипні, в крайньому випадку з характеристиками, які незначно відрізняються.

К.к.д. насосної установки визначається за формулою:

$$\eta_{уст} = \frac{H\rho g \sum Q_i}{\sum N_i} \qquad (4.16)$$

4.2.6. Визначення допустимої висоти всмоктування

Висота всмоктування насоса обмежується можливістю виникнення кавітації. Кавітація починається, коли тиск на вході в робоче колесо насоса (p_{min}) стає меншим тиску насиченої пари рідини за даної температури $p_{н.п.}$ Умовою нормальної роботи відцентрового насоса є:

$$\frac{p_{\min}}{\rho g} \geq \frac{p_{н.п.}}{\rho g}, \qquad (4.17)$$

Тиск p_{min} важко виміряти. Прилад для вимірювання тиску в насосі встановлюється на вхідному патрубку, де тиск $p_в$.

Тому пропонується мати так званий кавітаційний запас, який представляє собою перевищення повної питомої енергії рідини у вхідному патрубку насоса над питомою енергією насиченої пари за температури перекачування

$$\Delta h = \frac{p_в}{\rho g} + \frac{\upsilon_в^2}{2g} - \frac{p_{н.п.}}{\rho g}, \qquad (4.18)$$

де $\upsilon_в$ - швидкість рідини у вхідному патрубку при подачі $Q_р$, $P_в$ – абсолютний тиск на вході в насос, $P_{н.п.}$ – тиск насиченої пари.

Для безкавітаційної роботи насоса необхідно, щоб розрахований кавітаційний запас $\Delta h_р$ був завжди більший, ніж допустимий $\Delta h_{доп}$, значення якого приводяться на характеристиках насосів в залежності від подачі.

Розрахований кавітаційний запас можна визначити, якщо скласти рівняння Бернуллі для перерізу 1-1 і В-В (див. рисунок 4.1) і скористатися формулою 4.18.

$$\Delta h_р = \frac{p_a - p_t}{\rho g} - (\pm H_в) - h_{1-2} \quad , \qquad (4.19)$$

де p_1 - абсолютний тиск над вільною поверхнею живильної ємності, $H_в$ - геометрична висота всмоктування, береться з знаком 'плюс', коли вільна поверхня живильного резервуара знаходиться нижче осі насоса, а знак 'мінус', коли вільна поверхня живильного резервуара є вище осі насоса; h_{1-2} – сумарні втрати напору у всмоктувальній лінії.

При визначенні $\Delta h_р$ за формулою необхідно враховувати знак величини $H_в$. Як зазначено вище, у випадку підпору $H_в$ має негативний знак. При визначенні допустимої геометричної висоти всмоктування насоса $H_в^{доп}$ необхідно у рівнянні (4.19) значення $\Delta h_р$ прийняти рівним $\Delta h^{доп}$.

Для нормального процесу всмоктування необхідно, щоб допустима висота всмоктування була завжди більша, ніж геометрична висота всмоктування:

$$H_в^{доп} > H_в \quad .$$

Необхідно відмітити, що зі зміною в'язкості рідини змінюється характеристика.

В даній курсовій роботі для приблизного розрахунку всмоктувальної здатності насосів рекомендується значення $\Delta h^{доп}$ визначати із характеристики насосів. Це дасть у розрахунках певний запас безкавітаційної роботи насоса. Якщо умова нормального процесу не виконується, то приймають деякі заходи для забезпечення безкавітаційної роботи насоса. Наприклад, можна змінити відмітку осі насоса, вкоротивши довжину всмоктувального трубопроводу, зменшити місцеві опори на всмоктувальній лінії, збільшити діаметр всмоктувального трубопроводу і т.п.

Після закінчення розрахунково-графічної роботи необхідно описати насосну установку, вказати її комплектність, відмітити характерні особливості її експлуатації, умови запуску, оцінити позитивні якості і недоліки роботи, запроектованої в даних умовах установки.

4.3 Приклад виконання розрахунків

4.3.1 Загальна частина (вступ)

4.3.1.1 Вихідні дані (див. рисунок 4.14)

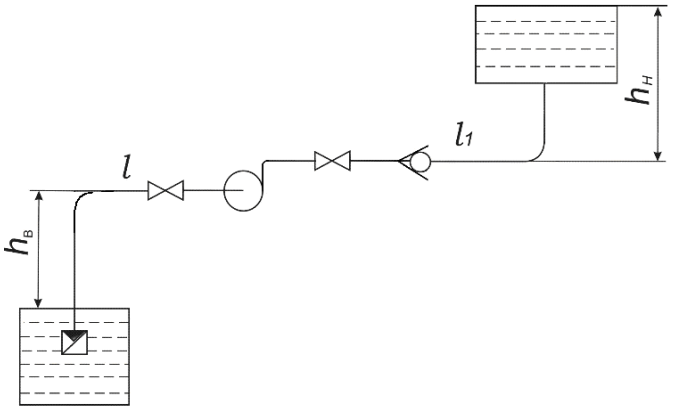


Рисунок 4.14 – Схема насосної установки

Довжина всмоктувальної ділянки трубопроводу 40 м,
довжина нагнітальної ділянки трубопроводу 500 м.
Витрата води $Q = 20$ м ^{3}/год.
Геометрична висота всмоктування $h_в =$ 4,5 м;
Геометрична висота нагнітання $h_н = 16$ м.
Температура води $t = 10$ ^{o}C.

4.3.1.2 Опис насосної установки (див. рисунок 4.14)

Насосна установка складається з живильної ємності, насоса, приймальної ємності, трубопроводів, арматури і вимірю-

вальних приладів – манометра і мановакуумметра. Трубопровід поділяється на ділянки – всмоктувальну, що з'єднана з живильною ємністю і насосом, і нагнітальну, яка з'єднує насос з приймальною ємністю. Всмоктувальний і нагнітальний трубопроводи мають вертикальну і горизонтальну ділянки. Вертикальна ділянка всмоктувального трубопроводу занурена в рідину приймальної ємності і має на кінці сітчастий фільтр зі зворотним клапаном. На горизонтальній ділянці перед насосом встановлений засув на відстані 1,5…2 м і мановакуумметр біля насоса. На горизонтальній ділянці нагнітального трубопроводу біля насоса встановлений манометр і на відстані 1,5…2 м - засув. Засуви розміщені на віддалі від насоса для усунення взаємодії місцевих опорів. Вертикальна ділянка за допомогою фланців з'єднується з приймальною ємністю. Обидві ємності мають сполучення з атмосферою.

4.3.1.3 Оброблення вихідних даних

Знайдемо густину води за температури перекачування $t = 10\ ^{o}\text{C}$.

$$\rho_t = 1000 - 0{,}0178 \cdot (t - 4^{o}C)^{1{,}7}$$

$$\rho_{10} = 1000 - 0{,}0178 \cdot (10 - 4)^{1{,}7} = 999{,}6 кг / м^3.$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості за температури перекачування $t = 10\ ^{o}\text{C}$ знаходимо за формулою Пуазейля

$$\nu_t = \frac{0{,}0178}{1 + 0{,}0337 \cdot t + 0{,}000221 \cdot t^2},$$

$$\nu_t = \frac{0{,}0178}{1 + 0{,}0337 \cdot 10 + 0{,}000221 \cdot 10^2} = 0{,}0131 см^2 / с,$$

$$\nu_t = 0{,}0131 \cdot 10^{-4} м^2 / с.$$

4.3.2 Гідравлічний розрахунок трубопроводу

4.3.2.1 Визначення діаметрів труб

Визначимо діаметр всмоктувального трубопроводу $d_в$.

Швидкість рідини у всмоктувальному трубопроводі вибираємо в межах 0,8…1,2 м/с згідно рекомендації [таблиця 4.1 методичних вказівок] у всмоктувальному трубопроводі

$\upsilon_в$ = 1 м/с.

Витрата рідини Q визначається за формулою:

$Q = \frac{\pi \cdot d_B^{\,2}}{4} \upsilon_B$, звідки розрахункове значення діаметра всмоктувального трубопроводу:

$$d_B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \upsilon_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{3.14 \cdot 1 \cdot 3600}} = 0{,}0841 \text{ м} \approx 84{,}1 \text{ мм}.$$

Згідно з ГОСТ 8732 вибираємо трубу :

товщина стінки - δ = 3,5 мм ,

зовнішній діаметр труби $d_{зов}$=89 мм ;

внутрішній діаметр труби становить

$d_в$= 89 – 2 ˙ 3,5 = 82 мм.

Приймаємо труби сталеві без шва, нові, чисті. Згідно додатку Ж методичних вказівок еквівалентна шорсткість труб $\Delta_e = 0{,}014 мм$.

Визначимо дійсну швидкість рідини у всмоктувальному трубопроводі υ_{BC}

$$\upsilon_{BC} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_B^{\,2}} = \frac{4 \cdot 20}{3{,}14 \cdot 0.082^2 \cdot 3600} = 1{,}052 \text{ м/с}.$$

Визначимо діаметр нагнітального трубопроводу.

Швидкість рідини у нагнітальному трубопроводі вибираємо в межах 1,0…3,0 м/с згідно рекомендації [таблиця 4.1 методичних вказівок].

Приймаємо швидкість рідини в нагнітальному трубопроводі - $\upsilon_H = 2$ м/с.

Витрата рідини Q визначається за формулою

$$Q = \frac{\pi \cdot d_B^{\,2}}{4} \upsilon_H$$

Звідси діаметр нагнітального трубопроводу

$$d_B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \upsilon_H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20}{3{,}14 \cdot 2 \cdot 3600}} = 0{,}0595 \text{ м} \approx 59{,}5 \text{ мм}.$$

Згідно з ГОСТ 8732 вибираємо трубу :

товщина стінки – δ = 3,5 мм,

зовнішній діаметр труби $d_{зов}$=68 мм,

внутрішній діаметр труби становить

$d_в$ = 68- 2·3,5 = 61 мм.

Визначимо дійсну швидкість рідини у нагнітальному трубопроводі

$$\upsilon_H = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_B^{\,2}} = \frac{4 \cdot 20}{3{,}14 \cdot 0.061^2 \cdot 3600} = 1{,}901 \text{ м/с}.$$

Дійсні швидкості води у всмоктувальному та нагнітальному трубопроводах знаходяться у рекомендованих межах.

4.3.2.2 Визначення необхідного напору насоса

Необхідний напір насоса визначається за такою залежністю:

$$H_{необх.} = h_{вс.} + h_{н.} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_{1-2},$$

де $h_{вс.}$ – геометрична висота всмоктування;

$h_{н.}$ – геометрична висота нагнітання;

p_1, p_2 – надлишкові тиски над вільною поверхнею живильного та приймального резервуарів;

$h_{1\text{-}2}$ – втрати напору на тертя по довжині та у місцевих опорах всмоктувального та нагнітального трубопроводу.

Оскільки статичний напір

$$H_{ст.} = h_{вс.} + h_н + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g},$$

то необхідний напір дорівнює

$$H_{некобх.} = H_{ст.} + h_{1-2}.$$

Треба зауважити, що при $p_1 = p_2 = p_{атм}$.

$$H_{ст.} = h_{вс.} + h_н,$$

$$H_{ст} = 4{,}5 + 16 = 20{,}5 м.$$

Визначимо втрати напору у всмоктувальному трубопроводі на гідравлічне тертя і місцеві опори.

Для цього потрібно визначити режим руху рідини у всмоктувальному трубопроводі.

Число Рейнольдса визначається за формулою

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{\nu},$$

де υ - середня швидкість,

d - внутрішній діаметр,

ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості.

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{\nu} = \frac{1.052 \cdot 0.082}{0{,}0131 \cdot 10^{-4}} = 65850$$ - режим турбулентний

Визначимо зону турбулентного режиму

$$\mathrm{Re}_1 = 10\frac{d}{\Delta} = 10\frac{82}{0.014} = 58571;$$

$$\mathrm{Re}_{II} = 500\frac{d}{\Delta} = 500\frac{82}{0.014} = 2928571;$$

$$\mathrm{Re}_{I} < \mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{II}$$

Маємо зону змішаного тертя, коли втрати залежать від режиму течії і від абсолютної величини шорсткості труб.

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначаємо за формулою Й.Д.Альтшуля.

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0.25} = 0{,}11\left(\frac{0.014}{82} + \frac{68}{65850}\right)^{0.25} = 0{,}0205$$

Втрати на тертя у всмоктувальному трубопроводі:

$$h_{вс} = \lambda\frac{L}{d}\frac{\upsilon^2}{2g} = 0{,}0205\frac{40}{0{,}082}\frac{\cdot 1{,}052^2}{\cdot 2 \cdot 9{,}81} = 0{,}564\ \text{м},$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного опору,

L - довжина трубопроводу,

υ - середня швидкість,

d - діаметр труби.

На всмоктувальному трубопроводі є такі місцеві опори: фільтр із зворотним клапаном, коліно, засув. Виберемо значення коефіцієнтів місцевих опорів із додатку 3 методичних вказівок. Для фільтра із зворотним клапаном $\zeta_{ф} = 7$; для засуву повністю відкритого $\zeta_{з=0,15;}$ коефіцієнт опору коліна $\zeta_{к} = 0{,}23$.

Втрати напору на місцевих опорах визначаються за формулою

$$h_{мо} = \sum_{i=1}^{i=n}\zeta\frac{\upsilon_1^2}{2g},$$

де υ - середня швидкість за місцевим опором;

$$\sum_{i=1}^{i=n}\zeta = \zeta_{ф} + \zeta_{к} + \zeta_{з}$$

$$h_{мо} = ((7 + 0.23 + 0.15)\frac{1{,}052^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}416 м \ .$$

Сумарні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі:

$$h_{вс} = 0{,}534 + 0{,}416 = 0{,}950 \text{ м.}$$

Визначимо втрати в нагнітальному трубопроводі на гідравлічне тертя і місцеві опори.

Режим руху рідини у нагнітальному трубопроводі

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{\nu} = \frac{1{,}9 \cdot 0{,}061}{0{,}0131 \cdot 10^{-4}} = 88473$$

$$\mathrm{Re}_I = 10\frac{d}{\Delta} = 10\frac{61}{0.014} = 43571;$$

$$\mathrm{Re}_{II} = 500\frac{d}{\Delta} = 500\frac{51}{0.014} = 2178571;$$

$$\mathrm{Re}_{II} > \mathrm{Re} > \mathrm{Re}_I$$

Маємо зону змішаного тертя, коли втрати залежать від режиму течії і від абсолютної величини шорсткості труб.

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначаємо за формулою Й.Д.Альтшуля

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0.25} = 0{,}11\left(\frac{0.014}{61} + \frac{68}{88473}\right)^{0.25} = 0{,}0198$$

Втрати на тертя у нагнітальному трубопроводі:

$$h_{вс} = \lambda \frac{L}{d}\frac{\upsilon^2}{2g} = 0{,}0198\frac{500 \cdot 1{,}9^2}{0{,}061 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = 29{,}8632 м.$$

На нагнітальному трубопроводі є такі місцеві опори: два коліна, зворотний клапан, засув, вхід в резервуар.

Виберемо значення коефіцієнтів місцевих опорів із додатку 3 методичних вказівок. Для зворотного клапана $\zeta_{зв.к.}$=45; для засуву повністю відкритого $\zeta_з$=0,15. Коефіцієнт опору

коліна $\zeta_{к}$=0,23. Коефіцієнт опору на вході нагнітальної труби у резервуар $\zeta_{вх.}$=1.

Втрати напору у місцевих опорах визначаються за такою формулою: $h_{мо} = \sum_{i=1}^{i=n} \zeta \frac{\upsilon^2}{2g}$,

де

$$\sum_{i=1}^{i=n} \zeta = \zeta_{ф} + 2\zeta_{к} + \zeta_{з} + \zeta_{вх}$$

$$h_{мо} = \sum_{i=1}^{i=n} \zeta \frac{\upsilon^2}{2g} = (45 + 2 \cdot 0{,}23 + 0{,}15 + 1{,}0) \frac{1{,}9^2}{2 \cdot 9{,}81} = 8{,}576 \text{ м.}$$

Сумарні втрати напору на нагнітальному трубопроводі:

$h_{н}$= 29,862 + 8,576 =38,438 м.

Отже, необхідний напір насоса при Q = 20 м^3 /год.

$H_{необх.}$= 4.5 +16 + 0,950+ 38,438 = 59,888 м.

Аналогічно визначаємо необхідний напір при інших значеннях витрати в трубопровідній системі. Результати обчислень зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Характеристика трубопроводу

Q,, м^3/год	0	5	10	15	20	25
H,м	20,5	26,10	32,23	44,19	59,89	81,35

На базі отриманих даних будуємо графік – характеристику трубопроводу (рисунок 4.15).

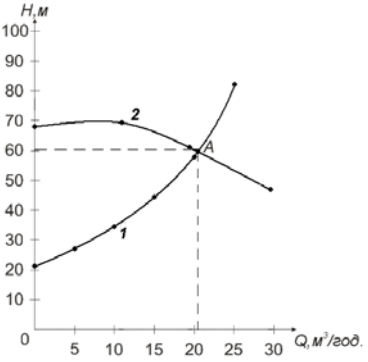


Рисунок 4.15 – Сумісна характеристика насоса і трубопроводу (1 – характеристика трубопроводу, 2 – напірна характеристика насоса)

Точка, у якій перетинається напірна характеристика насоса та характеристика трубопроводу , називається робочою. У цій точці Q_A = 20,45 м^3/год,H_A= 60,1 м.

З таблиці 4.3 визначаємо, що за заданої витрати Q = 20 м^3/год необхідний напір $H_{необх}$= 59,89 м.

4.3.3 Підбір насосно–силового обладнання

За заданою витратою Q = 20 м^3/год = 5,6 л/с та необхідним напором $H_{необх}$ = 59,89 м вибираємо згідно додатку Л методичних вказівок два послідовно з'єднані насоси К20/30.

Характеристика насоса при n= 2900 хв$^{-1}$ наведена у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика відцентрового насоса

Подача, *л/с*	0	2,8	5,5	8,3
Напір,*м*	34	34,5	30,8	24
К.к.д.	0	0,506	0,640	0,635

Приймаємо діаметр робочого колеса D_2 = 150 мм, ширина робочого колеса на зовнішньому діаметрі

$$b = \frac{D_2}{15} = \frac{150}{15} = 10мм = 0{,}01м \ .$$

Згідно даних таблиці 4.4 будуємо характеристику насоса (рисунок 4.16).

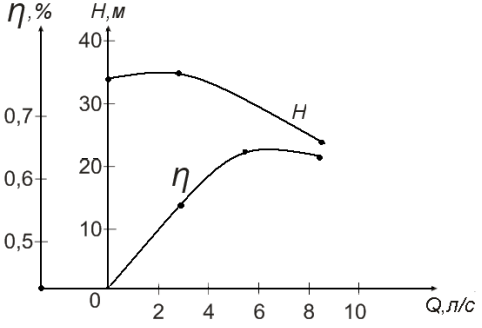


Рисунок 4.16 – Характеристика насоса

У разі послідовного з'єднання насосів при однакових подачах сумуються напори. Отже, напірна характеристика двох послідовно з'єднаних насосів матиме такий вигляд (рисунок 4.17).

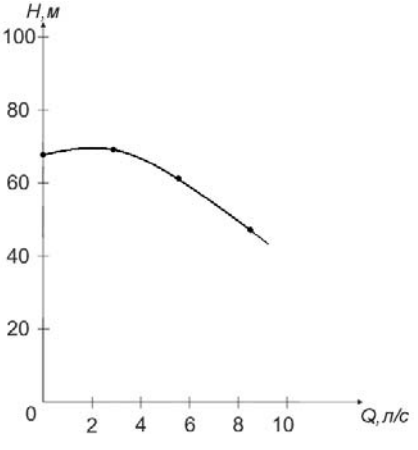


Рисунок 4.17 – Напірна характеристика двох послідовно з'єднаних насосів

Корисна потужність насоса за заданої витрати та необхідного напору

$$N_к = \rho g H_{необх.} Q = 999{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 59{,}89 \cdot 0{,}0056 = 3289 Вт = 3{,}3 кВт$$

Коефіцієнт корисної дії насосної установки визначається за формулою

$$\eta_{уст.} = \frac{Q \rho g \sum H_i}{\sum N_i}$$

При максимальному значенні коефіцієнта корисної дії $\eta_{\max} = 0{,}64$ (див. рисунок 4.16) затрачена потужність

$$N = \frac{N_к}{\eta_{\max}} = \frac{3289}{0{,}64} = 5139 Вт = 5{,}1 кВт.$$

4.3.4 Моделювання напірної характеристики насоса

Напірна характеристика насоса описується таким рівнянням

$$H = a - bQ^2,$$

де H – напір насоса; Q – витрата.

Для визначення коефіцієнтів a і b, складемо систему рівнянь

$$H_1 = a - bQ_1^2$$

$$H_2 = a - bQ_2^2$$

Згідно характеристики насоса вибираємо значення Q і H при послідовному з'єднанні двох насосів

$$69 = a - b \cdot 2{,}8^2$$

$$48 = a - b \cdot 8{,}3^2$$

Звідси $a = 71{,}7 м$, $b = 0{,}344 \frac{м \cdot с^2}{л^2}$.

Задаємося значенням Q і знаходимо H.

Для $Q = 2 л / с$

$H = 71{,}7 - 0{,}344 \cdot 2^2 = 70{,}3 м$

Результати розрахунків наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунків

Q, л/с	2	3	4	5	6	7	8
H, м	70,3	68,6	66,2	63,1	59,3	54,8	42,8

За результатами розрахунків будуємо напірну характеристику насоса (рисунок 4.18).

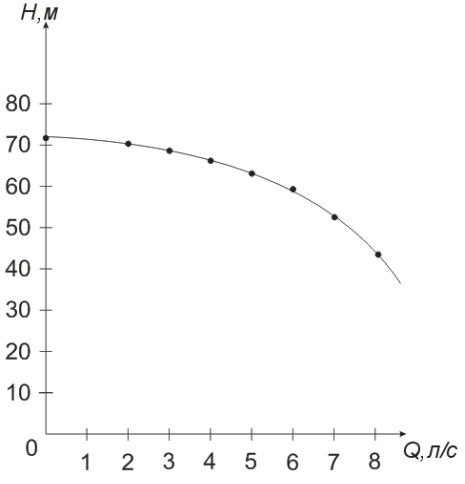


Рисунок 4.18 – Змодельована напірна характеристика насоса

Для подальших розрахунків використовуємо напірну характеристику, побудовану за даними згідно додатку Л методичних вказівок.

Напірну характеристику відцентрового насоса наносимо на графік залежності необхідного напору від витрати. Точка перетину їх буде робочою точкою.

Оскільки параметри робочої точки практично співпадають із заданою витратою Q та необхідним напором $H_{необх.,}$ то проводити регулювання нема потреби.

Відносна похибка складає

$$\delta = \frac{Q_з - Q_р}{Q_з} \cdot 100 = \frac{20 - 20{,}4}{20} \cdot 100 = 2\%$$

$$\delta = \frac{H_{необх.} - H_р}{H_{необх.}} \cdot 100 = \frac{59{,}89 - 60{,}1}{59{,}89} \cdot 100 = 0{,}4\%$$

4.3.5 Регулювання режиму роботи насосної установки

Розглянемо способи регулювання насосної установки. Є два способи регулювання:

1) регулювання характеристики трубопроводу;
2) регулювання характеристики насоса.

4.3.5.1 Регулювання характеристики трубопроводу дроселюванням

Регулювання дроселюванням проводиться засувом на нагнітальній лінії.

Припустимо, що параметри режимної точки такі:

$$Q=17{,}5 \text{ м}^3/\text{год}, \; H = 50 \text{ м}$$

При роботі підібраного насоса на даний трубопровід (без регулювання) параметри його роботи визначаються робочою точкою А, при якій напір, що розвиває насос, дорівнює напору, необхідному для подолання гідравлічного опору трубопроводу, а подача насоса дорівнює витраті рідини в трубопроводі.

При прикритті засуву на нагнітанні збільшується гідравлічний опір трубопроводу, його характеристика стає крутішою (рисунок 4.19).

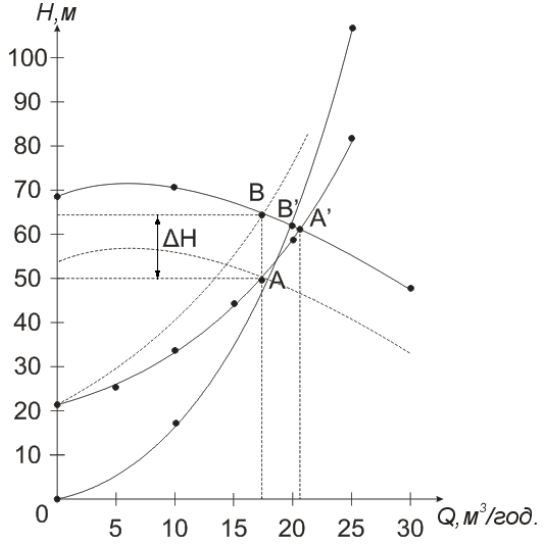


Рисунок 4.19 – Регулювання характеристики трубопроводу та характеристики насоса

Робоча точка переходить від A до В. ΔH – втрати напору в дроселюючому засуві.

$\Delta H = 63 - 50 = 13$ м, H_B=63 м.

З робочої характеристики насоса (рисунок 4.16) знаходимо коефіцієнт корисної дії $\eta_B = 0{,}61$.

Знайдемо коефіцієнт корисної дії насосної установки

$$\eta = \frac{N_к}{N} = \frac{H_A}{H_B} \cdot \eta_B = (1 - \frac{\Delta H}{H_B}) \cdot \eta_B = (1 - \frac{13}{63}) \cdot 0{,}61 = 0{,}48 .$$

Отже, дросельне регулювання хоча й найбільш просте, але економічно невигідне через сильне зниження коефіцієнта корисної дії.

4.3.5.2 Регулювання характеристики відцентрового насоса зміною частоти обертання вала

Регулювання характеристики відцентрового насоса здійснюється :

1) зміною частоти обертання вала;

2) обточкою робочого колеса.

Розглянемо кожен з них.

Регулювання зміною частоти обертання вала.

Нехай режимна точка має такі параметри:

Q=17,5 м^3/год., H= 50 м.

Побудуємо параболу подібних режимів, яка описується рівнянням

$$H = cQ^2 .$$

Підставимо в дане рівняння параметри режимної точки і знайдемо c.

$$c = \frac{H}{Q^2} = \frac{50}{17{,}5^2} = 0{,}163 \frac{год^2}{м^5}.$$

Побудуємо параболу подібних режимів, задаючись значеннями Q= 10 м^3/год., Q= 20 м^3/год., Q= 25 м^3/год. (бажано врахувати 10 точок значення витрати з сумісної характеристики насоса і трубопроводу).

$$H_1 = cQ^2 = 0{,}163 \cdot 10^2 = 16{,}3м \ ;$$

$$H_2 = 0{,}163 \cdot 20^2 = 65{,}2м ;$$

$$H_3 = 0{,}163 \cdot 25^2 = 101{,}88м.$$

Будуємо параболу подібних режимів (Рисунок 4.19).

Одержуємо точку B – перетин параболи подібних режимів, яка проходить через точку A, з напірною характеристи-

кою насоса . Згідно рисунка 4.20 Q_B=19 м^3/год. Значення Q_B можна знайти, прирівнявши рівняння параболи подібних режимів із рівнянням напірної характеристики відцентрового насоса.

$H = cQ^2$ і $H = a - bQ^2$, звідси

$cQ^2 = a - bQ^2$.

Знайдемо шукане число обертів $\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{n^1}{n}$;

$$\frac{17,5}{19} = \frac{n^1}{2900}.$$

Звідси $n^1 = \frac{17,5 \cdot 2900}{19} = 2671 хв^{-1}$.

При такому регулюванні к.к.д. установки змінюється незначно.

Напірна характеристика відрегульованого відцентрового насоса пройде через режимну точку *A* (рівновіддалено від заданої напірної характеристики).

4.3.5.3 Регулювання обточкою робочого колеса

Нехай режимна точка має такі параметри:

Q=17,5 м^3/год., *H*= 50 м.

Будуємо параболу обрізок $H = cQ^2$ (аналогічно, як і параболу подібних режимів).

Визначимо коефіцієнт *c* за параметрами режимної точки

$$c = \frac{H}{Q^2} = \frac{50}{17,5^2} = 0,163 \frac{год^2}{м^5}.$$

Побудуємо параболу обрізок, задаючись значеннями

Q= 10 м^3/год., *Q*= 20 м^3/год., *Q*= 25 м^3/год. (бажано врахувати 10 точок значення витрати з сумісної характеристики насоса і трубопроводу) (рисунок 4.20).

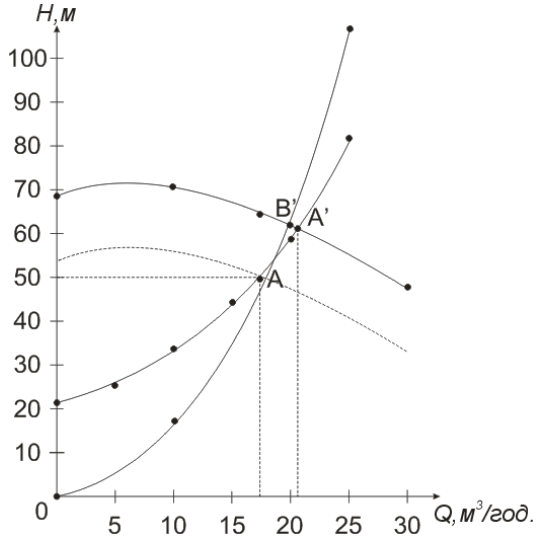


Рисунок 4.20 - Регулювання напірної характеристики насоса

Для кожного значення витрати Q знаходимо H за залежністю $H = cQ^2$.

$$H_1 = cQ^2 = 0{,}163 \cdot 10^2 = 16{,}3м \ ;$$

$$H_2 = 0{,}163 \cdot 20^2 = 65{,}2м;$$

$$H_3 = 0{,}163 \cdot 25^2 = 101{,}88м.$$

Будуємо параболу обрізок. Одержуємо точку B – перетин параболи обрізок, яка проходить через точку A, з напірною характеристикою насоса.

Знайдемо діаметр обрізаного робочого колеса.

Діаметр робочого колеса $D_2 = 150$ мм. Тоді

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{D_2^1}{D_2}.$$

Звідси $D_2^1 = \frac{Q_A \cdot D_2}{Q_B} = \frac{17{,}5 \cdot 0{,}150}{19} = 0{,}138 м$.

Напірна характеристика співпадає з характеристикою, одержаною при зменшенні числа обертів вала насоса.

4.3.6 Перерахунок характеристики насоса з води на в'язку рідину

При перекачуванні в'язких рідин характеристики відцентрових насосів змінюються, порівняно з характеристиками, отриманими на воді.

Перерахунок характеристик насоса проводимо за методом М.Д.Айзенштейна.

Цей метод ґрунтується на таких припущеннях:

1) коефіцієнт швидкохідності n_s вважається постійним n_s=*const*;

2) напір при Q = 0 залишається однаковим для будь-якої в'язкості;

3) коефіцієнти перерахунку для подачі, напору та коефіцієнта корисної дій k_Q, k_H, $k_з$, одержані за графіком (рисунок 4.6, методичні вказівки) для $\mathrm{Re} = \frac{Q_0}{D_{екв} \cdot \nu}$ приймаються у діапазоні

$$Q=(0{,}8\ldots1{,}2)Q_o.$$

де Q_o - подача насоса при максимальному ККД при випробовуванні на воді.

$D_{екв}$ - еквівалентний діаметр робочого колеса.

$$D_{екв} = \sqrt{4D_2 b_2 k} = \sqrt{4 \cdot 0.148 \cdot 0.01 \cdot 0.97} = 0.0758 \text{ м}$$

Припускаємо, що по трубопроводу перекачується масло індустріальне 12.

Кінематичний коефіцієнт в'язкості $\nu = 4{,}8 \cdot 10^{-5}$ м^2/с, густина $\rho = 883$ кг/м^3 (додатки А, В, методичні вкзівки)

$$\mathrm{Re} = \frac{Q_o}{D_{екв} \cdot \nu} = \frac{20}{0{,}0758 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-5} \cdot 3600} = 1530 = 1{,}53 \cdot 10^3$$

За графіком (рисунок 4.6) одержуємо коефіцієнти перерахунку, що відповідають значенням $Re = 1{,}53 \cdot 10^3$.

$k_Q = 0{,}93$;

$k_H = 0{,}9$;

$k_\eta = 0{,}62$.

Нові параметри відцентрового насоса при роботі на в'язкій рідині

$Q_н = k_Q Q = 0{,}93 \cdot 20 = 18{,}6$ м^3/год

$H_н = k_H H = 0{,}9 \cdot 30 = 27$ м

$\eta_\nu = k_\eta \eta = 0{,}62 \cdot 63 = 39{,}06\%$.

Характеристику $N=f(Q)$ в діапазоні зміни подачі –

$$0{,}8Q_o \le Q_o \le 1{,}2Q_o,$$

$$0{,}8 \cdot 20 \le 20 \le 1{,}2 \cdot 20 \text{ м}^3\text{/год},$$

$$16 \le 20 \le 24 \text{ м}^3\text{/год}.$$

Будуємо, визначаючи потужність , яка споживається насосом за формулою:

$$N_\nu \frac{Q_\nu \cdot \rho_\nu \cdot g \cdot H_\nu}{\eta_\nu} = \frac{18{,}6 \cdot 883 \cdot 9{,}81 \cdot 27}{0{,}3906 \cdot 3600} = 3098{,}4 = 3{,}1 \text{ кВт}.$$

На базі отриманих даних для інших режимів можна побудувати характеристики насоса при перекачуванні в'язкої рідини $H_н = f(Q_н)$, $N_н = f(Q_н)$, $\eta_\nu = f(Q_н)$.

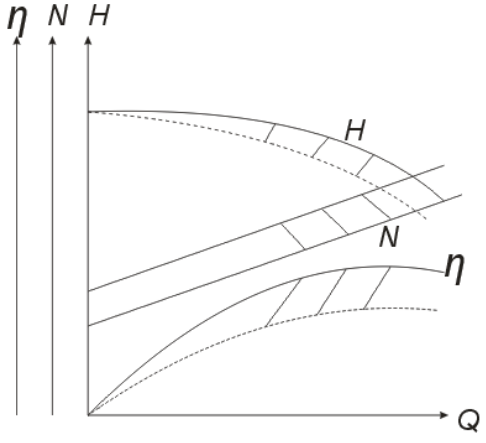


Рисунок 4.21 – Перерахунок характеристики насоса з води на більш в'язку рідину

4.3.7 Перевірка всмоктувальної здатності насоса

Висота всмоктування насоса обмежується можливістю виникнення кавітації.

Умова нормальної роботи відцентрового насоса :

$$\frac{P_{вх}}{\rho g} \geq \frac{P_{н,п,}}{\rho g},$$

де $P_{вх}$- абсолютний тиск на вході в насос;

$P_{н.п}$- тиск насиченої пари, залежить від роду рідини і температури. (додаток Г методичних вказівок).

Для нормального процесу всмоктування необхідно, щоб допустима висота всмоктування завжди була більша, ніж геометрична висота всмоктування.

Визначимо допустиму висоту всмоктування насоса за залежністю (4.19)

$$H_{вс}^{доп} = \frac{P_{атм} - P_{н.п.}}{\rho g} - \Delta h_{доп.} - h_{вс.1-2}.$$

В цьому рівнянні

$P_{атм.}$- атмосферний тиск,

Приймаємо $P_{атм}$=101 кПа.

$P_{н.п}$- тиск насиченої пари за $t = 10^{o} C$,

$P_{н.п}$=1,18 кПа, (додаток Г методичних вказівок),

$\Delta h_{доп.}$ – допустимий кавітаційний запас насоса,

$h_{вс.1-2}$ – сумарні втрати напору у всмоктувальному трубопроводі.

Для визначення кавітаційного запасу необхідно знати тиск на вході в насос.(Рисунок 4.22).

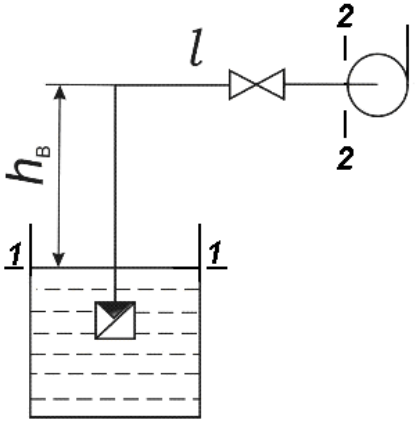


Рисунок 4.22 – Визначення тиску на вході в насос

Запишемо рівняння Бернуллі для дільниці між перерізами 1-1 і 2-2. Площину порівняння проведемо через переріз 1-1 (рисунок 4.22).

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^{\,2}}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2\, \upsilon_2^{\,2}}{2g} + h_{1-2} \ .$$

Виконаємо аналіз рівняння відносно вибраної площини порівняння

Переріз 1-1	Переріз 2-2
$z_1 = 0$	$z_2 = h_{вс.}$
$P_1 = 0$ (надл.)	$P_2 = P_{вх.}$-?

$\upsilon_1 = 0$ $\qquad\qquad$ $\upsilon_2 = \dfrac{Q}{S}$

$$h_{1-2} = \lambda \frac{L}{d} \frac{\upsilon_2^{\,2}}{2g} \ + \ \sum_{i=1}^{i=n} \zeta \frac{\upsilon_2^{\,2}}{2g},$$

Дані, одержані в результаті аналізу, підставляємо у вихідне рівняння Бернуллі.

Одержимо

$$P_{вак} = (h_{вс} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^{\,2}}{2g} + h_{1-2})\rho g.$$

Швидкість течії води у всмоктувальному трубопроводі

$$\upsilon_2 = 1{,}052 м/с.$$

Сумарні втрати напору $h_{1-2} = 0{,}950$ м.

Густина води за температури перекачування

$$\rho = 999{,}6 кг/м^3 \ .$$

α – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей. Для турбулентного режиму $\alpha = 1$.

Отже, вакуум на вході в насос дорівнює

$$P_{вак} = (4{,}5 + \frac{1{,}052^2}{2 \cdot 9{,}81} + 0{,}950) \cdot 999{,}6 \cdot 9{,}81 = 53996 Па$$

Визначимо допустимий кавітаційний запас за залежністю (4.18), виразивши абсолютний тиск на вході в насос через вакуум та атмосферний тиск. Значення вакууму на вході беремо із запасом на 20 %.

$$\Delta h_{доп} = \frac{P_{атм.} - P_{н.п.}}{\rho g} + \frac{\upsilon_2^{\,2}}{2g} - \frac{1{,}2 P_{вак}}{\rho g}.$$

$$\Delta h_{доп} = \frac{101000 - 1180}{999{,}6 \cdot 9{,}81} + \frac{1{,}052^2}{2 \cdot 9{,}81} - \frac{1{,}2 \cdot 53996}{999{,}6 \cdot 9{,}81} = 3{,}63 м \ .$$

Допустима висота всмоктування насоса

$$H_{вс}^{\ доп} = \frac{101000 - 1180}{999{,}6 \cdot 9{,}81} - 3{,}63 - 0{,}950 = 5{,}6 м.$$

Отже, насос повинен бути встановлений не вище 5,6 м над рівнем рідини в живильній ємності.

Згідно завдання $h_{вс} = 4{,}5 м \langle 5{,}6 м$

Допустима геометрична висота всмоктування визначається також за такою залежністю

$$H_{вс}^{\ доп} = \frac{P_{атм} - P_{н.п.}}{\rho g} - h_{вс.1-2} - \varphi \sigma H \ ,$$

де φ – коефіцієнт запасу; який приймається у таких межах:

$\varphi = 1{,}2 - 1{,}4;$

σ – коефіцієнт кавітації;

$$\sigma = (\frac{n_s}{c})^{4/3},$$

де n_s- коефіцієнт швидкохідності робочого колеса;

c- коефіцієнт, який характеризує конструкцію насоса,

c=500 – 600; H – напір насоса.

Коефіцієнт швидкохідності визначається за формулою

$$n_s = \frac{3{,}65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}},$$

де n – частота обертання вала насоса, хв.$^{-1}$;

Q – подача насоса, м^3/с;

H – напір насоса, м.

Визначимо коефіцієнт швидкохідності, підставивши параметри режимної точки, Q=20 м^3/год, Н = 59,85 м.

$$n_s = \frac{3{,}65 \cdot 2900\sqrt{\frac{20}{3600}}}{59{,}85^{3/4}} = 36{,}66 об / хв.$$

Визначимо коефіцієнт кавітації, прийнявши c= 600.

$$\sigma = (\frac{36{,}66}{600})^{4/3} = 0{,}031.$$

Тиск насиченої пари за t= 10^{0}С дорівнює 1180 Па;

Атмосферний тиск $P_{атм}$= 101кПа.

Приймаємо коефіцієнт $\varphi = 1{,}2$.

Густина води 999,6 кг/м^3. Сумарні втрати напору на всмоктувальній лінії 0,950 м.

Знайдемо допустиму геометричну висоту всмоктування

$$H_{вс}^{доп} = \frac{101000 - 1180}{999{,}6 \cdot 9{,}81} - 0{,}950 - 1{,}2 \cdot 0{,}031 \cdot 59{,}85 = 7 м.$$

Згідно завдання $h_{вс}$=4,5 м < 7 м.

4.3.8 Розрахунок товщини стінки трубопроводу

Розрахункова товщина стінки визначається за формулою

$$\delta = \frac{p(d+m)}{2[\sigma_p]\cdot n},$$

де p – максимальний тиск в системі;

d- діаметр трубопроводу;

m –відхилення по діаметру труби (овальність) ,

m=(0,08 – 0,15) мм;

n – допустимі відхилення товщини стінки, n=0,9;

$[\sigma_p]$- допустиме напруження матеріалу труби на розрив, яке приймається рівним (30 – 35) % від тимчасового опору розриву.

Оскільки найбільший тиск є у нагнітальному трубопроводі, визначимо тиск на виході з насоса.

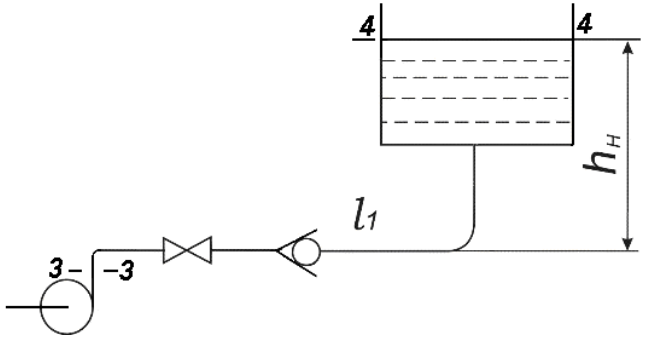


Рисунок 4.23 – Визначення тиску на виході з насоса

Запишемо рівняння Бернуллі для дільниці між перерізами 3-3 і 4-4.

$$z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3 \upsilon_3^{\,2}}{2g} = z_4 + \frac{P_4}{\rho g} + \frac{\alpha_4\, \upsilon_4^{\,2}}{2g} + h_{3-4} \ .$$

Проведемо аналіз рівняння відносно площини порівняння, яка проходить через переріз 3-3.

Переріз 3-3	Переріз 4-4
$z_3 = 0$	$z_4 = h_н$
$p_3 = p_{вих.\text{-}?}$	$P_4 = 0$ (надл.)
$\upsilon_3 = \frac{Q}{S}$	$\upsilon_4 = 0$
	$h_{3-4} = h_l + h_{м.о.}$

Дані, одержані в результаті аналізу, підставляємо у вихідне рівняння Бернуллі.

$$p_{вих} = (h_н - \frac{\alpha_3 \upsilon_3^{\,2}}{2g} + h_l + h_{м.о.})\rho g \ .$$

$h_н$ – геометрична висота нагнітання, $h_н$=16 м.

υ_3 - середня швидкість течії води у нагнітальному трубопроводі, υ_3 = 1,9 м/с,

α_3 - коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей, при турбулентному режимі α_3 = 1;

h_l - втрати напору на тертя по довжині нагнітального трубопроводу, h_l = 29,86 м;

$h_{м.о.}$ - втрати напору в місцевих опорах нагнітального трубопроводу, $h_{м.о.}$ = 8,53 м;

ρ - густина нафти за температури $t = 10^0 C$,

ρ = 999,6 кг/м^3

$$p_{вих.} = (16 - \frac{1{,}9^2}{2 \cdot 9{,}81} + 29{,}86 + 8{,}53)999{,}6 \cdot 9{,}81 = 531587 Па = 0{,}53 МПа$$

Ударне підвищення тиску

$\Delta p = \rho c \upsilon,$

де ρ - густина нафти за температури $t = 10^0 C$,

c- швидкість поширення ударної хвилі ,

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{Kd}{E\delta}}},$$

K - модуль пружності води, K=$2 \cdot 10^9$ *Па* (додаток Б методичних вказівок);

E - модуль пружності сталі, E=$206 \cdot 10^9$ *Па* (додаток Б методичних вказівок);

ρ - густина нафти за температури $t = 10^0 C$,

d- діаметр нагнітального трубопроводу, d= 0,061 м;

δ - товщина стінки, δ = 0,0035 мм.

Отже, швидкість поширення ударної хвилі

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^9}{999{,}6}} / \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10^9 \cdot 0{,}061}{206 \cdot 10^9 \cdot 0{,}0035}} = 1310 м / с$$

Ударне підвищення тиску

$\Delta p = 999{,}6 \cdot 1310 \cdot 1{,}9 = 2487471 Па = 2{,}5 МПа.$

Отже, максимальний тиск в системі

$p = p_{вих.} + \Delta p = 531587 + 2487471 = 3019058 Па.$

Напруження на розрив для сталі марки Ст3

$\lfloor\sigma_p\rfloor$=140 МПа. Приймаємо m=0,1 мм.

Розрахункова товщина стінки дорівнює

$$\delta = \frac{3019058(0{,}061 + 0{,}0001)}{2 \cdot 140 \cdot 10^6 \cdot 0{,}9} = 0{,}00073м.$$

Товщина стінки трубопроводу $\delta = 0{,}0035$ мм більша розрахункового значення.

4.3.9 Розрахунок зусиль , що діють у характерних перерізах

В перерізі 1-1 (рисунок 4.24) діє горизонтальна складова сили тиску на криволінійну поверхню, що визначається за формулою

$F_x = (p_0 + \rho g h_c) \cdot S_v$,

де p_0 - надлишковий тиск над вільною поверхнею. Над вільною поверхнею тиск атмосферний. Отже, надлишковий тиск дорівнює нулю $p_0 = 0$ (надл.);

h_c - глибина занурення центра тяжіння проекції криволінійної поверхні на вертикальну площину, $h_c = \frac{D}{2}$;

S_v – площа проекції криволінійної поверхні на вертикальну площину, $S_v = L \cdot D$;

ρ - густина води.

Отже,

$$F = \rho g \frac{D}{2} \cdot L \cdot D = 999{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{10}{2} \cdot 10 \cdot 6 = 1765000H = 1765кН.$$

В перерізі 2-2 діє вертикальна сила F_z, яка визначається за формулою $F_z = (p_0 + \rho g h) \cdot S$,

$p_0 = 0$ (надл.), $h=L$, $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

Отже,

$$F_z = \rho g L \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 999{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 6 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 10^2}{4} = 4619000 H = 4619 кН.$$

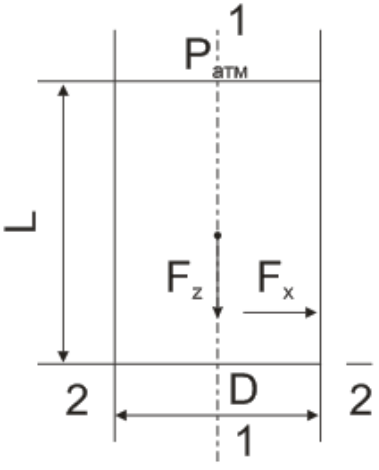


Рисунок 4.24 – Розрахунок зусиль

Визначимо товщину стінок резервуара

Статичний тиск рідини на рівні дна резервуара

$$p_2 = L \cdot \rho \cdot g = 6 \cdot 999{,}6 \cdot 9.81 = 58836 Па$$

Сила тиску F_x передається на два перерізи стінки резервуара

$$F_x = 2 \cdot \delta \cdot L \cdot [\sigma_p] \ ,$$

де $[\sigma_p]$=140 МПа – напруження на розрив для сталі марки Ст3,

δ - товщина стінки резервуара;

L - висота стінки резервуара, що змочена рідиною.

Звідси

$$\delta = \frac{F_x}{2 \cdot L \cdot [\sigma_p]} = \frac{1765 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 140 \cdot 10^6} = 0.00105 м.$$

Мінімальна товщина стінки резервуара дорівнює 4 мм, тому приймаємо товщину стінки 4 мм.

Визначимо товщину кільцевого зварного шва, що з'єднує дно і стінку резервуара

$$F_z = \delta \cdot \pi \cdot D \cdot [\sigma_p]$$

Звідси

$$\delta_1 = \frac{F_z}{\pi \cdot D \cdot [\sigma_p]} = \frac{4618{,}6 \cdot 10^3}{3{,}14 \cdot 10 \cdot 140 \cdot 10^6} = 0.0105 \text{ м} \cong 11 \text{ мм}$$

Таким чином підготовка зварного шва повинна передбачувати двосторонню обробку кромок і двостороннє зварювання зі зміцнюючим валиком.

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

5.1 Загальні вимоги до оформлення ПЗ

Пояснювальну записку до курсової роботи оформляють відповідно до вимог ГОСТ 2.105, ГОСТ 106-96.

Кожний аркуш ПЗ, окрім додатків, повинен мати основний напис .

ПЗ повинна бути написана на білому папері формату А4 (210 х 297 мм) чітко та розбірливо чорним, фіолетовим чи синім кольором або надрукована на друкарській машинці стрічкою чорного кольору, при цьому можуть застосовуватись друкуючі і графічні пристрої сучасної комп'ютерної техніки.

Висота літер повинна бути не менше 2,5 мм, відстань між рядками – від 8 до 10 мм. Комп´ютерний набір тексту ПЗ повинен відповідати наступним вимогам: стиль "звичайний", гарнітура Times New Roman, 14 кегль, міжрядковий інтервал - одинарний або полуторний (1,0 – 1,5).

Рядки не повинні заходити за рамку основного напису. Відстань від рамки до границь тексту повинна бути: початок рядка – не менше 5 мм, кінець рядка – не менше 3 мм.

При оформленні текстових документів на аркушах без рамки (додатки і т.ін.) текст необхідно розмістити, додержуючись таких границь: верхня, ліва і нижня – не менше 20 мм, права – не менше 10 мм.

Абзаци в тексті треба починати з відступом, рівним від 15 до 17 мм.

Відстань від верхнього або нижнього рядка тексту відповідно до верхньої або нижньої рамки повинна бути не менше 10 мм.

Друкарські помилки, помилки у написанні тексту і графічні неточності, виявлені при оформленні ПЗ, допускається виправляти шляхом підчищення або зафарбовуванням білою фарбою типу "штрих" і нанесенням на цьому ж місці виправленого тексту (або графіки).

Пошкодження аркушів ПЗ, помарки і сліди неповністю виведеного попереднього тексту (графіки) не допускаються.

ПЗ курсової роботи повинна бути прошита, проклеєна і мати тверду палітурку.

На кольорову палітурку потрібно наклеїти етикетку із білого паперу розміром 120 х 80 мм, на якій чорним кольором креслярським шрифтом або машинописом вказують назву документа (курсова робота), позначення документа, шифр групи, ім'я та прізвище студента, рік виконання проекту.

Якщо палітурка з білого паперу, то етикетку не наклеюють, а необхідні дані пишуть безпосередньо на палітурці в рамці, розміри якої відповідають наведеним вище.

5.1.1 Вимоги до викладу тексту

Текст ПЗ повинен бути стислим, точним, не допускати різних тлумачень, логічно послідовним, необхідним і достатнім для повного викладу змісту.

Коли наводять найбільше або найменше значення величин, слід застосовувати словосполучення "повинно бути не більше (не менше)".

Приклад 1

Масова частка вуглекислого натрію у технічній кальцинованій соді повинна бути не менше 99,4 %.

Числові значення у відсотках слід писати: "… від 50 % до 67 %" або "(65 ± 2) %" (а не 65 ± 2 %).

Римські цифри можна використовувати тільки для позначення сорту (категорії, класу і т. ін.) виробу, валентності хімічних елементів, кварталу року, півріччя. В інших випадках потрібно писати арабські цифри.

Позначення одиниць фізичних величин у таблицях, формулах і в тексті застосовують тільки при числових значеннях та пишуть без крапки. Позначення одиниці треба розташовувати в одному рядку з числовим значенням величин, без перенесення на наступний рядок. Між числом і позначенням одиниці залишають проміжок.

Приклад

5 Вт, 10 кг, 20 °С

Інтервали чисел пишуть із словами "від" і "до" (маючи на увазі "від … і до … включно"), якщо після чисел зазначена одиниця фізичної величини або числа є безрозмірними коефіцієнтами, і через дефіс, якщо числа є порядковими номерами.

Приклад 1

... товщина шару має бути від 1 до 2 мм.

Приклад 2

...у розділах 2-3.

У тексті ПЗ не дозволяється:

- вживати звороти розмовної мови, техніцизми та практицизми;
- вживати для того самого поняття різні науково-технічні терміни, близькі за змістом (синоніми);
- вживати скорочення слів, окрім встановлених правилами української орфографії і чинними стандартами;
- вживати індекси стандартів (ДСТУ, ГОСТ) без позначень.

У тексті ПЗ, за винятком таблиць і рисунків, не дозволяється:

- вживати математичний знак мінус (-) перед від'ємними значеннями величин (необхідно писати слово "мінус");
- вживати знак "Ø" для позначення діаметра: необхідно писати слово "діаметр"; при зазначенні розміру і граничних відхилень діаметра на кресленнях перед розмірним числом слід писати знак "Ø";
- вживати без числових значень математичні знаки, наприклад, > (більше), < (менше), = (дорівнює), ≥(більше або дорівнює), ≤ (менше або дорівнює), ≠ (не дорівнює), а також № (номер) і % (відсоток).

У тексті ПЗ допускаються такі скорочення:

- с. – сторінка; р. – рік; р.р. – роки; мін. – мінімальний; макс. - максимальний; абс. – абсолютний; відн. – відносний, які вживають з числовими значеннями;
- загальноприйняті скорочення: і т.д. – і так далі; і т. ін. – і таке інше; див. – дивись; номін. – номінальний; гран. відх. – граничне відхилення та інші абревіатури, що встановлені правилами орфографії, а також відповідними державними стандартами.

5.1.2 Поділ тексту

Текст ПЗ потрібно поділяти на розділи. Розділи можна поділяти на пункти або підрозділи і пункти. Пункти за необхідності можуть поділятись на підпункти.

Розділи, підрозділи, пункти і підпункти необхідно нумерувати арабськими цифрами.

Розділи повинні мати порядкову нумерацію у межах усього тексту, за винятком додатків.

Приклад

1, 2, 3 і т. ін.

Номер підрозділу включає номер розділу і порядковий номер підрозділу, відокремлені крапкою.

Приклад

1.1, 1.2, 1.3 і т. ін.

Номери пунктів і підпунктів формуються, враховуючи номери розділів і підрозділів.

Приклад 1

номери пунктів: 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 і т. ін.

Приклад 2

номери підпунктів: 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 і т. ін.

Після номера розділу, підрозділу, пункту і підпункту у тексті крапку не ставлять.

5.1.3 Заголовки

Розділи, підрозділи повинні мати заголовки. Пункти та підпункти, як правило, заголовків не мають.

Назва розділу повинна бути короткою і відповідати змісту. Її записують як заголовок (великими літерами) і розташовують симетрично до тексту. Переноси слів у назві не допускаються. Якщо заголовок складається з двох речень, їх відокремлюють крапкою. Не допускається підкреслювати заголовок і розміщувати його останнім рядком на аркуші ПЗ.

Заголовки підрозділів і пунктів пишуть з абзацного відступу малими літерами з першої великої літери без крапки у кінці, не підкреслюючи. У випадку комп'ютерного набору тексту заголовки виділяють жирним шрифтом.

Відстань між заголовком і подальшим чи попереднім текстом має бути не менше, ніж два рядки (одинарного інтервалу).

5.1.4 Переліки

Усередині пунктів або підпунктів можуть бути наведені переліки вимог, вказівок, положень.

Перед переліком ставлять двокрапку.

Перед кожною позицією переліку слід ставити дефіс або малу літеру, після якої ставлять дужку; позиції переліків слід відокремлювати крапкою з комою (;).

Позиції переліків записуються з абзацу.

5.1.5 Нумерація аркушів

Нумерація аркушів ПЗ і додатків, які входять до її складу, повинна бути наскрізною (без пропусків, повторень і додавання літер).

Таблиці та ілюстрації, розміщені на окремих аркушах, включаються в загальну нумерацію аркушів ПЗ.

Першим аркушем ПЗ є титульний лист, другим – завдання на проектування. Вони не нумеруються, але включаються до загальної нумерації сторінок. Перша сторінка "Змісту" - це третя сторінка ПЗ.

5.1.6 Таблиці

Таблиці застосовують для кращого унаочнення і зручності порівняння показників. Цифровий матеріал оформляють у вигляді таблиць..

Таблиця повинна мати назву, яку пишуть малими літерами (крім першої великої) над таблицею після номера таблиці через дефіс.

У разі перенесення частини таблиці на ту саму або інші сторінки, назву розміщують тільки над першою частиною таблиці.

Слово "Таблиця … – " зазначають один раз зліва над першою частиною таблиці (без лапок та абзацного відступу), над іншими частинами пишуть слова "Продовження таблиці … " із зазначенням номера таблиці та повторенням головки таблиці.

Відстань між заголовком таблиці і таблицею має становити один рядок.

Таблиці з невеликою кількістю граф (колонок) і великою кількістю рядків допускається поділяти на частини і розміщувати одну частину поряд з іншою на одному аркуші, при цьому головку таблиці повторюють. Якщо таблиця розміщується на декількох сторінках, то на останній сторінці, де закінчується таблиця, пишуть слова "Закінчення таблиці … " із зазначенням номера таблиці та повторенням головки таблиці.

Таблиці, за винятком таблиць додатків, потрібно нумерувати арабськими цифрами у межах розділу.

Таблиці кожного додатку позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатку, наприклад, Таблиця А.1.

Якщо у тексті одна таблиця, то вона має бути позначена “Таблиця 1” або “Таблиця А.1”, якщо таблиця 1 наведена у додатку А.

На всі таблиці ПЗ повинні бути посилання в тексті. При посиланні пишуть “Таблиця – ” із зазначенням її номера.

5.1.7 Ілюстрації ПЗ

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) розміщують у тексті ПЗ для пояснення викладеного матеріалу та розрахунків. На всі ілюстрації мають бути посилання у тексті ПЗ.

Ілюстрації слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці, а за необхідності – у додатку.

Рисунки, ескізи, схеми, номограми, діаграми і т. ін., що розміщуються в тексті ПЗ, повинні відповідати вимогам стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), Єдиної системи програмної документації (ЄСПД), а також чинним галузевим нормативним документам.

За наявності в тексті ПЗ таблиць, що доповнюють ілюстрації, таблиці необхідно розміщувати після графічного матеріалу.

Ілюстрації можуть мати тематичну назву, яку розміщують під ілюстрацією.

За необхідності під ілюстрацією розміщують пояснювальні дані (підрисунковий текст). Ілюстрація позначається словом “Рисунок – ”, яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, симетрично відносно тексту, наприклад, “Рисунок 3.1 – Деталі приладу” (лапки не вказуються).

Назва, яка наводиться в тексті ПЗ і на ілюстрації, повинна бути однаковою.

Ілюстрації, за винятком графічного матеріалу додатків, потрібно нумерувати арабськими цифрами в межах розділу. Якщо рисунок один, то він позначається “Рисунок 1”.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 – другий рисунок третього розділу.

Ілюстрації кожного додатка позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатка, наприклад, Рисунок Д.1

Рисунок (діаграму, схему і т. ін.), як правило, потрібно виконувати на окремому аркуші ПЗ. Рисунки (діаграми, схеми і т.ін.) потрібно виконувати чорним кольором на аркушах формату А4 (ГОСТ 2.301) білого кольору або (за необхідності) на міліметровому папері.

Якщо ілюстрацією є фотознімок розміром, меншим формату А4, фотознімок необхідно наклеїти на аркуш білого паперу формату А4 і оформити як рисунок.

Допускається розміщувати на одному аркуші два рисунки з послідовною нумерацією.

Ілюстрації потрібно розміщувати на аркуші так, щоб їх було зручно розглядати без повороту ПЗ або з поворотом її за годинниковою стрілкою.

Не допускається наводити в ПЗ рисунки, графіки, діаграми і т. ін., які використовуються лише для вибору або визначення розрахункових величин. У такому випадку робиться посилання на джерело, де наведені рисунки, графіки, діаграми і т. ін.

Основні правила виконання діаграм, які зображують функціональну залежність двох або більше змінних величин у системі координат, повинні відповідати рекомендаціям Р 50-77-88.

У прямокутній системі координат незалежну змінну потрібно відкладати на горизонтальній осі, додатні значення величин необхідно відкладати на осях праворуч і вверх від точки початку відліку. Значення змінних величин потрібно відкладати по осях координат у лінійному або нелінійному (наприклад, логарифмічному) масштабах зображення.

Масштаб повинен забезпечити чіткий вияв характеру функціональної залежності і необхідну точність визначення значень величини.

Лінії функціональних залежностей повинні повністю розміщуватися на площі координатної сітки.

Числа біля шкал потрібно розміщувати поза полем діаграми і розташовувати горизонтально.

Допускається за необхідності наносити числа всередині поля діаграми.

Діаграми потрібно виконувати лініями відповідно до ГОСТ 2.303. Групу ліній треба вибирати, враховуючи розміри, складність та призначення діаграми.

Осі координат, осі шкал, що обмежують поле діаграми, потрібно виконувати суцільною основною лінією.

На діаграмі однієї функціональної залежності її зображення виконують суцільною лінією товщиною 2S (ГОСТ 2.303).

Допускається зображати функціональну залежність суцільною лінією меншої товщини, коли необхідно забезпечити високу точність відліку.

При побудові розрахункових залежностей лекальна крива повинна повністю перекривати розрахункові точки.

Характерні точки функціональної залежності, позначені числами, літерами, символами і т. ін., допускається зображати кругом.

Точки діаграми, отримані шляхом вимірювання, повинні зображатися кругом, хрестиком, трикутником і т. ін.

У випадку, коли на спільній діаграмі показані дві або більше функціональних залежностей, біля кривих ліній, відповідних залежностей, дозволяється проставляти назви або символи відповідних величин або порядкові номери. Символи і номери повинні бути приведені в пояснювальній частині діаграми.

Діаграма може мати пояснювальну частину, в якій роз'яснюються застосовані на діаграмі позначення. Цю частину розташовують нижче діаграми над словом "Рисунок" і назвою діаграми.

5.1.8 Розрахунки

Розрахунок у загальному випадку повинен містити:

- ескіз, розрахункову схему тощо;
- завдання розрахунку (із зазначенням, що потрібно визначити при розрахунку);
- початкові дані для розрахунку з назвою величин і їх символами;
- вибір розрахункових формул (рівнянь);
- розрахунок;
- висновок.

Під час виконання розрахунків з використанням сучасної обчислювальної техніки у тексті ПЗ повинно бути зазначено, який програмний продукт було використано (власний,

розробка кафедри, програма передана з виробництв, прикладна програма) чи складений самостійно.

Необхідно вказати посилання на номер додатка, в якому наводиться схема (текст) програми та роздрук результатів розрахунку.

В алгоритмі розрахунку потрібно чітко і однозначно відобразити послідовність операцій у програмі.

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки.

Формули, за винятком формул, які є в додатках, повинні нумеруватися в межах розділу арабськими цифрами, які записують на рівні формули праворуч у круглих дужках. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули, відокремлених крапкою.

Посилання у тексті на порядкові номери формул дають у дужках.

Приклад

... у формулі (3.1), (3.2), ...

Формули додатків повинні нумеруватися окремою нумерацією арабськими цифрами у межах кожного додатка. Номер формули в додатку складається з букви, якою нумерується додаток, і арабської цифри, розділених крапкою.

Приклад позначення формули 2 у додатку В:

... у формулі (В.2) ...

У формулі як символи фізичних величин слід застосовувати позначення, що встановлені ДСТУ 3651.1-97.

Пояснення символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули, повинні бути наведені безпосередньо під формулою, якщо вони не пояснені раніше у тексті ПЗ.

При наявності числових коефіцієнтів обов'язково вказується позначення одиниць фізичних величин у формулі.

Пояснення кожного символу потрібно давати з нового рядка у тій послідовності, в якій символи наведені у формулі. Перший рядок пояснення повинен починатися словом "де" без абзацного відступу.

Приклад

Об'ємна витрата нафти Q, м^3 /с, обчислюється за формулою

$$Q = \frac{M}{3600 \cdot \rho}, \qquad (5.1)$$

де M - масова витрата, кг/год;
ρ - густина нафти, кг/м^3.

При повторному використанні формули в подальшому тексті розшифровування символів не робиться.

Формули, що подаються одна за одною і не розділені текстом, відділяються комою.

Приклад

$$A = \frac{a}{b}, \qquad (5.2)$$

$$B = \frac{c}{d}. \qquad (5.3)$$

Переносити формули в наступний рядок дозволяється тільки на знаках виконуваних операцій, повторюючи знак операції на початку наступного рядка. У разі перенесення формули на знаку операції множення застосовують знак "х".

У тих випадках, коли розрахунок виконується за формулою або рівнянням, які не вимагають перетворень, потрібно попередньо обчислити або вибрати з літературних джерел чи нормативних документів значення усіх величин, які входять до правої частини формули (рівняння).

Потім записують формулу (рівняння) у загальному вигляді, підставляють значення відомих величин, не порушуючи структури, і записують кінцевий результат.

У формулу (рівняння) слід підставляти значення величин без одиниць вимірювання. Проміжні числа не приводять.

Точність обчислення визначається точністю значень величин, які входять у формули і рівняння, а також призначенням обчислень. Якщо ряд розрахунків виконуються за однією формулою для кількох значень величин, що в неї входять, то в тексті ПЗ вказують: "Результати розрахунків за формулою (…) (дається її номер) наведені в таблиці … (дається номер таблиці)".

Написання літер у формулах і рівняннях повинно відповідати вимогам ГОСТ 2.304.

Основний довідковий матеріал для виконання розрахунків курсової роботи наведений у додатках П, Р, С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ш, Щ.

5.1.9 Посилання

У тексті ПЗ дають посилання:
- на використані джерела;
- на текст ПЗ.

Посилання в тексті ПЗ на джерела слід зазначити порядковим номером за переліком посилань, виділених квадратними дужками, наприклад, "… у роботах [1, 2, 7]…".

У випадку цитування з джерел потрібно вказати номер сторінки, наприклад, "[3, с. 250]".

5.1.10 Захист курсової роботи

Керівник роботи перевіряє її відповідність до завдання і вихідних даних та правильність виконання окремих розділів, підписує роботу і спільно з іншими викладачами кафедри організовує її захист.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андріїшин М.П. Гідравліка. Навчальний посібник./ Андріїшин М.П., Возняк Л.В., Гімер Р.Ф., Донець К.Г., Мердух М.І.. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 242 с.
2. Возняк Л.В. Гідравліка. Збірник задач і вправ. Навчальний посібник/ Возняк Л.В., Гімер Р.Ф – Івано-Франківськ: Факел,2004.– 242 с.
3. Навроцький Б.І. Технічна механіка рідин/ Навроцький Б.І., Сухін Є.І. – К.: Преса України, 1999. – 374 с.
4. Навроцький Б.І. Механіка рідин / Навроцький Б.І., Сухін Є.І. – К.: Дія, 2003. – 416 с.
5. Башта Т.М.. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др М.: Машиностроение, 1982. – 432 с.
6. Справочник по гидравлическим расчетам. /Под ред. П.Г. Киселева - М.: Энергия, 1972. – 312 с.
7. Нефтепродукты: Справочник. - М.: Химия, 1966. – 776
8. Карманный справочник нефтепереработчика./Под ред. М.Г.Рудина- Л..: Химия, 1989. – 464 с.
9. Справочник по специальным работам. Технологические трубопроводы промышленных предприятий.Ч.1/Под ред. Е.А. Николаевского, с.Д.Стерлина.- М.: 1964.- 784 с.
10. З.В. Дриацкая, Нефти СССР: Справочник. Дополнительный том. Физико-химическая характеристика нефтей СССР / З.В. Дриацкая, М.А. Мхчиян, Н.М. Жмыкова. - М.: Химия, 1975. – 88 с.
11. Центробежные насосы: Каталог. - М.: Изд. ЦИНТИнефтемаш, 1980. – 52 с.
12. Колпаков Л.Г. Центробежные насосы магистральных нефтепроводов / Колпаков Л.Г. - М.: Недра, 1986. – 184 с.
13. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. / Под ред. Куколевского И.И. и Подвидза Л.Г. - М.: Машиностроение, 1981.
14. СТП 02070855-03-99 Курсовий і дипломний проекти. Вимоги до змісту та оформлення.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Середнє значення густини деяких рідин

Рідина	Густина в *кг/м*^{3} за $t°C$	
	$t_0 = 20$	$t_0 = 50$
Вода прісна	998	-
Нафта легка	884	-
Нафта важка	924	-
Бензин авіаційний	745	-
Гас Т-1, очищений	808	-
Гас Т-2, тракторний	819	-
Дизельне паливо	846	-
Гліцерин	1245	-
Ртуть	13550	-
Масла:		-
касторове	960	-
трансформаторне	884	880
АМГ-10	-	850
веретенне АУ	-	892
індустріальне 12	-	883
індустріальне 20	-	891
індустріальне 30	-	901
індустріальне 50	-	910
індустріальне турбінне	-	800

Примітка: Густина нафтопродукту за іншої температури обчислюється із залежності:

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1+\beta_t \Delta t}$$

Тут: $t=t_0+\Delta t$, Δt – зміна температури; t_0 – температура, за якої відома густина ρ_0; ρ_t – коефіцієнт температурного розширення, для мінеральних масел середнє його значення

$$\beta_t = 0,0007 \ \frac{1}{°C}$$

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Середнє значення пружності рідин і твердих тіл

Рідина	Модуль пружності , Па х 10^9	Тверде тіло	Модуль пружності, Па х 10^9
Вода	2,06	Сталь вуглецева	206
Нафта	1,28	Сталь легована	216
Гас	1,37	Чавун чорний	152
Спирт	0,98	Чавун білий	134
Масло турбінне 30	1,72	Дюралюміній	70
Гліцерин	4,08	Латунь, бронза	118
Ртуть	24,6	Алюміній кальцинований	68

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Середнє значення кінематичної в'язкості деяких рідин

Рідина	Кінематична в'язкість в *Ст* за *t* °*C*			
	20	40	60	80
Вода прісна	0,01	0,0065	0,0047	0,0036
Нафта легка	0,25			
Нафта важка	1,4			
Бензин авіаційний	0,0073	0,0059	0,0049	-
Гас Т-1, очищений	0,025	0,018	0,012	0,010
Гас Т-2, тракторний	0,01	-	-	-
Дизельне паливо	0,28	0,12	-	-
Гліцерин	9,7	3,3	0,88	0,38
Ртуть	0,0016	0,0014	0,0010	-
Масла:				
касторове	15	3,5	0,88	0,25
трансформаторне	0,28	0,13	0,084	0,078
АМГ-10	0,17	0,11	0,085	0,065
веретенне АУ	0,48	0,19	0,098	0,059
індустріальне 12	0,48	0,19	0,098	0,059
індустріальне 20	0,85	0,33	0,14	0,08
індустріальне 30	1,8	0,56	0,21	0,11
індустріальне 50	5,3	1,1	0,38	0,16
турбінне	0,97	0,38	0,16	0,088

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Тиск насиченої пари деяких рідин

Рідина	$p_н$ в *кПа* за t °*C*									
	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100
Вода	0,588	0,882	1,18	2,35	4,19	7,29	12,1	19,6	46,0	
Бензин Б-70	-	-	-	16,3	-	33,2	-	55,8	103	103
Гас Т-1	-	-	-	3,9	-	5,8	-	7,5	12,1	20,3
Масла:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
АМГ-10	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,8	1,8
Індустріальне 20	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,3	0,4
Індустріальне 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Площа поверхні, положення геометричного центра, її центральний момент інерції

Поверхня	Площа S	Положення геометричного центра y_c	Центральний момент інерції I_0	Центр тиск
Прямокутник з висотою h і шириною b	bh	$\frac{h}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{2}{3}h$
Трикутник з висотою h і основою b	$\frac{bh}{2}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{3}{4}h$
Трапеція рівнобічна з висотою h, верхньою основою a і нижньою b ($b>a$)	$\left(\frac{a+b}{2}\right)h$	$\frac{h}{3}\left(\frac{2a+b}{a+b}\right)$	$\frac{h^3\left(a^2+4ab+b^2\right)}{36(a+b)}$	
Круг з радіусом $r=\frac{d}{2}$	$\pi r^2=\frac{\pi d^2}{4}$	r	$\frac{\pi\cdot d^4}{64}$	$\frac{5}{4}r$
Еліпс з розмірами: горизонтальним $2a$ і вертикальним $2b$ ($a>b$)	$\pi\cdot ab$	b	$\frac{\pi\cdot ab^3}{4}$	$\frac{5}{4}b$
Півкруг з верхн. горизонтальним полож. діам.	$\frac{\pi r^2}{2}=\frac{\pi d^2}{8}$	$\frac{4}{3}\frac{r}{\pi}$	$\frac{\pi\cdot r^2}{8}$	$\frac{3}{16}\pi\cdot r$
Трикутник з нижнім положенням вершини	$\frac{bh}{2}$	$\frac{1}{3}h$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{h}{2}$

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж.1 - Значення коефіцієнтів еквівалентної шорсткості труб із різних матеріалів (за А. А. Альтшулем).

Труби	Стан труб	κ, мм
Скляні, із кольорових металів	Нові, гладкі	0 - 0,002 / 0,001
Сталеві без шва	Нові, чисті	0,01 -0,02 / 0,014
Сталеві без шва	Після кількох років експлуатації	0,15 - 0,3 / 0,2
Сталеві, зварні	Нові і чисті	0,03 – 0,1 / 0,06
Сталеві, зварні	З незначною корозією після очистки	0,1 - 0,2 / 0,15
Сталеві, зварні	В міру іржаві	0,3 - 0,7 / 0,5
Сталеві, зварні	Старі, іржаві	0,8-1,5
Чавунні	Нові, асфальтовані	0-0,16
Чавунні	Нові, без покриття	0,2 - 0,5 / 0,3
Чавунні	Вживані	0,5-1,5
Чавунні	Старі	до 3
Бетонні, азбестоцементні, камінні	Нові	4 -5
Бетонні, азбестоцементні, камінні	Шліфовані	0,15

ДОДАТОК З

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнта місцевого опору

Вид місцевого опору	Значення коефіцієнта	Вид місцевого опору	Значення коефіцієнта
З гострою кромкою входу в трубу з резервуара	0,5	Засува повністю відкрита (n=1)	
Вихід з труби в резервуар великих розмірів	1	n= 0,75	0,15
		n=0,5	0,2
Кутник 45°	0,44	n=0,4	2,0
90°	1,32	n=0,3	4,6
		n=0,2	10,0
			35,00
		Кран	0,4
Коліно 90° з плавним поворотом	0,23	Фільтри для нафтопродуктів:	
Трійник	0,32	світлих	1,7
		темних	2,2
Кульовий клапан	45	Діафрагма з гострими кромками: при $n = \frac{S_{от}}{S_{тр}}$	
Вентиль	4		
Коробка з клапанами і сіткою-фільтром для труб		0,4	7,00
100 мм	7		
150 мм	6	0,5	4,00
200 мм	5,2	0,6	2,00
300 мм	3,7	0,7	0,97

ДОДАТОК К

Таблиця К.1 – Значення витратних характеристик для квадратичної зони опору (k в л/с= $12 \cdot 10^{-3}$ [$м^3$/с])

n	Шорсткість труб, мм					
d, мм	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
40	5,30	4,86	4,49	4,17	3,89	3,65
50	9,61	8,81	8,14	7,55	7,05	6,61
75	28,35	25,98	23,98	22,27	20,79	19,49
100	61,05	55,96	51,65	47,96	44,77	41,97
125	110,68	101,46	93,66	86,97	81,17	76,10
150	179,98	164,99	152,29	141,42	131,99	123,74
175	271,49	248,87	229,72	213,32	199,09	186,65
200	387,62	355,32	327,98	304,56	284,25	266,49
225	530,65	486,43	449,01	416,94	389,15	364,82
250	702,80	644,23	594,68	552,20	515,39	483,17
300	1142,83	1047,59	967,01	897,94	838,07	785,69
350	1723,87	1580,22	1458,66	1354,47	1264,17	1185,16
400	2461,22	2256,12	2082,57	1933,82	1804,89	1692,09
450	3369,43	3088,65	2851,06	2647,41	2470,92	2316,49
500	4462,49	4090,62	3775,95	3506,24	3272,49	3067,96
600	7256,50	6651,79	6140,11	5701,54	5321,43	4988,84
700	10945,91	10033,75	9261,93	8600,36	8027,00	7525,32
750	13156,90	12060,50	11132,76	10337,57	9648,40	9045,37
800	15627,78	14325,46	13223,50	12278,97	11460,37	10744,10
900	21394,58	19611,70	18103,11	16810,03	15689,36	14708,77
1000	28335,05	25973,79	23975,81	22263,25	20779,03	19480,34

n = 0,011 для нових чавунних і гончарних труб;
n = 0,012 для водопровідних труб в нормальних умовах експлуатації;
n = 0,013 для дещо забруднених труб, сталевих труб зі швом, бетонних труб в доброму стані;
n = 0,014 для забруднених труб;
n = 0,015 для труб зі швом, що експлуатуються періодично;
n = 0,016 для бетонних труб, що довго експлуатуються.

ДОДАТОК Л

Таблиця Л.1 – Характеристика відцентрових насосів при n=2900 $хв^{-1}$

Тип насоса	Подача Q, л/с	Напір в *м*	К.к.д.	Тип насоса	Подача Q, л/с	Напір в *м*	К.к.д.
К8/18	0 1,6 3,0 3,9	20 20,3 17,4 14	0 0,44 0,555 0,53	К90/55	0 19,4 25 334	60 59 55 43	0 0,655 0,71 0,66
К20/30	0 2,8 5,5 8,3	34 34,5 30,8 24,0	0 0,506 0,64 0,635	К90/35	0 18,0 25,0 33,3	37 37,7 34,6 28,0	0 0,72 0,78 0,745
К20/18	0 3 5,5 6,1	21 21 18,5 17,5	0 0,56 0,68 0,66	К90/20	0 16,7 22,2 27,8	26 25,7 22,8 18,9	0 0,76 0,795 0,77
К45/55	0 8,3 16,7 19,5	62 62 50 44,5	0 0,544 0,663 0,63	К160/30	0 30,6 47,2 52,8	40 36,5 32,5 31	0 0,7 0,765 0,75
К45/30	0 8,3 12,5 15,0	33 34,8 31 27	0 0,62 0,71 0,715	К160/20	0 30,6 44,5 55,6	30 22,7 20,1 17,1	0 0,76 0,81 0,79
К90/85	0 18 32 37,5	87 98 81 72,5	0 0,63 0,685 0,66	К290/30	0 61,1 77,8 94,5	52 32 29,1 25,4	0 0,8 0,825 0,79
ЦН	0 1 2 3 5 6 8	13 14 14,3 14 11,8 10 4	0 0,27 0,4 0,5 0,62 0,60 0,35		0 0,3 0,5 0,7 0,9 1,1 1,3 1,5 1,7 1,9	12 11,7 11,5 11,2 10,8 10,2 9,3 8,1 6 1,8	0 0,34 0,5 0,6 0,65 0,69 0,7 0,68 0,62 0,51