

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра теплотехніки, теплових двигунів  
та енергетичного менеджменту**

**ПРОГРАМА КУРСУ  
ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять і виконання контрольної роботи  
з дисципліни**

***«НАГНІТАЧІ І ТУРБІНИ»***

**Харків – 2021**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту 15 березня 2021 р., протокол № 9.

У методичних вказівках надана програма курсу «Нагнітачі і турбіни», основна та допоміжна довідкова література, задачі для розв'язання студентами очної та заочної форм навчання.

Методичні вказівки призначено для здобувачів вищої освіти, які отримують освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр» спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітньої програми «Теплоенергетика». Здобувачі очної форми навчання розв'язують задачі самостійно і на практичних заняттях, заочної форми навчання – на практичних заняттях та при виконанні контрольної роботи.

Укладачі:

доценти Є. Є. Счастний,  
О. О. Алексахін

Рецензент

доц. Г. В. Біловол

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Програма дисципліни «Нагнітачі і турбіни».....	5
Контрольні питання.....	8
Задачі.....	11
Список літератури.....	28

## ВСТУП

Методичні вказівки призначено для студентів очної і заочної форм навчання освітньої програми «Теплоенергетика», які вивчають дисципліну «Нагнітачі і турбіни». Дисципліна включає лекції, практичні заняття і лабораторні роботи. Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу.

Дисципліна «Нагнітачі і турбіни» включає змістові модулі із засвоєння теоретичних основ течії в лопаткових машинах, вивчення конструкції та розрахунку одно- та багатоступеневих турбін, нагнітачів різних типів, газотурбінних установок. У методичних вказівках розглядаються питання розрахунку характеристик нагнітачів, тобто матеріалів, які входять до трьох змістових модулів програми курсу.

Студентам очної форми навчання методичні вказівки рекомендуються для розв'язання задач на практичних заняттях для отримання практичних знань і навичок при виборі конструкції і розрахунку характеристик нагнітачів різноманітних типів. Методичні вказівки мають допомогти студентам заочної форми навчання у пошуку навчальної літератури, освоєнні курсу і успішному виконанні контрольної роботи протягом семестру.

## ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ «НАГНІТАЧІ І ТУРБІНИ»

Програма вивчення навчальної дисципліни «Нагнітачі і турбіни» складена відповідно до підготовки освітньо-професійного рівня бакалавра спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньої програми «Теплоенергетика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є: процеси течії пари в елементах нагнітачів і турбомашин; конструкція, принципи роботи, експлуатація та засоби підвищення ефективності парових та газових турбін; методи і практичні навички розрахунку і аналізу роботи турбоагрегатів; конструкція, принципи роботи, експлуатація та засоби підвищення ефективності нагнітачів; конструктивні і експлуатаційні особливості нагнітачів кінетичної і об'ємної дії.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Нагнітачі і турбіни» є підготовка фахівців, які мають компетенцію у технологічних процесах розробки та вибору обладнання для насосних, компресорних, паросилових та газотурбінних установок; у розрахунках теплових процесів розширення пари (газу) в елементах турбомашин та стиснення і переміщення газу в нагнітачах об'ємної і кінетичної дії; у впливі експлуатаційних параметрів на ефективність роботи паросилової установки; здатні кваліфіковано експлуатувати це обладнання і мають практичні навички перевірних розрахунків процесів у лопаткових машинах та їх елементах і підбору потрібного за технічними умовами обладнання.

Студенти, які вивчили дисципліну «Нагнітачі і турбіни», повинні:

знати: конструкцію і принципи роботи нагнітачів об'ємної дії, лопаткових та струминних; принципи паралельного та послідовного підключення нагнітачів в спільну мережу; принципи розрахунку та підбору обладнання компресорних станцій; конструкцію, принципи роботи, критерії вибору ступенів паротурбінних установок; компоновання основного і допоміжного устаткування паротурбінних установок; принципи вибору початкових і кінцевих параметрів робочого тіла парових та газових турбін; особливості конструкції багатоступеневих турбін;

вміти: розраховувати процеси розширення пари на соплових та робочих лопатках турбінного ступеню; аналізувати процеси в турбінному ступені та вживати заходи для збільшення його ефективності; розраховувати процеси розширення пари в багатоступеневих турбінах; розраховувати і аналізувати процеси стиску робочого тіла в компресорах, вентиляторах, насосах; аналізувати можливості стійкої роботи на мережу; розраховувати і прогнозувати результати паралельного та послідовного підключення нагнітачів у спільну мережу.

Програма дисципліни «Нагнітачі і турбіни» включає чотири змістових модулі.

**Змістовий модуль 1.** Теоретичні основи розрахунку течії в лопаткових машинах.

Тема 1. Вступ до курсу. Застосування нагнітачів і турбін.

Тема 2. Термо- і гідрогазодинамічні основи процесів стиску й розширення робочого тіла в нагнітачах і турбінах. Основні положення теорії течії стисливого і нестисливого робочого тіла в елементах лопаткових машин.

Тема 3. Теоретичні основи течії в лопаткових машинах. Основні поняття і визначення. Інтерпретація процесів, що відбуваються в лопаткових машинах у діаграмах стану. Класифікація і принципи перетворення енергії в турбомашинах, в лопаткових, струминних нагнітачах і нагнітачах об'ємної дії.

**Змістовий модуль 2.** Розрахунок та проектування одно- та багатоступеневих турбін.

Тема 4. Поняття про турбінний ступінь. Робочий процес у турбінному ступені активного і реактивного типу. Розрахунок і побудова трикутників швидкості. Потужність і робота ступеня. Ефективні показники турбінного ступеня.

Тема 5. Особливості конструкції і робочого процесу турбіни. Парціальне підведення робочого тіла, ступінь парціальності. Вибір соплових і робочих лопаток для дозвукових і надзвукових швидкостей.

Тема 6. Багатоступеневі турбіни різного призначення. Особливості розрахунку ступенів високого, середнього і низького тиску. Переваги багатоступеневих турбін. Особливості теплового

процесу в багатоступеневій турбіні, коефіцієнт повернення теплоти. Характеристичний коефіцієнт багатоступеневої турбіни.

Тема 7. Змінний режим роботи багатоступеневої турбіни. Способи регулювання потужності одноступеневих і багатоступеневих турбін. Конденсаційні турбіни. Теплофікаційні турбіни. Турбіни з протитиском. Турбіни з регульованими відборами пари. Маркірування турбін.

**Змістовий модуль 3.** Теоретичні основи розрахунку нагнітачів. Конструкції нагнітачів. Експлуатація нагнітачів.

Тема 8. Теоретичні основи нагнітачів кінетичної дії. Перетворення енергії у колесі нагнітача. Рівняння Ейлера. Теоретичні і дійсні характеристики нагнітачів.

Теоретичні основи нагнітачів об'ємної дії. Особливості роботи й галузь застосування нагнітачів об'ємної дії. Поршневий компресор. Робота стиску в ідеальному і реальному поршковому компресорі. Індикаторна діаграма, коефіцієнт подачі поршневого компресора. Шкідливий об'єм і його вплив на продуктивність компресора.

Тема 9. Конструктивні і експлуатаційні особливості нагнітачів. Залежності повного, статичного і швидкісного напору від характерних розмірів машини і частоти обертання. Конструкція відцентрових вентиляторів, насосів, компресорів: напрямні апарати; робочі колеса; дифузори; всмоктувальні спіральні і кільцеві камери; корпуси; ущільнення; підшипники. Конструкції поршневих компресорів. Компресори з диференціальним поршнем. Маркірування. Особливості конструкції турбокомпресорів.

Тема 10. Регулювання нагнітачів. Дія нагнітача на мережу. Спільна робота декількох нагнітачів: паралельне і послідовне підключення нагнітачів. Способи регулювання нагнітачів. Особливості розрахунку компресорних машин. Припустима висота всмоктування насоса. Кавітація. Регулювання продуктивності поршневих компресорів.

**Змістовий модуль 4.** Газотурбінні установки (ГТУ).

Тема 11. Енергетичні ГТУ замкнутого та розімкнутого циклу. Схеми ГТУ замкнутого і розімкнутого циклу. Одновальні і багатовальні ГТУ. Ідеальний цикл розімкнутої ГТУ. Основні

характеристики ідеального циклу ГТУ. Дійсний цикл енергетичної ГТУ.

Тема 12. Аналіз теоретичних і дійсних циклів ГТУ. Коефіцієнт корисної роботи, питомі та ефективні показники ідеальних і дійсних циклів ГТУ. Способи підвищення економічності ГТУ.

Тема 13. Конструкція газових турбіни і компресорів ГТУ. Конструктивне виконання основних деталей газових турбін і матеріали, застосовувані для їхнього виготовлення. Компресори газотурбінних установок. Особливості конструкції компресорів для ГТУ. Конструкція камер згоряння ГТУ.

У навчальний план дисципліни «Нагнітачі і турбіни» входять лекційні та практичні заняття, а також лабораторні роботи. На аудиторних заняттях і в процесі самостійної підготовки, на які відведено в цілому п'ять кредитів ECTS, студенти вивчають зазначені вище розділи навчальної програми.

## **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

- 1 Рівняння збереження енергії для лопаткових машин.
- 2 Типова конструкція одноциліндрової турбіни.
- 3 Конструкція ступеня осьової турбіни.
- 4 Перетворення енергії в каналах соплового апарата турбіни. Процес у сопловому апараті в  $h-s$  діаграмі.
- 5 Перетворення енергії в каналах робочого колеса турбіни. Процес у  $h-s$  діаграмі.
- 6 Обводова і осьова складові зусиль на робочих лопатках парової турбіни. Потужність, що розвивається ступенем турбіни.
- 7 Ступінь реактивності турбінного ступеня. Процес у ступені в  $h-s$  діаграмі.
- 8 Втрати на сопловій і робочій лопатках турбінного ступеня. Коефіцієнти швидкості турбінних решіток. Відображення втрат у  $h-s$  діаграмі.
- 9 Профільні втрати для турбінних решіток.
- 10 Профільювання турбінних решіток. Особливості профільювання для останніх ступенів парових турбін.



- 11 Кінцеві втрати для турбінних решіток.
- 12 Вибір оптимального відношення ( $U/C_{ад}$ ) для турбінного ступеня.
- 13 Поняття про парціальне підведення робочого тіла на турбінний ступінь. Втрати від парціальності.
- 14 Втрати на тертя диска турбінного ступеня. Їхній облік при визначенні ККД ступеня.
- 15 Номенклатура ККД турбінного ступеня. Графічна залежність ККД від ( $U/C_{ад}$ ).
- 16 Розширення пари в багатоступеневій турбіні в  $h-s$  діаграмі. Переваги багатоступеневої турбіни перед одноступеневою.
- 17 Коефіцієнт повернення теплоти для багатоступеневої турбіни.
- 18 Конструкція й галузь застосування двовінцевого ступеня швидкості.
- 19 Попередній розрахунок і розподіл теплоперепаду по ступенях багатоступеневої турбіни.
- 20 Етапи розрахунку й особливості конструкції останніх ступенів багатоступеневої парової турбіни.
- 21 Способи регулювання багатоступеневих турбін. Дросельний паророзподіл.
- 22 Способи регулювання багатоступеневих турбін. Сопловий паророзподіл.
- 23 Способи регулювання багатоступеневих турбін. Обвідний паророзподіл.
- 24 Класифікація паротурбінних установок. Маркірування турбін.
- 25 Рух робочого тіла в міжлопатковому каналі відцентрового нагнітача. Кут атаки і кут відставання потоку.
- 26 Вплив кута  $\beta_2$  на створюваний лопатковим нагнітачем напір.
- 27 Дійсні характеристики відцентрових нагнітачів.
- 28 Паралельне підключення нагнітачів у спільну мережу.
- 29 Послідовне підключення нагнітачів у спільну мережу.
- 30 Теоретичні характеристики відцентрових нагнітачів.
- 31 Багатоступінчастий стиск і проміжне охолодження в компресорних машинах.

32 Способи регулювання лопаткових нагнітачів. Дроселювання на нагнітанні і дроселювання на усмоктуванні.

33 Основні режимні параметри, що характеризують лопаткові нагнітачі. Їхній зв'язок між собою, практичне визначення.

34 Принцип дії відцентрового нагнітача. Трикутники швидкості.

35 Галузь застосування компресорів різних типів. Процеси стиску в  $P - V$  і  $T - S$  координатах. Ізотермічний і адіабатний ККД.

36 Класифікація нагнітачів. Принцип дії нагнітачів різних типів.

37 Помпаж нагнітача при роботі на мережу малої і великої ємності.

38 Окремий випадок рівнянь Ейлера для лопаткових нагнітачів. Теоретичний і дійсний напір.

39 Способи регулювання подачі поршневих компресорів. Дроселювання на усмоктуванні. Відображення регулювання в  $P-V$  координатах.

40 Способи регулювання лопаткових нагнітачів. Регулювання зміною частоти обертання.

41 Способи регулювання подачі поршневих компресорів. Регулювання зміною об'єму шкідливого простору. Відображення в  $P-V$  координатах.

42 Теоретичні і дійсні індикаторні діаграми поршневого компресора.

43 Теоретичні і дійсні характеристики поршневого компресора. Коефіцієнт подачі.

44 Конструктивні особливості відцентрових компресорів на прикладі турбокомпресора. Зміна тиску і швидкості в проточній частині компресора.

45 Практичне визначення основних показників роботи лопаткових нагнітачів (на прикладі відцентрових насоса і вентилятора).

46 Рівняння Ейлера для лопаткових нагнітачів.

47 Визначення основних показників роботи поршневого нагнітача.

48 Способи регулювання лопаткових нагнітачів.

49 Регулювання перепуском і поворотними напрямними лопатками.

50 Конструктивне виконання багатоциліндрових поршневих компресорів серій ВУ, ВМ, ВП. Способи регулювання подачі поршневих компресорів.

## **ЗАДАЧІ**

### **Задача 1**

Робоче колесо відцентрового насоса, що має внутрішній діаметр  $D_1=160$  мм і зовнішній діаметр  $D_2=280$  мм, має частоту обертання  $960 \text{ хв}^{-1}$ . Вода входить на робочу лопатку під кутом до дотичного  $\alpha_1=60^\circ$  зі швидкістю  $C_1=2,5$  м/с, а виходить з неї під кутом до дотичного  $\alpha_2=20^\circ$  зі швидкістю  $C_2=10$  м/с. Визначити, як зміниться теоретичний напір при радіальному вході рідини на лопатку. Побудувати в масштабі трикутники швидкостей.

### **Задача 2**

Визначити дійсний напір, створюваний відцентровим насосом при частоті обертання вала  $n=1450 \text{ хв}^{-1}$ , якщо діаметри робочого колеса  $D_1=170$  мм і  $D_2=350$  мм, гідравлічний ККД  $\eta_r=0,85$ , а коефіцієнт, що враховує кінцеве число лопаток,  $\mu=0,84$ . Побудувати в масштабі трикутники швидкостей, приймаючи, що рідина входить у робоче колесо в радіальному напрямку, а кути між вектором відносної швидкості рідини і зворотним напрямком вектора колової швидкості на вході і виході з лопатки  $\beta_1=25^\circ$ ,  $\beta_2=40^\circ$ . Відносні швидкості на вході і виході вважати однаковими.

### **Задача 3**

Який теоретичний тиск створює робоче колесо відцентрового вентилятора із зовнішнім діаметром  $D_2=400$  мм, внутрішнім діаметром  $D_1=350$  мм при частоті обертання вала  $n=950 \text{ хв}^{-1}$ , безударному вході і густині повітря  $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ ? Відносні швидкості повітря на вході в лопатку і виході з неї вважати

однаковими. Кути нахилу векторів відносних швидкостей до зворотних напрямків векторів відповідних колових швидкостей становлять  $\beta_1=40^\circ$  і  $\beta_2=125^\circ$ .

#### **Задача 4**

При якій частоті обертання робоче колесо відцентрового вентилятора, що має зовнішній діаметр  $D_2=750$  мм і внутрішній діаметр  $D_1=700$  мм, буде створювати теоретичний тиск 220 мм. вод. ст.? Відносні швидкості повітря на вході в лопатку і виході з неї вважати однаковими. Вхід – безударний. Кути нахилу векторів відносних швидкостей до зворотних напрямків векторів відповідних колових швидкостей  $\beta_1=30^\circ$  і  $\beta_2=130^\circ$ . Густина повітря  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

#### **Задача 5**

Потужність, споживана насосом при подачі  $Q=50$  м<sup>3</sup>/год і напорі  $H=120$  м. вод. ст., становить  $N=22$  кВт. Визначити повний і механічний ККД насоса, якщо індикаторний ККД  $\eta_i=0,8$ .

#### **Задача 6**

Турбоповітродувка, характеристики якої  $P=F(Q)$  і  $\eta=F^1(Q)$  наведені на рисунку 1, працює на мережу, характеристика якої виражається рівнянням  $P=0,25*Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача, м<sup>3</sup>/с. Визначити подачу повітря і необхідну потужність на привод турбоповітродувки.

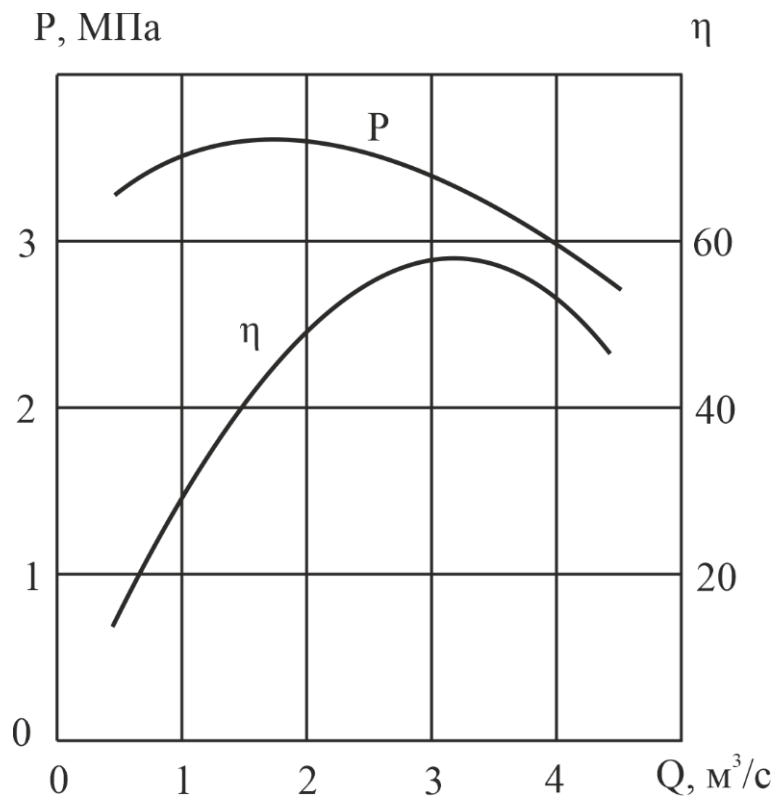


Рисунок 1 – Характеристика вентилятора

### Задача 7

Для вентиляції приміщення встановлюється осьовий вентилятор із характеристиками, наведеними на рисунку 2. Передбачається, що вентилятор буде працювати окремо на кожну мережу, характеристики яких  $P_c=5 \cdot Q^2$  Па і  $P_c^1=1,6 \cdot Q^2$  Па ( $Q$  – у метрах кубічних на секунду). Визначити потужність, споживану вентилятором, при роботі на ці мережі.

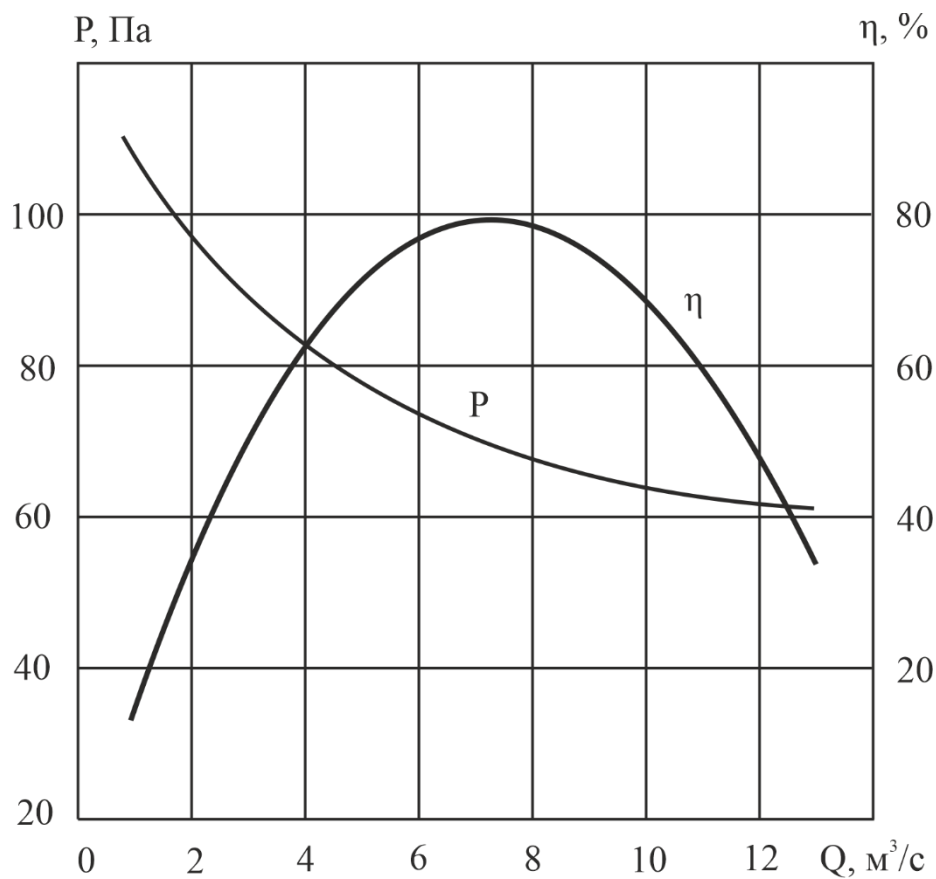


Рисунок 2 – Характеристика вентилятора

### Задача 8

Відцентровий вентилятор, характеристика якого зображена на рисунку 3, працює на мережу, рівняння якої  $P = 2 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача, м<sup>3</sup>/с. Визначити, на скільки відсотків зменшиться потужність на привод вентилятора, якщо його подача знизиться до 6 м<sup>3</sup>/с за рахунок зміни частоти обертання вала.

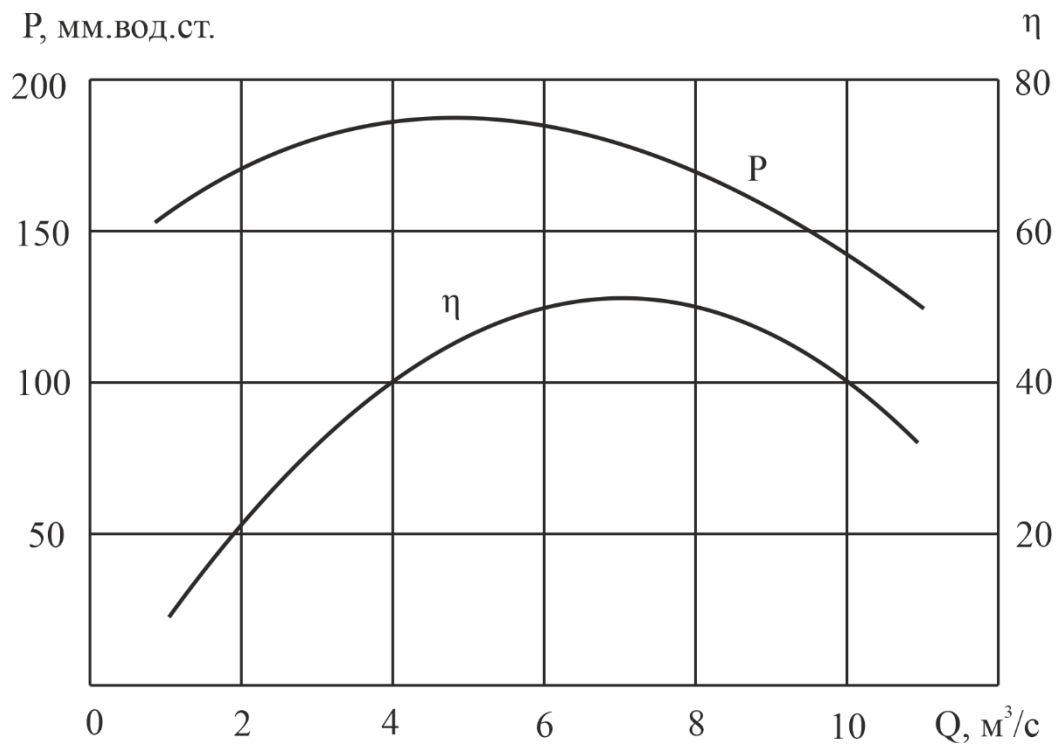


Рисунок 3 – Характеристика вентилятора

### Задача 9

Відцентровий насос, що має характеристику, зображену на рисунку 4, працює на мережу з характеристикою  $H_0 = 20 + 20000 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача, м³/с. Визначити, яку кількість води подає насос у мережу і як зміниться ця подача при паралельному підключенні ще одного такого ж насоса.

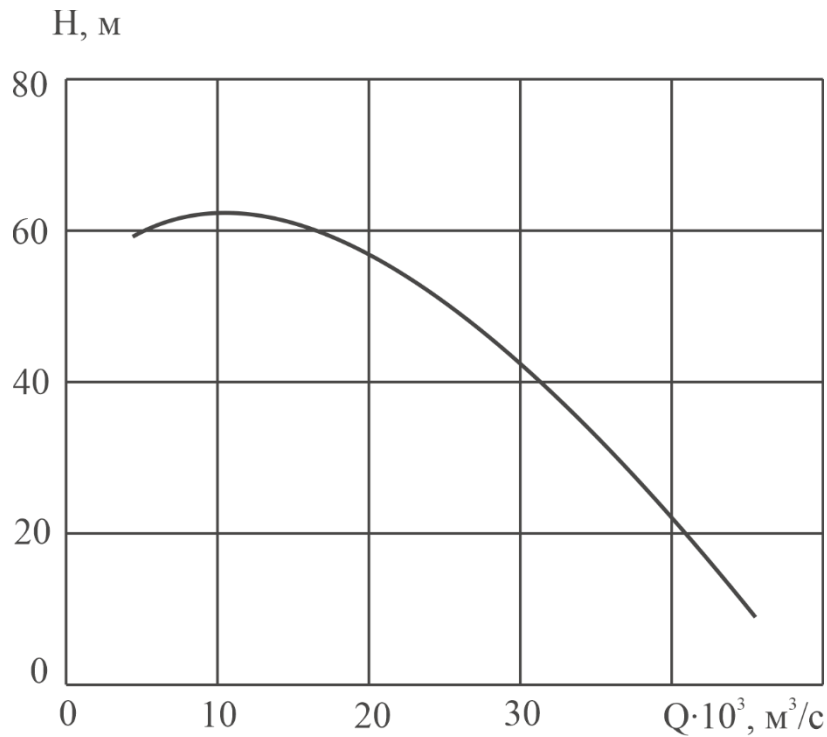


Рисунок 4 – Характеристика нагнітача

### Задача 10

Визначити, яку кількість повітря і при якому тиску будуть подавати в мережу два послідовно підключених вентилятори типу ВРС № 6 (рисунок 5). Характеристика мережі виражається рівнянням  $P = 9,55 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача, м³/с.

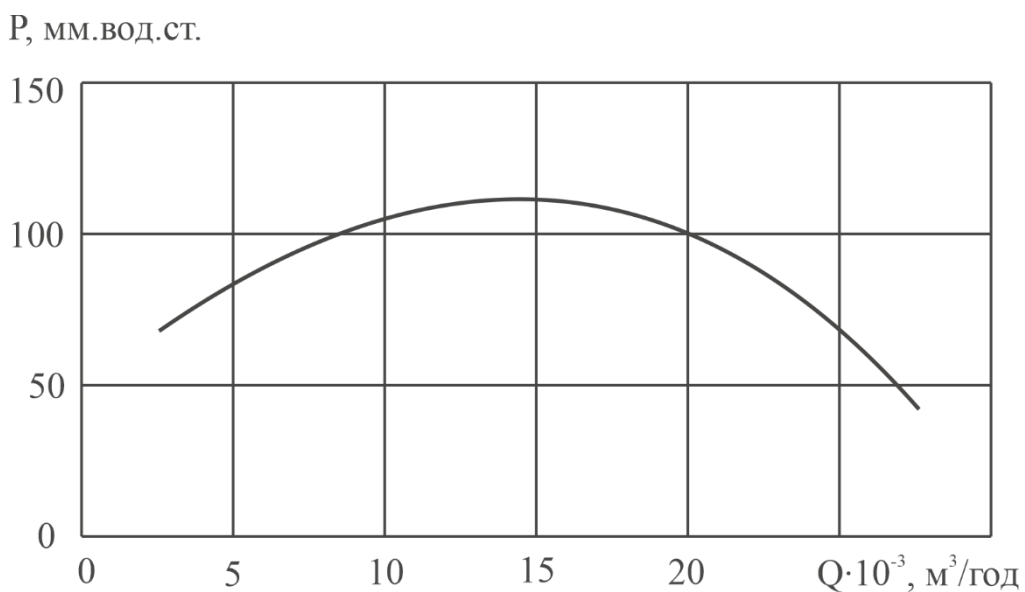


Рисунок 5 – Характеристика вентилятора ВРС № 6



## Задача 11

Два відцентрових вентилятори серії ВДН № 10 (характеристика одного з них наведена на рисунку б) підключені паралельно і працюють на мережу, характеристика якої виражається рівнянням  $P = 0,65 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача,  $\text{м}^3/\text{с}$ . На скільки відсотків зменшиться подача повітря в мережу при зупинці одного вентилятора?

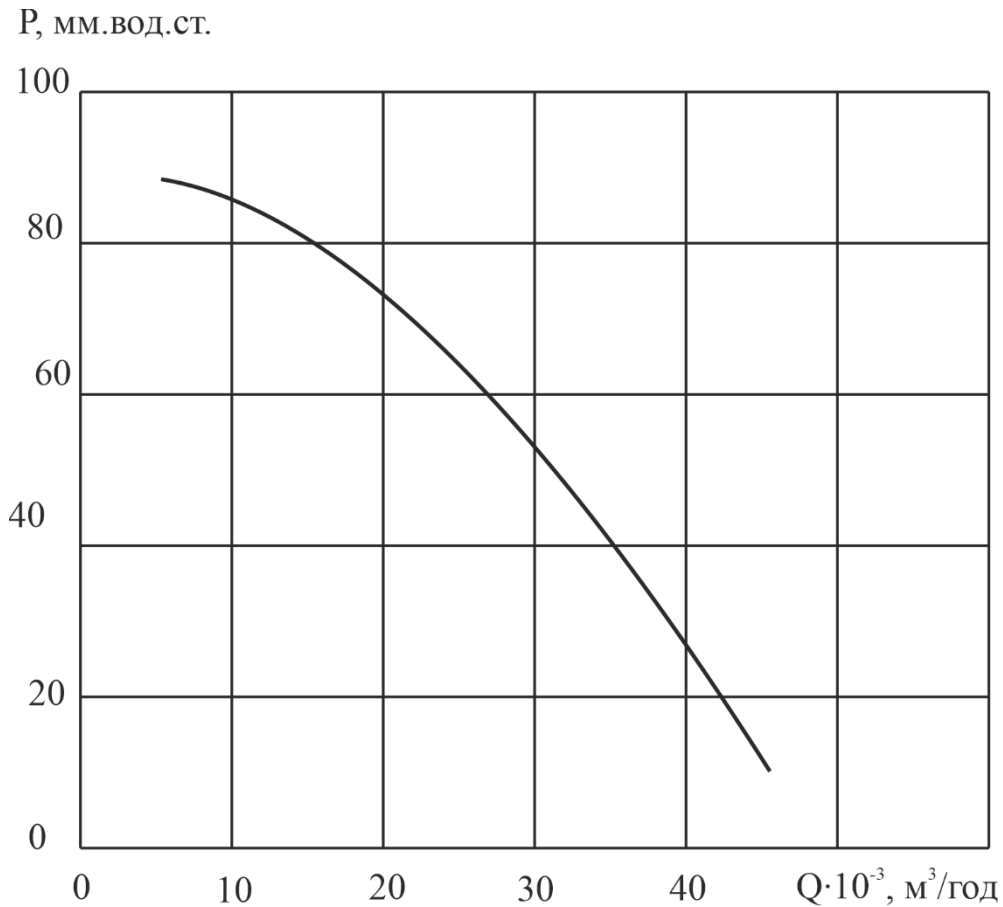


Рисунок 6 – Характеристика вентилятора ВДН № 10

## Задача 12

Відцентровий вентилятор середнього тиску серії ВРС № 5 подає в калорифер повітря при температурі  $t=20^\circ\text{C}$  у кількості  $Q=14000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Характеристика повітряного тракту виражається рівнянням  $P = 6,5 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача,  $\text{м}^3/\text{с}$ . Характеристика вентилятора ВРС № 5 при частоті обертання вала  $n_1=1200 \text{ хв}^{-1}$

наведена на рисунку 7. З якою частотою має обертатися вал, щоб вентилятор міг забезпечити необхідну подачу?

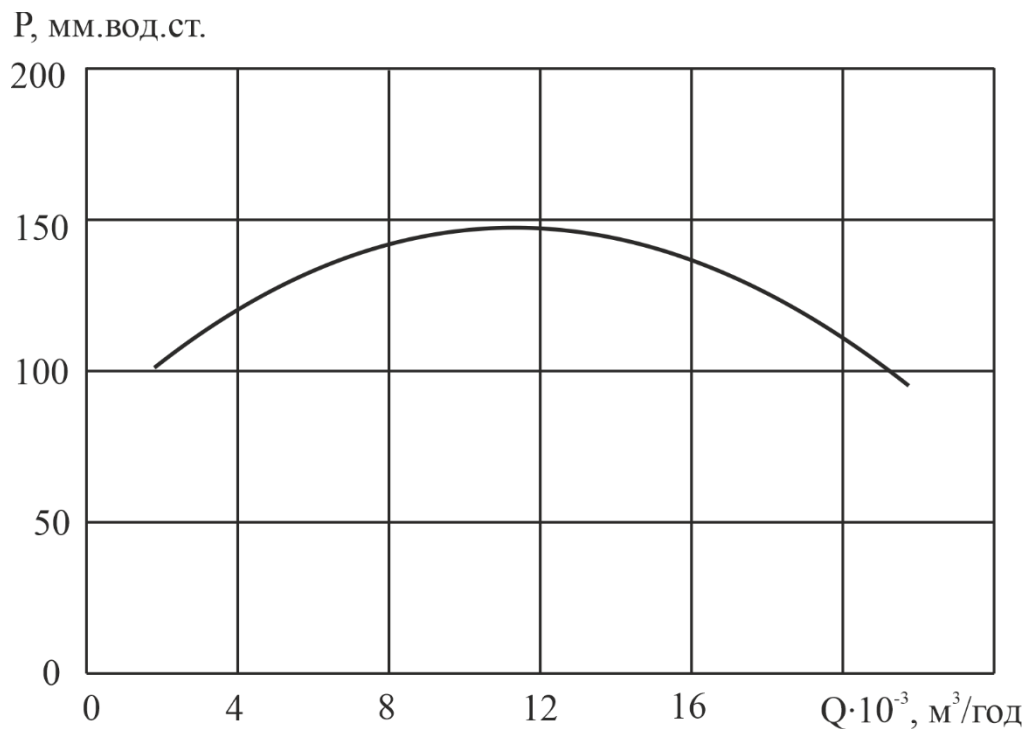


Рисунок 7 – Характеристика вентилятора ВРС № 5

### Задача 13

Відцентровий насос типу 12 НДС (рисунок 8) працює на мережу, характеристика якої виражається рівнянням  $H_0 = 40 + 150 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача,  $\text{м}^3/\text{с}$ . Визначити, на скільки відсотків збільшиться подача води в мережу при паралельному підключенні ще одного або ще двох таких насосів. Як зміниться відсоткове збільшення подачі при одному, а також при двох і трьох насосах, що працюють паралельно, якщо характеристика мережі  $H_0 = 40 + 50 \cdot Q_c^2$ ? За отриманими результатами зробити висновок.

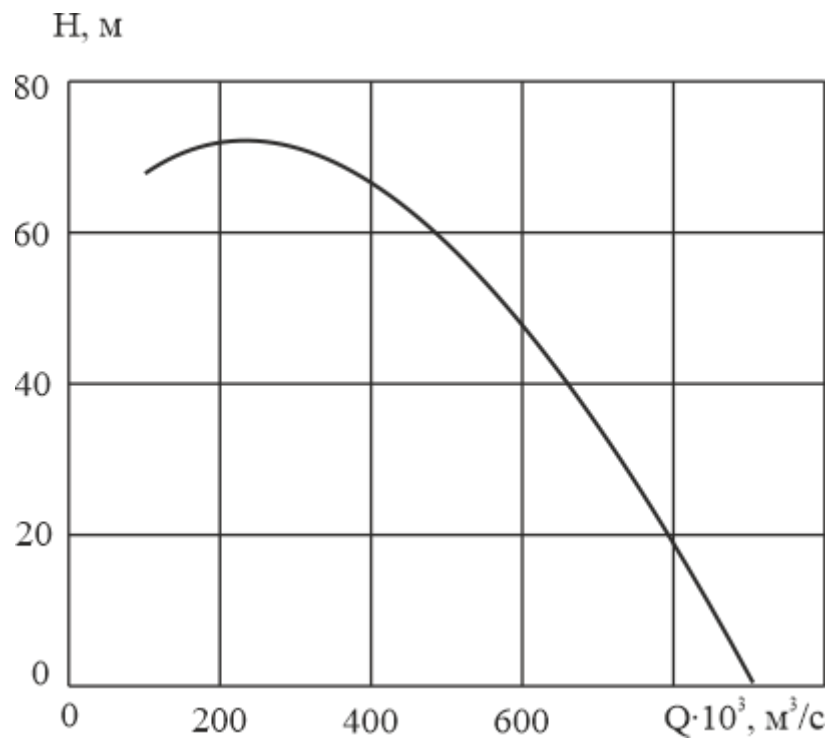


Рисунок 8 – Характеристики насоса 12 НДС

#### Задача 14

Визначити потужність, споживану двома послідовно підключеними однотипними вентиляторами, що працюють на мережу з характеристикою  $P_c = 110 \cdot Q^2$ , Па ( $Q$  – подача, м³/с). Характеристика вентилятора наведена на рисунку 9.

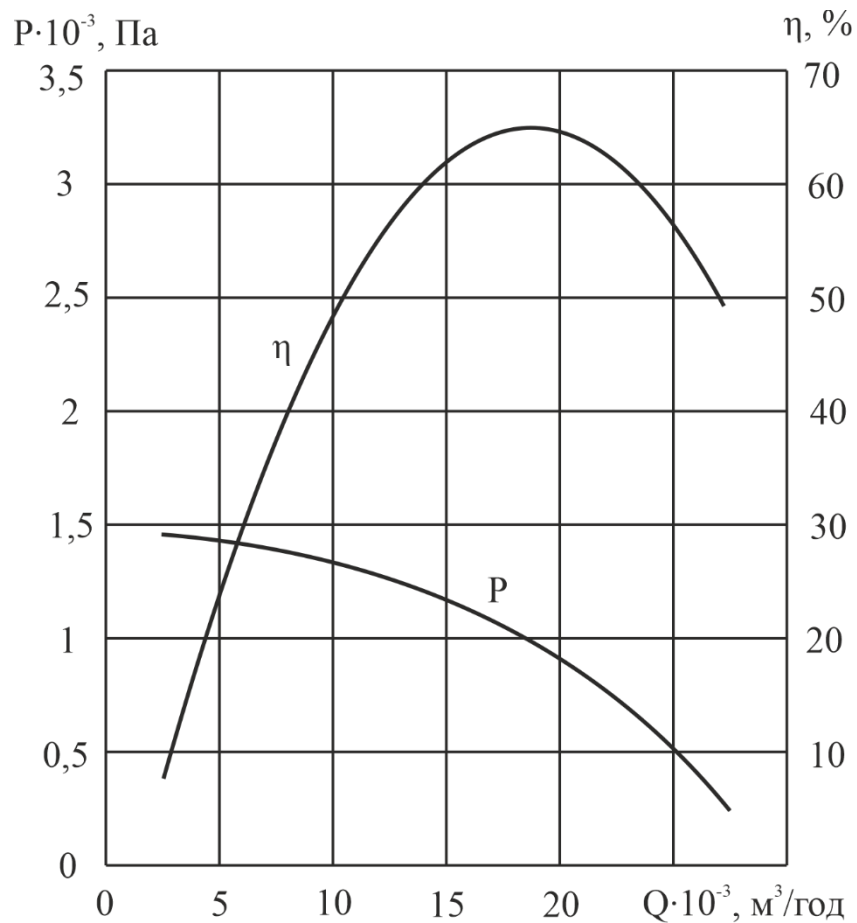


Рисунок 9 – Характеристики вентилятора

### Задача 15

Для збільшення подачі повітря в мережу, характеристика якої виражається рівнянням  $P = 3,6 \cdot Q_c^2$ , де  $Q_c$  – подача, м³/с, до вентилятора 1, що постійно працює на мережу, підключений паралельно вентилятор 2. Характеристики вентиляторів 1 і 2 наведені на рисунку 10. Визначити, на скільки збільшиться кількість подаваного в мережу повітря.

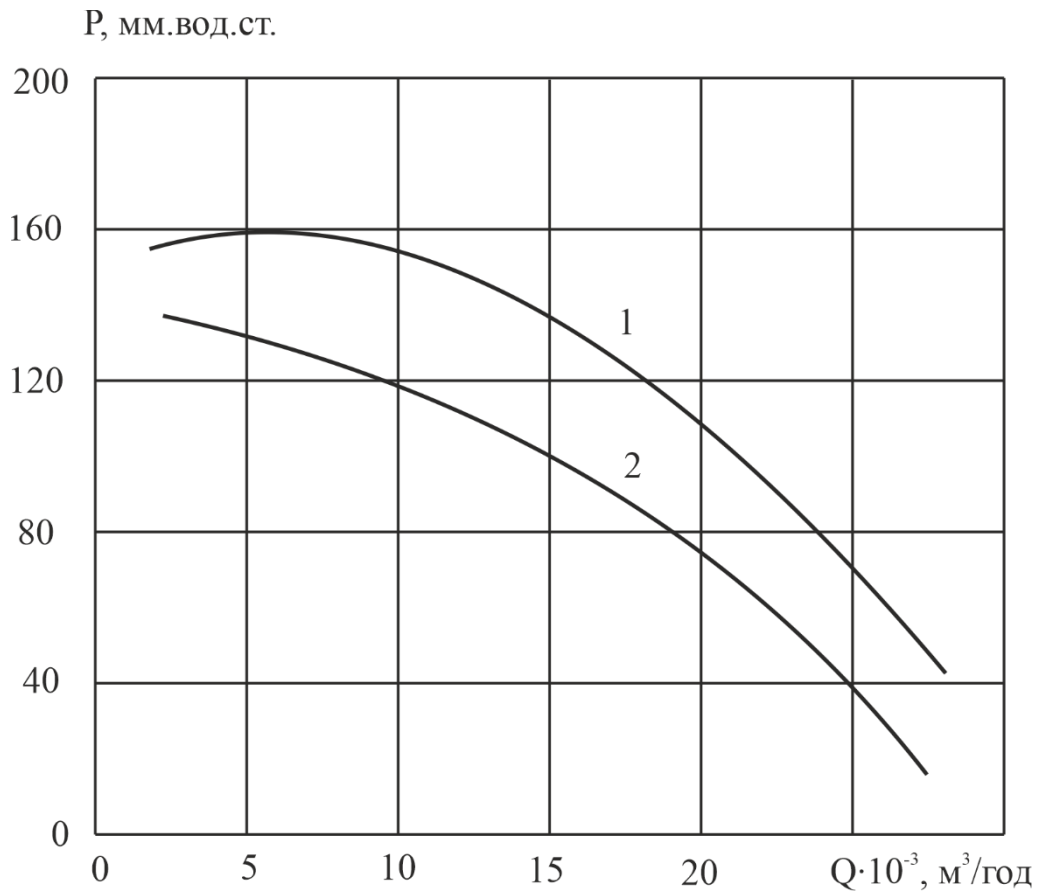


Рисунок 10 – Характеристики вентиляторів

### Задача 16

Для збільшення подачі води в мережу паралельно підключені два відцентрових насоси з характеристиками, наведеними на рисунку 11. Визначити подачу кожного насоса окремо і споживану ними потужність, якщо мережа, на яку вони працюють, забезпечує підйом води на висоту  $H=14$  м і подачу на відстань  $L=200$  м. Коефіцієнт гідравлічного тертя прийняти рівним  $0,027$ , а сумарний коефіцієнт місцевих опорів  $\zeta=2$ . Діаметр трубопроводу  $d = 150$  мм.

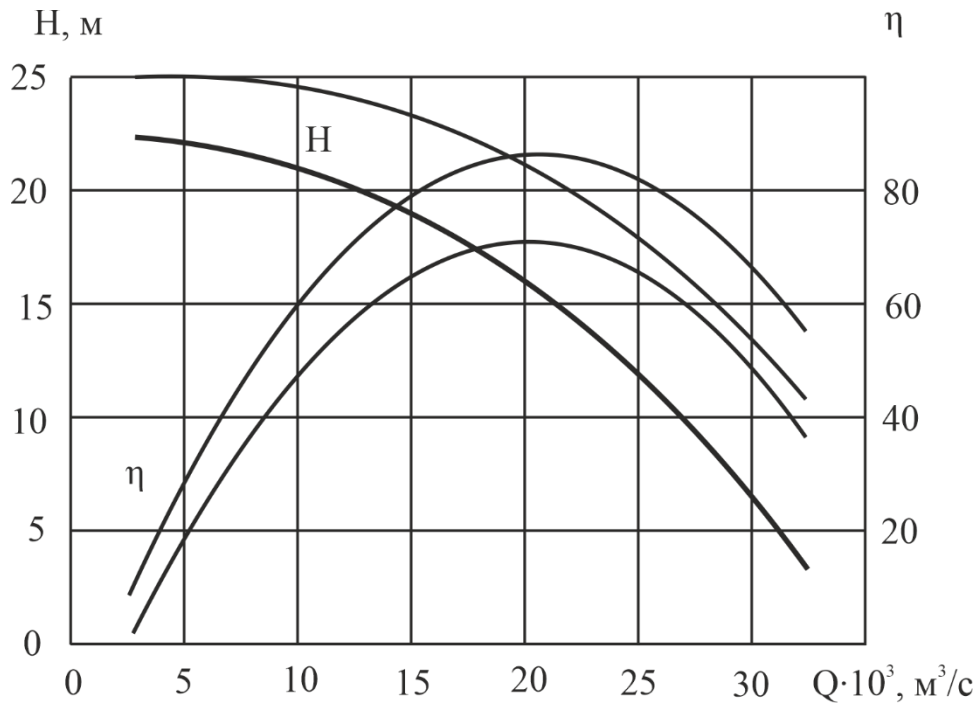


Рисунок 11 – Характеристики насосів

### Задача 17

Відцентровий насос, характеристику якого подано на рисунку 12, піднімає воду на висоту  $H=15$  м по трубах, з'єднаних послідовно, довжиною  $l_1=25$  м,  $l_2=140$  м і діаметрами  $d_1=350$  мм,  $d_2=300$  мм. Коефіцієнт опору вентиля  $\zeta_B=3$ . Визначити потужність, споживану насосом, якщо коефіцієнти гідравлічного тертя  $\lambda_1=0,021$ ,  $\lambda_2=0,025$ . Як зміниться подача та потужність насоса, якщо опір вентиля зросте в 6 разів?

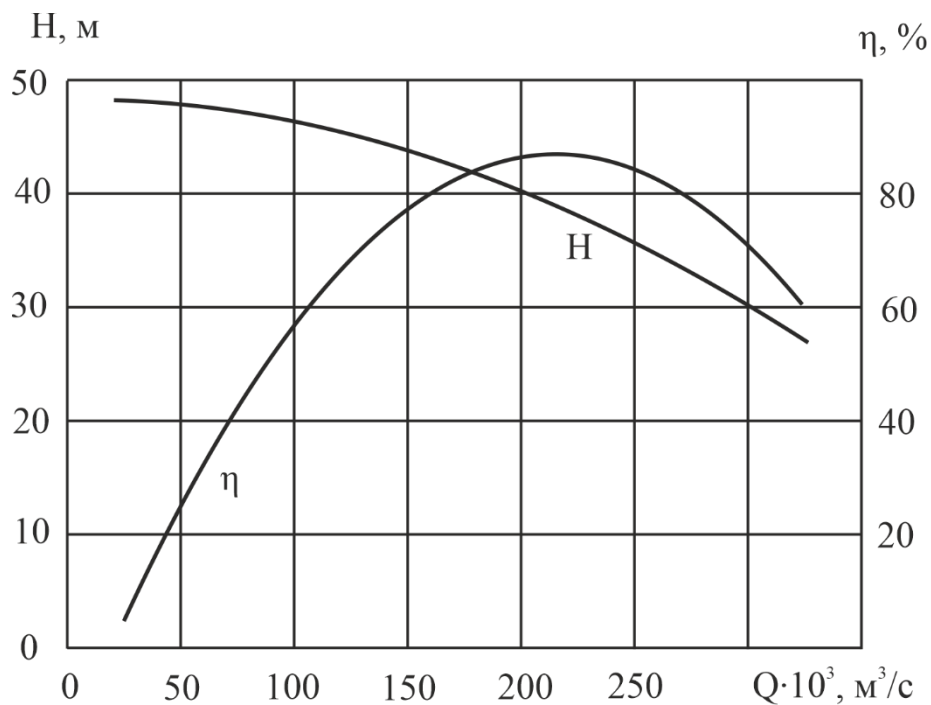


Рисунок 12 – Характеристика нагнітача

### Задача 18

Турбоповітродувка з подачею  $Q=4000$  м<sup>3</sup>/год стискає повітря від початкових параметрів  $P_0=0,1$  МПа і  $t_0=25$  °С до кінцевого тиску  $P_k=230$  кПа. Визначити потужність на валу і температуру в напірному патрубку, якщо стиск відбувається за політропою з показником  $n=1,65$ . Механічний ККД  $\eta_m=0,97$ .

### Задача 19

Визначити потужність на валу відцентрового компресора, що нагнітає повітря в кількості  $Q=20000$  м<sup>3</sup>/год, якщо тиск на усмоктуванні  $P_0=100$  кПа, температура  $t_0=25$  °С, а кінцевий тиск  $P_k=0,9$  МПа. Механічний ККД дорівнює  $\eta_m=0,96$ . Стиск повітря в компресорі вважати адіабатним із ККД  $\eta_{ад}=0,73$ .

### Задача 20

Яка потужність (із запасом 10 %) необхідна для привода вентилятора при подачі 35000 м<sup>3</sup>/год і тиску 150 мм вод. ст., якщо повний ККД вентилятора  $\eta=0,55$ ? Яку потужність буде споживати

цей вентилятор при подачі 20000 м<sup>3</sup>/год і роботі на ту саму мережу з тим самим ККД?

### **Задача 21**

Визначити необхідну потужність і кількість теплоти, переданої холодній воді при роботі ідеального компресора з ізотермічним процесом стиску, якщо кількість стисливого повітря, віднесена до умов усмоктування,  $Q=100$  м<sup>3</sup>/год, початковий абсолютний тиск  $P_1=0,1$  МПа, а кінцевий тиск  $P_2=0,7$  МПа.

### **Задача 22**

Багатоступеневий турбокомпресор із внутрішнім охолодженням при подачі  $Q=25000$  м<sup>3</sup>/год стискає повітря від початкових параметрів  $P_1=0,1$  МПа і  $t_1=20$  °С до кінцевого абсолютного тиску  $P_2=0,25$  МПа. Визначити необхідну потужність парової турбіни для привода компресора з урахуванням запасу потужності 20 %, якщо внутрішній ізотермічний, механічний і об'ємний ККД компресора відповідно рівні:  $\eta_{из}=0,6$ ;  $\eta_m=0,98$ ;  $\eta_o=0,98$ .

### **Задача 23**

Визначити механічний ККД турбоповітродувки, що має подачу  $Q=3000$  м<sup>3</sup>/год і стискає повітря за політропою від початкового стану  $P_1=0,1$  МПа і  $t_1=20$  °С до кінцевого абсолютного тиску  $P_2=0,28$  МПа, якщо температура стиснутого повітря в напірному патрубку  $t_2=160$  °С, а потужність, затрачувана на привод турбоповітродувки –  $N=120$  кВт. Об'ємний ККД турбоповітродувки  $\eta_o=0,96$ .

### **Задача 24**

Визначити необхідну потужність (із запасом 10 %) для привода двоступеневого роторного компресора з подачею при умовах усмоктування  $Q=10$  м<sup>3</sup>/хв, який стискає повітря від початкового абсолютного тиску  $P_1=0,1$  МПа до кінцевого тиску



$P_2=0,9$  МПа при однаковому ступені стиску в обох ступенях і повному проміжному охолодженні повітря. Повний (ефективний) ізотермічний ККД компресора  $\eta_{\epsilon \text{ из}}$  прийняти рівним 0,6.

### Задача 25

Чотириступеневий поршневий компресор стискає повітря при ступені підвищення тиску в кожному ступені  $\epsilon=3,5$ . Визначити кінцевий тиск, якщо коефіцієнт, що враховує втрату тиску між ступеннями,  $\psi=1,08$ , а початковий тиск  $P_1=0,1$  МПа.

### Задача 26

Двоциліндровий одноступеневий поршневий компресор із подачею  $Q=12$  м<sup>3</sup>/хв стискає повітря від  $P_0=0,1$  МПа,  $t_0=20$  °С до  $P_k=0,8$  МПа. Визначити потужність на валу компресора і кінцеву температуру повітря при показнику політропи  $n=1,35$ , механічному ККД  $\eta_m=0,96$ .

### Задача 27

Двоступеневий поршневий компресор із подачею  $Q=3$  м<sup>3</sup>/хв стискає по політропі повітря від початкового тиску  $P_0=100$  кПа до кінцевого  $P_k=0,4$  МПа. Визначити зміну споживаної потужності при збільшенні проміжного тиску від  $P_1=0,2$  МПа до  $P_1^1=0,25$  МПа. Показник політропи вважати однаковим в обох ступенях і рівним  $n=1,25$ .

### Задача 28

Одноциліндровий одноступеневий поршневий компресор однобічної дії з діаметром циліндра  $D=300$  мм, ходом поршня  $S=300$  мм і відносною величиною обсягу шкідливого простору  $a=0,05$  розрахований на абсолютний тиск 0,6 МПа, має номінальну частоту обертання вала  $n=500$  хв<sup>-1</sup>. Визначити необхідну частоту обертання і потужність на привод компресора із запасом 10 % на перевантаження, якщо за умовами усмоктування компресор має подавати  $Q=3$  м<sup>3</sup>/хв повітря,

стискаючи його від абсолютного тиску  $P_1=0,1$  МПа до кінцевого  $P_2=0,5$  МПа. Процеси стиску й розширення повітря, що залишилося в обсязі шкідливого середовища, вважати адіабатними. Повний (ефективний) адіабатний ККД  $\eta_{\text{ад}}$  компресора прийняти рівним 0,8. Коефіцієнти підігріву й щільності відповідно дорівнюють:  $\lambda_{\text{под}}=0,95$ ;  $\lambda_{\text{пл}}=0,97$ .

### **Задача 29**

Одноциліндровий поршневий насос двосторонньої дії при числі подвійних ходів поршня за хвилину 60 має об'ємний ККД  $\eta_0=0,88$ . Визначити годинну подачу насоса  $Q$ , якщо відомі діаметр циліндра  $D=120$  мм, діаметр штока  $d=30$  мм, радіус кривошипа  $R=75$  мм. Побудувати графік зміни подачі насоса за час одного оберту вала.

### **Задача 30**

Водяна пара з тиском 13 МПа і температурою 450 °С надходить у конфузorne сопло. Витрата пари становить 0,8 кг/с, а тиск на виході з сопла – 9 МПа. Процес розширення вважати адіабатичним. Визначити параметри пари на вході і виході з сопла, адіабатичну швидкість і діаметр сопла в вихідному перерізі.

### **Задача 31**

В одноступеневу парову турбіну подається водяний пар тиском 13,5 МПа, температурою 500 °С. Пар розширюється до тиску 10 МПа. Визначити потужність, що створюється турбіною, якщо витрата пари становить 1,5 кг/с, а ефективний ККД – 82 %.

### **Задача 32**

В одноступеневу турбіну турбокомпресора двигуна внутрішнього згоряння подаються відпрацьовані гази з тиском 0,205 МПа і температурою 650 °С. Тиск на виході з турбіни складає 105 кПа, витрата газу – 0,11 кг/с. Показник політропи і газу постійну відпрацьованих газів прийняти рівними 1,38 і

290 Дж/(кг·град) відповідно. Визначити, чи достатньо потужності турбіни для привода компресора в 20 кВт.

### Задача 33

У парову одноступеневу турбіну подається пара тиском  $P_0 = 15$  МПа і температурою  $T_0 = 530$  °С. Тиск пари після соплового апарату і робочого колеса становить 11 МПа і 8,5 МПа відповідно. Визначити ступінь реактивності турбіни.

### Задача 34

У парову одноступеневу турбіну подається пара тиском  $P_0 = 14$  МПа і температурою  $T_0 = 520$  °С, тиск за ступенем  $P_2 = 8$  МПа. Ступінь реактивності турбіни складає  $\rho = 0,35$ , швидкість пари на вході  $C_0 = 95$  м/с, внутрішній відносний ККД соплового апарату і робочого колеса відповідно –  $\eta_{ca} = 0,92$ ,  $\eta_{рк} = 0,89$ . Визначити параметри пари в сопловому апараті і робочому колесі, побудувати процес розширення в діаграмі.

### Задача 35

У парову одноступеневу турбіну подається пара тиском  $P_0 = 15,5$  МПа і температурою  $T_0 = 545$  °С, тиск за ступенем  $P_2 = 10$  МПа. Ступінь реактивності турбіни складає  $\rho = 0,3$ . Середні діаметри соплових і робочих лопаток прийняти рівними  $D_{1c} = D_{2c} = 1,1$  м, коефіцієнти швидкості –  $\varphi = 0,92$ ,  $\psi = 0,89$ , конструктивні кути виходу потоку з соплових і робочих лопаток відповідно  $\alpha_{1к} = 25$  град,  $\beta_{2к} = 45$  град.. Для частоти обертання ротора турбіни  $n = 3000$  хв<sup>-1</sup> розрахувати абсолютну, відносну і колову швидкості потоку, побудувати вхідний і вихідний трикутники швидкості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Романовський Г. Ф., Ващиленко М. В., Седько М. П. Основи проектування компресорів суднових ГТД: навч. посіб. Миколаїв: НУК, 2008. 292 с.
- 2 Чепурний М. М., Резидент Н. В. Нагнітачі та теплові двигуни: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2012. 99 с.
- 3 Романовський Г. Ф., Іпатенко О. Я., Патлайчук В. М. Теорія та розрахунок парових і газових турбін: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 297 с.
- 4 Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Москва: Энергоатомиздат, 1984. 434 с.
- 5 Щегляев А. В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкция турбин: учеб. для вузов. В 2-х кн. Кн. 1. Изд. 6-е перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1993. 384 с.
- 6 Холоменюк М. В. Компресорні установки: навч. посіб. Донецьк: Національний гірничий університет, 2013. 51 с.
- 7 Счастний Є. Є., Каграманян А. О., Панчук О. В. Розрахунок турбокомпресора системи газотурбінного наддуву двигуна внутрішнього згоряння: методичні вказівки до дипломного проектування і виконання курсового проекту з дисципліни «Нагнітачі та турбіни». Харків: УкрДУЗТ, 2018. 31 с.
- 8 Бондаренко Г. А., Кирик Г. В. Компресорні станції: підручник. Суми: Сумський державний університет, 2016. 385 с.
- 9 Компресорні станції транспортних засобів: навч. посіб. / В. Х. Далека, М. А. Голтв'янський, А. В. Коваленко, В. І. Скуріхін; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків: ХНУМГ, 2014. 128 с.
- 10 Счастний Є. Є., Шаройко Н. А. Програма курсу «Нагнітачі і турбіни» і методичні вказівки для виконання контрольної роботи і розв'язання задач студентами спеціальності «Теплоенергетика». Харків: ХарДАЗТ, 2001. 18 с.

ПРОГРАМА КУРСУ  
ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і виконання контрольної роботи  
з дисципліни

*«НАГНІТАЧІ І ТУРБІНИ»*

Відповідальний за випуск Счастний Є. Є.

Редактор Решетилова В. В.

---

Підписано до друку 15.06.21 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,5. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.