

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання контрольної роботи з дисципліни
«ГІДРОГАЗОДИНАМІКА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК»
за спеціальністю «Теплоенергетика»**

Харків - 2013

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи
розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри

«Теплотехніка та теплові двигуни» 26 березня 2012 р.,
протокол № 5.

У методичних вказівках наведено загальні положення,
робочу програму, завдання до контрольної роботи з курсу
«Гідрогазодинаміка теплоенергетичних установок», а також
методи розв'язання задач, які до неї входять.

Рекомендуються для студентів спеціальності
«Теплоенергетика» заочної та денної форм навчання.

Укладачі:

доц. С.В.Комар,
старш. викл. Г.В.Біловол

Рецензент

доц. С.В. Угольніков

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи з дисципліни
«ГІДРОГАЗОДИНАМІКА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК»
за спеціальністю «Теплоенергетика»

Відповідальний за випуск Комар С.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 26.04.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

1	Загальні положення.....	4
2	Робоча програма дисципліни.....	6
	2.1 Практичні питання гідрогазодинаміки в тепло- енергетиці. Лопатеві насоси.....	6
	2.2 Відцентрове сопло. Випаровувальне охолодження води. Газовий ежектор.....	7
3	Завдання до контрольної роботи.....	8
	3.1 Контрольні питання.....	8
	3.2 Контрольні задачі.....	11
4	Методичні рекомендації для розв'язання контрольних задач.....	22
	Список літератури.....	30

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліну «Гідрогазодинаміка теплоенергетичних установок» студенти денної та заочної форм навчання вивчають згідно з наведеною робочою програмою. Ця дисципліна є основою для вивчення у подальшому таких дисциплін, як нагнітачі та турбіни, теплові електричні станції, високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки, теплові мережі та інші за спеціальністю «Теплоенергетика». Крім цього, вона призначена для формування у студентів знань та навичок практичної діяльності майбутніх фахівців-теплоенергетиків.

При вивченні курсу слід знати і уміти використовувати:

– значення та місце практичних питань використання гідрогазодинамічних процесів руху рідини в теплоенергетичних установках;

– водопаровий тракт та основне насосне обладнання теплових електричних станцій;

– класифікацію насосів та їх основні параметри;

– основи теорії лопатевих насосів;

– подібність режимів роботи лопатевих насосів;

– способи регулювання режимів роботи насосів;

– підбір лопатевого насоса за зведеним графіком подач і напорів;

– спільну роботу насосів на одну мережу;

– кавітаційний запас лопатевого насоса, кавітаційні характеристики та їх дослідження;

– принципи та методи охолодження циркуляційної води на теплових електричних станціях;

– основні положення теорії та роботи відцентрового сопла (форсунки);

– вибір геометричних параметрів оптимального відцентрового сопла для охолодження рідини;

– призначення ежекторів на теплових електричних станціях, основні принципи їх роботи та розрахунок газового ежектора.

Основною формою вивчення дисципліни є самостійна робота з підручниками, в процесі якої слід ознайомитися зі змістом робочої програми, методичними вказівками, підібрати

літературу, що рекомендується, і приступити до опрацювання наведених тем. Доцільно вести стислий конспект основних положень тем, яким було б зручно користуватися при повторенні матеріалу і підготовці до заліку.

З метою закріплення теоретичного матеріалу дисципліни кожний студент заочної форми навчання повинен виконати контрольну роботу, яка складається із шести питань і трьох задач.

За виконаними контрольними роботами проводиться співбесіда з викладачем.

При виконанні контрольної роботи студент повинен письмово відповісти на контрольні питання та розв'язати відповідні задачі. Відповіді на контрольні питання мають бути стислими, але повністю їх розкривати і, при необхідності, супроводжуватися формулами, графіками і схемами. При розв'язанні задач необхідно наводити формулу, з якої визначається величина, одиниці, в яких вона вимірюється, а також зазначати, звідки взяті значення, які підставлені у формулу (якщо вони не містяться в умовах задачі).

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

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

Контрольні питання і задачі студент вибирає з таблиці варіантів до контрольної роботи.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Практичні питання гідрогазодинаміки в теплоенергетиці. Лопатеві насоси

2.1.1 Гідрогазодинаміка теплоенергетичних установок (введення до курсу)

Практичні питання гідрогазодинаміки в теплоенергетиці. Рух теплоносіїв в теплоенергетичних системах і установках.

Забезпечення роботи двигунів, турбомашин, насосне обладнання теплоелектростанцій. Насосна подача рідини, типи і схеми насосів. Випаровувальне охолодження рідини конденсаторів турбін ТЕС і АЕС.

2.1.2 Основи теорії лопатевих насосів

Рівняння Ейлера. Подача, напір і потужність насоса. Механічні, об'ємні та гідравлічні втрати в насосі. Рух рідини в робочому колесі відцентрового насоса. Характеристики насоса.

2.1.3 Подібність та способи регулювання режимів роботи насосів

Основи теорії подібності лопатевих насосів. Геометрична подібність насосів, кінематична подібність на межах потоків і динамічна подібність потоків. Формули подібності. Перерахунок робочих характеристик лопатевих насосів та інше число обертань. Питоме число обертів насоса. Коефіцієнт швидкості та його зв'язок з формою робочого колеса.

Насосна установка і її характеристика. Нестійка робота насосної установки (помпаж).

Регулювання режиму роботи лопатевого і об'ємного насосів. Регулювання дроселюванням, зміною числа обертів насоса, перепуском, поворотом лопатей лопатевого насоса. Порівняння економічності різних способів регулювання насоса. Підбір лопатевого насоса за зведеними графіками подач і напорів.

Кавітація і сутність кавітаційних явищ в насосах.

2.2 Відцентрове сопло. Випаровувальне охолодження води. Газовий ежектор

2.2.1 Відцентрове сопло (форсунка)

Теорія відцентрової форсунки. Основні положення теорії. Коефіцієнт витрати відцентрової форсунки. Кут розпилу форсунки. Порівняння теорії форсунки з експериментом.

2.2.2 Випаровувальне охолодження води

Випаровувальне охолодження циркуляційної води у бризкальних басейнах та градирнях. Класифікація охолоджувачів. Характеристики охолоджувачів. Сопла та їх розташування в бризкальному басейні. Вибір напорів і геометричних параметрів відцентрових сопел. Оптимальне відцентрове сопло та вибір його параметрів.

2.2.3 Призначення та розрахунок газового ежектора

Призначення ежектора. Схеми та його конструктивні елементи. Робочий процес ежектора.

Поля швидкостей по довжині камери змішування та статичного тиску. Основні геометричні параметри ежектора.

Мета розрахунку. Основні рівняння, що використовуються при розрахунку газового ежектора. Розрахунок газового ежектора без урахування втрат та з урахуванням втрат. Визначення параметрів газу у вихідному перерізі за наданими початковими параметрами потоків і коефіцієнта ежекції.

3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Таблиця 3.1 – Таблиця варіантів

	Остання цифра шифру									
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Контрольні питання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	Передостання цифра шифру									
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Контрольні задачі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

3.1 Контрольні питання

- 1 Які за призначенням насоси є найважливішими для забезпечення роботи ТЕС?
- 2 Для чого на ТЕС потрібна система технічного водопостачання?
- 3 Які складові включає система технічного водопостачання ТЕС?
- 4 В чому полягає основний принцип охолодження циркуляційної води ТЕС?
- 5 Коли і з якою метою на ТЕС використовуються форсунки?
- 6 Які функції на ТЕС виконують ежектори?
- 7 Перерахуйте типи об'ємних насосів.
- 8 Назвіть типи лопатевих насосів. В чому їх відмінність?
- 9 Які основні переваги відцентрових насосів?
- 10 Які недоліки властиві відцентровим насосам?
- 11 Якими основними параметрами характеризуються насоси?
- 12 Якими основними параметрами характеризуються насоси? Що таке продуктивність насоса?

- 13 Що таке напір насоса? Як він визначається?
- 14 Що таке корисна потужність насоса? Як вона визначається?
- 15 Що таке висота всмоктування насоса?
- 16 Від чого залежить і як визначається висота всмоктування відцентрового насоса?
- 17 Які види втрат наявні в насосах?
- 18 Що характеризує і як визначається гідравлічний ККД насоса?
- 19 Що характеризує і як визначається об'ємний ККД насоса?
- 20 Що характеризує і як визначається механічний ККД насоса?
- 21 Запишіть і розкрийте складові основного рівняння відцентрового насоса.
- 22 Який кут виходу лопаток відцентрового насоса використовується частіше і чому?
- 23 Які залежності є характеристиками відцентрових насосів?
- 24 Запишіть рівняння подібності для двох насосів.
- 25 Запишіть рівняння кривої пропорційності для насосів. Яке її призначення?
- 26 Що таке питоме число обертів насоса? Запишіть формулу для його визначення.
- 27 Що таке коефіцієнт швидкохідності насоса? Запишіть формулу для його визначення.
- 28 Як визначається робоча точка системи «насос-мережа»?
- 29 Поясніть сутність дросельного регулювання системи «насос-мережа».
- 30 Назвіть і поясніть способи регулювання системи «насос-мережа» впливом на насос.
- 31 Для чого використовується паралельна робота насосів на загальну мережу? Поясніть за допомогою графіка.
- 32 Для чого використовується послідовна робота насосів на загальну мережу? Поясніть за допомогою графіка.
- 33 Як здійснювати регулювання насосної установки при паралельній роботі насосів на спільну мережу?
- 34 Як здійснювати регулювання насосної установки при послідовній роботі насосів на спільну мережу?
- 35 Як визначити ККД установки при паралельній і при послідовній роботі насосів на спільну мережу?
- 36 Перерахуйте типи охолоджувачів циркуляційної води.

- 37 Які типи форсунок застосовуються у водоохолоджуючих пристроях?
- 38 Які існують типи відцентрових форсунок?
- 39 Що таке коефіцієнт живого перетину відцентрової форсунки та як його визначити?
- 40 Запишіть вираз геометричної характеристики відцентрової форсунки і опишіть його складові.
- 41 Яке допущення прийнято для виведення формули коефіцієнта витрати відцентрової форсунки? Запишіть цю формулу.
- 42 Покажіть і поясніть характер залежності коефіцієнта живого перетину та коефіцієнта витрати від геометричної характеристики форсунки.
- 43 Запишіть вираз для кута розпилювання відцентрової форсунки як функції коефіцієнта живого перетину.
- 44 Покажіть і поясніть характер залежності кута розпилювання відцентрової форсунки від її геометричної характеристики.
- 45 Запишіть вираз для розмірів факела відцентрової форсунки направленої вгору.
- 46 Які форсунки називаються двосопловими? Їх переваги і недоліки.
- 47 Розкрийте сутність регулювання форсунки шляхом змінювання її коефіцієнта витрати.
- 48 Чому в охолоджувачах циркуляційної води не використовують високі напори перед форсунками?
- 49 Що називається газовим ежектором і де вони можуть використовуватися?
- 50 Опишіть основні геометричні параметри ежектора.
- 51 В чому різниця між високонапірним і низьконапірним ежектором?
- 52 Чим характеризується граничний перетин ежектора?
- 53 Чим характеризується перетин запирання ежектора?
- 54 Який режим роботи ежектора називається критичним?
- 55 Запишіть і розкрийте складові виразу для визначення граничного значення коефіцієнта ежекції.
- 56 Поясніть фізичну сутність запирання ежектора.
- 57 Запишіть і розкрийте складові основного рівняння ежекції.

- 58 Запишіть і розкрийте складові повного і спрощеного рівняння для визначення повного тиску суміші на виході з камери змішування ежектора.
- 59 Запишіть і розкрийте складові для визначення повної і абсолютної температури на виході з камери змішування ежектора.
- 60 Запишіть і розкрийте складові повного і спрощеного виразу для визначення параметрів потоку на виході з дифузора ежектора.

3.2 Контрольні задачі

Задача 1

Визначити манометричний напір, який розвиває насос, якщо при витраті води $Q=30 \text{ м}^3/\text{год}$ манометр, який встановлено на напірній трубці, показує $P_{\text{ман}}=3,4 \text{ ат}$, а вакуумметр, встановлений на усмоктувальній трубці, показує $P_{\text{вак}}=350 \text{ мм рт. ст.}$

Діаметри усмоктувального та нагнітального патрубків насоса відповідно дорівнюють $d_{\text{ус}}=125 \text{ мм}$, $d_{\text{наг}}=100 \text{ мм}$; відстань по вертикалі між точками приєднання манометра та вакуумметра $z=0,8 \text{ м}$; висота розташування манометра відносно точки його приєднання $z_m=0,5 \text{ м}$.

Задача 2

При випробуванні поршневого насоса були визначені потужність на валу $N_g=120 \text{ к.с.}$, індикаторна потужність $N_i=108 \text{ к.с.}$, повний напір насоса $H=130 \text{ м вод. ст.}$, об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_v=0,85$ та підрахована теоретична продуктивність $Q_m=59 \text{ л/с.}$

Визначити дійсну продуктивність насоса Q , корисну потужність N_k та коефіцієнти корисної дії – гідравлічний η_g , індикаторний η_i , механічний η_m та загальний η .

Задача 3

Насос забирає воду температурою $t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ з колодязя глибиною $H_1=2,5\text{ м}$ та перекачує її у відкритий водонапірний бак, що знаходиться на висоті $H_2=40\text{ м}$.

Визначити повний напір, на який повинен бути підібраний насос, якщо опір трубопроводу складає $h_{\text{втр}}=8,5\text{ м вод. ст.}$, а діаметри усмоктувального та нагнітального патрубків насоса однакові.

Задача 4

Визначити повний напір, який повинен розвинути насос при живленні гарячою водою $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\rho=958,38\text{ кг/м}^3$) парового котла з надлишковим тиском $P_{\kappa}=20\text{ ат}$, якщо рівень води у барабані котла на $H=10\text{ м}$ вище рівня води у закритому живильному баку з надлишковим тиском $P_{\sigma}=0,2\text{ ат}$.

Повну втрату напору в трубопроводі взяти рівною $h_{\text{нов}}=1,6\text{ м вод. ст.}$

Задача 5

Манометр, встановлений на нагнітальному патрубку на висоті $z_m=1,2\text{ м}$ над точкою приєднання, показує 18 ат . Показання ртутного вакуумметра, який приєднано до насоса, на $z=0,8\text{ м}$ нижче точки приєднання манометра, $P_{\text{вак}}=130\text{ мм рт. ст.}$

Визначити манометричний напір, який розвиває насос, якщо діаметри усмоктувальної та нагнітальної труби насоса однакові, а температура води, що перекачується, $t=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\rho=992,24\text{ кг/м}^3$).

Задача 6

Визначити годинну продуктивність одноциліндрового поршневого насоса подвійної дії, діаметр циліндра якого $D=200\text{ мм}$, діаметр поршневого штока $d=40\text{ мм}$, радіус кривошипа $r=100\text{ мм}$, при швидкості обертання вала $n=50\text{ об/хв}$.

Об'ємний коефіцієнт корисної дії насоса взяти рівним $\eta_v = 0,9$

Задача 7

Одноциліндровий насос подвійної дії при швидкості обертання вала $n=60$ об/хв має об'ємний коефіцієнт корисної дії $\eta_v = 0,88$.

Визначити годинну продуктивність насоса, якщо діаметр циліндра $D=120$ мм, діаметр штока $d=30$ мм, радіус кривошипа $r=75$ мм.

Задача 8

Одноциліндровий поршневий насос подвійної дії, діаметр циліндра якого $D=150$ мм та хід поршня $l=200$ мм, при швидкості обертання вала $n_1=29$ об/хв має продуктивність $Q_1=10$ м³/год, а при швидкості обертання $n_2=45$ об/хв – $Q_2=16$ м³/год.

Визначити об'ємний коефіцієнт корисної дії η_v при тому та при іншому числі обертів, якщо діаметр поршневого штока насоса $d=40$ мм.

Задача 9

При випробуваннях поршневий насос простої дії, працюючи з манометричним напором $P_m=1,5$ ат при числі обертів вала $n=65$ об/хв, заповнює мірний бак діаметром $d=2$ м і висотою $h=1,8$ м за 12 хв.

Діаметр циліндра насоса $D=200$ мм, а хід поршня $l=250$ мм.

Визначити індикаторну потужність насоса N_i , якщо гідравлічний коефіцієнт корисної дії насоса $\eta_z = 0,88$.

Задача 10

Поршневий одноциліндровий насос подвійної дії з діаметром циліндра $D=200$ мм, ходом поршня $l=200$ мм, діаметром штока $d=30$ мм при швидкості обертання вала $n=60$ об/хв перекачує воду у кількості $Q=40$ м³/год із колодязя у водонапірний бак, розвиваючи при цьому манометричний напір $H_m=52$ м вод. ст.

Знайти гідравлічний коефіцієнт корисної дії насоса, якщо його індикаторна потужність на цьому режимі $N_i=9,5$ к.с.

Задача 11

Відцентрований насос, що працює при $n=1450$ об/хв, забезпечує водою температурою 40 °С ливарний цех металургійного заводу у кількості $Q=150$ м³/год, розвиваючи при цьому повний напір $H=40$ м вод. ст.

Визначити граничну теоретичну висоту усмоктування з урахуванням та без урахування запасу, що забезпечує відсутність кавітації, якщо діаметр усмоктувальної труби $d=150$ мм, а її повний коефіцієнт опору $\Sigma\xi_o=15,8$. Барометричний тиск взяти рівним $P_{atm}=751$ мм рт. ст. (тиск пароутворення при температурі 40 °С $P_i=0,075$ ат).

Задача 12

Вода входить на робочу лопатку відцентрового насоса у радіальному напрямку, а виходить з неї під кутом до дотичної $\alpha_2=15^\circ$ зі швидкістю $V_2=20$ м/с.

Визначити дійсний напір, що розвиває насос при $n=1450$ об/хв, якщо зовнішній діаметр робочого колеса $d_2=300$ мм, гідравлічний коефіцієнт корисної дії $\eta_z=0,85$, а коефіцієнт, що враховує кінцеве число лопаток, $\sigma_k=0,84$.

Задача 13

Визначити граничну теоретичну висоту усмоктування відцентрового насоса без урахування запасу на кавітацію при температурі води 30 і 80 °С та барометричному тиску $P_{am}=760$ мм рт. ст.

Продуктивність насоса $Q=60$ м³/год, діаметр усмоктувальної труби $d=100$ мм, а сумарний коефіцієнт опору усмоктувальної лінії $\Sigma\xi_o=8,4$ (тиск пароутворення при температурі 30 °С $P_t=0,043$ ат, а при температурі 80 °С $P_t=0,483$ ат).

Задача 14

Робоче колесо відцентрового насоса, що має внутрішній діаметр $d_1=180$ мм та зовнішній діаметр $d_2=280$ мм, робить 960 об/хв.

Вода входить на робочу лопатку під кутом до дотичної $\alpha_1=60^\circ$ зі швидкістю $V_1=2,5$ м/с, а виходить з неї під кутом до дотичної $\alpha_2=20^\circ$ зі швидкістю $V_2=16$ м/с.

Визначити, як зміниться теоретичний напір при улаштуванні радіального входу води на робочу лопатку.

Задача 15

Відцентровий насос продуктивністю $Q=150$ м³/год при $n=730$ об/хв розвиває повний напір $H=180$ м вод. ст.

Визначити коефіцієнт кавітації та необхідний запас напору на усмоктувальній лінії, який забезпечить відсутність кавітації.

Задача 16

Визначити потужність на валу відцентрового насоса продуктивністю $Q=50$ м³/год, якщо показання манометра на нагнітальному патрубку $P_n=2,6$ ат, показання вакуумметра на усмоктувальному патрубку $P_{усм}=250$ мм рт. ст., а вертикальна відстань між манометром та точкою приєднання вакуумметра $\Delta z=0,6$ м. Коефіцієнт корисної дії насоса взяти рівним $\eta_n=0,62$.

Задача 17

Відцентровий насос продуктивністю $Q=100 \text{ м}^3/\text{год}$, що працює з манометричним напором $H=70 \text{ м вод. ст.}$ при числі обертів $n=2950 \text{ об/хв}$, встановлено на висоті 1000 м над рівнем моря.

Визначити граничну висоту усмоктування, що забезпечить відсутність кавітації при температурі води $t=50 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо діаметр усмоктувальної лінії $d_s=125 \text{ мм}$, її довжина $l_s=10 \text{ м}$, а еквівалента довжина місцевих опорів $l_{екв}=13,5 \text{ м}$. Коефіцієнт тертя взяти рівним $\lambda=0,03$ (при температурі $50 \text{ }^\circ\text{C}$ тиск пароутворення $P_t=0,126 \text{ ат}$, а густина $\rho=988,4 \text{ кг/м}^3$. Атмосферний тиск на висоті 1000 м над рівнем моря $P_{ат}=674 \text{ мм рт. ст.}$).

Задача 18

Відцентровий насос подає холодну воду у кількості $Q=100 \text{ м}^3/\text{год}$ із колодязя в бак на висоту $h=32 \text{ м}$ по трубі діаметром $d=150 \text{ мм}$.

Визначити коефіцієнт корисної дії насоса, якщо потужність на його валу складає $N_e=14 \text{ кВт}$, а сумарний коефіцієнт опору (включаючи тертя) дорівнює $\sum \xi_o=10,5$.

Задача 19

Насос продуктивністю $Q=25 \text{ м}^3/\text{год}$ подає воду на висоту $h=25 \text{ м}$ трубопроводом, повний опір якого $h_{впр}=6 \text{ м вод. ст.}$

Визначити потужність, що споживається із електричної мережі електродвигуном, який безпосередньо з'єднаний з насосом, якщо коефіцієнти корисної дії насоса та електродвигуна відповідно дорівнюють: $\eta_n=0,7$; $\eta_d=0,95$.

Задача 20

У котельній встановлено п'ять парових котлів, які працюють при тиску 22 ат з паропродуктивністю 25 т/год кожен.

Згідно з нормами, сумарна продуктивність живильних насосів повинна бути не менше потрібної продуктивності усіх працюючих котлів.

Тиск, що розвивають насоси, повинен бути на 5 ат більше тиску пари в котлі.

Визначити потужність електродвигуна з запасом 10% при умові установа в котельній чотирьох однакових агрегатів, якщо ККД насоса $\eta=0,6$.

Задача 21

Побудувати характеристику мережі, яка являє собою трубу діаметром $d=150 \text{ мм}$ і довжиною $l=280 \text{ м}$, якщо еквівалентна довжина місцевих опорів $l_{\text{екв}}=85 \text{ м}$, а коефіцієнт тертя $\lambda=0,03$.

Яку потужність на валу при роботі на дану мережу потрібно подати на насос (характеристики зображені на рисунку 3.1), якщо корисний напір, який долається насосом, складає $h=20 \text{ м вод.ст.}$

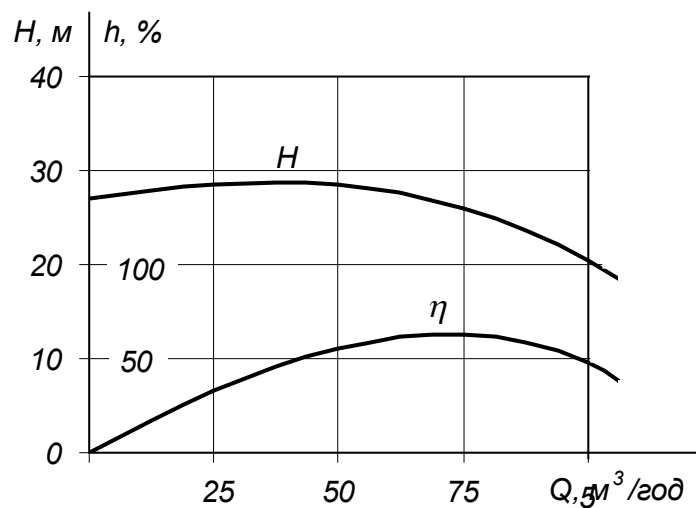


Рисунок 3.1 – До задачі 21

Задача 22

Характеристика насоса при $n_1=950$ об/хв наведена на рисунку 3.2.

Визначити, у скільки разів зменшиться витрата води до мережі, рівняння характеристики якої $H=10+17500\cdot Q^2$, при зменшенні числа обертів насоса до $n_2=720$ об/хв.

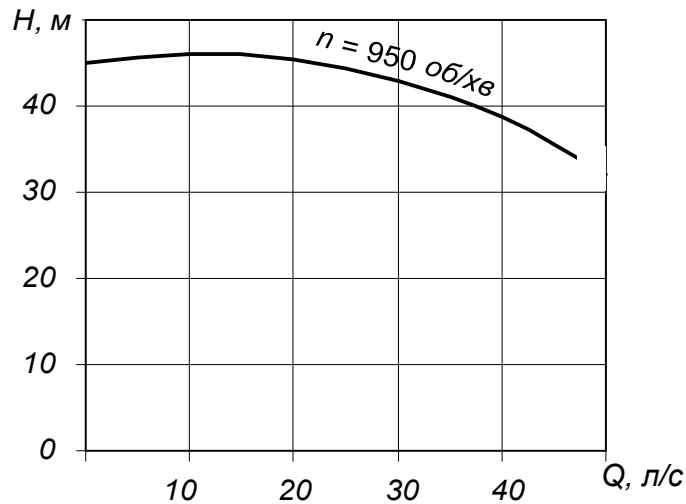


Рисунок 3.2 – До задачі 22

Задача 23

Відцентровий насос (характеристика на рисунку 3.3) з корисним напором $h=40$ м працює на мережу, характеристика якої виражається рівнянням $H=40+15\cdot Q^2$.

Визначити, на скільки процентів збільшиться подача води в мережу при паралельному підключенні ще одного та ще двох таких же насосів.

Як зміниться відсоткове збільшення подачі при одному, двох та трьох паралельно працюючих насосах у випадку мережі з більш крутою характеристикою $H=40+100\cdot Q^2$?

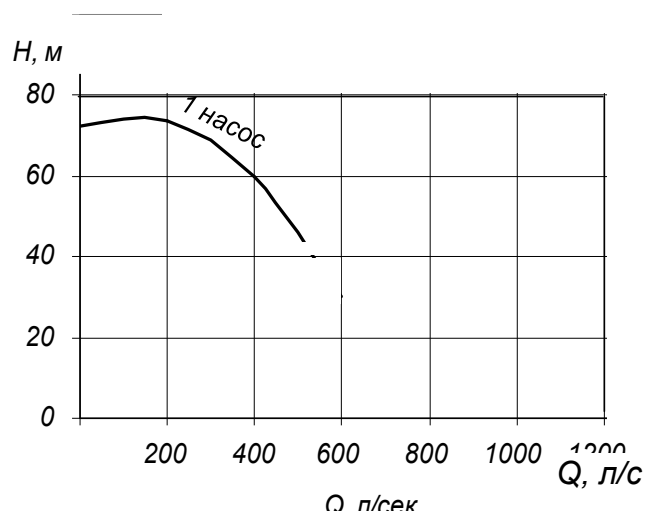


Рисунок 3.3 – До задачі 23

Задача 24

На відкачуванні води з колодязя в річку працює осьовий насос, характеристики якого наведені на рисунку 3.4.

З якою продуктивністю буде працювати насос і яку потужність необхідно на нього подати, якщо різниця рівнів річки і колодязя складає $h=2,8$ м, діаметр трубопроводу $d=600$ мм, його довжина $l=25$ м, а еквівалентна довжина місцевих опорів $l_{екв}=8$ м.

Коефіцієнт тертя взяти рівним $\lambda=0,03$.

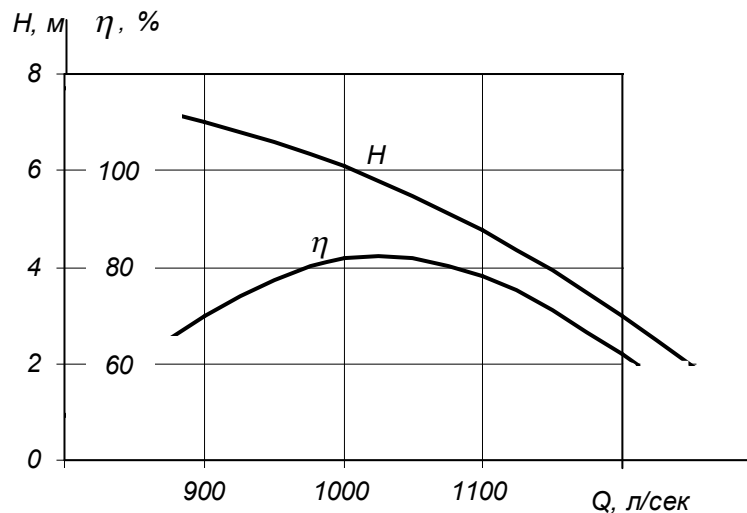


Рисунок 3.4 – До задачі 24

Задача 25

Характеристики відцентрового насоса зображені на рисунку 3.5.

Визначити продуктивність насоса та його ККД при подачі води в резервуар на висоту 16 м по трубі діаметром $d=75$ мм, довжиною $l=140$ м, якщо еквівалентна довжина місцевих опорів $l_{екв}=60$ м, а коефіцієнт тертя $\lambda=0,03$.

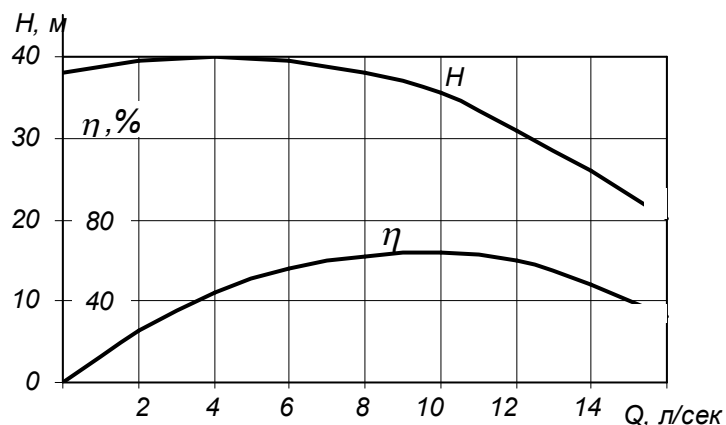


Рисунок 3.5 – До задачі 25

Задача 26

Визначити потужність на валу насоса, необхідну при подачі води у бак на висоту 6 м по трубі діаметром $d=100$ мм, загальною довжиною 16 м, якщо сумарний коефіцієнт місцевих опорів $\sum \xi_o=8$, а коефіцієнт тертя $\lambda=0,03$.

Характеристики насоса наведені на рисунку 3.6.

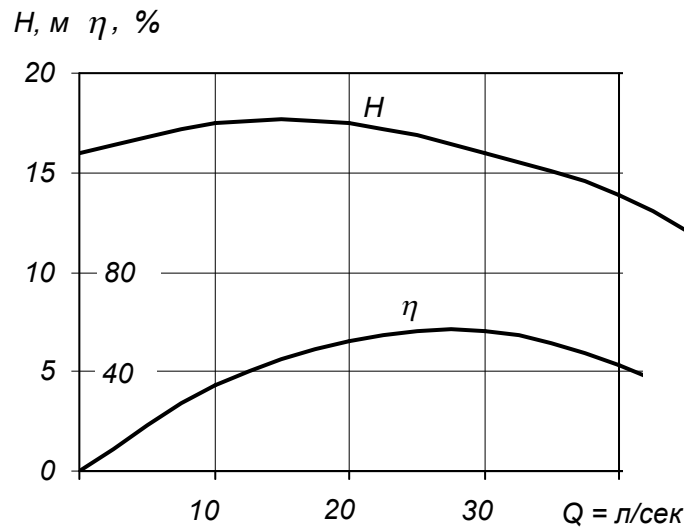


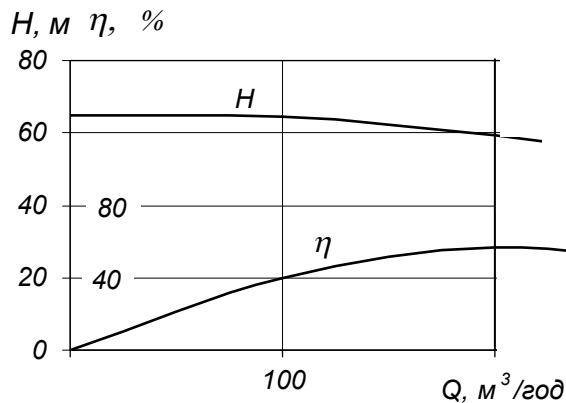
Рисунок 3.6 – До задачі 26

Задача 27

Характеристики відцентрового насоса наведені на рисунку 3.7.

Яку кількість води буде подавати цей насос у трубопровід діаметром $d=200$ мм, довжиною $l=1000$ м з еквівалентною довжиною місцевих опорів $\sum \xi_o=8$, а коефіцієнт тертя $\lambda=0,03$?

Корисний



т тертя

1.

Рисунок 3.7 – До задачі 27

Задача 28

Характеристики двох насосів наведені на рисунку 3.8.

Якому з цих насосів слід віддати перевагу для подачі витрати води $Q=54 \text{ м}^3/\text{год}$ до мережі з корисним напором $h=15 \text{ м}$, характеристика якої виражається рівнянням $H=15+66000 \cdot Q^2$?

Яка потужність на валу кожного з цих насосів при подачі заданої витрати?

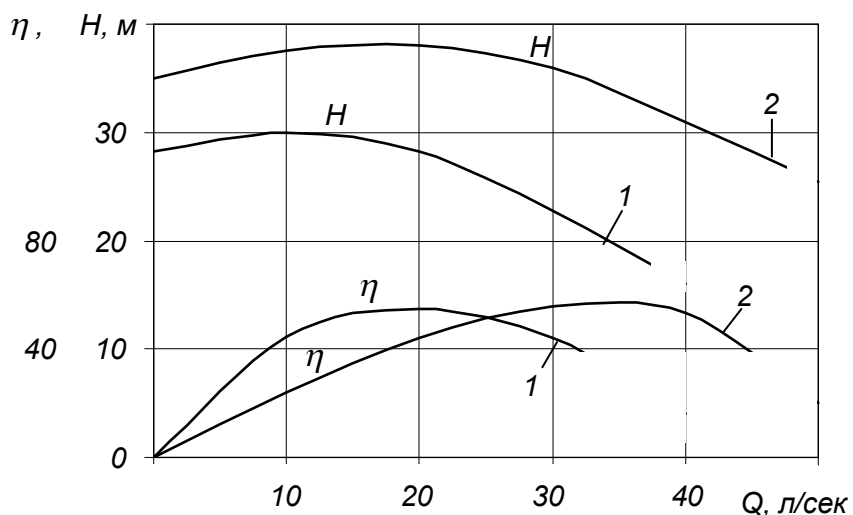
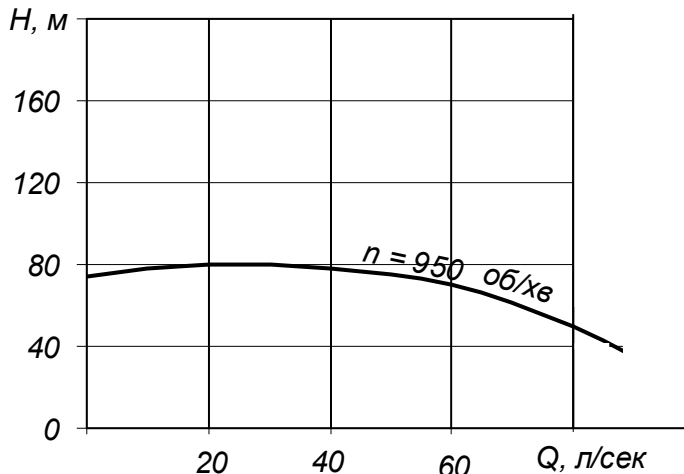


Рисунок 3.8 – До задачі 28

Задача 29

Визначити, як зміниться подача насоса при зміні числа обертів із $n_1 = 950 \text{ об/хв}$

Характеристика насоса наведена на рисунку 3.9, $H=40+2500Q$



Характеристика насоса наведена на рівнянням

Рис. 3.9. До задачі 29

Задача 30 Рисунок 3.9 – До задачі 29

При якому числі обертів насос, характеристика якого при $n=1450$ об/хв наводиться на рисунку 3.10, буде подавати до мережі, характеристика якої виражається рівнянням $H=10+8000\cdot Q^2$, кількість води $Q=30$ л/с?

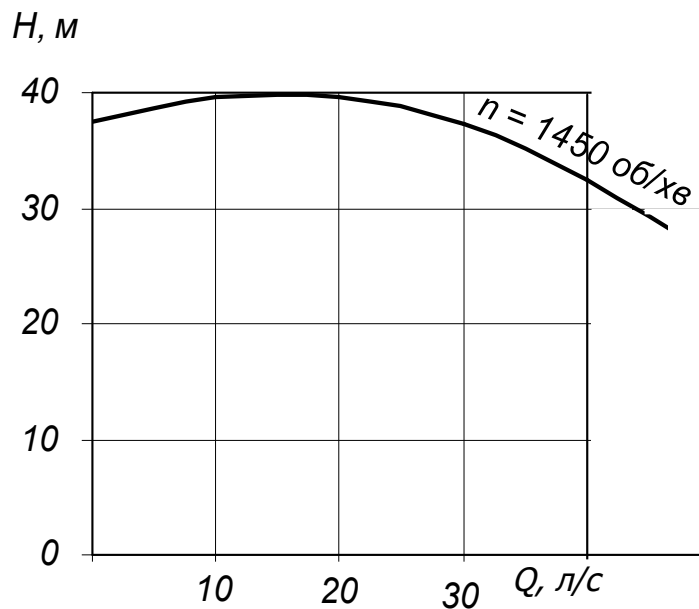


Рисунок 3.10 – До задачі 30

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАДАЧ

При розв'язанні задач, згідно з варіантом, слід користуватися наведеними нижче основними поняттями, параметрами, рівняннями та таблицями 4.1 – 4.3.

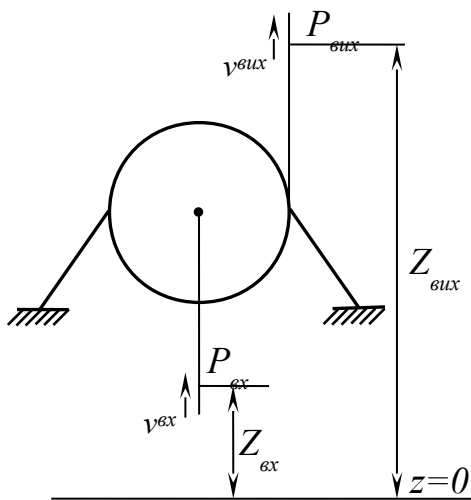
Основні параметри насосів

Насоси характеризуються наступними параметрами.

Продуктивність (Q) – кількість рідини, що подається насосом за одиницю часу.

Вимірюється об'ємом або масою ($m^3/год$, $m^3/с$, $t/год$ і т.п.).

Напір (H) манометричний (дійсний) – приріст енергії, що отримує кожен кілограм рідини, яка проходить через насос.



Вимірюється в метрах (m), а визначається як різниця питомих енергій рідини при виході з насоса і при вході в нього.

$$H = E_{вих} - E_{вх} = \frac{P_{вих} - P_{вх}}{\gamma} + (Z_{âêð} - Z_{âð}) + \frac{V_{âêð}^2 - V_{âð}^2}{2g}, \quad m.$$

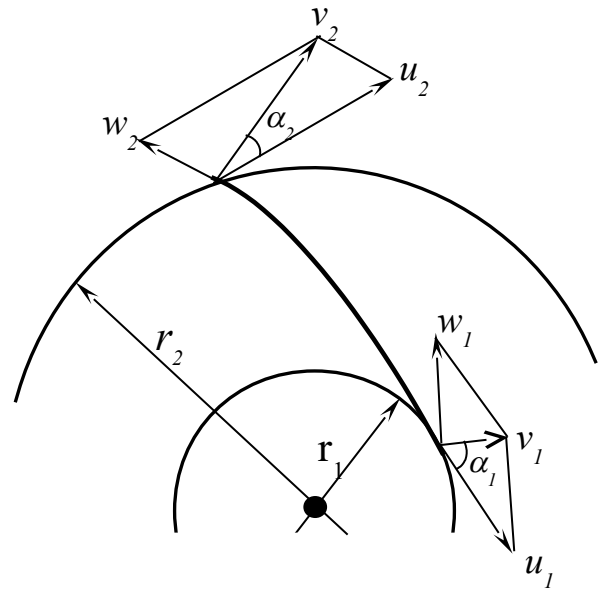
Теоретичний напір у відцентрового насоса визначається для схеми насоса з нескінченно великою кількістю лопатей робочого колеса.

$$H_{T\infty} = \frac{\omega}{g} (v_2 r_2 \cos \alpha_2 - v_1 r_1 \cos \alpha_1),$$

де ω – кутова швидкість.

Для урахування кінцевої кількості лопатей вводиться поправка $\sigma_z < 1$, яка визначається з розрахункового режиму роботи робочого колеса ($\cos \alpha_1 = 90^\circ$).

$$H_T = \sigma_z \cdot H_{T\infty}.$$



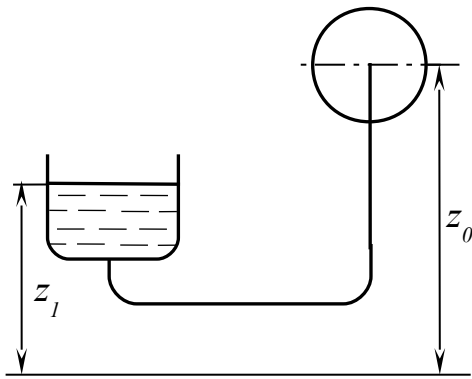
Корисна потужність (N_k), яка витрачається на створення напору відцентровим насосом, дорівнює

$$N_k = \gamma \cdot Q \cdot H_{T\infty} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{T\infty}, \text{ Вт.}$$

Потужність, яку споживає насос (потужність на валу N_g), пов'язана з корисною через повний коефіцієнт корисної дії насоса (η)

$$N_g = \frac{N_k}{\eta}.$$

Висота всмоктування насоса (h_s) – це різниця відміток осі насоса (z_0) і вільного рівня рідини в резервуарі всмоктування (z_0)



$$h_s = z_0 - z_1.$$

У відцентрових насосів висота всмоктування залежить від розрідження на вході в робоче колесо, втрат напору у всмоктувальній трубі, швидкості входу рідини на лопаті робочого колеса та кавітаційного запасу

$$h_s = \frac{P_{\dot{a}\dot{o}} - D_{\dot{a}\dot{o}}}{\gamma} - \sum h_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}} - \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}^2}{2g} - \sigma \cdot H,$$

де H – напір, що розвивається насосом;

σ – коефіцієнт кавітації, який можна розрахувати за такою формулою:

$$\sigma = 0,001218 \frac{n^{4/3} \cdot Q^{2/3}}{H},$$

де n – число обертів робочого колеса за хвилину (об/хв);

Q – продуктивність насоса, m^3/c .

Втрати в насосах

Гідравлічні втрати – це втрати напору на тертя і місцеві опори при русі рідини всередині насоса. Характеризується гідравлічним ККД

$$\eta_z = \frac{H}{H_T},$$

де H – манометричний (дійсний) напір насоса;

H_T – теоретичний напір насоса.

Об'ємні втрати – це втрати рідини всередині насоса (витоки через ущільнення і т.п.). Характеризується об'ємним ККД

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_T},$$

де Q – дійсна продуктивність насоса;
 Q_T – теоретична продуктивність насоса.

Механічні втрати – це втрати потужності на тертя в підшипниках, сальниках і т.п. Характеризується механічним ККД

$$\eta_i = \frac{N_a - \Delta N_{\text{дод}}}{N_a} = \frac{N_i}{N_a},$$

де N_a – споживана насосом потужність (потужність на валу);
 $\Delta N_{\text{мер}}$ – втрати потужності на тертя;
 N_i – індикаторна (внутрішня) потужність насоса.

Повний ККД насоса враховує всі види втрат і дорівнює

$$\eta = \eta_z \cdot \eta_v \cdot \eta_m = \frac{N_k}{N_a},$$

де N_k – корисна потужність насоса.

Для характеристики насоса використовують ще індикаторний (внутрішній) ККД, який дорівнює

$$\eta_i = \eta_z \cdot \eta_v = \frac{N_k}{N_i}.$$

Характеристики відцентрових насосів

Характеристики відцентрових насосів – це залежності напору, споживаної потужності і ККД насоса від його продуктивності

$$H = f_1(Q); \quad N = f_2(Q); \quad \eta = f_3(Q).$$

Як правило, ці залежності відображаються на одному графіку і мають вигляд, як на рисунку 4.1.

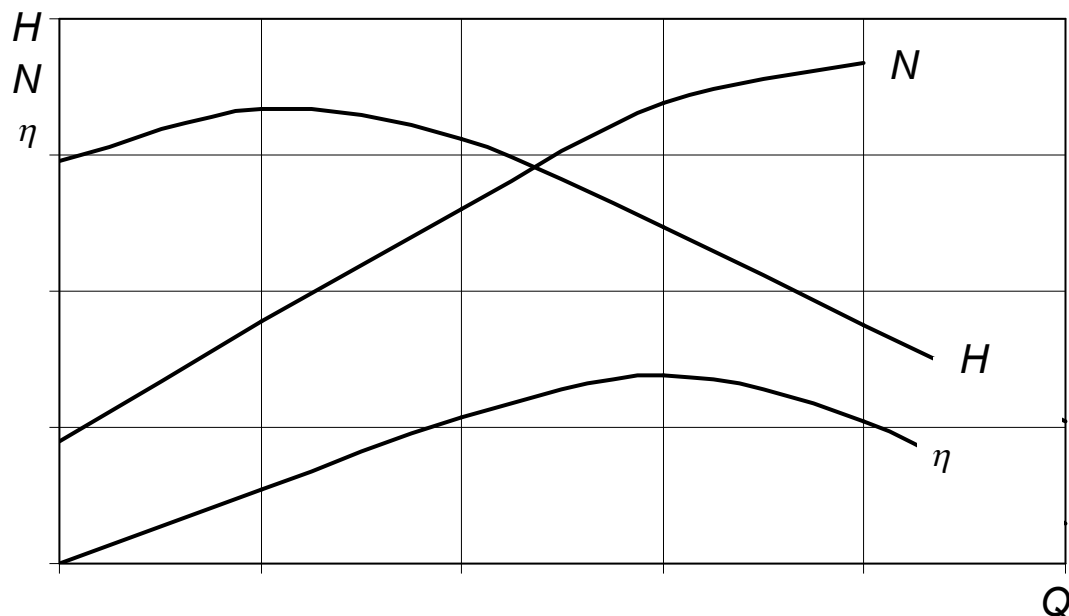


Рисунок 4.1 – Характеристики відцентрових насосів

Продуктивність (витрата) насоса змінюється величиною відкриття засувки при незмінній кількості обертів робочого колеса насоса ($n = const$).

При змінюванні кількості обертів робочого колеса будуть змінюватися продуктивність, напір насоса і потужність, яку він споживає, відповідно до таких залежностей:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}.$$

Маючи характеристику насоса для одного числа обертів, можна побудувати його характеристику для іншого числа обертів за допомогою рівняння кривої пропорційності

$$\frac{Q_1^2}{H_2} = \frac{Q_2^2}{H_2} = const.$$

Робота відцентрового насоса на мережу

Рівняння мережі, на яку працює насос, має вигляд

$$H_i = I_{\text{від}} + k \cdot Q^m,$$

де $H_{\text{кор}}$ – корисний напір, створюваний насосом;

k – коефіцієнт опору трубопроводу;

$m = 2$ для турбулентного режиму;

$m = 1$ для ламінарного режиму.

Дане рівняння дозволяє побудувати характеристику мережі.

Для визначення режиму роботи насоса при підключенні його до мережі необхідно характеристику мережі (H_M) зіставити з характеристикою насоса (H_N) (рисунок 4.2). Місце їх перетину (робоча точка) покаже напір і витрату, які здатен розвинути даний насос при підключенні в дану мережу.

Також можна визначити потужність, яку буде споживати насос, і ККД, з яким він буде працювати.

З витрати і ККД можна зробити висновок про доцільність використання насоса в мережі.

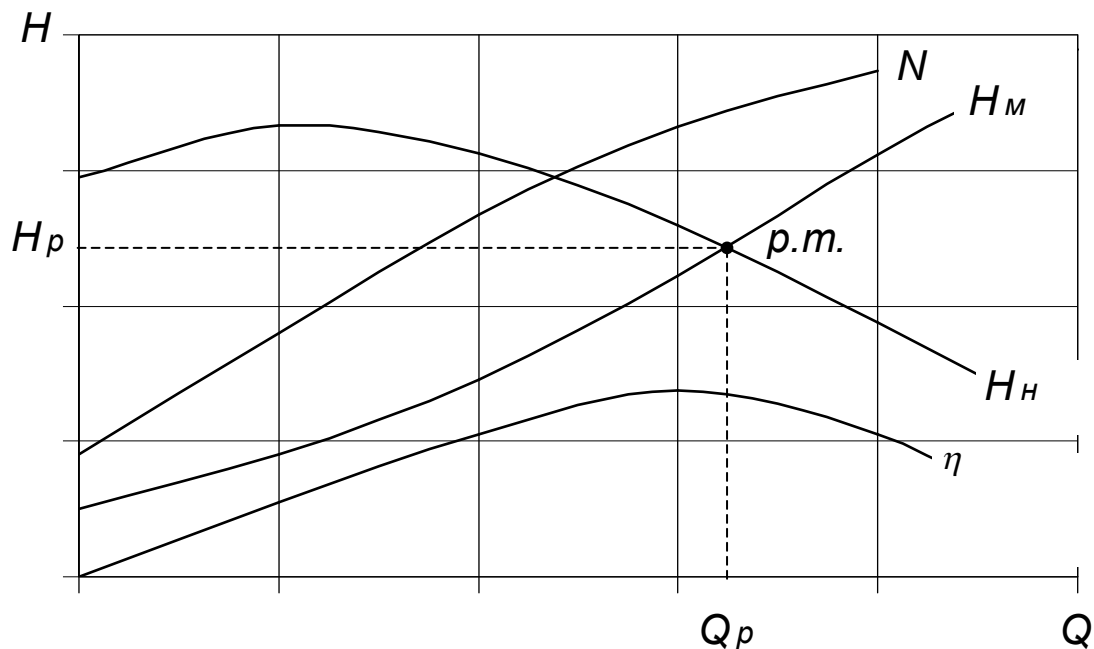


Рисунок 4.2 – Робоча характеристика відцентрового насоса і мережі

Спільна робота насосів на одну мережу

Насоси можуть підключатися до мережі паралельно або послідовно.

Паралельна робота насосів застосовується для різкого збільшення подачі в мережі.

Спільну характеристику насосів можна отримати шляхом складання абсцис (витрат Q) окремих характеристик насосів при незмінних ординатах (напорах H) (рисунок 4.3).

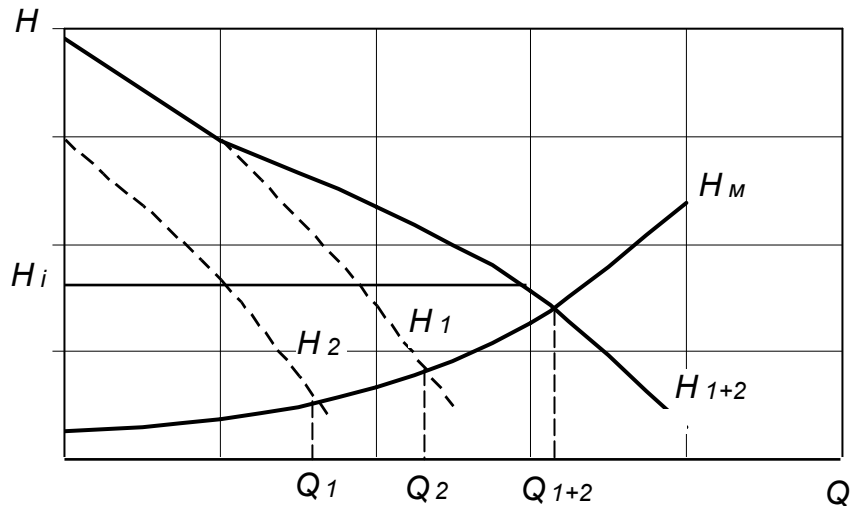


Рисунок 4.3 – Паралельне підключення відцентрових насосів
Пс різкого збільшення напорів в мережі.

Спільну характеристику насосів можна отримати шляхом складання ординат (напорів H) окремих характеристик насосів при незмінних абсцисах (витратах Q) (рисунок 4.4).

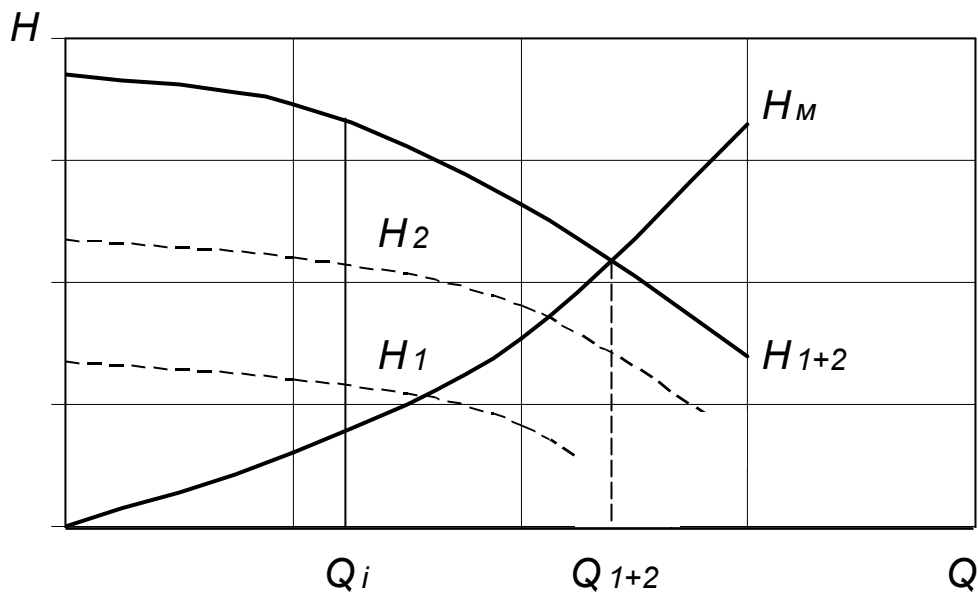


Рисунок 4.4 – Послідовне підключення відцентрових насосів

Таблиця 4.1 – Тиск пароутворення води P_t в залежності від її температури

$t, ^\circ\text{C}$	0	5	10	20	30	40	50
$P_t, \text{ат}$	0,006	0,009	0,012	0,024	0,043	0,075	0,126
$t, ^\circ\text{C}$	60	70	80	90	100	120	140
$P_t, \text{ат}$	0,203	0,318	0,483	0,715	1,033	2,024	4,036

Таблиця 4.2 – Середній атмосферний тиск в залежності від висоти місцевості над рівнем моря

Висота, м	0	100	200	400	600	800	1000	1500
Тиск, мм рт. ст.	760	751	742	724	707	690	674	635
Тиск, м вод. ст.	10,33	10,21	10,10	9,85	9,61	9,38	9,16	8,63

Таблиця 4.3 – Вплив температури на питому масу та в'язкість води при $P = 760$ мм рт. ст.

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Питома маса $\rho, \text{кг/м}^3$	Коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu, \text{см}^2/\text{с}$
0	999,87	0,0178
4	1000,00	0,0156
10	999,73	0,0131
15	999,12	0,0114
20	998,23	0,0101
30	995,37	0,0080
40	992,24	0,0066
60	983,24	0,0045
80	971,83	0,0035
100	958,38	0,0027

Список літератури

- 1 Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика. – М.: Машиностроение, 1990. – 382 с.
- 2 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1991. – Ч.І. – 591 с.
- 3 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1991. – Ч.ІІ. – 301 с.
- 4 Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы – М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.
- 5 Старк С.Б. Основы гидравлики, насосы и воздуходувные машины. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1954. - 368 с.
- 6 Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. – М.: Машиностроение, 1966. – 364 с.
- 7 Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
- 8 Витман Л.А., Кальценсон Б.Д., Палеев И.И. Распыливание жидкости форсунками. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 265 с.