МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413 -з-дн
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Мартинова О. С.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф., Саблін О.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____ другий (магістерський) рівень
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»_____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф.__В.Л. Коваленко
«_01_»_____03_____2025__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Мартиновій Ользі Станіславівні_____
(прізвище, ім'я, по батькові)
1 Тема роботи Підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Запоріжвогнетрив»
керівник роботи ___Саблін О.І., д.т.н., проф._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_лютого__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи Структура електроспоживання підприємства, найбільші споживачі електричної енергії - електродвигуни, вентиляція та освітлення. Основне обладнання ділянки - сумішоприготувальні машини, устаткування 30-40 річного віку. Значні втрати активної, а також значне споживання реактивної енергії двигунним навантаженням.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _1) Аналіз ефективності роботи вентиляційних установок. 2) Математичне моделювання системи енергопостачальна мережа - асинхронний двигун - вентилятор - аеромережа 3) Впровадження заходів з економії електричної енергії ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив». 4) Охорона праці та техногенна безпека.
5 Перелік графічного матеріалу _1) Аналіз ефективності енергоспоживання ділянки цеху 2) План цеху. 3) Схеема однолінійна 4) Методи регулювання

продуктивності вентиляторних установок 5) Розрахункові характеристики 6) Модель системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа 7) Динамічні характеристики електропривода вентилятора 8) Динамічні характеристики електропривода вентилятора за напором 9) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Саблін О.І., д.т.н., проф.		
Розділ 2	Саблін О.І., д.т.н., проф.		
Розділ 3	Саблін О.І., д.т.н., проф.		
Розділ 4	Саблін О.І., д.т.н., проф.		

7 Дата видачі завдання 01.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ефективності роботи вентиляційних установок	30.11.2024	
2	Математичне моделювання системи енергопостачальна мережа - асинхронний двигун - вентилятор - аеромережа	15.12.2024	
3	Впровадження заходів з економії електричної енергії ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»	03.02.2025	
4	Охорона праці та техногенна безпека	28.02.2025	

Студент _____ _____ О. С. Мартинова
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ _____ О.І. Саблін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Мартинова О. С. Підвищення ефективності системи електропостачання ПрАТ «Запоріжвогнетрив». Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник – проф. О.І. Саблін. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

Досліджено існуючі методи регулювання продуктивності вентиляторних установок. Показано, що регулювання зміною швидкості обертання є енергетично більш доцільним порівняно з регулюванням дросселированием і ступінчастим регулюванням подачі.

На прикладі ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив» підтверджена техніко-економічна доцільність запропонованих заходів.

Ключові слова: СИСТЕМА ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Martynova O. S. Increasing the efficiency of the power supply system of PrJSC "Zaporizhvognetryv".. Master's qualification thesis in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics. Scientific supervisor – Prof. O. I. Sablin. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu. M. Potebnia, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The existing methods of regulating the performance of fan units are investigated. It is shown that the control by changing the speed is more energetically expedient in comparison with the control by throttling and step control of the feed.

The technical and economic feasibility of the proposed measures was confirmed on the example of the section of refractory concretes of PJSC "Zaporizhvognetriv".

Key words: INDUSTRIAL ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM, ELECTRICITY CONSUMPTION, MATHEMATICAL MODEL, ENERGY EFFICIENCY

ЗМІСТ

Вступ ……..9
1 Аналіз ефективності роботи вентиляційних установок ……...12
1.1 Існуючі технологічні схеми вентиляційних установок ……..…12
1.2 Опис функціональної схеми вентиляційних установок …….19
1.3 Аналіз характеристик вентилятора при зміні його швидкості обертання ……...36
2 Математичне моделювання системи енергопостачальна мережа - асинхронний двигун - вентилятор - аеромережа …….....40
2.1 Розробка функціональної схеми керованої електромеханічної системи ……..40
2.2 Математичний опис елементів системи ……...…42
2.3 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в розімкнутій системі..……46
2.4 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в замкнутій системі за технологічним параметром ……....51
3 Впровадження заходів з економії електричної енергії ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»…….55
3.1. Коротка характеристика об’єкта дослідження ……...55
3.2 Структура виробництва та асортимент продукції ділянки вогнетривних бетонів ……...57
3.3 Огляд споживачів електроенергії підприємства …….60
3.4 Аналіз електроспоживання підприємства ……62
3.4.1. Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»...62
3.4.2. Динаміка споживання електроенергії…….……64
3.5 Техніко-економічне обґрунтування проекту……66
4 Охорона праці та техногенна безпека …….……71

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища……...……..71
4.2. Технічні рішення з виробничої санітарії цеху.....74
4.2.1 Опалення і вентиляція……..74
4.2.2 Природне і штучне освітлення ……75
4.2.3 Санітарно - побутові приміщення…….78
4.2.4 Шум і вібрація в електролізному цеху…….....78
4.3 Заходи з поліпшення умов праці…….…..78
4.4 Заходи з пожежної безпеки……80
4.5 Захисні заходи з електробезпеки…….....81
4.6 Засоби індивідуального захисту……82
4.7 Рішення щодо захисту навколишнього середовища…….....83
4.8 Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітрообміну……84
Висновки……88
Перелік посилань…….....89

ВСТУП

Курс на прискорення соціально-економічного розвитку країни передбачає підвищення ефективності капітальних вкладень в будівництво, забезпечення своєчасного введення в дію основних фондів і виробничих потужностей, технічне переозброєння і реконструкцію діючих підприємств, створення і впровадження прогресивних технологій, а також планомірне проведення у всіх галузях і сферах народного господарства цілеспрямованої енергозберігаючої політики. Відомо, що для постачання теплом народного господарства і населення витрачається приблизно третина всіх використовуваних в країні паливно-енергетичних ресурсів. Тому забезпечення раціонального теплового режиму будівель, оптимального використання теплоти в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря має першорядне значення.

Невід'ємною частиною інженерного обладнання різних будівель, систем і споруд є гідравлічні машини, до яких відносяться насоси і вентилятори. Без них неможлива робота систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря і аспірації, водопостачання і водовідведення, т. Е. Всіх тих систем, які пов'язані з життям і діяльністю людини.

Розвиток різних галузей промисловості, розширення обсягів будівництва, створення сприятливих умов для високопродуктивної праці багато в чому залежать від ефективності роботи систем тепло- та холодопостачання, вентиляції та кондиціонування повітря. Загальним для цих систем є наявність в них машин, призначених для переміщення робочої середовища. У системах загальнообмінної вентиляції і кондиціонування таким середовищем є повітря, в системах технологічної вентиляції - суміш різних газів, в системах тепло- і водопостачання - вода.

Назва самої машини (насос, вентилятор, повітродувки, компресор та ін.) Визначається як видом переміщуваного середовища, так і створюваним тиском.

Ці машини разом з гідравлічними двигунами і Гідропередача складають клас гідравлічних машин.

У зв'язку з величезним випуском вентиляторів (сотні тисяч на рік тільки осьових) велике значення має їх матеріаломісткість. Так як дуже часто вентилятор вбудований в іншу машину або в іншу технологічну лінію, його допустимі габаритні розміри і маса бувають обмежені. Обов'язковою є високий ККД при даних компонувальних умовах, що дуже важливо для зменшення споживаної потужності і має особливе значення при харчуванні приводу вентилятора не від електромережі, а від автономного джерела потужності. Спеціальні вимоги пред'являються до регулювання вентилятора поворотом лопаток, до форми його характеристики, реверсування потоку і т. ін.

Вимоги до вентиляторів безперервно змінюються з появою нових об'єктів і технологічних процесів. При тому часто не представляється можливим використовувати вентилятори або навіть покласти в основу розроблюваних вентиляторів, відомі аеродинамічні схеми. Виникає не збіжність створення вентилятора нової аеродинамічної схеми, які забезпечують отримання заданих аеродинамічних, акустичних, вагових і габаритних параметрів при високому ККД. Одночасно повинні бути розроблені вхідні і вихідні патрубки, що з'єднують вентилятор з мережею, від яких значною мірою залежить ефективність вентиляційної установки.

Об’єкт дослідження – система вентиляції ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив».

Предмет дослідження – робота системи стабілізації тиску вентиляторної установки на базі математичної моделі.

Завдання роботи – дослідити структуру енергоспоживання ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; дослідити роботу системи вентиляції ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; розробити рекомендації щодо стабілізації тиску вентиляторної установки на базі математичної моделі.

Вентиляційні установки є одними з відповідальних і досить енергоємних агрегатів промислових підприємств, що визначає необхідність застосування для вентиляторів високонадійній і економічної системи електроприводу. Аналіз режимів роботи показує, що в більшості випадків ці режими є змінними і залежать від багатьох факторів. За час роботи вентилятора може мати місце досить широка зміна параметрів витрати і дисперсії. Тому, необхідно забезпечити якомога більшу область економічних режимів, яка, як прийнято в даний час, обмежується зоною з коефіцієнтом корисної дії не менше 0,6 [1].

Під регулюванням режимом роботи ВУ розуміють навмисна зміна подачі і напору вентилятора відповідно до нового режиму роботи системи споживача. Регулювання продуктивності вентиляторів може здійснюватися за такими технологічними схемами: впливом на турбомеханізм (поворот лопаток робочого колеса), впливом на мережу (дроселювання засувкою (шибером)), а також впливу на привід турбомеханізму (зміною швидкості обертання робочого колеса одного з вентиляторів), а також зміною числа одночасно працюючих агрегатів.

1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

1.1 Існуючі технологічні схеми вентиляційних установок

Вентиляційні установки є одними з відповідальних і досить енергоємних агрегатів промислових підприємств, що визначає необхідність застосування для вентиляторів високонадійній і економічної системи електроприводу. Аналіз режимів роботи показує, що в більшості випадків ці режими є змінними і залежать від багатьох факторів. За час роботи вентилятора може мати місце досить широке зміна параметрів витрати і дисперсії. Тому, необхідно забезпечити якомога більшу область економічних режимів, яка, як прийнято в даний час, обмежується зоною з коефіцієнтом корисної дії не менше 0,6 [1].

Під регулюванням режимом роботи ВУ розуміють навмисну зміну подачі і напору вентилятора відповідно до нового режиму роботи системи споживача. Регулювання продуктивності вентиляторів може здійснюватися за такими технологічними схемами: впливом на турбомеханізм (поворот лопаток робочого колеса), впливом на мережу (дроселювання засувкою (шибером)), а також впливу на привід турбомеханізму (зміною швидкості обертання робочого колеса одного з вентиляторів), а також зміною числа що працюють одночасно агрегатів.

Регулювання подачі вентилятора шляхом зміни кута нахилу лопаток застосовують у великих осьових вентиляторах. Як відомо, промисловість випускає осьові вентилятори з механізмом повороту лопатей. За допомогою механізму повороту лопатей можна змінювати кут з нахилу від -10 до +150 °С щодо номінального, при цьому в залежності від марки вентилятора подача може, зміняться в межах 0.6 номінальної.

Питома енергія, що передається потоку середовища в відцентрової машині, істотно залежить від умов входу на робочі лопаті. Закручування потоку, що надходить в робоче колесо, впливає на натиск і при заданій

характеристиці трубопроводу змінює подачу машини. Звідси виникає можливість регулювання впливом на потік, що входять в турбомеханізм, за допомогою лопатевого направляючого апарату. Направляючі апарати слід розміщувати в безпосередній близькості від входу в колесо це дозволяє регулювати подачу до 30%. Тільки в цьому випадку досягається ефективне регулювання. При такому регулюванні характеристика мережі залишається незмінною, а характеристика вентилятора повертається за годинниковою стрілкою.

Зменшення споживаної потужності при регулюванні розглядаються способом визначається заштрихованим ділянкою між лініями N1 і III-III, що підтверджує порівняльну економічність даного методу регулювання відцентрових вентиляторів.

Характеристики ВУ і мережі при регулюванні подачі повітря дроселюванням наведені на рисунку 1.1. При повністю відкритій засувці точка робочого режиму А визначає режим роботи установки, тобто подачу Q_A , напір H_A , потужність N_A, та ККД η_A машини. У разі прикриття дроселя на напірної трубі положення характеристики трубопроводу зміниться і точка А переміститься вліво вгору і займе положення В.

Подальше прикривання дроселя викликає зміщення характеристики трубопровідної системи ще більш вгору, і точка А переміститься в точку С, визначивши нові значення параметрів Q_C, H_C, N_C, η_C. Отже, дросельне регулювання при постійній швидкості обертання вентилятора досягається шляхом введення додаткового аеродинамічного опору в мережу трубопроводів турбомеханізму. Оскільки найбільша подача досягається при повністю відкритому дроселі, дросельне регулювання застосовують тільки з метою зменшення подачі.

З рисунок 1.2 видно, що дроселювання зменшує потужність на валу вентилятора і в той же час підвищує долю енергії, що витрачається при регулюванні; тому воно є не економічним. Так, при регулюванні до подачі, що

дорівнює Q_C напір, непродуктивно витрачаються в дроселі, визначається відрізком $H_{зд}$, а втрачається при цьому потужність буде дорівнює:

$$\Delta N = \frac{\rho g Q_C H_{зд}}{1000 \eta_C}, \qquad (1.1)$$

де ρ - щільність перекачується середовища (повітря), кг/м^3; Q_C – продуктивність вентиляційної станції, м^3/с; $H_{ЗД}$ - натиск витрачаються на подолання опору засувки, м; η – ККД вентиляційної станції.

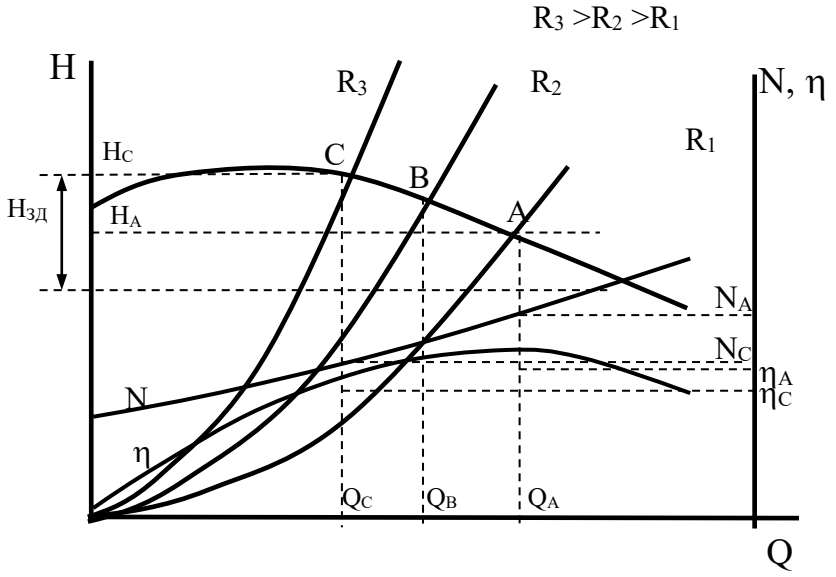


Рисунок 1.1 - Регулювання продуктивності вентилятора дроселюванням

Чим глибше здійснюється процес регулювання дроселюванням, тим більше непродуктивно витрата потужності.

Існує також регулювання напором і продуктивністю включенням і відключенням вентиляторів. Таке регулювання застосовується при ступінчастому споживанні, тобто коли вентиляторна станція працює на великого споживача і витрата змінюється східчасто.

Також регулювання ВУ може виробляється зміною діаметра робочого колеса вентилятора. Вентилятори, що випускаються заводами, мають

номінальний розмір діаметра робочого колеса. В експлуатаційних умовах, для того щоб узгодити роботу вентилятора з характеристиками мережі, в якій він працює, широко використовується спосіб обрізки робочих коліс без зміни форми робочих лопатей. При цьому під обрізанням розуміють зменшення зовнішнього діаметра робочого колеса шляхом обточування його на токарному верстаті.

Перерахунок параметрів вентилятора для обточеного колеса до значення діаметра $D_{об}$ можна з достатнім ступенем точності за формулами подібності:

$$\frac{H_{об}}{H}=\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2;\ \frac{Q_{об}}{Q}=\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2;\frac{N_{об}}{N}=\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^5. \qquad (1.2)$$

де H – натиск вентилятора до обточування колеса, м; $H_{об}$ – натиск створюваний вентилятором після обточування колеса, м; Q - продуктивність вентилятора до обточування колеса, $м^3/с$; $Q_{об}$ – продуктивність вентилятора після обточування колеса, $м^3/с$; N – корисна потужність вентиляційної установки до обточування робочого колеса вентилятора, Вт; $N_{об}$ – корисна потужність вентиляційної установки після обточування робочого колеса вентилятора, Вт; D – діаметр робочого колеса вентилятора до його обточування, мм; $D_{об}$ – діаметр робочого колеса вентилятора після його обточування, мм.

З рівнянь (1.2) випливає, що при зміні діаметра колеса відношення квадрата діаметра колеса до натиску або подачі є величина постійна.

$$\frac{D^2}{H}=\frac{D_{об}^{\ 2}}{H_{об}}=k_1;\ \frac{D^2}{Q}=\frac{D_{об}^{\ 2}}{Q_{об}}=k_2.$$

З останніх виразів випливає: $k_1H=k_2Q$. Позначивши $\frac{k_2}{k_1}=k$, отримаємо: $H=kQ$.

Отже, точки, що задовольняють рівняння пропорційності (1.2), розташовуються на прямих, що проходять через початок координат (рисунок 1.2).

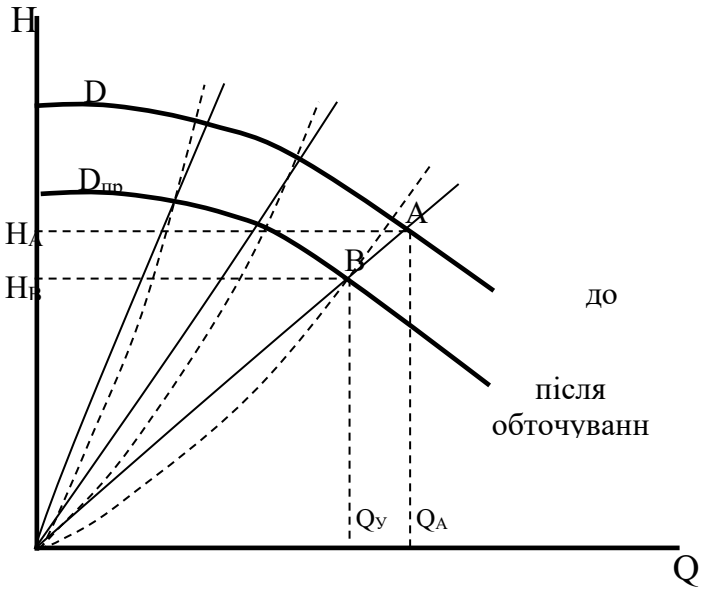


Рисунок 1.2 - Зміна напірно-видаткової характеристики вентилятора в залежності від діаметра робочого колеса

Для робочих коліс відцентрових вентиляторів при коефіцієнті швидкохідності $n_s < 150$ більш точний результат виходить при перерахунку напірної характеристики за формулами:

$$\frac{Q_{об}}{Q} = \frac{D_{об}}{D}. \qquad (1.3)$$

З останнього рівняння випливає: $H = kQ^2$, тобто режимні точки при обточці розташовуються на параболах з вершиною в центрі координат (рисунок 1.3, пунктирні лінії). Для визначення оптимального значення ККД при обточці робочого колеса з достатнім ступенем точності можна скористатися формулою Муді:

$$\eta_{об} = 1 - (1 - \eta)\left(\frac{D}{D_{об}}\right)^{0.45}. \qquad (1.4)$$

Істотний економічний ефект може бути досягнутий при регулюванні подачі зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора. На рисунок 1.4 показано положення напірних характеристик при $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$. Так як положення засувки залишається незмінним, загальний опір трубопроводу не змінюється і положення його характеристики буде колишнім. При зменшенні частоти обертання робочого колеса точка робочого режиму А буде переміщуватися за характеристикою Q-H, подача і напір вентилятора будуть зменшуватися.

Зменшення швидкості обертання з метою регулювання продуктивності має сенс тільки до певної величини, при якій напір турбомеханізму стає дорівнює нулю (точка D рисунок 1.3), при цьому продуктивність вентилятора теж падає до нуля. Потужність і ККД можуть бути визначені з кривих потужності і ККД за наявними значеннями подачі QA, QB.

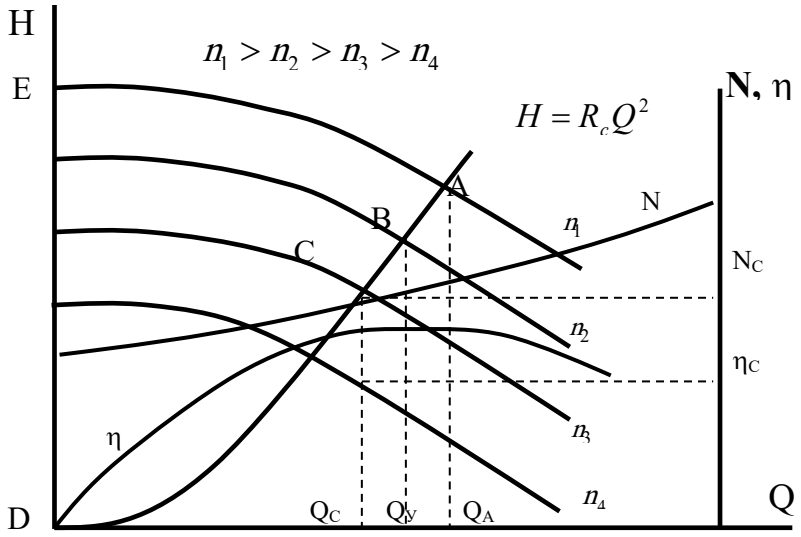
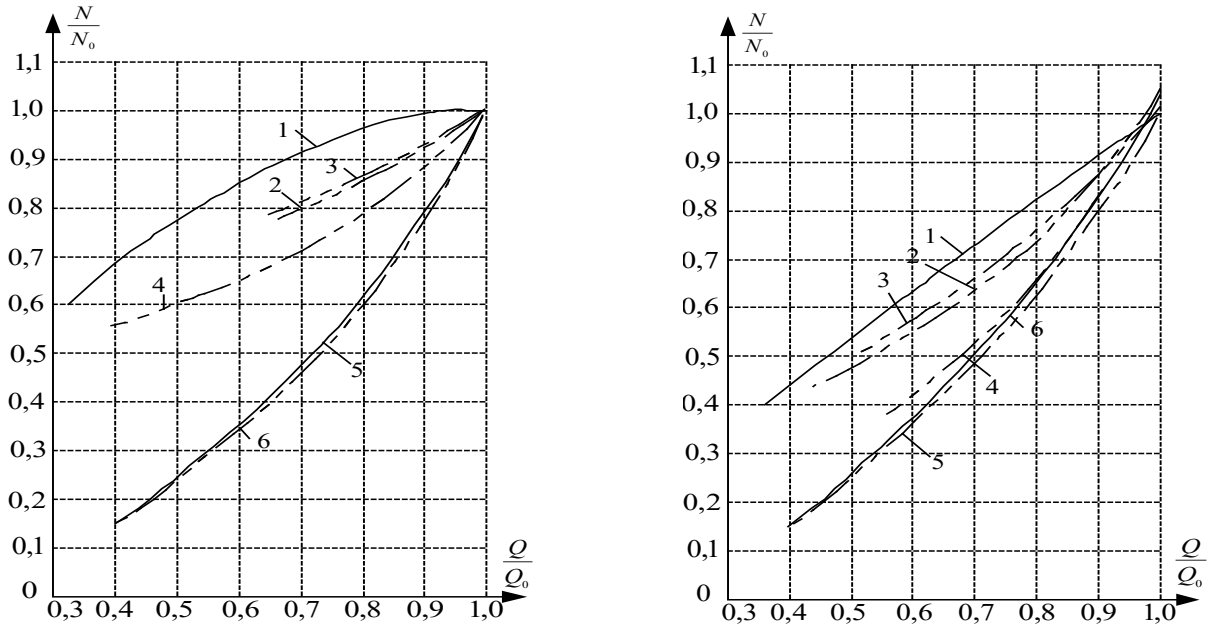


Рисунок 1.3 - Регулювання продуктивності вентилятора зміною частоти обертання

На рисунку 1.3 це показано для частоти обертання N. Регулювання зміною частоти обертання робочого колеса є набагато більш ефективним і економічним способом, оскільки при цьому відсутня невиробнича втрата потужності.

Співставлення ефективності різних способів регулювання наочно показано на графіках рисунку 1.4.



а - вентилятор ЦН-53 з лопатками, загнутими назад; б - вентилятор ЦВ-55 з лопатками, загнутими вперед; 1 - дросель; 2 - спрощений направляючий апарат; 3 - спрощений осьовий направляючий апарат; 4 - осьовий направляючий апарат; 5 - частота обертання робочого колеса вентилятора; 6 - реостат в ланцюзі ротора електродвигуна

Рисунок 1.4 - Зміни споживаної потужності при різних способах регулювання

За витратами енергії на привід у режимах регулювання при однакових подачах зазначені способи не рівноцінні.

Для будь-яких типів вентиляторів найгіршим способом регулювання є дросельне, що дає найбільшу витрату енергії. З графіків видно, що при неглибокому регулюванні подачі направляючим апаратом на вході або муфтою при $n_{дв} = \text{const}$ майже одно ефективні. При глибокому регулюванні, з точки енергоспоживання, регулювання частотою обертання робочого колеса вентилятора найбільш раціональний спосіб.

1.2 Опис функціональної схеми вентиляційних установок

Лабораторний комплекс моделі вентиляторної установки призначений для вивчення режимів роботи вентиляторів; процесів, які відбуваються в трубопровідній пневмомережі, принцип роботи контрольно-вимірювальної апаратури (манометрів, витратомірів, вольтметрів, амперметрів), аеродинамічного обладнання (електрифікованої засувки).

Лабораторний стенд для дослідження режимів роботи ВУ включає вентилятор, з приводним двигуном АД1; електрифіковану засувку Z1 на виході вентилятора; манометр Д1 і датчик тиску НЭ1 на виході вентилятора (перед засувкою), витратомір ДСС (самописець) і датчик витрати (з токовим виходом).

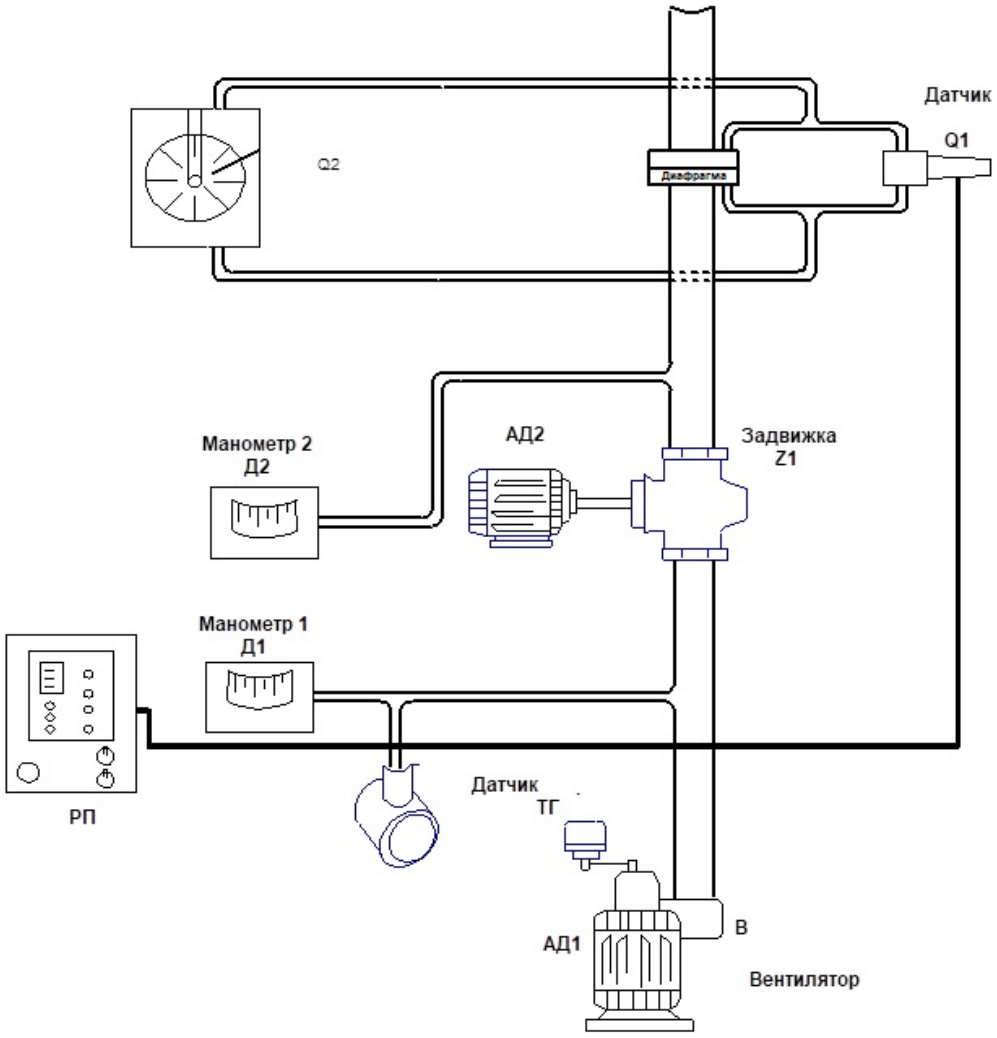


Рисунок 1.5 Функціональна схема аеродинамічній мережі

Вентиляторна установка працює на видувши у вентиляційну систему. У силовому ланцюгу АД1 встановлено однофазний перетворювач частоти ПЧ з номінальною вхідною напругою 220В. Контроль струму, напруги і споживаної потужності системи ПЧ-АД виконується амперметром А1, вольтметром U1, ваттметром W1 відповідно. Контроль швидкості обертання АД1 виконується датчиком швидкості PS. Датчик струму ДТ1 і напруги ДН1 призначені для електронного зняття миттєвих значень струму і напруги, які діють в ланцюгу АД1.

Розміщення вентиляторного, пневматичного, силового обладнання, контрольно-вимірювальної приладів та органів управління зображені на схемі лицьової панелі стенду (рисунок 1.6).

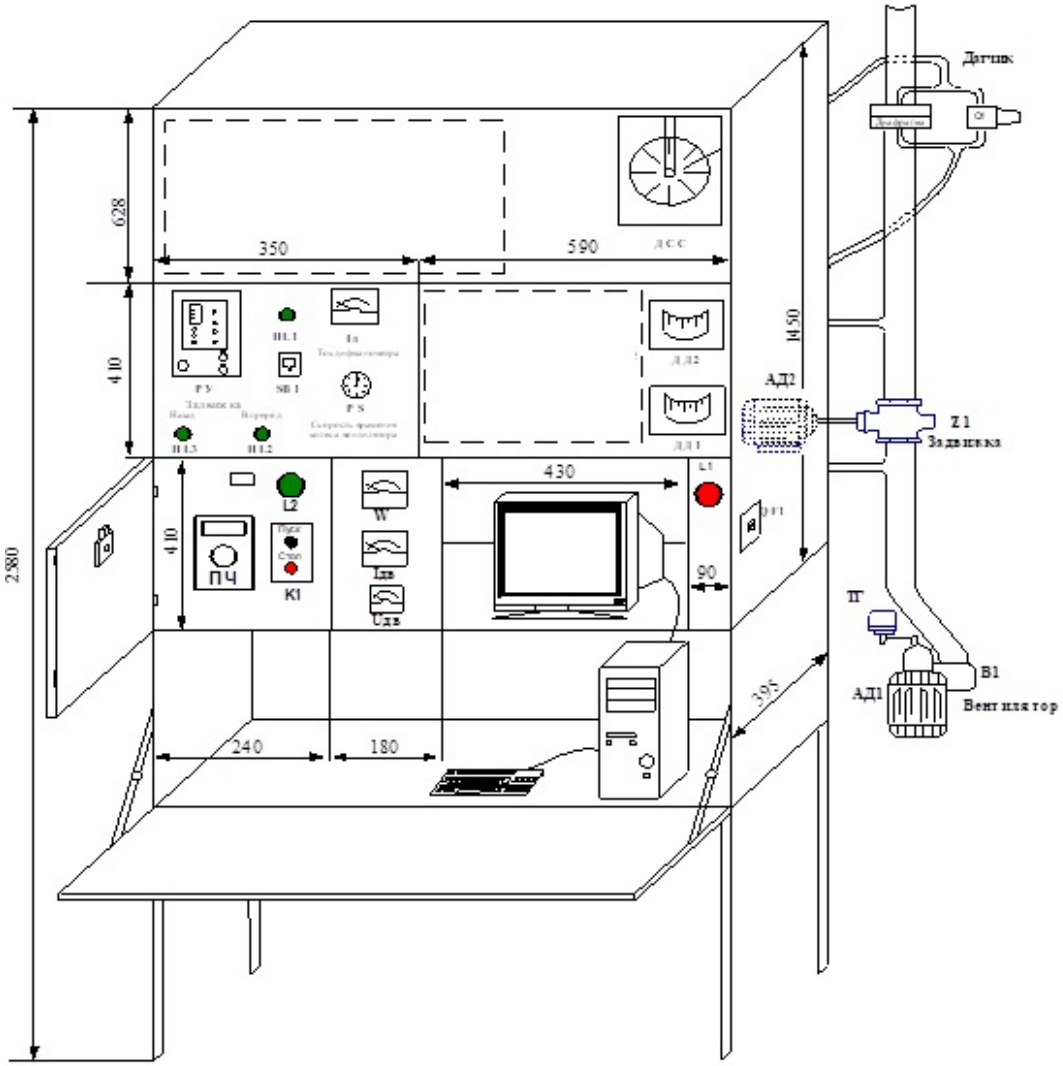


Рисунок 1.6 - Загальний вигляд стенду з боку лицьової панелі

Сигнали з електронних датчиків НЭ1, ДТ1, ДН1, ТГ, Q1 надходять на контролер інформаційного обміну, далі на перетворювач інтерфейсу зв'язку і потім на ЕВМ, за допомогою якої здійснюється оперативне опитування датчиків, обробка даних щодо обраного алгоритму функціонування і командами оператора.

Відцентрові вентилятори широко поширені в промисловості та комунальному господарстві для вентиляції будівель, душування робочих місць, відсмоктування шкідливих речовин у технологічних процесах.

У теплоенергетичних установках відцентрові вентилятори застосовуються для подачі повітря в топкові камери парогенераторів, переміщення паливних сумішей у системах пилоприготування, відсмоктування димових газів і транспортування їх в атмосферу.

Відцентрові вентилятори.

Відцентрові вентилятори - машини для переміщення чистих газів і сумішей газів з дрібними твердими матеріалами, що мають ступінь підвищення тиску не більше 1,15 при щільності потоку 1,2 кг/м3. Характерною ознакою відцентрового вентилятора є підвищення тиску за рахунок роботи відцентрової сили газу, що рухається в робочому колесі від центру до периферії [3]. При незначному підвищенні тиску газу зміною його термодинамічного стану можна нехтувати. Отже, до відцентрових вентиляторів застосовна теорія машин для пересування неспалюваного середовища [3]. Конструктивний пристрій відцентрового вентилятора найпростішого типу показано на рисунок 1.7.

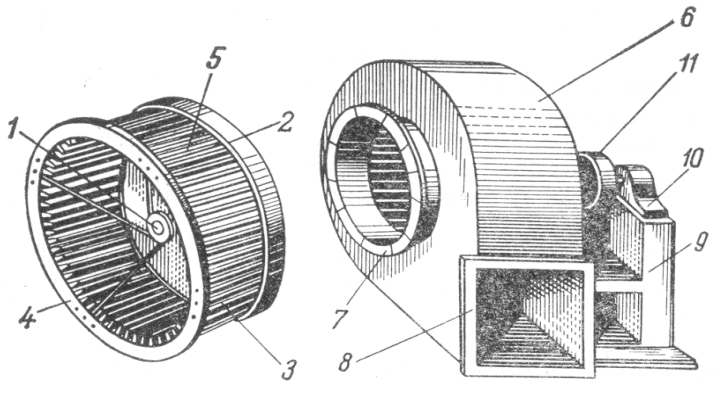


Рисунок 1.7 - Відцентровий вентилятор

Робоче колесо вентилятора складається з литої ступиці 1, жорстко пов'язаної з основним диском 2. Робочі лопатки 3 кріпляться до основного диска 2 і до переднього диска 4, що забезпечує необхідну жорсткість лопатевої решітки 5. Корпус 6 вентилятора кріпиться до литої або зварної станини 9, на якій розташовуються підшипники 10, що несуть вал вентилятора з посадженим на нього робочим колесом; 7 і 8 - фланці кріплення всмоктуючої і напірної труб, 11 - шків приводу вентилятора.

Відцентрові вентилятори випускаються заводами в певних геометричних серіях. Кожна серія характеризується сталістю ставлення схожих розмірів; розміри окремих машин і їх робочі параметри в серії різні.

Геометрична форма цієї серії представляється аеродинамічною схемою, де всі розміри вентилятора дані у відсотках від величини зовнішнього діаметру робочого колеса (рисунок 1.8).

Крім напору, вентилятор характеризується об 'ємною подачею Q, повною ηі статичним $\eta_{ст}$ККД і потужністю N. При зміні частоти обертання валу вентилятора і температури подаваного газу всі ці величини змінюються.

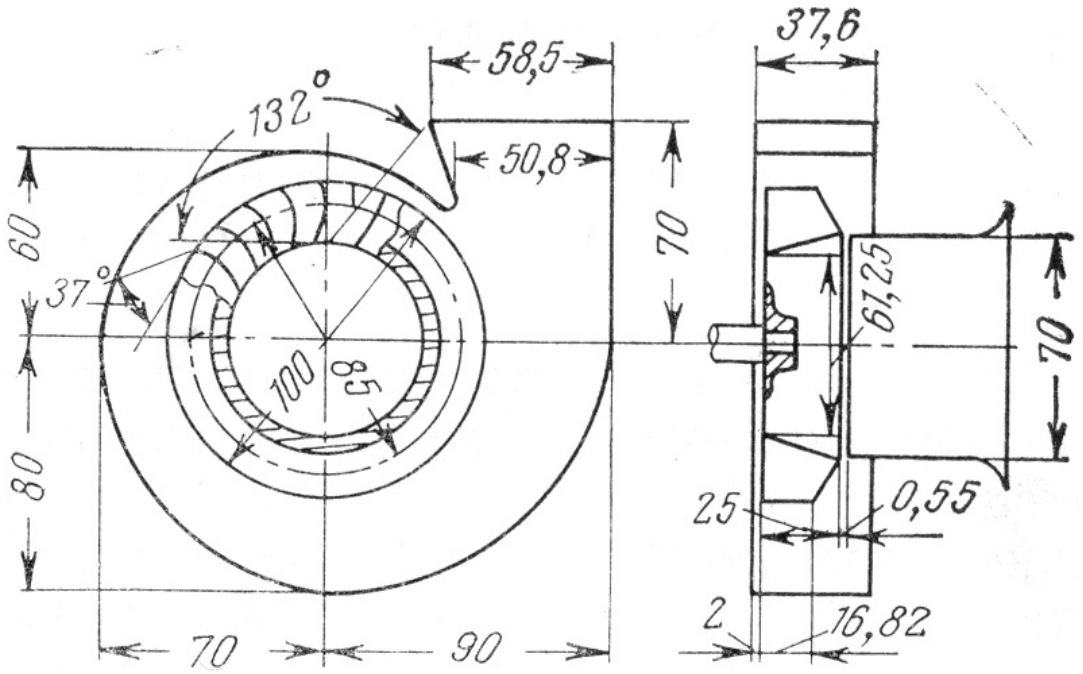


Рисунок 1.8 - Аеродинамічна схема вентилятора ЦКТИ-07-37

Подача найбільших відцентрових вентиляторів, використовуваних для провітрювання шахт, досягає в даний час $1{,}8 \cdot 10^6$ м^3 / год, у станційній теплоенергетиці - $900 \cdot 10^6$ м^3 / год.

Підставою для вибору вентилятора є найбільші подача Q і напір H, які він повинен створювати, працюючи в заданій системі повітрово або газопроводів. Маючи на увазі помилки, можливі в розрахунку втрат напіру в системі, слід вводити гарантійні запаси в робочих параметрах і вибирати вентилятор на подачу 1, 05Q і напір 1 < 1H (дутьєві вентилятори і димососи вибирають на подачу 1, 1Q і натиск 1, 2H.)

Каталожні дані стосуються звичайних умов ($T = 293$ К, $H_0 = 760$ мм рт. ст.), тому вибір за каталогом проводять на подачу $Q_к = 1{,}05Q$ і натиск $H_к = 1.1H\rho_к / \rho$, де $\rho_к$ - щільність повітря (газу) за нормальних умов.

Потужність приводного двигуна вентилятора приймається із запасом, що враховує можливе відхилення режиму від розрахункового, зменшення ККД вентилятора і старіння ізоляції двигуна в процесі тривалої експлуатації:

$$N_{дв} = m\frac{\rho QHg}{1000\eta}, \qquad (1.5)$$

де m - коефіцієнт запасу потужності $m = 1{,}05 \div 1{,}2$ (тим більше, чим менша потужність на валу вентилятора); g - сила тяжкості, м/с2, g = 9.81; Q - продуктивність вентилятора, м3/с2; H - напір вентилятора, м; - щільність перекачуваного середовища, кг/м^3; - КПД вентилятора.

Характеристиками вентиляторів називають графіки залежностей напорів, потужності на валу і ККД від об 'ємної подачі.

Характеристики отримуються безпосереднім випробуванням вентиляторів при постійній частоті обертання і будуються для повітря з $\rho = 1{,}2$ кг/м^3.

При перерахунку характеристик, побудованих для стандартних умов при $H_0 = 760$ мм рт. ст., $T = 293$ К и $\varphi = 50\%$, на натурні слід мати на увазі, що подача, напір і ККД залишаються незмінними, а тиск і потужність на валу змінюються пропорційно щільності газу, що подається вентилятором, тобто:

$$p = p_0 \frac{\rho}{1{,}2} \text{ и } N = N_0 \frac{\rho}{1{,}2}.$$

На рисунок 1.9 і 1.10 наведено типові форми характеристик відповідно при $n = \text{const}$ и $n = \text{var}$.

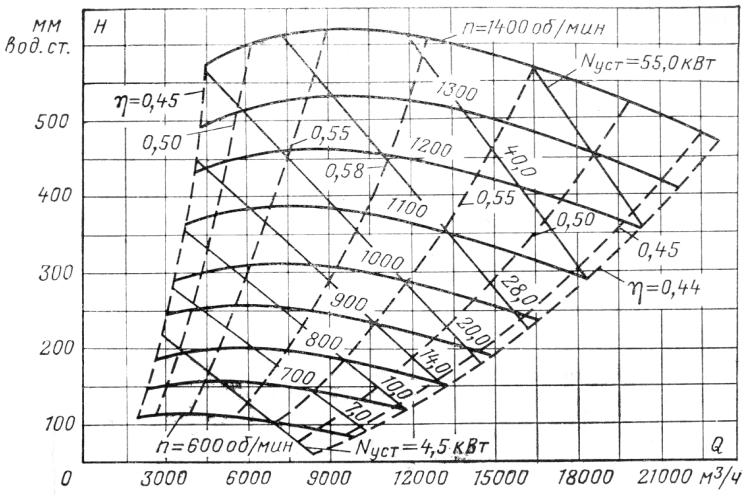


Рисунок 1.9 - Розмірна характеристика вентилятора при $n = \text{const}$

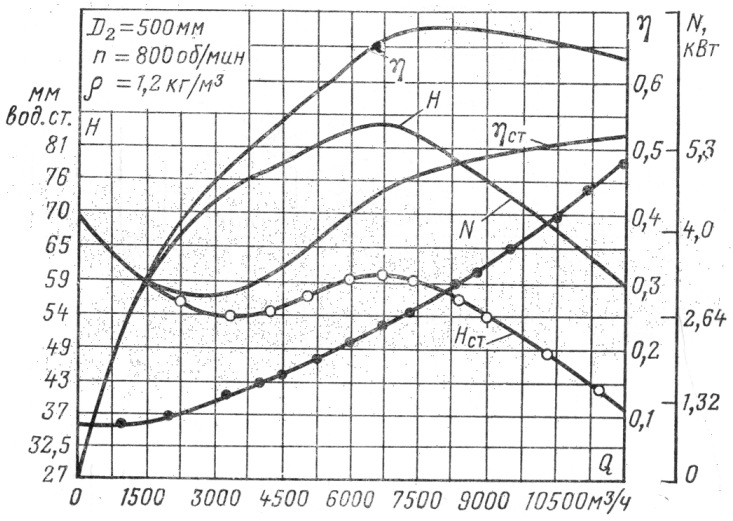


Рисунок 1.10 - Розмірна характеристика вентилятора ВВД №11 $n = \text{var}$

У вентиляторобудуванні широко застосовуються безрозмірні характеристики, загальні для цілої серії геометрично подібних машин.

На рисунку 1.11 показана безрозмірна характеристика вентиляторів серії Ц4-76, побудована за результатами випробування моделі з $D_2 = 500$ мм при $n = 1200$ об/мин.

Безрозмірні характеристики дуже зручні для розрахунку робочих параметрів вентилятора з даної серії, що має діаметр робочого колеса D_2 і працює при n, об/хв. Розрахунок ведеться за формулами [3]:

$$Q = \overline{Q} \cdot 0{,}785 D_2^2 u_2;\ H = \overline{H} u_2^2;\ N = \overline{N} \rho \cdot 0{,}785 D_2^2 u_2^2;$$

$$H_{ст} = \overline{H}_{ст} u_2^2;\ p = \overline{p} \rho u_2^2;\ \eta = \overline{\eta};\ u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}.$$

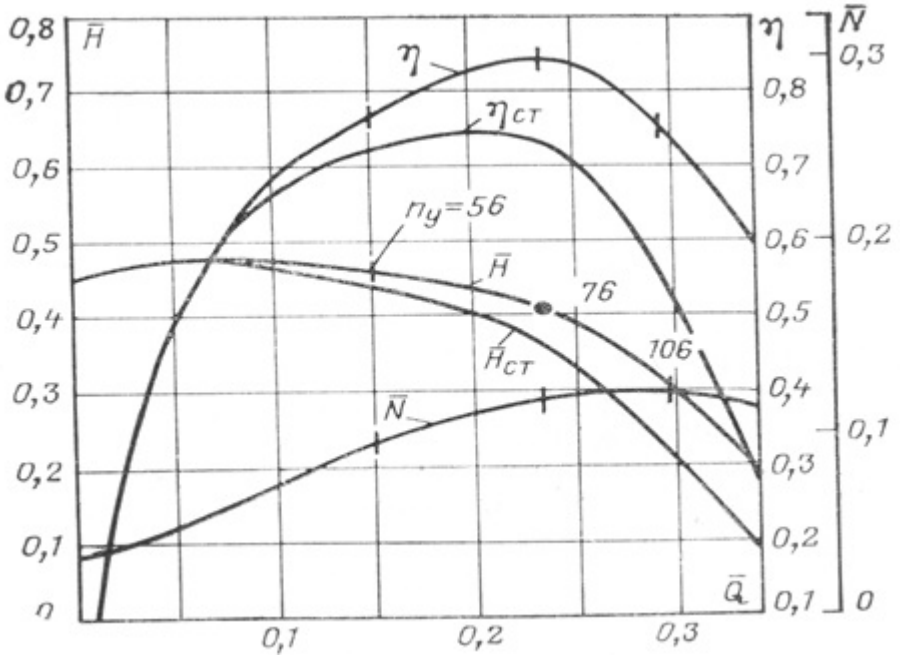


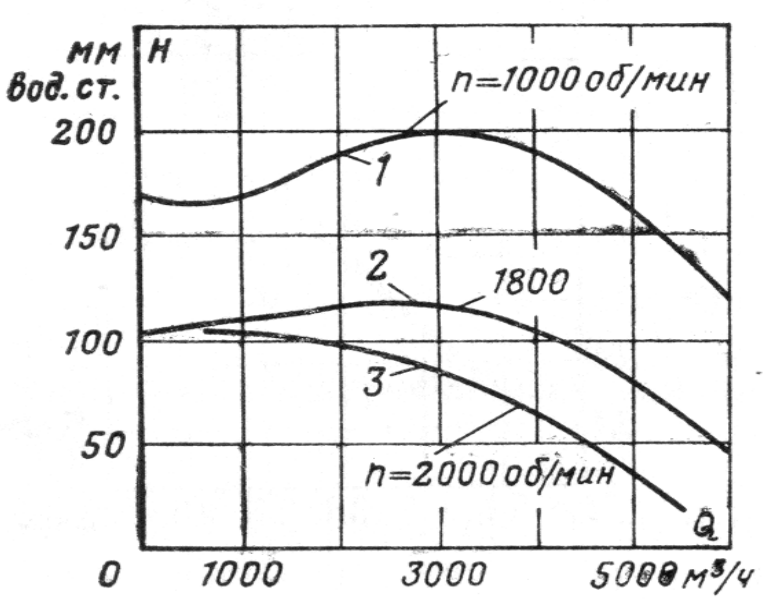
Рисунок 1.11 - Безрозмірна характеристика вентилятора Ц4-76

Форми характеристик вентиляторів визначаються аеродинамікою проточної порожнини їх і в основному ставленням D_2 / D_1, вихідним кутом лопаті $\beta_{2л}$ і формою її профілю. На рисунку 1.12 показано три типи характеристик тиску вентиляторів. З них цікава характеристика сідлоподібної

форми 1, властива вентиляторам з великими кутами $\beta_{2л}$ і малою радіальною протяжністю лопатей (мале D_2 / D_1).

ГОСТ і відомчі вказівки забороняють експлуатацію вентиляторів при $\eta < 0{,}9\eta_{макс}$. Ця вимога виключає з експлуатації початкову ділянку сідлоподібної характеристики при малих подачах.

Робота вентиляторів із сідлоподібною формою характеристики тиску на мережу зі значним статичним напором у низці випадків є нестійкою. Ця обставина вказує на небажаність застосування вентиляторів із сідлоподібною формою характеристики [3].



1 - вентилятор СТД №8, 2 - вентилятор Ц6-46 і №4, 3 - вентилятор ВРН №4

Рисунок 1.12 - Характеристики вентиляторів:

Особливого значення набуває питання регулювання роботи вентиляторної установки. На її режим роботи впливає зміна режиму роботи споживача (зміна газовиділення, відхилення фактичних значень параметрів від розрахункових, розвиток і розширення шахтного поля). Основними параметрами, що визначають режим провітрювання, є витрата повітря Q, $м^3/с$,

аеродинамічний опір R, кг $с^2/м^5$, і втрата тиску (дисперсія) в магістралі H, $кг/м^2$. залежність між цими величинами виражається рівнянням:

$$H_м = R \cdot Q^2, \qquad (1.6)$$

де R - опір трубопроводу, $с^2/м^5$.

Величина R визначається геометричними і конструктивними елементами мережі: довжиною, поперечним перерізом, периметром, видом кріплення гірських виробок, схемою їх з 'єднання, формою і кількістю місцевих опорів тощо. Основною причиною зміни параметрів мережі є деформація виробок внаслідок гірничого тиску. Вплив деформації виробок на опір може бути досить значним. Достатньо вказати, що при зменшенні площі поперечного перерізу на 5% опір збільшується в 1,13 рази, на 10% - в 1,26 рази, на 15% - в 1,41 рази і на 20% - 1,58 рази [2].

Вентиляторні установки є одними з відповідальних і найбільш енергоємних агрегатів шахт, що визначає необхідність застосування для вентиляторів високонадійної та економічної системи електроприводу. Аналіз режимів роботи показує, що в більшості випадків ці режими є змінними і залежать від багатьох факторів. За час роботи вентилятора може мати місце досить широка зміна параметрів витрати і дисперсії. Тому, необхідно забезпечити можливо велику область економічних режимів, яка, як прийнято в даний час, обмежується зоною з коефіцієнтом корисної дії не менше 0,6 [1].

Діаметральний вентилятор, схема якого приведена на рисунку 1.13, складається з колеса барабанного типу із загнутими вперед лопатками і корпусу, що має на вході патрубок і на виході дифузор. Відомі діаметральні вентилятори як з направляючим одне і багаторічним апаратом, розташованим всередині робочого колеса, так і без нього.

Оптимальною компонувальною особливістю таких вентиляторів є можливість виконання їх коліс з відносною шириною, що значно перевищує

ширину коліс радіальних вентиляторів. Застосування таких коліс дозволяє значно збільшити подачу.

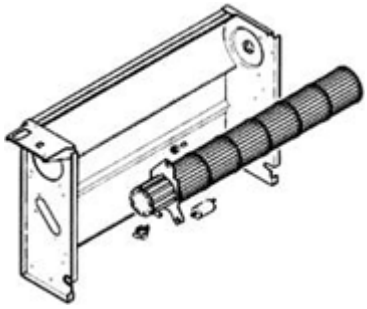


Рисунок 1.13 - Діаметральний вентилятор загальний вигляд

У вентиляторах без направляючого апарату робоче колесо може бути виконане у вигляді двох дисків, до яких приклепані (або приварені) лопатки з листової сталі. При цьому підшипники, в яких знаходиться вал, розміщені з обох сторін корпусу, внаслідок чого забезпечується висока жорсткість всієї конструкції. Це особливо важливо при колесах великої ширини.

При наявності направляючого апарату робоче колесо нагадує конструкцію робочого колеса радіального вентилятора низького тиску з одностороннім всмоктуванням: лопатки одним кінцем кріпляться до диска, встановленого на валу, іншим до кільця. Напрямний апарат, що складається з однієї або декількох лопаток, закріплюється на бічній стінці корпусу, протилежній диску робочого колеса. Основною відмінною особливістю діаметральних вентиляторів є великі значення коефіцієнта повного тиску, які досягають 3 і більше, Причиною цього, як вже зазначалося, є дворазове (діаметральне) проходження потоку через одну і ту ж решітку обертового колеса. Високі значення коефіцієнтів тиску і подачі порівняно з їх значеннями для вентиляторів інших типів дозволяють діаметральним вентиляторам мати менші габарити і швидкості обертання робочого колеса. Разом з тим вельми складний характер перебігу потоку всередині корпусу, що призводить до великої нерівномірності поля швидкостей, обумовлює значні втрати енергії. У зв 'язку з цим максимальні значення повного ККД діаметральних вентиляторів

знаходяться в межах 0,56 - 0,61. Ефект від застосування направляючих апаратів досягається головним чином за рахунок підвищення енергоємності вентилятора. (Під енергоємністю в даному випадку слід розуміти корисно витрачену потужність вентилятора). Це відбувається в результаті стабілізації та обмеження вихорової зони в заданому місці всередині корпусу, а також внаслідок підвищення ефективності роботи "відцентрової" частини робочого колеса.

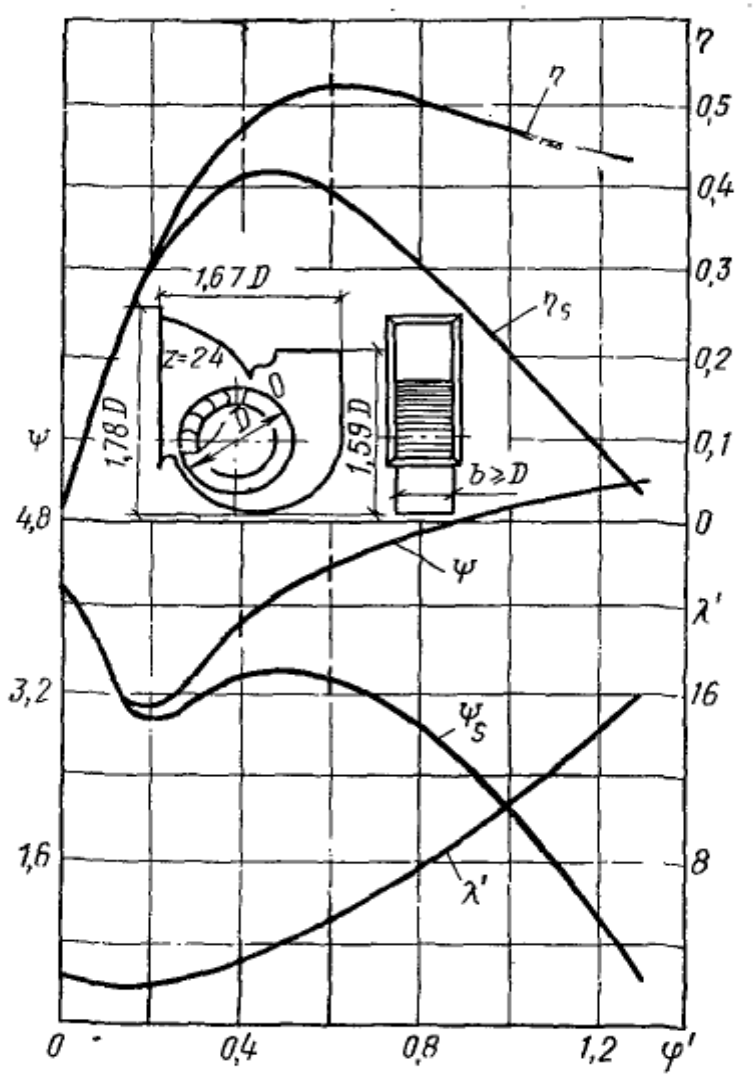


Рисунок 1.14 - Характеристика та схема діаметрального вентилятора

За допомогою напрямних апаратів різних типів, встановлених всередині робочого колеса, а також шляхом зміни форми корпусу або взаємного розташування елементів корпусу і НА можна домогтися зміни аеродинамічної характеристики діаметрального вентилятора. Діаметральні вентилятори

зазвичай працюють у змінних умовах, тому необхідно регулювати режими їх роботи. Це здійснюється різними способами. Наприклад, регулювання можна проводити шляхом повороту направляючого апарату. Це забезпечує отримання у одного і того ж вентиляційного агрегату великих коефіцієнтів тиску в широкому діапазоні значень коефіцієнта подачі.

У досліджуваній вентиляторній установці використовується відцентровий вентилятор типу ВЧ-2005/12, паспортні дані якого наведені в таблиці 1.1. На рисунку 1.15 наведені напірно-видаткова та енергетична характеристики цього вентилятора.

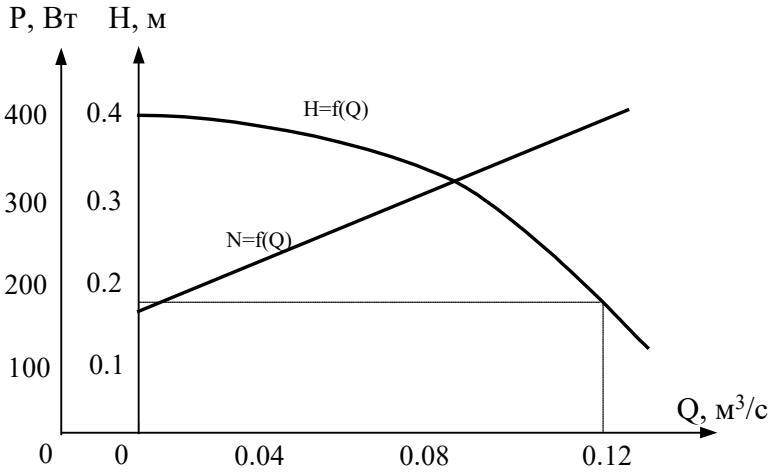


Рисунок 1.15 - Паспортні напірно-видаткова і енергетична характеристики вентилятора ВЧ-2005/12

Таблиця 1.1 - Паспортні дані вентилятора ВЧ-2005/12

Подача, $м^3$/год	Номінальний тиск, кгс/$м^2$	Частота обертання, об/хв	Максимальний тиск, кгс/$м^2$	Потужність, Вт
432	170	2750	380	400

Переважна більшість вентиляторів оснащена нерегульованим електроприводом з асинхронними або синхронними двигунами. Завдяки високим енергетичним показникам за коефіцієнтом потужності, ККД і

підвищеної надійності внаслідок значного повітряного зазору між статором і ротором синхронні двигуни широко застосовуються в потужних установках з тривалим режимом роботи.

Асинхронні двигуни з фазним ротором також застосовуються на вентиляторних установках. Для управління колами ротора застосовуються роторні магнітні станції.

В електроприводах вентиляторних установок залежно від потужності використовуються різні типи електродвигунів: при споживаній потужності до 100 - 150 кВт - низьковольтні асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором; при потужності від 150 до 350 кВт - низьковольтні синхронні двигуни напругою 380 В; при потужності понад 350 кВт - високовольтні синхронні двигуни

Пускові характеристики синхронних двигунів, що працюють в режимі асинхронного двигуна з біличною кліткою на роторі, повинні забезпечувати нормальні прискорення. У механічній характеристиці особливо важливими є два значення моменту: пусковий момент для забезпечення зворушення приводу з місця і вхідний момент, тобто момент при швидкості, що становить 0,95 від синхронної. Для сприятливого входження ротора в синхронізм вхідний момент повинен бути більше моменту опору. Тільки в цьому випадку подачею збудження можна забезпечити успішну синхронізацію двигуна.

Для приводу з великими пусковим і вхідним моментами, а також з навантаженням, що різко коливається, краще використовувати двигуни з випереджаючим коефіцієнтом потужності близько 0,8.

Синхронні двигуни виготовляються з пусковим моментом від 0,5 до 2-разового номінального.

Пусковий струм статора для різних типів синхронних двигунів у 5 - 8 разів перевищує номінальний, причому швидкохідні двигуни мають більші кратності пускового струму, ніж тихохідні.

При асинхронному пуску синхронного двигуна в обмотці збудження ротора, замкнутої на розрядний опір, наводиться ЕДС, яка викликає змінний

струм по амплітуді, приблизно рівний номінальному постійному струму збудження. Величина струму нерухомого ротора мало залежить від величини розрядного опору, оскільки при частоті струму 50 Гц опір обмотки ротора (переважно реактивний) у багато разів перевершує розрядний опір. Під час прискорення двигуна падає ЕДС ротора і разом з частотою зменшується також реактивний опір, тому струм ротора залишається майже незмінним.

Пусковий струм великих синхронних двигунів повинен бути обмежений для зменшення падіння напруги в живильній мережі або для зменшення динамічних зусиль в лобових частинах обмотки статора і в деяких випадках для обмеження пускового моменту.

Обмеження струму синхронних двигунів значно здорожує установку, оскільки вимагає додаткових реакторів, резисторів або автотрансформаторів, а також апаратуру.

Падіння напруги на шинах живлення при зазвичай застосовуваному суміщеному силовому та освітлювальному навантаженнях допускається до величини 90% і при рідкісних короткочасних пусках може бути допущено до 85% номінальної напруги.

Основні вимоги для електроприводу:

– суттєва економія енергії;

– глибоке регулювання продуктивності при його тривалій роботі;

– автоматичне/ручне управління повітродувкою з метою стабілізації тиску у вихідному трубопроводі;

– зниження трудомісткості обслуговування технологічного обладнання;

– зменшення зносу комутаційної апаратури;

– надійний захист від аварійних режимів;

– забезпечення роботи повітродувки переважно в діапазоні швидкостей, що відповідають мінімальним питомим витратам електроенергії на подачу повітря;

– забезпечення роботи повітродувки за заданою програмою з інтервалом роботи індивідуально для кожної повітродувки;

– плавний пуск електродвигуна до необхідного рівня і подальшим його регулюванням визначеною вбудованою системою регулювання;

– облік (інформаційний) споживаної електричної енергії електродвигуном (електродвигунами);

– облік часу роботи електроприводу;

– заборона підключення несправної повітродувки.

Реальну напірну характеристику вентилятора з достатнім ступенем точності можна уявити у вигляді апроксимованих аналітичних залежностей.

Характеристика $Q-H$ вентилятора з максимумом описується тричленом другого ступеня [4]:

$$H = A_2\nu^2 + B_2\nu Q + C_2Q^2. \qquad (1.7)$$

Якщо характеристика $H-Q$ вентилятора полога, то вираз для напірної характеристики має вигляд квадратичної параболи:

$$H = A_2\nu^2 + C_2Q^2 \text{ або } H = H_0\nu^2 - R_в Q^2. \qquad (1.8)$$

Потужність, що підводиться до валу відцентрової машини, дорівнює:

$$P = A_3\nu^2 Q + B_3\nu Q^2 + D_3\nu^3, \qquad (1.9)$$

де у виразах (1.7) - (1.9) $\nu = \omega/\omega_н$ - відносна швидкість обертання робочого колеса вентилятора; $\omega_н$ - номінальна швидкість обертання вентилятора; $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ - коефіцієнти апроксимації, що залежать від конструктивних особливостей турбомеханізму і визначаються за паспортними

характеристиками вентиляторів; H_0 - напір, що розвивається вентилятором при нульовій подачі; $R_в$ - внутрішній опір вентилятора.

Корисна потужність турбомеханізму дорівнює:

$$P_п = \frac{\rho g Q H}{1000}, \tag{1.10}$$

де ρ - щільність середи, кг/м^3; Q - подача вентилятора, м^3/с; H - напір вентилятора, м; g - прискорення вільного падіння, $g = 9.81$ м/с^2.

З урахуванням (1.7) корисна потужність вентилятора буде:

$$P_п = \frac{\rho g}{1000} A_2 \nu^2 Q + B_2 \nu Q^2 + C_2 Q^3. \tag{1.11}$$

Коефіцієнт корисної дії турбомеханізму, рівний відношенню корисної потужності $P_{пол}$ до підвідної з боку валу турбомеханізму P, має вигляд:

$$\eta_{тм} = \frac{P_п}{P_{пот}} = \frac{\rho g}{1000} \frac{A_2 \nu^2 Q + B_2 \nu Q^2 + C_2 Q^3}{A_3 \nu^2 Q + B_3 \nu Q^2 + D_3 \nu^3}. \tag{1.12}$$

Для нерегульованого по швидкості агрегату (при $\nu = 1.0$):

$$\eta_{тм} = \frac{\rho g}{1000} \frac{A_2 Q + B_2 Q^2 + C_2 Q^3}{A_3 Q + B_3 Q^2 + D_3}. \tag{1.13}$$

Для отримання характеристик конкретних турбомеханізмів, описаних з деяким наближенням виразів (1.7) - (1.9), (1.11), коефіцієнти апроксимації $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ визначаються за паспортними характеристиками цих машин за трьома точками для $\nu = 1.0$:

– $Q = 0,\ H = H_0,\ P = P_0;$

– $Q = Q_1,\ H = H_1,\ P = P_1;$

– $Q = Q_2,\ H = H_2,\ P = P_2,$

де H_0 - напір, що розвивається вентилятором при нульовій подачі;

P_0 - потужність холостого ходу, що витрачається на покриття втрат потужності, обумовлених циркуляційними потоками в робочому колесі вентилятора, дисковим тертям в ущільненнях і підшипниках машини.

За відомими робочими параметрами турбомашини складемо систему рівнянь, які описують $H - Q$ характеристики вентилятора:

$$\begin{cases} H_0 = A_2 \nu^2; \\ H_1 = A_2 \nu^2 + B_2 \nu Q_1 + C_2 Q_1^{\ 2}; \\ H_2 = A_2 \nu^2 + B_2 \nu Q_2 + C_2 Q_2^{\ 2}. \end{cases} \tag{1.14}$$

Рішення системи (1.14), дозволило визначити коефіцієнти апроксимації напірно-видаткової характеристики вентилятора:

$$A_2 = H_0;$$

$$B_2 = \frac{H_1 Q_2}{Q_1(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_2 Q_1}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_0(Q_2 + Q_1)}{Q_1 Q_2}; \tag{1.15}$$

$$C_2 = \frac{H_2}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_1}{Q_1(Q_2 - Q_1)} + \frac{H_0}{Q_1 Q_2}.$$

Аналогічним чином складається система рівнянь, що описують $P - Q$ характеристики вентилятора:

$$\begin{cases} P_0 = D_3\nu^3; \\ P_1 = A_3\nu^2 Q_1 + B_3\nu Q_1^2 + D_3\nu^3; \\ P_2 = A_3\nu^2 Q_2 + B_3\nu Q_2^2 + D_3\nu^3. \end{cases} \quad (1.16)$$

Рішення системи (1.16), дозволило визначити коефіцієнти апроксимації енергетичної характеристики вентилятора:

$$D_3 = P_0;$$

$$A_3 = \frac{P_2 Q_1}{Q_2(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_1 Q_2}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_0(Q_1 + Q_2)}{Q_1 Q_2}; \quad (1.17)$$

$$B_3 = \frac{P_1}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_2}{Q_2(Q_1 - Q_2)} + \frac{P_0}{Q_1 Q_2}.$$

У таблиці 1.2 наведено значення апроксимаційних коефіцієнтів для досліджуваного відцентрового вентилятора.

Таблиця 1.2 Значення коефіцієнтів апроксимації для напірної та енергетичної характеристик вентилятора

Тип вентилятора	H-Q характеристика			P-Q характеристика		
	A_2	$У_2$	C_2	A_3	$У_3$	D_3
2005/12	0.38	1.694	-28.704	2.722103·	1.481104·	160

1.3 Аналіз характеристик вентилятора при зміні його швидкості обертання

Підстановка виразів (1.15), (1.17) рівняння (1.7), (1.9), (1.11), (1.12) дає можливість розрахувати параметри вентилятора при будь-якому значенні відносної швидкості обертання робочого колеса турбомеханізму.

Роботу одиночного вентилятора на аеродинамічну мережу з протитиском можна описати системою рівнянь виду:

$$\begin{cases} H = A_2\nu^2 + B_2\nu Q + C_2 Q^2; \\ H = R_c Q^2, \end{cases} \tag{1.18}$$

де R_c - аеродинамічний опір мережі.

Рішення системи (1.18) дозволило отримати залежність продуктивності вентилятора від зміни швидкості його обертання:

$$Q = \frac{-B_2\nu - \sqrt{B_2^2\nu^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2\nu^2 - H_c)}}{2(C_2 - R_c)}. \tag{1.19}$$

В 1.16 наведено криві продуктивності вентилятора типу ВЧ-2005/12 з коефіцієнтами апроксимації $A_2 = 0.38$, $B_2 = 1.694$, $C_2 = -28.704$ при змінній швидкості обертання робочого колеса і різних параметрах мережі: $R_{c1} = 11.8 с^2/м^5$, $R_{c2} = 30 с^2/м^5$.

Підставивши рівняння (1.19) у вираз (1.9), отримаємо залежність потужності, яка споживається вентилятором, від зміни частоти обертання робочого колеса турбомеханізму:

$$\begin{aligned} P = {} & \frac{A_3\nu^2(-B_2\nu - \sqrt{B_2^2\nu^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2\nu^2 - H_c)})}{2(C_2 - R_c)} + \\ & + \frac{B_3\nu(-B_2\nu - \sqrt{B_2^2\nu^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2\nu^2 - H_c)})^2}{4(C_2 - R_c)^2} + D_3\nu^3 \end{aligned}. \tag{1.20}$$

На рисунку 1.16 приведені криві залежності потужності, що підводиться до валу відцентрової машини з коефіцієнтами апроксимації $A_3 = 2.722 \cdot 10^3$,

$B_3 = 1.481 \cdot 10^4$, $D_3 = 160$ від зміни швидкості обертання робочого колеса вентилятора і параметрів аеродинамічної мережі.

З урахуванням (1.19) залежність корисної потужності вентилятора від зміни швидкості його обертання має вигляд:

$$P_п = \frac{9.8\left(A_2\nu^2 + \frac{B_2\nu\sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{C_2\sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} \right)\sigma}{2C_2 - 2R_c}, \qquad (1.21)$$

де: $\sigma = -B_2\nu - \sqrt{B_2^2\nu^2 - 4C_2A_2\nu^2 + 4C_2H_c + 4R_cA_2\nu^2 - 4R_cH_c}$.

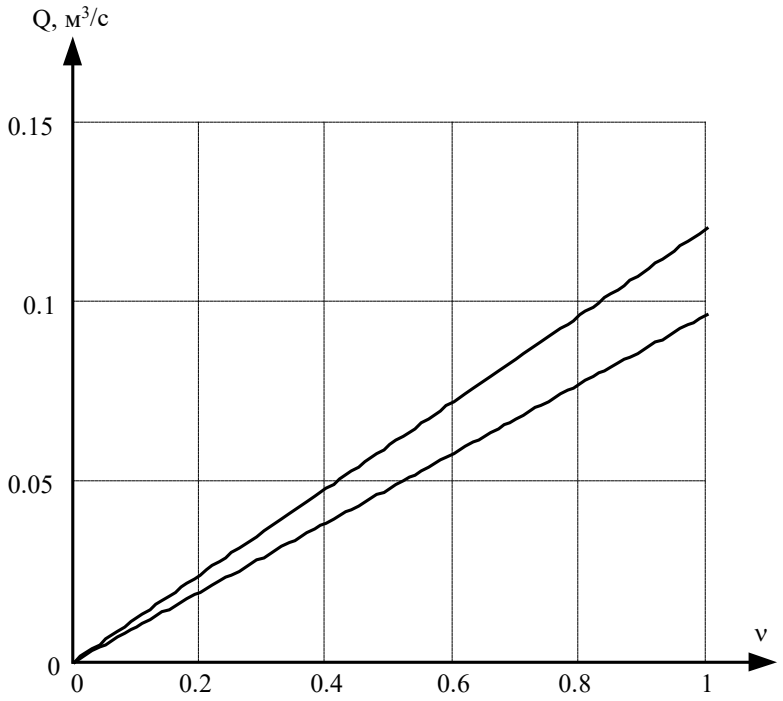


Рисунок 1.16 - Залежність продуктивності вентилятора від зміни швидкості обертання робочого колеса при змінних параметрах мережі

Підставивши вирази (1.20), (1.21) в (1.1) і виконавши ряд перетворень, отримаємо залежність ККД турбомеханізму при змінній швидкості обертання вентилятора і різних параметрах мережі, на яку цей вентилятор працює:

$$\eta = \frac{9.8\left(A_2\nu^2 + \frac{B_2\nu\sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{C_2\sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2}\right)\sigma}{(2C_2 - 2R_c)\left(\frac{A_3\nu^2\sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{B_3\nu\sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} + D_3\nu^3\right)}, \quad (1.22)$$

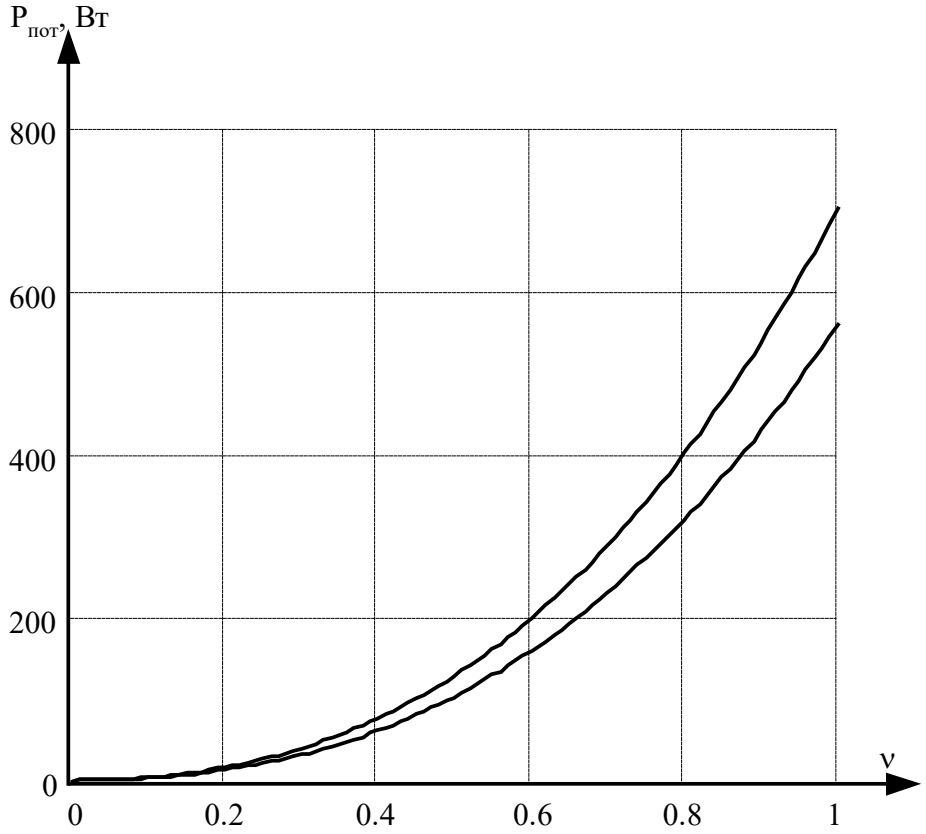


Рисунок 1.17 - Залежність споживаної потужності від частоти обертання

З аналізу енергетичних характеристик вентилятора (рисунок 1.17) видно, що потужність, що споживається агрегатом, при збільшенні параметрів мережі споживача помітно знижується.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНА МЕРЕЖА - АСИНХРОННИЙ ДВИГУН - ВЕНТИЛЯТОР - АЕРОМЕРЕЖА

2.1 Розробка функціональної схеми керованої електромеханічної системи

Досі невивченими залишаються режими роботи вентиляторної установки, що працює на мережу з протитиском, з урахуванням інерційності процесів, що протікають в аеродинамічній системі.

Дослідження, виконані стосовно експериментальної установки, створеної для оцінки енергоефективності різних методів регулювання параметрів ВУ. Параметри лабораторної установки наведено у джерелі [25]. У роботі виконано аналіз одного зі схемних варіантів функціонування системи - роботи вентиляторного агрегату з регульованим електроприводом.

Функціональна схема системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа для вивчення динамічних режимів роботи вентиляторної установки, представлена на рисунку 3.1, включає перетворювач частоти (ПЧ) для живлення силового кола асинхронного двигуна (АД), відцентровий вентилятор (В), що дає повітря споживачеві; функціональний перетворювач (ФП), систему управління (СУ) перетворювачем частоти, датчики тиску і витрати на виході вентилятора ДД1 і ДР1, датчик тиску ДД2, встановлений безпосередньо в мережі споживача. На перший вхід пристрою порівняння (УС) надходить сигнал Н, що характеризує напір в мережі споживача, на другий - Н, що визначає дійсний напір в мережі споживача. Різниця між необхідним і поточним напорами створює сигнал розголошення Н, який через функціональний перетворювач ФП, надходить на систему управління СУ. Сигнал управління U виробляється СУ відповідно до величини перетвореного сигналу.

Аналіз літературних джерел [1,4] показав, що у ВУ мережа, яка працює на аеромережу, коефіцієнт ступеня в законі частотного управління АД вентиляторної установки лежить у межах 3-5. Тому закон частотного

управління має вигляд $\frac{U_s}{f_c^4} = C$, де С - константа.

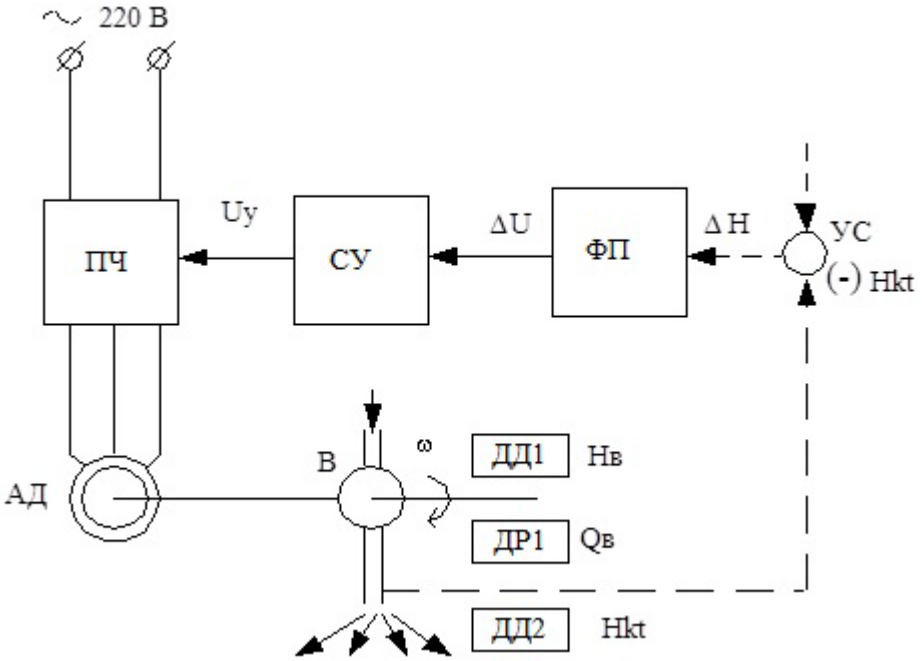


Рисунок 2.1 - Функціональна схема системи управління параметрами установки за схемою ПЧ-АД

У розімкнутій системі ми змінюємо частоту обертання вентилятора - при частотному регулюванні продуктивності за допомогою перетворювача частоти.

Пунктирною лінією зображено створення замкнутої за технологічним параметром системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа, в якій режим роботи залежить від заданого параметра тиску Н, і тиску в контрольній точці.

2.2 Математичний опис елементів системи

Розглянемо математичний опис елементів, що входять в систему ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа.

У зв'язку з інерційністю елементів системи управління перетворювачем частоти, залежність U від U описується диференційним рівнянням виду:

$$T_{\mu}\frac{dU_{y}}{dt}=\frac{\Delta U}{Um}\pi-U_{y} \qquad (2.1)$$

де U - максимальна напруга перетворювача; T = 0.0001 - постійний час перетворювача.

Результати моделювання дозволили отримати вираз для визначення частоти напруги на виході ПЧ:

$$f_{c}=A+B\cdot\Delta H+C\cdot\Delta H^{2}+D\cdot\Delta H^{3}+E\cdot\Delta H^{4}, \qquad (2.2)$$

де A = 30.124, B = 4.517, C = 0.547, D = -0.139, E = 0.0084 - коефіцієнти апроксимації; ΔH - розголошення напорів у системі.

З урахуванням інерційності процесів маємо:

$$f_{2}=f_{20}+((f_{c}-f_{20})\cdot dx/T_{\mu}); \qquad (2.3)$$

де f = f - попередня частота перемикання; dx = 0.0001c - крок інтегрування, прийнятий при моделюванні; T = 0.0001c - постійний час перетворювача.

Тоді миттєві значення фазних напружень статора двигуна:

$$\begin{aligned} U_{A}&=Us\cdot\sin(fs\cdot x);\\ U_{B}&=Us\cdot\sin(fs\cdot x-\frac{2\cdot\pi}{3});\\ U_{C}&=Us\cdot\sin(fs\cdot x+\frac{2\cdot\pi}{3}); \end{aligned} \qquad (2.4)$$

де $U_{s}=f_{c}^{4}\cdot\text{const};$ - знаходиться із закону управління ЕП (лінійний, квадратичний тощо); $f_{s}=2\cdot\pi\cdot f_{2}$ - частота живлячого напруження в радіанах.

У математичній моделі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа, асинхронний двигун представлений у трифазній системі координат. При складанні рівнянь використовувалися такі допущення:

– сталь машини не насичена;

– фазні обмотки симетричні і зрушені по фазі на 1200;

– магнітодвижуща сила (МДС) обмоток і магнітних полів розташовані синусоїдально вздовж кола повітряного зазору;

– ротор електрично і магнітно симетричний;

– реально розташовані обмотки АД замінюються зосередженими, а МДЗ прийнята рівною МДС реальної обмотки.

Щоб описати перехідні процеси в пеклі, скористаймося рівняннями електричної рівноваги для всіх контурів, а також рівнянням руху ротора у [6,20].

Система рівнянь електричної рівноваги контурів для статора і ротора має вигляд:

$$\begin{cases} U_A = i_A R_S + \frac{d\Psi_A}{dt}; \\ U_B = i_B R_S + \frac{d\Psi B}{dt}; \\ U_C = i_C R_S + \frac{d\Psi_C}{dt}; \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} 0 = i_a R_r + \frac{d\Psi_a}{dt}; \\ 0 = i_b R_r + \frac{d\Psi a}{dt}; \\ 0 = i_c R_r + \frac{d\Psi_c}{dt}; \end{cases} \quad (2.6)$$

де Ψ - потокозщеплення фаз статора;$\Psi_A\Psi_B\Psi_C$; Ψ_a, - потокозщеплення фаз ротора;$\Psi_в\Psi_з$; R, R - активні опору фаз статора і ротора.

Потокозщеплення АД визначається величиною власної індуктивності обмоток з усіма іншими обмотками.

$$\begin{cases} \Psi_A = I_A(L_A - L_\mu) + I_a L_\mu \cos\gamma + I_b L_\mu \cos(\gamma + 120) + I_c L_\mu \cos(\gamma - 120) \\ \Psi_B = I_B(L_B - L_\mu) + I_a L_\mu \cos\gamma + I_b L_\mu \cos(\gamma + 120) + I_c L_\mu \cos(\gamma - 120); \\ \Psi_C = I_C(L_C - L_\mu) + I_a L_\mu \cos\gamma + I_b L_\mu \cos(\gamma + 120) + I_c L_\mu \cos(\gamma - 120) \end{cases} \quad (2.7)$$

Момент двигуна визначається за формулою:

$$\begin{aligned} Me = &-L\mu \cdot p^2 \cdot ((I_A \cdot Iar + I_B \cdot Ibr + I_C \cdot Icr) \cdot \sin(fs) + \\ &+ (I_A \cdot Ibr + I_B \cdot Icr + Ic \cdot Iar) \cdot \sin(fs + \frac{2 \cdot \pi}{3}) + \\ &+ (I_A \cdot Icr + I_B \cdot Iar + I_C \cdot Ibr) \cdot \sin(fs - \frac{2 \cdot \pi}{3})); \end{aligned} \quad (2.8)$$

і рівняння руху:

$$J \frac{d\omega}{dt} = Me - Ms; \quad (2.9)$$

де Ms - момент опору на валу двигуна.

Момент опору вентилятора визначимо скориставшись залежностями (1.9). Тоді отримаємо:

$$Ms = A_3 \cdot \nu \cdot Q + B_3 \cdot Q^2 + D_3 \cdot \nu^2; \quad (2.10)$$

де A_3, B_3, D_3 - коефіцієнти апроксимації; ν - відносна швидкість обертання робочого колеса вентилятора; Q - продуктивність вентилятора [1,20].

Вентилятор і аеромережа описуються такими рівняннями [18,19]:

$$\begin{cases} H_в = H_{0в}\nu^2 - R_{vв}Q^2; \\ H = RcQ^2; \end{cases} \quad (2.11)$$

З системи 3.11 висловивши натиск і продуктивність отримаємо такі рівняння:

- натиск вентилятора

$$H = \frac{H_0 \nu^2}{(1 + \frac{R_B}{R_c})}; \qquad (2.12)$$

- продуктивність вентиляторf

-

$$Q_в = \sqrt{\frac{H_{0н} \nu^2}{R_{Bн} + R_c}}; \qquad (2.13)$$

Споживана і корисна потужності вентилятора описуються рівняннями (1.9), (1.11) відповідно. ККД описується виразом (1.12).

Вентилятор - електротехнічна інерційна система, що характеризується власним моментом інерції і може бути представлена аперіодичною ланкою першого порядку:

$$\frac{H_{тек}}{H_{пред}} = \frac{k_{вен}}{T_{вен} p + 1}; \qquad (2.14).$$

де Т - постійна часу вентилятора; k = 1 - коефіцієнт підсилення.

$$T_{вен} = Tм = \frac{(J_{дв} + J_{нас вен}) \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} = \frac{(0.005 + 0.005) \cdot 314 \cdot 0.006}{1.355} = 0.139 c.$$

Аеродинамічна мережа так само інерційна ланка, і може бути представлена аперіодичною ланкою 1-го порядку:

$$\frac{H_{тек_{kt}}}{H_{пред_{kt}}} = \frac{k_{kt}}{T_L p + 1}; \qquad (2.15)$$

де T_L - постійна часу аеромережі; k = 1 - коефіцієнт підсилення.

Постійну часу мережі визначимо скориставшись аеродинамічними законами руху середовища [12]:

$$T_L = \frac{l}{V} = 0.0048c \tag{2.16}$$

де l - довжина трубопроводу рівна для розглянутого стенду 3.6 м; V - швидкість руху повітря в напірному трубопроводі.

Для моделювання системи, замкнутої за натиском в контрольній точці мережі споживача, необхідно знати дійсну величину тиску в аеромережі:

$$H_{kt} = H - H_c - R_{ckt} \cdot Q^2; \tag{2.17}$$

де H - напір у контрольній точці мережі; R - опір аеромережі до контрольної точки R = 1110с2/м5; H - натиск вентилятора.

2.3 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в розімкнутій системі

При моделюванні розімкнутої системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа були отримані такі динамічні характеристики: криві струмів статора і ротора, напруги, швидкість двигуна, момент на валу двигуна (рис. 3.2 - 3.5), натиск і подача вентилятора, натиск у споживача (в контрольній точці), споживана і корисна потужності вентилятора і його ККД (рис. 3.6 - 3.13). На графіках представлені результати моделювання при пуску системи і динамічні процеси

при зменшенні швидкості двигуна, а також при зміні опору трубопроводу за допомогою засувки (прикриття засувки). Управління швидкістю здійснювалося ступеневою зміною частоти живлячої мережі з 50 на 45 Гц. З графіків (рисунок 2.2-2.9) видно, що зі зменшенням частоти напруження, що живить, а відповідно і швидкості двигуна в момент часу 1 з відбувається зменшення напору і подачі двигуна.

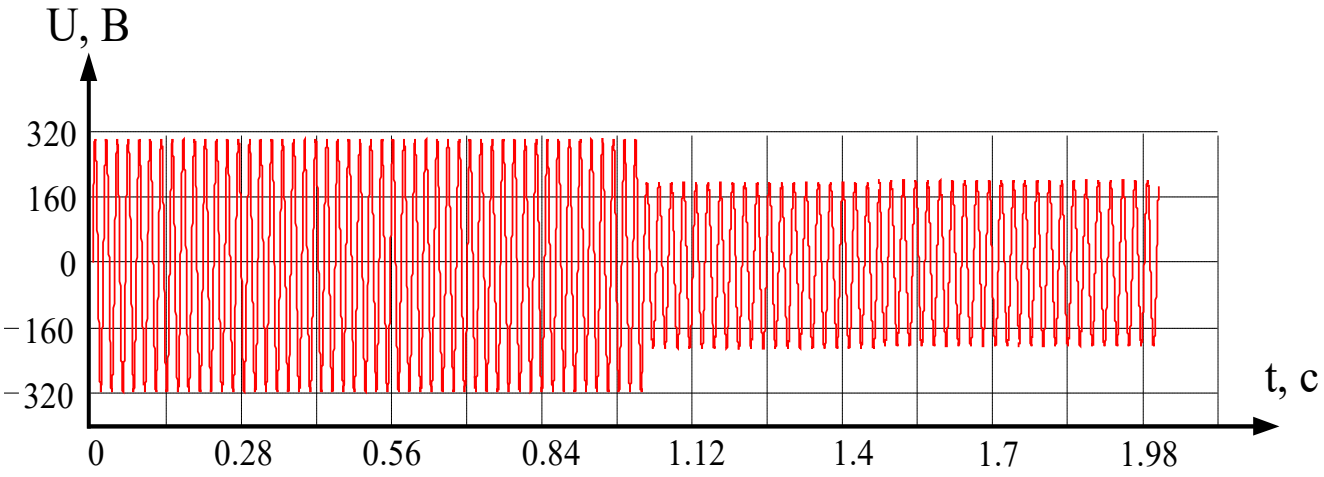


Рисунок 2.2 - Крива напруги на статорі приводу вентилятора в розімкнутої системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

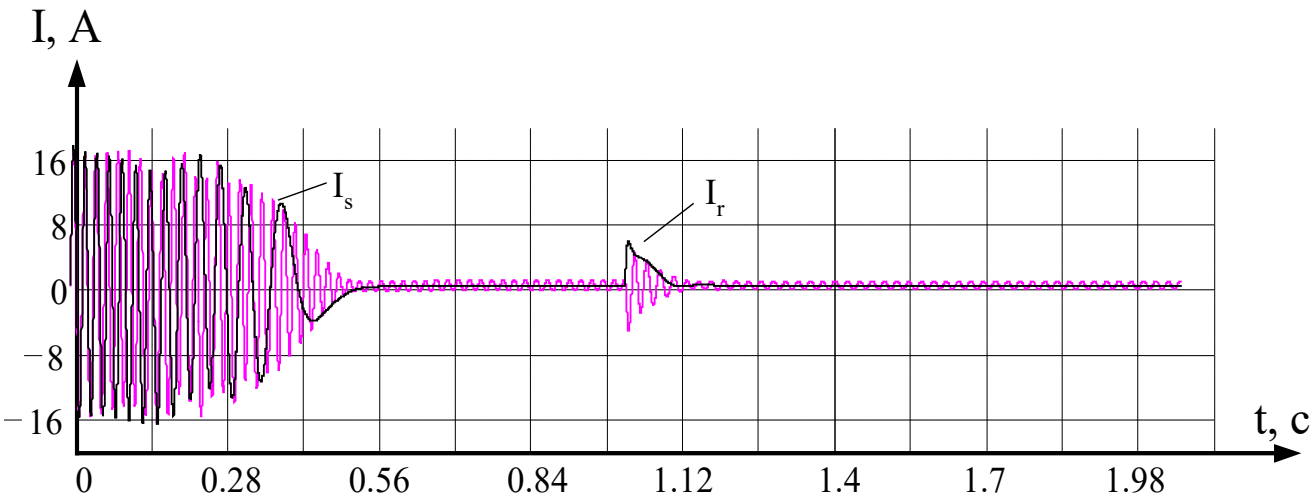


Рисунок 2.3 - Крива струмів статора і ротора приводу вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

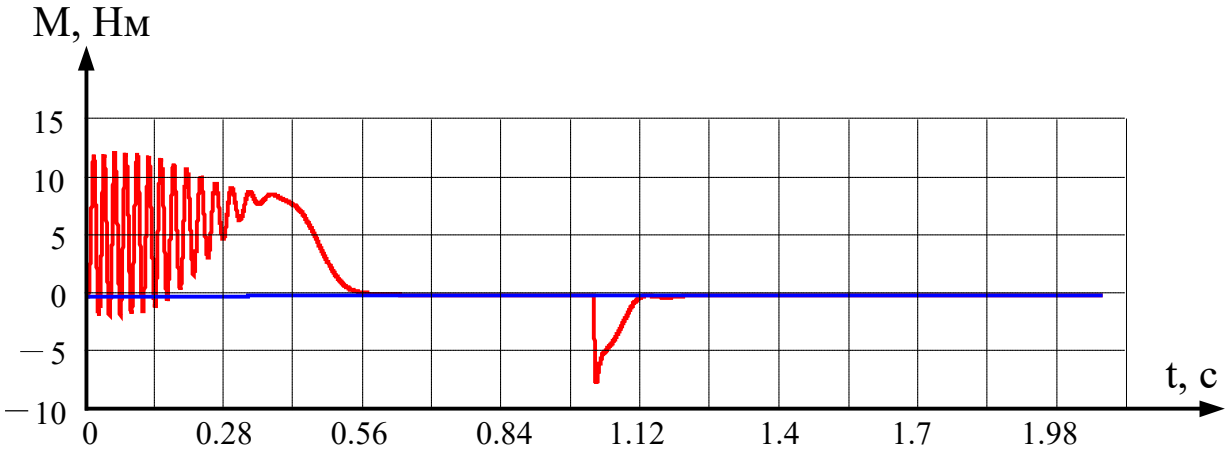


Рисунок 2.4 - Крива моменту на валу приводу вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

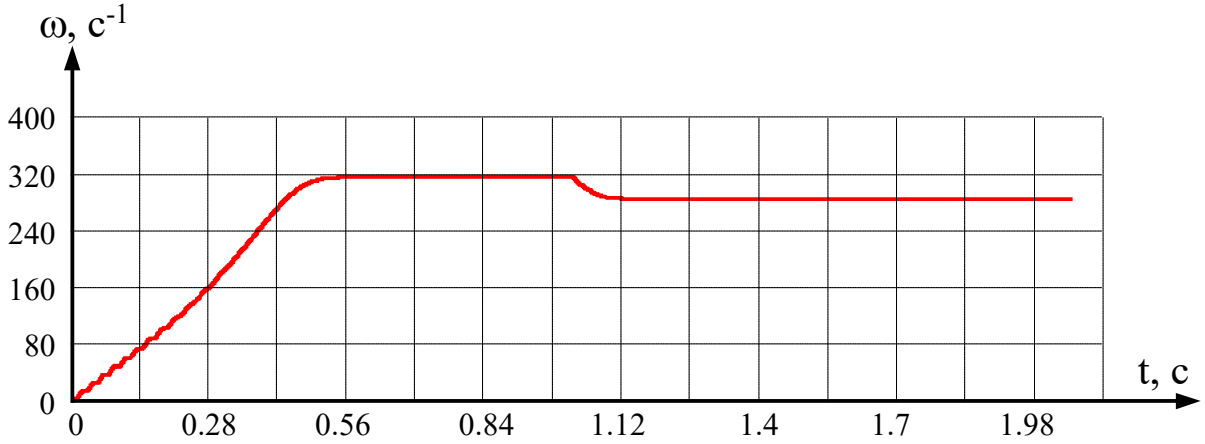


Рисунок 2.5 - Зміна швидкості обертання приводу вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

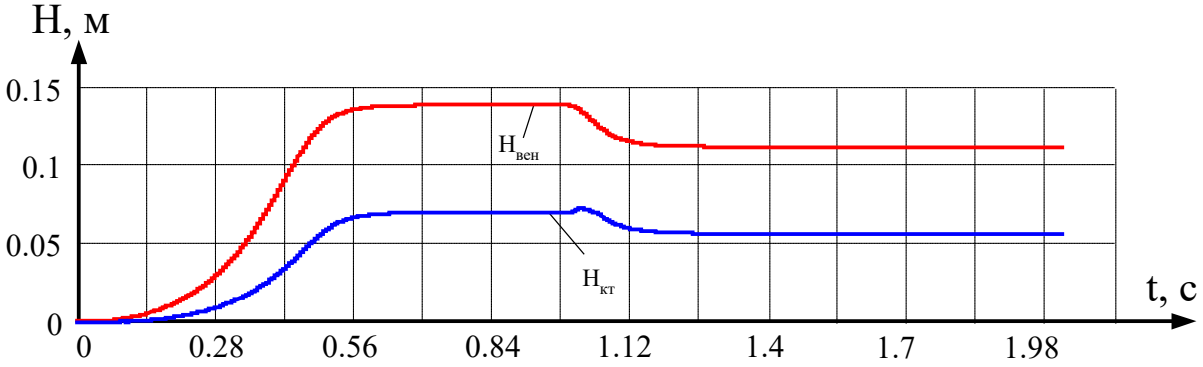


Рисунок 2.6 - Криві напору вентилятора і в мережі в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

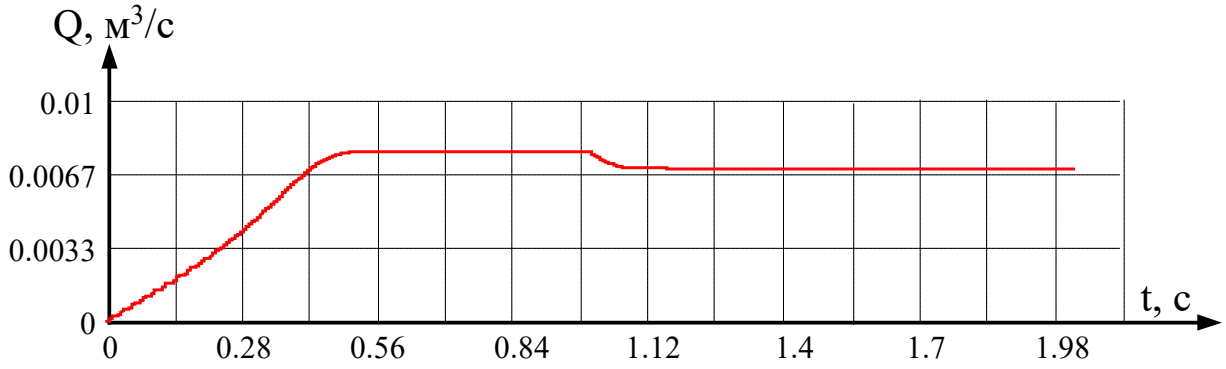


Рисунок 2.7 - Крива продуктивності вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

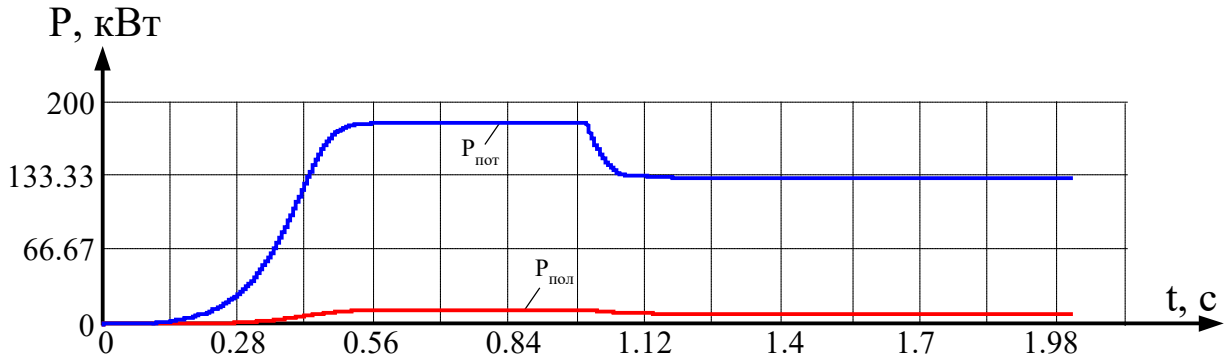


Рисунок 2.8 - Криві споживаної і корисної потужності вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

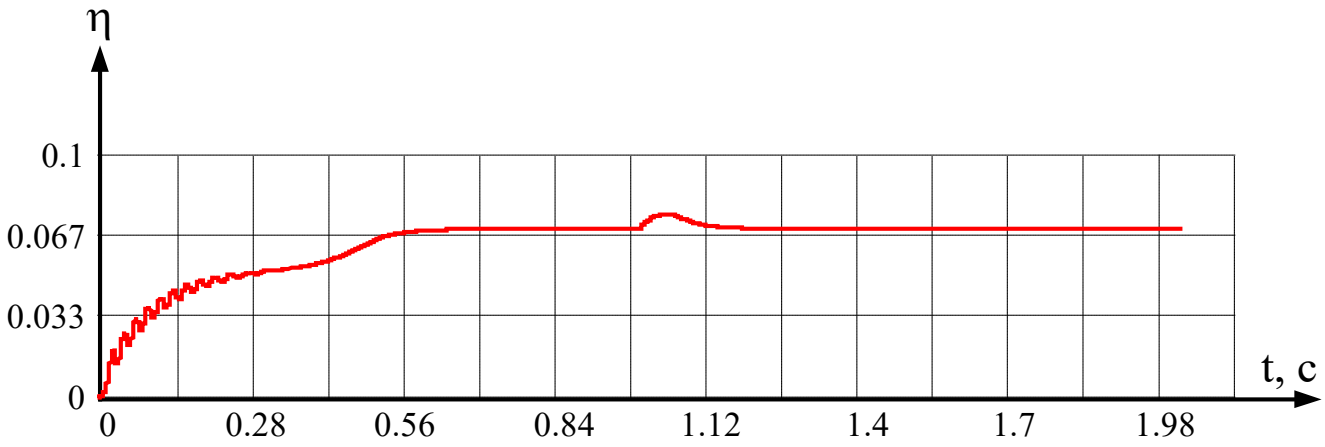


Рисунок 2.9 - ККД вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

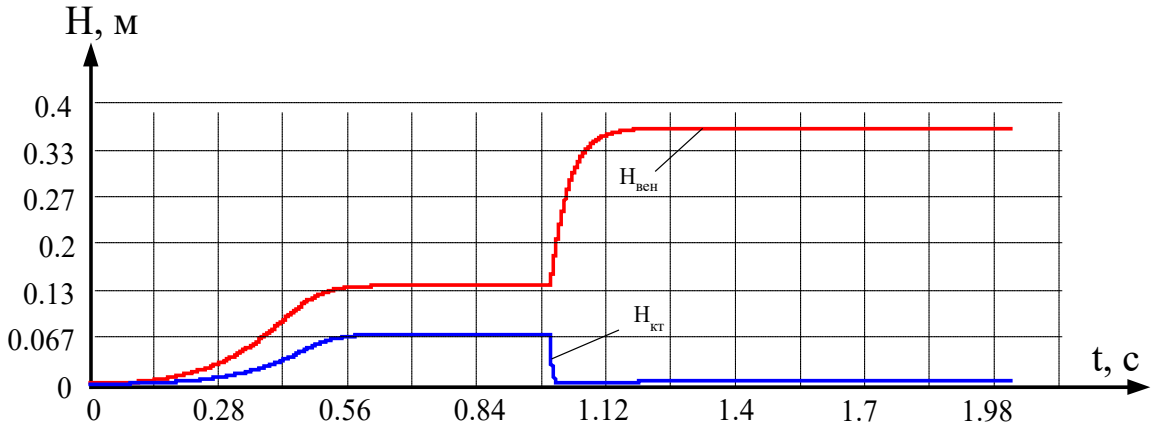


Рисунок 2.10 - Криві напору вентилятора і в мережі в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

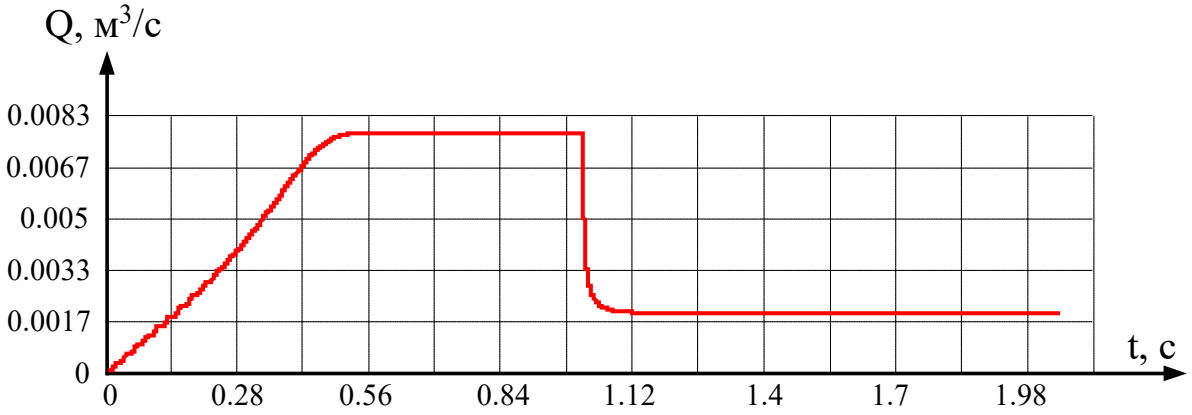


Рисунок 2.11 - Крива продуктивності вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

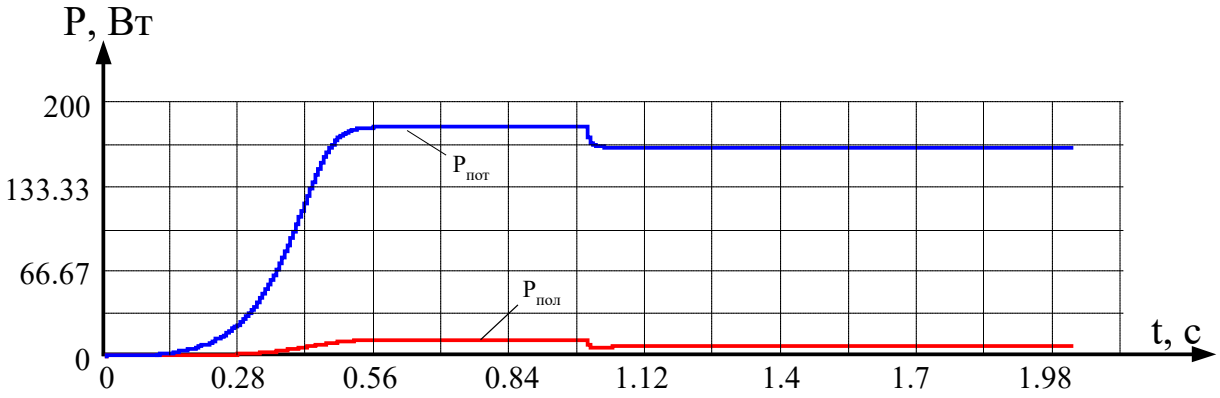


Рисунок 2.12 - Криві споживаної і корисної потужності вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

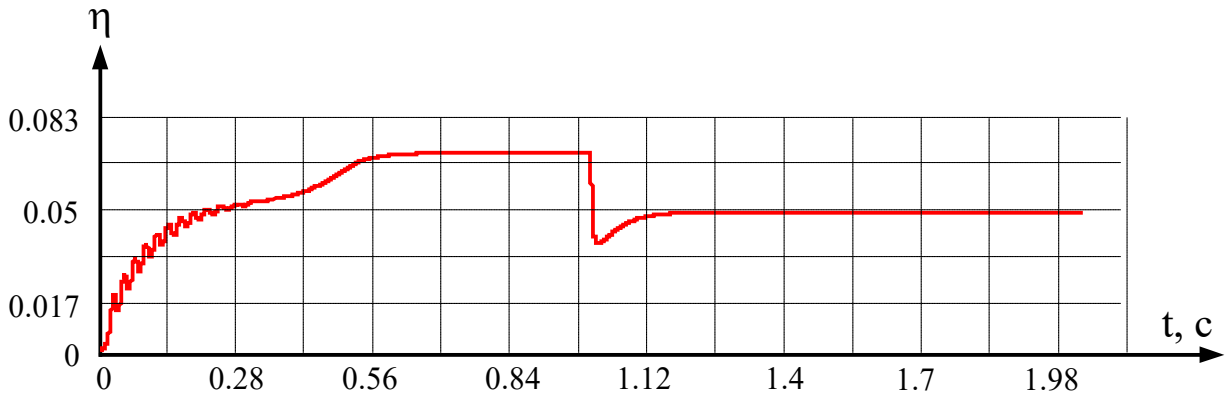


Рисунок 2.13 - КПД вентилятора в розімкнутій системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

Аналіз характеристик показав, що зменшення частоти обертання призводить до зниження напору і продуктивності вентилятором, що розвиваються, що призводить і до зменшення напору в мережі. При регулюванні технологічних параметрів засувкою напір вентилятора збільшується а в контрольній точці зменшується, що свідчить про збільшення динамічної складової напору і обумовлюється втратами напору на регулюючому органі.

2.4 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в замкнутій системі за технологічним параметром

При моделюванні замкнутої за технологічним параметром системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа отримані характеристики тих же параметрів двигуна і вентилятора, що і для розімкнутої. Дослідження замкнутої системи проводилися для режимів пуску і реакції на обурюючий вплив, який імітує зменшення повітропоживання в мережі споживача і як наслідок збільшення напору в трубопровідній системі. При моделюванні прийнято: і параметрах мережі R = 1110 $с^2/м^5$, час моделювання становить 2с.

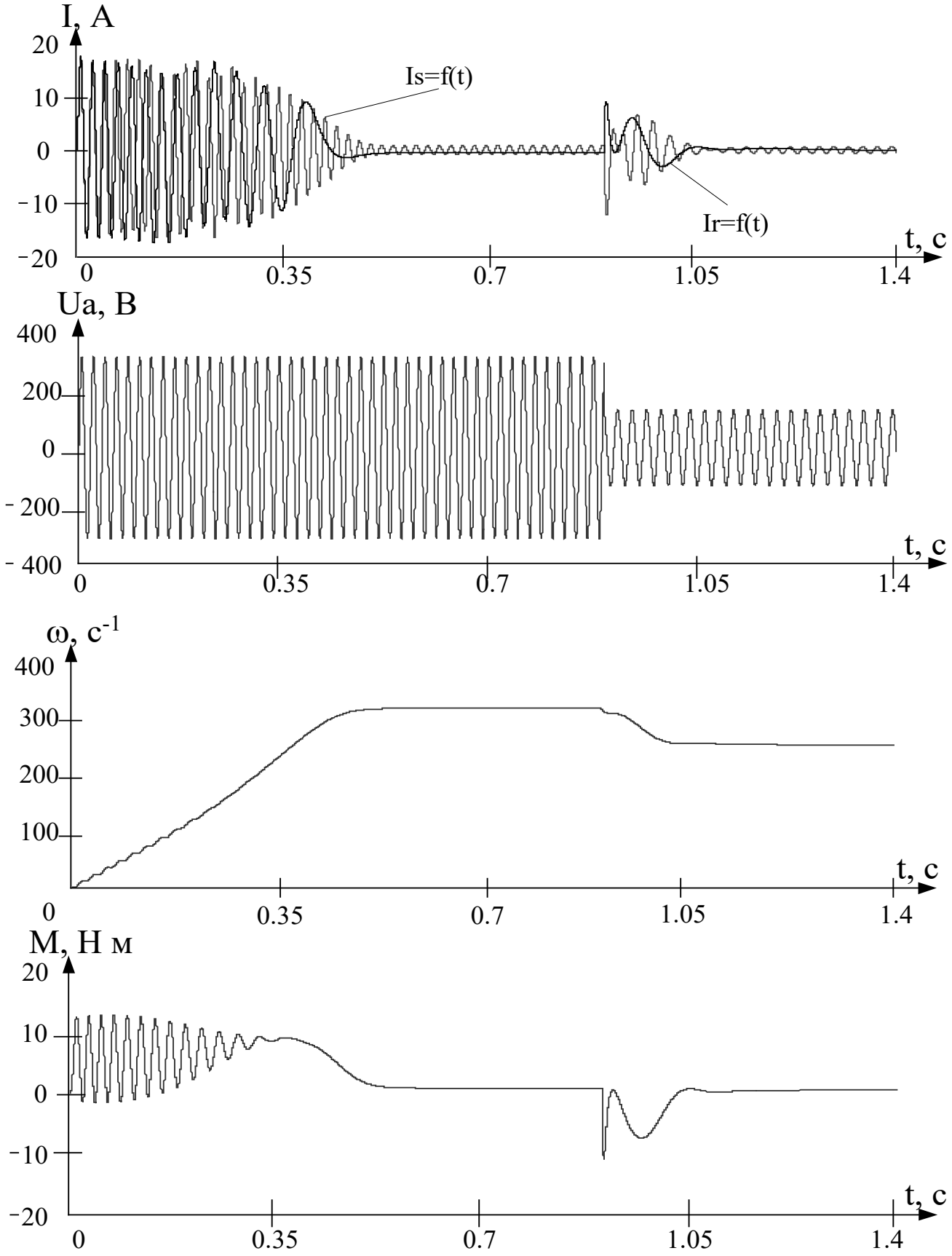


Рисунок 2.14 - Динамічні характеристики двигуна в замкнутій по технологічному параметру системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

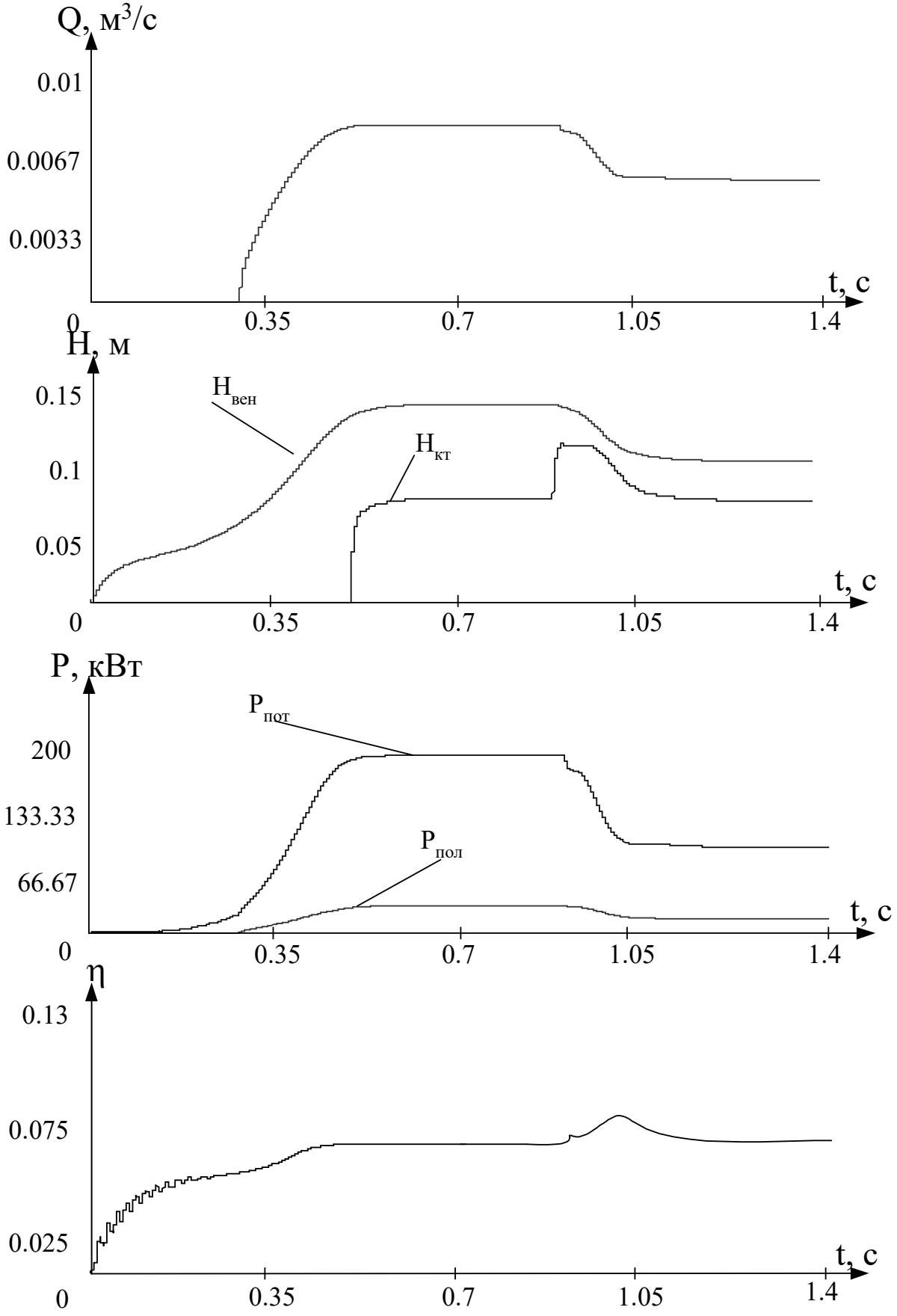


Рисунок 2.15 - Технологічні і енергетичні характеристики в замкнутій по технологічному параметру системі ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа

З графіків видно, що після пуску системи напір у споживача виходить на величину заданого значення. Після цього в момент часу 0.86 с на систему подається обурюючий вплив відповідний збільшенню тиску в контрольній точці на 2 м. При цьому спостерігається відпрацювання системою цього обурюючого фактора, а саме, система управління подає сигнал на збільшення частоти живлячої напруги (відповідно і швидкості обертання). І як результат збільшуються напір і подача на виході вентилятора, що дозволяє стабілізувати натиск у споживача. ККД вентилятора в такому режимі незначно змінюється і тримається на рівні максимального.

Аналіз динамічних характеристик (рисунки 2.14 - 2.15) показав, що при обурюючому факторі, що відповідає зменшенню повітропотреблению в мережі споживача, система зменшує частоту живлячої мережі; при обурюючому впливі, що відповідає збільшенню повітропоживання у споживача - напруга живлячої мережі збільшується. Це показує працездатність замкнутої за натиском досліджуваної системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа.

2 ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДІЛЯНКИ ВОГНЕТРИВНИХ БЕТОНІВ ПрАТ «ЗАПОРІЖВОГНЕТРИВ»

3.1 Коротка характеристика об’єкта дослідження

ПрАТ "Запоріжвогнетрив" входить до п'ятірки найбільших виробників вогнетривкої продукції країн СНД і є найбільшим вогнетривким підприємством в Україні, що не має собі рівних за видами і асортименту продукції, що випускається високоякісної продукції - понад 1200 основних марок вогнетривів, неформованих матеріалів, бетонних сумішей та мас. Підприємство спеціалізується на виробництві шамотних, високо, магнезіальних і неформованих виробів.

Основними споживачами продукції ПрАТ "Запоріжвогнетрив" є підприємства металургійної, цементної, скляної, хімічної, теплоенергетичної промисловості країн СНД, Європи, Азії та Африки.

Одним з ключових напрямків роботи підприємства, є сервісне обслуговування. В рамках сервісного обслуговування ПрАТ "Запоріжвогнетрив" виконує наступні роботи:

обстеження об'єктів і вивчення технічних параметрів їх експлуатації; підбір матеріалів та розробка проектів футерування; виконання вогнетривких робіт; здача об'єктів в експлуатацію і подальше гарантійне обслуговування.

За рахунок контролю всього технологічного ланцюжка - від виробництва вогнетривких виробів до монтажу футеровки і сервісного обслуговування, ПрАТ "Запоріжвогнетрив" забезпечує клієнтові підвищену стійкість вогнетривкої кладки.

З 2003 року в ПрАТ "Запоріжвогнетрив" впроваджена і успішно функціонує система менеджменту якості, що відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 9001 діє до: 2015 в області розробки, проектування,

виробництва, постачання і післяпродажного обслуговування вогнетривів для металургійних і інших галузей промисловості.

У листопаді 2018 року міжнародними аудиторами органу з сертифікації «TÜV Thüringen e.V.» був проведений повторний аудит оцінки відповідності системи менеджменту якості ПрАТ "Запоріжвогнетрив" вимогам стандарту ISO 9001 діє до: 2015. За результатами проведеного аудиту органом по сертифікації «TÜV Thüringen e.V.» видано сертифікат відповідності системи менеджменту якості ПрАТ "Запоріжвогнетрив" вимогам міжнародного стандарту ISO 9001 діє до: 2015 в області розробки, проектування, виробництва, постачання і післяпродажного обслуговування вогнетривів для металургійної та інших галузей промисловості.

З метою реалізації стратегії підвищення енергоефективності та енергозбереження на підприємстві розроблена і впроваджена система енергетичного менеджменту. Впровадження міжнародного стандарту ISO 50001 дозволяє підприємству виробляти продукцію з мінімальним впливом на навколишнє середовище і раціональним використанням енергетичних ресурсів, яке досягається в більшій мірі не за рахунок впровадження нових енергозберігаючих технологій, а за рахунок змін в методах і способах управління.

У листопаді 2018 року міжнародними аудиторами було проведено другий наглядовий аудит оцінки відповідності системи енергетичного менеджменту ПрАТ "Запоріжвогнетрив" вимогам міжнародного стандарту ISO 50001. В результаті проведеного аудиту системи енергетичного менеджменту підприємства продовжено дію сертифіката.

ПрАТ "Запоріжвогнетрив" приділяє особливу увагу технологічного контролю виробництва - від сировини, що надходить до кінцевого продукту. Всі вироби, що відвантажуються споживачам, мають сертифікат якості.

На підприємстві розроблена і впроваджена система якості лабораторії, яка відповідає вимогам ДСТУ ISO / IEC 17025: 2009 що підтверджується сертифікатом відповідності, виданим ПП "УкрНДІ промислового розвитку". У

червні 2018 року відділі технологічного контролю проведено метрологічний нагляд, за результатами якого підтверджено відповідність системи якості лабораторії вимогам ДСТУ ISO / IEC 17025: 2009 у Системі Мінекономрозвитку і торгівлі України «Промисловий Регістр» на право проведення випробувань.

3.2 Структура виробництва та асортимент продукції ділянки вогнетривних бетонів

В ПрАТ "Запоріжвогнетрив" виділені 5 основних видів виробництва:

магнезіальне виробництво;

шамотне виробництво;

шамотообпалювальне виробництво;

високоглиноземние виробництво;

виробництво неформованих вогнетривів.

Магнезіальне виробництво

Магнезіальне виробництво характеризується широким асортиментом періклазових, періклазохромітових, хромітоперіклазових виробів, які застосовуються для футерування мартенівських і електросталеплавильних печей, конвертерів, обертових печей, теплових агрегатів. Випал продукції виробляється в тунельної печі довжиною 156м з автоматичним режимом випалу. Пресова ділянка виробництва оснащена гідравлічними пресами німецької фірми "Laeis Bucher".

Одним з перспективних напрямків діяльності ПрАТ "Запоріжвогнетрив" є поліпшення технічних характеристик магнезіальних вогнетривів, які, за прогнозами експертів, в найближчому майбутньому залишаться основним конструкційним матеріалом для футеровки сталеплавильних і металургійних агрегатів. Серед магнезіальною продукції виробництва

ПрАТ "Запоріжвогнетрив" особливе місце займають періклазовуглицеві вогнетриви, що дозволяють забезпечувати проведення прогресивних металургійних процесів на провідних підприємствах України та світу.

Шамотне виробництво

Шамотне виробництво - це різноманітність продукції, що випускається вогнетривкої продукції, яке включає в себе ковшеві, складні і особливо складні фасони, вироби загального призначення, стопорні, центрові трубки, воронки і багато іншого. Пресова ділянка виробництва оснащений гідравлічними пресами німецької фірми "Laeis Bucher", механічними пресами СМ +1085 і системою люлечних конвеєрів, які забезпечують многомарочни садку на пічні вагони. Виробництво обладнане тунельними печами довгою 168м, 165м і 87м.

Шамотообпалювальне виробництво

Шамотообпалювальне виробництво спеціалізується на випуску шамотних виробів, асортимент яких невеликий, але вкрай важливий, оскільки саме обпалений шамот є головною складовою вироблених підприємством вогнетривких виробів. Основне обладнання шамотообпалювального виробництва - обертові печі.

Високоглиноземне виробництво

Продукція високоглиноземного виробництва використовуються для футерування повітрянагрівачів доменних печей, трубопроводів гарячого дуття, позапічної обробки сталі та інших теплових агрегатів кольорової металургії. Вироби високоглиноземистого виробництва мають високу міцність і вогнестійкість. Виробництво оснащене механічними пресами вітчизняного виробництва і гідравлічними пресами німецької фірми "Laeis Bucher". Випал проводиться в тунельній печі довжиною 156м.

Виробництво неформованих вогнетривів

Виробництво неформованих вогнетривів - відносно новий напрямок діяльності ПрАТ "Запоріжвогнетрив", яке є частиною масштабної інвестиційної стратегії підприємства, спрямованої на диверсифікацію виробництва.

Виробнича лінія виробляє вогнетривку бетонну суміш для металургійної, феросплавної, алюмінієвої і цементної промисловості. Потужність виробничої лінії дозволяє виробляти близько 16 тисяч тонн продукції на рік.

Суміші вогнетривкі сухі бетонні цементні, для футерування теплових агрегатів чорної і кольорової металургії, в тому числі сталерозливних і проміжних ковшів, укриттів теплових агрегатів, скловарних печей наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Асортимент продукції ділянки

Марка	Al2O3, %	Fe2O3, %	CaO3, %	Максимальна температура експлуатації, °С
ССБ-45С	45	-	3,5	1400
ССБ-65С	65	1,5	1,5	1550
ССБ-80С	80	1,2	1,5	1650
ССБ-62В	62	2,0	4,0	1500
ССБ-80В	80	1,2	1,5	1600
ССБ-85В	85	1,0	1,5	1650
ССБ-90В	90	0,5	1,5	1700

Виробнича лінія оснащена високотехнологічним обладнанням компанії "GALICO" (Словаччина) і фірми "EIRICH" (Німеччина), що є світовими лідерами в області виробництва з виготовлення сумішей техніки.

Виробництво вогнетривких сухих бетонів не передбачає випал, як у класичній технології виробництва вогнетривких виробів. Це дає значну конкурентну перевагу новим матеріалам, так як для їх виробництва не використовується дорогий природний газ.

З запуском нової виробничої лінії значно розширився асортимент продукції, що випускається, в першу чергу, затребуваними у споживачів марками утеплюють сумішей ЛПС і УСК-Л. Дана продукція використовується при розливі різних марок сталі, зокрема, для облаштування кристалізаторів, стальковшей і промковшей.

3.3 Огляд споживачів електроенергії підприємства

Споживачів можна класифікувати за принципом перетворення електричної енергії в інші види, за такими групами:

1) загальнопромисловий електропривод, де відбувається перетворення електричної енергії в механічну. Такий вид приймачів зустрічається на всіх промислових підприємствах, де для електропривода на сучасних верстатах застосовуються всі види двигунів. Потужність двигунів надзвичайно різноманітна і коливається від часток до сотень кіловат і більше.

2) група електротехнологічних установок:

а) електротермічні - перетворення електричної енергії в теплову (до них відносяться: печі опору, індукційні печі і установки, дугові електричні печі, печі електрошлакового переплаву, установки електроннопроменевого нагріву, контактна і дугове зварювання);

б) електрохімічні - перетворення електричної енергії в хімічну (до них відносяться: установки електролізу, гальваніка, електрохімічна обробка, анодування);

в) електрофізичні - перетворення електричної енергії в різні види механічної енергії, яка використовується для обробки виробів (до них відносяться: ультразвукова обробка, магнітоімпульсна обробка, електротстатичні фільтри).

3) освітлювальні установки (перетворення електричної енергії в світлову): лампи розжарювання, люмінесцентні, газорозрядні.

Окремим видом навантаження є установки для вентиляції виробничих приміщень. Вентиляцією називається сукупність заходів і пристроїв, що використовуються при організації повітрообміну для забезпечення заданого стану повітряного середовища в приміщеннях і на робочих місцях відповідно до СНіП (будівельними нормами і правилами). Системи вентиляції забезпечують підтримку допустимих метеорологічних параметрів в приміщеннях різного призначення.

Класифікація систем вентиляції:

При всьому різноманітті систем вентиляції, обумовленому призначенням приміщень, характером технологічного процесу, видом шкідливих виділень і т.ін., їх можна класифікувати за наступними характерними ознаками [11]:

1) за способом створення тиску для переміщення повітря:
– з природним;
– з штучним (механічним);
2) за призначенням:
– приточна;
– витяжна;
3) за зоною обслуговування:
– місцева;
– загальнообмінна;
4) за конструктивним виконанням:
– канальна;
– безканальна.

3.4 Аналіз електроспоживання підприємства

3.4.1. Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Основними споживачами електричної енергії ділянки є технологічне та зварювальне обладнання. Вони живляться від трифазної мережі з частотою 50 Гц напругою 0,38 кВ. Також проектом передбачається загальне робоче та аварійне освітлення напругою 220 В. Структура споживачів, які споживають електроенергію представляється на рисунку 3.1 так: електроприводи - 54%, вентиляція - 12%, електротермія та електротехнології - 4%, освітлення та інші споживачі - 22%.

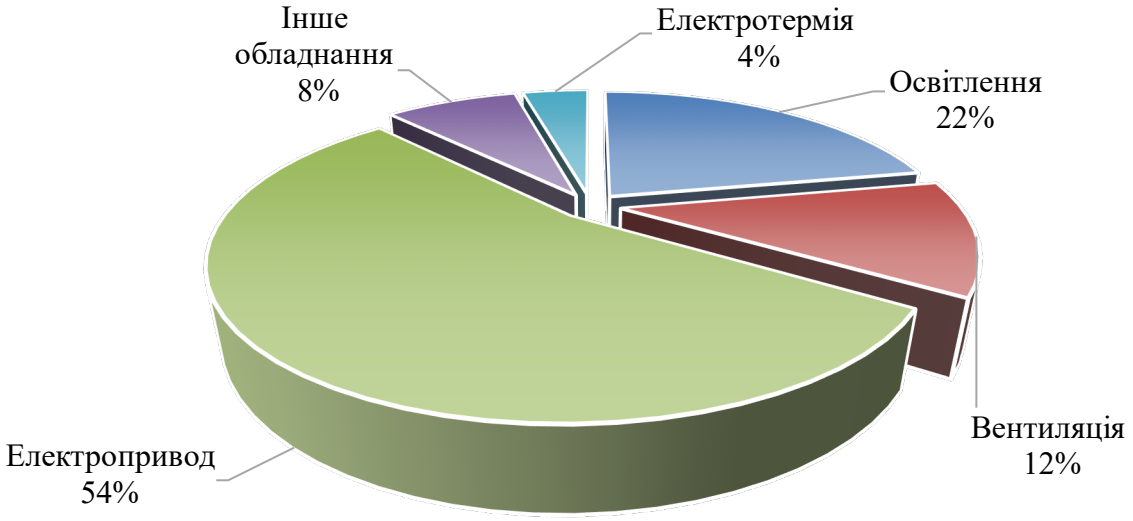


Рисунок 3.1 – Діаграма співвідношення електроенергоспоживання обладнання ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Основні електроприймачі підприємства:

– технологічне обладнання (всього близько 180 шт.: станки, преси, електричні печі, компресори стисненого повітря – 4 шт.);

– зварювальне обладнання (в т.ч. зварювальні випрямлячі типу ВС-600 – 9 шт., ВДУ-506У – 14шт., КИУ-501 – 8шт., ВДУЧ-350 – 3шт., ВДМ-1001 – 6шт.,

«КЕМРІ» - 1ШТ., ВДУ-1201 – 2шт., ВКСМ-1000 – 1шт., ВДУ-504 – 4шт., ВДУ-1202 – 2шт., обладнання для зварювання MIG/MAG ВАРИО СТАР 457/2 – 2шт.,обладнання дугового зварювання УДГУ-251 AC/DC – 1шт., УДГУ-301, газоплазморізальна машина ППлКП - 2шт);

– кран-балки;

– освітлення (освітлення у виробничих цехах – світильники з люмінесцентними лампами типу ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 – 70 шт., освітлення цехів – з люмінесцентними лампами типу ДРЛ-400 (30 шт.) і ДРЛ-250 (10 шт.), освітлення периметру – з люмінесцентними лампами типу ДРЛ-250 (30 шт.) і ДРЛ-125 (30 шт.); освітлення в адміністративних і побутових приміщеннях виконано світильниками з люмінесцентними лампами типу ЛБ-36 (50 шт.); освітлення в туалетах, КНС, побутових приміщеннях – з лампами розжарювання (50) шт.);

Процентне співвідношення витрат електричної енергії на живлення споживачів ПрАТ «Запоріжвогнетрив» наведено в таблиці 1.1.

Порівнюючи діаграму фактичного розподілу споживання електричної енергії з діаграмою типового розподілу, можна зробити висновок, що саме система освітлення виступають найбільш енергоємними категоріями споживачів у даному секторі економічної діяльності.

В таблиці 3.2 наведено річне споживання енергетичних ресурсів цехом з ремонту обладнання та структуру витрат на них.

Таблиця 3.2 – Річне споживання і витрати на енергоресурси

Енергоносій	Одиниці вимірю-вання	Споживання, нат.од.	Витрати за 2018 рік, грн	%
Електрична енергія	тис. кВт·год	2030,8	3411,7	81,6
Водопостачання	$м^3$	8261,2	69,1	1,7
Природний газ	тис. $м^3$	78,1	702,7	16,8
Всього		—	4183,4	100

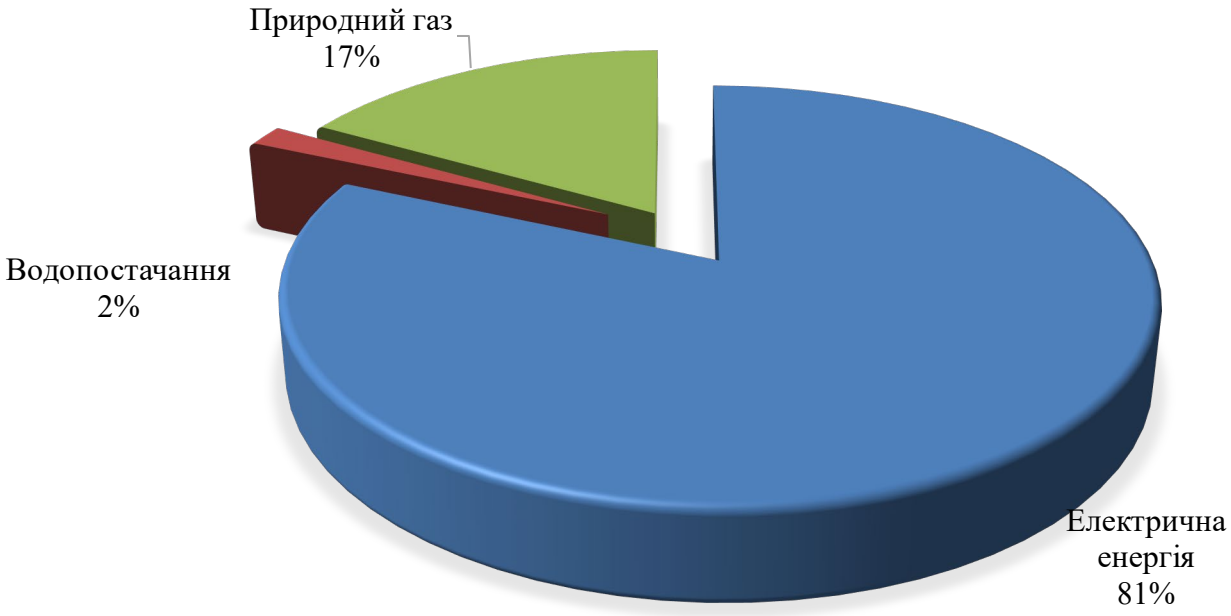


Рисунок 3.2 – Структура витрат на енергетичні ресурси

Як видно із рисунка 3.2, грошові витрати на електроенергію, спожиту цехом з ремонту обладнання, значно перевищують витрати на інші енергетичні ресурси.

З таблиці 3.1 видно, що великий відсоток споживання електроенергії припадає на електродвигуни, більшу частину яких складають асинхронні двигуни.

3.4.2. Динаміка споживання електроенергії

Ця електроенергія на промпідприємствах широко застосовується для приводів різних механізмів, для освітлення, для різних електротехнологічних установок, в які входять: електротермічні, електрозварювальні, установки електролізу та ін.

Дані про місячне споживання електроенергії основними споживачами та тарифи на електроенергію 2018 р.[2] представлені в таблиці 3.4 і динаміка місячного споживання електроенергії на рисунку 3.3.

Динаміка споживання електроенергії у 2019 р. наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Річне споживання електроенергії в 2019 р.

Місяць 2019 р.	Споживання електроенергії, млн. кВт·год	Витрати, млн. грн.
Січень	6,52	6,09
Лютий	6,38	6,10
Березень	6,12	6,93
Квітень	5,98	6,84
Травень	6,72	6,49
Червень	6,14	6,18
Липень	6,05	4,13
Серпень	6,76	4,64
Вересень	6,85	4,70
Жовтень	6,97	4,78
Листопад	6,51	4,47
Грудень	7,2	4,94
Усього	78,2	52,29

Таблиця 3.4 - Динаміка споживання електроенергії в 2017-2019 р.

Роки	2017	2018	2019
Споживання електроенергії, млн. кВт·год	7,36	7,52	8,11
Витрати, млн. грн.	7,65	7,83	8,43

З вищенаведених даних видно, що протягом останніх 3 років споживання електроенергії підприємством стабільно збільшується. Це пов'язано з ростом випуску товарної продукції і розширенням її асортименту. Приріст обсягу електроспоживання в 2019 р. у порівнянні з 2017 р. склав 10%.

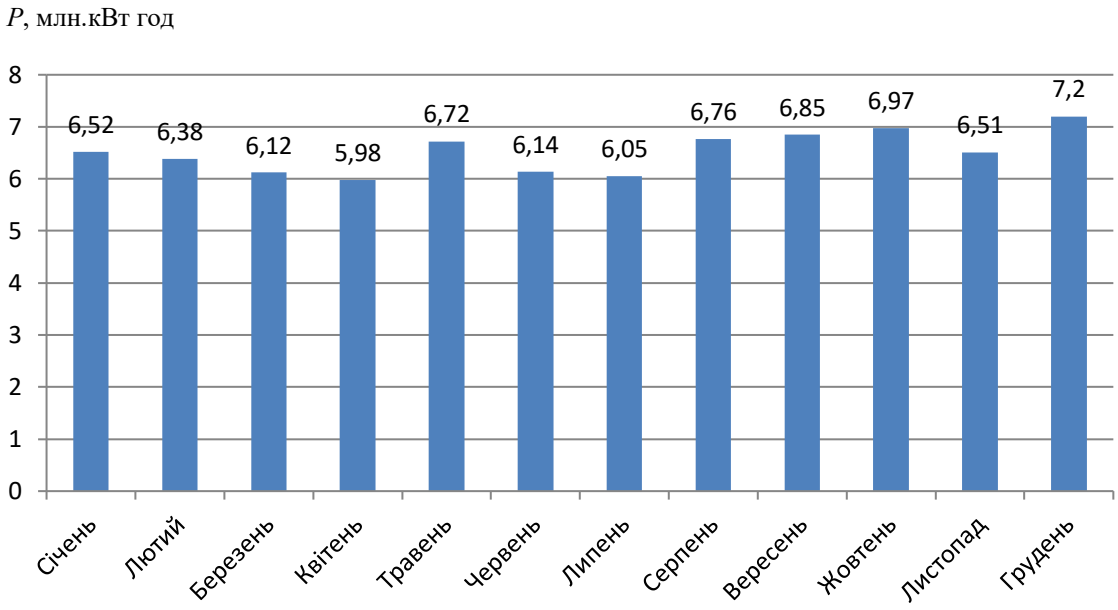


Рисунок 3.3 - Динаміка помісячного споживання електроенергії в 2019 р.

3.5 Техніко-економічне обґрунтування проекту

Визначимо витрати на створення програмного продукту (моделі) які складаються з витрат з оплати праці розробника програми та витрат з оплати машинного часу при налагодженні програми:

$$З_{спп} = З^{мв}_{спп} + З^{мв}_{спп} + З_{общ}, \quad (3.1)$$

де $З_{спп}$ - витрати на створення програмного продукту;

$З^{зп}_{спп}$ - витрати на оплату праці розробника програми;

$З^{мв}_{спп}$ - витрати на оплату машинного часу;

$З_{общ}$ - загальні витрати.

Витрати на оплату праці розробника програми визначаються шляхом множення трудомісткості створення програмного продукту на середню годинну

оплату програміста (з урахуванням коефіцієнта відрахувань на соціальні потреби):

$$З_{спп}^{зп} = t \cdot Т_{час}. \quad (3.2)$$

Трудомісткість розробки програмного продукту можна визначити наступним чином:

$$t = t_0 + t_а + t_б + t_п + t_д + t_{от}. \quad (3.3)$$

де t - витрати праці на підготовку опису завдання;

t - витрати праці на розробку алгоритму вирішення завдання;

t - витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму вирішення завдання;

t - витрати праці на складання програми за готовою блок-схемою;

t - витрати праці на підготовку документації завдання;

t - витрати праці на налагодження програми на ЕВМ при комплексній налагодженні завдання.

Складові витрат, у свою чергу можна обчислити через умовне число операторів Q. У нашому випадку число операторів у налагодженій програмі Q = 4000.

Розрахунок витрат праці на підготовку опису.

Оцінити витрати праці на підготовку опису завдання не можливо, оскільки це пов 'язано з творчим характером роботи, замість цього оцінимо витрати праці на вивчення опису завдання з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста визначаються:

$$t_и = \frac{Q \cdot B}{75...85K},$$

де В - коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису завдання, уточнень і деякого не доопрацювання, В = 1,2... 5;

К - коефіцієнт кваліфікації розробника, для працюючих до 2 років К = 0.8.

У зв 'язку з тим, що при вивченні опису даного завдання знадобилося багато уточнень і доопрацювань в описі коефіцієнт В приймаємо рівним 4.

Таким чином, отримаємо:

$$t_u = \frac{4000 \cdot 4}{80 \cdot 0.8} = 250.$$

Витрати праці на розробку алгоритму вирішення завдання:

$$t_a = \frac{Q}{60...75K} = \frac{4000}{70 \cdot 0.8} = 71.43.$$

Витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму вирішення завдання обчислимо наступним чином:

$$t_б = \frac{Q}{60...75K} = \frac{4000}{70 \cdot 0.8} = 71.43.$$

Витрати праці на складання математичного опису за готовою блок-схемою обчислимо за формулою:

$$t_n = \frac{Q}{60...75K} = \frac{4000}{70 \cdot 0.8} = 71.43.$$

Витрати праці на налагодження математичної моделі на ЕВМ при комплексній налагодженні завдання:

$$t_{от} = 1.5 \cdot t_{от}^{A}, \tag{3.4}$$

де t^{A} - витрати праці на налагодження програми на ЕВМ при автономній налагодженні одного завдання.

$$t_{от}^{A} = \frac{Q}{40...50K} = \frac{4000}{45 \cdot 0.8} = 111.11..$$

Тоді,

$$t_{от} = 1.5 \cdot 111.11 = 166.67.$$

Розрахунок витрат праці на підготовку документації

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються:

$$t_{д} = t_{др} + t_{до}, \tag{3.5}$$

де t - витрати праці на підготовку матеріалів у рукописі;

t - витрати на редагування, друк та оформлення документації.

$$t_{др} = \frac{Q}{150...200K} = \frac{4000}{200 \cdot 0.8} = 25;$$

$$t_{до} = 0.75 \cdot t_{др} = 0.75 \cdot 25 = 18.75.$$

Тоді,

$$t_o = 18,75 + 25 = 43,75.$$

Отже, загальну трудомісткість створення математичної моделі можемо розрахувати:

$$t = 250 + 71.43 + 71.43 + 71.43 + 43.75 + 166.67 = 674.71.$$

В результаті розрахунку витрати на створення даного програмного продукту склали 126890,33 грн. Дану цифру складно оцінити, так як наявні на ринку подібні продукти занадто специфічні і кількість їх дуже мала. Для зниження витрат можна запропонувати наступні рішення. Як видно, три чверті витрат представляють із себе витрати на оплату праці. Знизити ці витрати можна шляхом підвищення ефективності праці за рахунок використання більш сучасних ЕВМ для роботи, підвищення зручності робочого місця та інших факторів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

Для електропостачання потужних споживачів застосовуються короткі мережі пічних трансформаторів напруги, які виконані у вигляді трифазної мостової схеми. Самі пічні установки є джерелом вищих гармонійних складових в напругах і струмах змінного струму, причому найбільше значення мають 11-та і 13-та гармоніки, а потім 23-тя і 25-та, 35-та і 37-ма, інші гармоніки, номер яких визначається співвідношенням 12n +1 (де n - натуральне число). Критерій оцінки якості електричної енергії в даному випадку це коефіцієнт несинусоїдальності і рівень вищих гармонійних складових напруги.

Наявність високих рівнів вищих гармонійних складових у струмі і напрузі приводить до ряду негативних явищ - збільшуються втрати в електричних мережах, в силових трансформаторах, скорочується термін служби ізоляції електричних машин і високовольтних апаратів. Крім того, ускладнюється робота пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки.

Робота дугових сталеплавильних печей також пов'язана з викидом в атмосферу шкідливих речовин. Гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин в робочій зоні обслуговуючого персоналу встановлюється наступна:

- оксид азоту: NO_2 – 5 мг/м^3;
- оксид сірки: SO_2 – 10 мг/м^3;
- оксид вуглецю: CO – 20 мг/м^3;
- триоксид сірки SO_3 – 1 мг/м^3.

Для цеху розроблені наступні заходи з охорони праці.

Проаналізовано потенційно небезпечні шкідливі чинники виробничого середовища, що можуть проявитися при операціях технологічного процесу.

Шкідливі речовини підрозділяються на 4 класи небезпеки. У електролізному залі присутні речовини 3-го і 4-го ступеня небезпеки. Існує

небезпека отруєння персоналу оксидом вуглецю (CO), що може потрапити в приміщення залу при порушенні технологічного режиму внаслідок нещільності ущільнювачів, а також небезпека при влученні в зону виділення шкідливих речовин.

Робота дугових сталеплавильних печей пов'язана з виділенням великої кількості канцерогенних речовин.

Вибух - миттєве звільнення енергії речовини і зниження тиску до атмосферного. Причинами вибуху може бути:

- збільшення тиску через несправність запобіжних клапанів;

- зниження інтенсивності охолодження, яке призводить до того, що стінки, котрі нагріваються, перестають охолоджуватися;

- зношеність установки через термін експлуатації;

- порушення технічних умов експлуатації;

- недоліки конструкції і не відповідності матеріалу розрахунковим параметрам.

А також прийняті спеціальні заходи для контролю і обмеження шкідливих викидів та шуму. Розрізняють такі види шумів, що виникають при роботі електросталеплавильного устаткування: корпусний шум, породжуваний механічними вібраціями; повітряний шум, безпосередньо створюваний витяжними системами цеху.

Основними джерелами повітряного шуму, які вимагають у ряді випадків використання спеціального шумопоглинаючого обладнання, є напівпровідниковий перетворювач енергії змінного струму в постійний і система відводу шкідливих виділень. В пічних установках використовуються наступні види шумопоглинаючого обладнання:

- звукопоглинальні підставки;

- звукопоглинальні кожухи;

- глушники шуму.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для оператора зварювальної машини

№ з/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Норматив незначення	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, та характер праці		
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступ
1	Шкідливі хімічні речовини,					
	2 клас небезпеки : SO_2	1	4,8	4,8р		
	3- клас небезпеки: NO_2	5	5,5	1,1р		
	4- клас небезпеки: CO	20	71	3,5р		
2	Вібрація (загальна), дБ	92	95	3		
3	Шум, дБА	80	90	10		
4	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, °С	25	37-45			20
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,3			
	- відносна вологість повітря,	60	70		10	
5	Інтенсивність тепловіддачі, Вт/м^2	140	200	60		
6	Важкість і напруженість праці	Середньої важкості 2б; напружена				

Джерелом шуму є також вібрація обладнання (насосів, трубопроводів і т.п.). У зв'язку з цим, основним методом боротьби є звукоізоляція джерела, і основні заходи при цьому:

- пристрій віброізолювання бетонного фундаменту під піччю;
- віброізоляція магістральних насосів;
- віброізоляція опорних зв'язків трубопроводів;
- шумоізоляція напівпровідникових пристроїв;
- застосування шумоглушників в каналі викиду шкідливих газів.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у мережах застосовується устаткування в захисному виконанні. Усі частини, що проводять струм, і проводи ізольовані. Опір ізоляції не менш 500 кОм. Застосовується захисне блокування, тобто відключення електричних ланцюгів під час аварійних ситуацій з повним часом спрацьовування 0,2 секунди. Електроустаткування електросталеплавильного цеху живиться від мережі змінного струму напругою 10кВ/1200В/50Гц.

Для одного робітника (оператора пічної установки) відповідно до гігієнічної класифікації дана гігієнічна характеристика трудового процесу і факторів виробничого середовища, складено карту умов праці (таблиця 4.1).

Умови і характер праці належать до II класу. На робочих місцях наявні чотири чинники 1 ступеня, два чинники 2 ступеня і один чинник 3ступеня.

4.2 Технічні рішення з виробничої санітарії цеху

4.2.1 Опалення і вентиляція

Для приміщень цеху при категорії робіт середньої важкості приведені в таблиці 4.2. Параметри умов виробничого середовища установлюються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

У виробничому приміщенні, при кількості виділень тепла, достатньому для обігріву приміщень в холодний період року система опалення не потрібна. У виробничому приміщенні, використовується природна і механічна вентиляція.

Природна вентиляція відбувається за рахунок аерації. Аерація здійснюється під дією аеростатичного і вітряного тиску. Для припливу зовнішнього повітря в приміщенні встановлені прорізи в зовнішніх стінах і

ліхтарі в «холодних» прольотах, що чергуються з «гарячими», причому прольоти відокремленні один від одного спущеними зверху перегородками, що не доходять до підлоги на 2 - 4 м.

Таблиця 4.2 – Нормативні параметри умов виробничого середовища

Характеристики виробничих приміщень з надлишковим тепловиділенням С>23 Вт($м^3$)	Категорія роботи	Період року (теплий, холодний)		
		На постійних робочих місцях		
		Температура повітря,^{0}С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Теплий період року	Середньої важкості-2б	22-25;	40-70;	0.2-0.3;

При механічній вентиляції повітрообмін досягається за рахунок різниці тисків, створюваних вентилятором. Механічна вентиляція застосовується у випадках, коли тепловиділення на підприємстві недостатньо для використання протягом цілого року, аерації, а так само, якщо кількість або токсичність шкідливих речовин, що виділяються в повітря приміщення, вимагає постійного повітрообміну незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

Для видалення надлишків тепла передбачається приточно-витяжна загальнообмінна вентиляція приміщень котельні. У теплий період року подача повітря в робочу зону здійснюється через фрамуги вікон. Витяжка здійснюється з верхньої зони через дефлектори.

4.2.2 Природне і штучне освітлення

Приміщення електросталеплавильного цеху забезпечено достатнім природним світлом, а у нічний час - електричним освітленням. Місця, що з

технічних причин не можна забезпечити природним світлом, забезпечені електричним освітленням. Освітленість відповідає СНіП 2-4-79 «Природне і штучне освітлення».

Характеристика приміщення залу:

- характер робіт постійне спостереження
- розряд зорової роботи 8
- підрозряд роботи В
- контрастність об'єкта розпізнавання велика
-тіло світле
- коефіцієнт природної освітленостіЕ$_н$

При верхньому і комбінованому. освітленні 0,9%

- коефіцієнт природної освітленості Е$_н$

При звичайному освітленні 0,3%

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей, і може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення використовуються для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ).

Штучне освітлення проектується двома системами: загальне (рівномірного або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве.Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими і

неосвітленими місцями стомлює око сповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків. Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу ДРЛ-150, або світильники типу «Астра». Для місцевого освітлення використовуються лампи накалювання потужністю 150 Вт і світильники НСП-200.

Аварійне освітлення передбачає найменшу припустиму освітленість.

Для внутрішніх приміщень складає 5 лк, але не менш 2 лк, у проходах і на сходах приміщень не менш 0,5 лк, на відкритих площах не менш 0,2 лк.

4.2.3 Санітарно - побутові приміщення

При улаштуванні санітарно-побутових приміщень у дипломній роботі керуємося СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будинки». Конструкція стін, вікон, стель тощо у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії, і забезпечує сприятливі умови праці робочому персоналу.

До числа побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їхнього перебування на роботі: приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, питного водопостачання і комору для інвентарю. На території підприємства обладнані санітарні пункти, укомплектовані аптечками й іншими медичними препаратами.

4.2.4 Шум і вібрація в цеху

Робота устаткування, а також пульсація потужного електричного поля всередині печі створюють у цеху шум і вібрацію. Тому існують різні види шуму. Серед них розрізняють механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи,

насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - у електросталеплавильному цеху, середній - на робочому місці оператора, найменший - у побутових і допоміжних приміщеннях.

Сильний шум має шкідливий вплив на здоров'я людей. Тривалий шум пригнічуючи діє на центральну нервову систему і через неї на весь організм. Це свідчить про необхідність розроблення і впровадження заходів для ослаблення шуму і захисту від нього обслуговуючого персоналу.

З метою зменшення шуму застосовують звукоізолюючі конструкції:

- звукоізоляційна місця керування поста оператора дугової печі;

- звукоізоляція трубопроводу.

Джерелом вібрації в цеху слугують насоси, двигуни, тощо. Гранично припустимий рівень вібрації 92 дБ. Вплив вібрації приводить до різних порушень здоров'я людини і може стати причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація впливає на нервову, серцево-судинну систему людини, відбувається порушення у вестибулярному апараті, порушується обмін речовин, виникають головні болі, погіршується сон і та ін.

Як захисні міри використовують віброізоляцію. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводах і трубопроводах, приєднання їх до вентиляторів і насосів відбувається за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини. Під джерелом вібрації встановлений міцний фундамент.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Відповідно до вимог охорони праці виконане компонування устаткування цеху, а також визначено комплекс заходів щодо охорони праці. Застосовано засоби контролю за параметрами системи автоматичного регулювання технологічними процесами, а також системи протиаварійних мір і блокувань.

Електроустаткування і заходи щодо його безпечної експлуатації. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання котельні забезпечено робочою ізоляцією - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом.

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» електротехнічні вироби котельні по способу захисту людини від поразки електричним струмом відносяться до 1 класу в якому є робоча ізоляція, а також є елемент для заземлення.З урахуванням вимог «Правил устрою електроустановок», НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности»обладнання котельні забезпечено від перевантажень автоматизованою системою керування. Для запобігання ураження електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, слід використовувати захисне заземлення. Для розподілення електроенергії котельні встановлюють модульну шафу з автоматичним вимикачем, магнітним пускачем.

Перед пуском електродвигунів, подається попереджувальний сигнал. Особи, що обслуговують електроустановки мають кваліфікаційну групу не нижчу 3-ої. Усі частини, які проводять струм, ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, плівки, емалеві й олійні фарби, а також блокування апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів.

Захисне заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами, опір пристрою, що заземлює, не перевищує 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів чітко зазначені положення «включено» і «виключено». Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники.

У цеху впроваджений комплекс організаційних заходів спрямованих на профілактику аварійних ситуацій. До таких заходів відноситься чіткий розподіл обов'язків між обслуговуючим персоналом, закріплення обслуговування окремих одиниць устаткування за конкретними працівниками, розроблення посадових інструкцій для всіх категорій працівників і періодична перевірка знань персоналу.

З метою профілактики аварійних ситуацій, такий об'єкт, як сталеплавильний цех, підлягає періодичному огляду й іспиту обладнання місцевими органами Держгірпромнагляд. Для запобігання витоку газу через зварні й болтові з'єднання, запірну арматуру, газопровід у зборі проходити іспит Держнаглядохоронпраці України.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Строительные нормы и правила противопожарные нормы» за ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій цех відноситься до категорії "Г". Проектом передбачається можливість швидкої евакуації людей із приміщення цеху. Сталеплавильний цех має два евакуаційних виходи в протилежних боках будівлі. Двері зі службових і допоміжних приміщень відкривається убік цеху. Мається також два пожежних сходи.

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: пінні вогнегасники ОВП -10, порошкові вогнегасники ОП-5, ОП-7, пожежний інвентар (покривало з теплоізоляційної полотнини, шухляди з піском, діжки з водою, пожежні відра, совкові лопати, багри, ломи, сокири та ін.). У цеху мається внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами і рукавами, а також є пожежні щити, в комплект яких входять: два вогнегасники, шухляда з піском,

два ломи, три багри, дві лопати. Для персоналу цеху проводяться протипожежні навчальні заходи раз у квартал; інструктаж із Охорони праці і пожежної безпеки.

4.5 Захисні заходи з електробезпеки

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики [16].

Електричний струм, який проходить крізь живий організм, чинить термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна та електролітична дія властива будь-яким провідникам, а біологічна - тільки живій тканині.

Для забезпечення безпеки при експлуатації електроустановок в проекті всі електроустановки заземлюються шляхом їх приєднання не менш ніж у двох місцях до контурів заземлення електрообладнання та блискавкозахисту з урахуванням вимог ПУЕ [13].

Розрахункові струмові навантаження не перевищують максимально припустимі для вибраних перетинів проводів та кабелів. Апарати, прилади дроти, шини і конструкції відповідають нормальним умовам режиму коротких замикань. Заземлення електрообладнання забезпечує безпеку персоналу при експлуатації та ремонті електроустановок. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 і 8 Ом при міжфазних напругах 380 і 220 В, відповідно.

Електроспоживаючі установки, електричні пристрої в певних випадках можуть призвести до ураження електричним струмом. Контакт людини з не теплоізольованими поверхнями теплопроводів і обладнання теплової схеми може призвести до опіків різного ступеня тяжкості.

Захист та зони захисту від блискавки

Щоб уникнути небезпеки ураження блискавкою, обладнають захист, яка представляє собою комплекс захисних пристосувань, призначених убезпечити людей, будинки і споруди, обладнання та матеріали від можливих вибухів, загорянь і руйнувань, які виникають при дії блискавки, а в будинках сільськогосподарських підприємств - також для безпеки тварин і птахів.

Пристрої, призначені безпосередньо для прийому електричного розряду блискавки, відводять його струм в землю і називають блискавковідводами. Зоною захисту блискавковідводу називають частину простору, який прилягає до блискавковідводу і захищає споруду від прямих ударів блискавки з достатнім ступенем надійності (99%). Радіус зони захисту обчислюється за конкретними параметрами для того чи іншого громовідводу. Щодо ступеня надійності зони захисту блискавковідводів поділяють на два типи: А - з ступенем надійності 99,5% і вище; Б - 95% і вище.

Блискавкоприймачі повинні бути виготовлені (оцинковані або пофарбовані): стрижневий - перетином не менше ніж 10 мм² і довжиною не менше ніж 200 мм, тросовий (Багатодротовий оцинкований трос) - перетином не менше ніж 35 мм². Встановлюються на димарях, у найвищий точці.

4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні протишуми (антифони). Як зовнішні протишуми рекомендують використовувати шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні протишуми– заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід.

Ступінь ослаблення шуму залежить від конструкції протишуму і частоти. Заглушки послаблюють шум на 5-7 дБ при частотах до 500 Гц і на 15 дБ при

частотах понад 3000 Гц. Протишуми конструкції МІОТ послаблюють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах 5000-7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів придатні заглушки – кліпси, які представляють собою гумові пробочки з плоскою торцевою поверхнею, які закріплені на обідку з сталевого дроту, що пружинить, діаметром 1,5-2 мм. Для захисту від тепловиділень на об’єкті застосовують щільні матеріали з тканини, а також захисні рукавички.

Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

4.7 Рішення щодо захисту навколишнього середовища

Шамотне виробництво є одним з виробництв, що викидає велику кількість небезпечних речовин. Величина викидів залежить від застосовуваної сировини, технологічного режиму плавки і способу відведення газів. Висока температура і дія електричної дуги в робочому просторі викликає утворення оксиду вуглецю, оксидів азоту і сірки, ціанідів і фторидів, які викидаються з печі разом з газами. Вихід технологічних газів з печей визначається згорянням вуглецю шихти і електродів, розкладанням необпаленої частини вапняку і підсмоктуванням атмосферного повітря в піч.

Зниження вмісту шкідливих речовин забезпечується суворим дотриманням технологічного процесу. Таким чином, основним засобом боротьби із забрудненням навколишнього середовища при процесі плавки є забезпечення правильності технологічного процесу та ефективної роботи газоочисного обладнання.

4.8 Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітряобміну

На сьогоднішній день в цеху використовуються печі марки ДСП. Відповідно до технологічної частини проекту об'єм приміщення цеху дорівнює:

$$V = B \cdot H \cdot L \ . \tag{4.1}$$

$$V = 39 \cdot 26 \cdot 18 = 18252 \ \text{м}^3.$$

де В – ширина приміщення цеху, м;

Н – висота приміщення цеху, м;

L довжина приміщення цеху, м.

Для створення необхідного повітрообміну розрахункова кількість вентиляційного повітря визначиться за формулою:

$$L = \frac{Q}{c_в \rho (t_{відх} - t_п)}, \tag{4.2}$$

де Q – виділення в приміщення явного тепла, кВт;

$c_в$ – теплоємність повітря, $c_в$ = 1 кДж/кг К;

ρ щільність повітря, ρ = 1,2 кг/м^3;

$t_{відх}$ – температура повітря, що видаляється, К;

$t_п$ – температура приточного повітря, К.

При допустимій інтенсивності теплового випромінювання 140 Вт/м^2[11] і фактичній 200 Вт/м^2, сумарне тепловиділення від зовнішніх поверхонь устаткування і трубопроводів з площею поверхні F = 42 м^{2}дорівнює:

$$Q = F \cdot q \ . \tag{4.3}$$

де F – площа виділення теплоти, м^2;

q - інтенсивність теплового випромінювання,

$$Q = 42 \cdot 60 = 2520 \text{ Вт.}$$

Для приведення складових формули до співрозмірних одиниць виміру представимо Q як 2,52 кДж/с. Для літнього періоду перепад температур Δt = ($t_{ух}$ - $t_н$) = 3 К.

Тоді:

$$L = \frac{2.52}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 3} = 0.7 \text{ м}^3\text{/с} \cdot 3600 \text{ с} = 2523 \text{ м}^3\text{/год.}$$

У даному проекті передбачається установка в електросталеплавильному цеху дефлекторів типу ЦАГИ. Ухвалено наступне конструктивне рішення установки дефлекторів - установка по коньку даху необхідної кількості дефлекторів. З приміщення цеху необхідно видаляти дефлекторами 2523 м^3/год повітря. Розрахункова швидкість вітру приймається для Запоріжжя – 2 м/с [12]. Користуючись характеристиками дефлекторів при значенні повного тиску в патрубку дефлектора Н = 0,02 Па, попередньо вибираємо дефлектор №7 (діаметр патрубка Д = 700 мм, висота Н = 1200мм, висота патрубка $Н_1$ = 900мм, зовнішній діаметр $Д_1$=1300мм).

Розрахункова продуктивність дефлектора визначиться за формулою:

$$L_Д = \frac{B - \sqrt{B^2 + 4K \cdot H_c}}{-2K}, \qquad \text{.....(4.4)}$$

де К – коефіцієнт опору мережі, Па;

B - коефіцієнт опору повітряпроводу.

Динамічний тиск повітря при прийнятій швидкості вітру V = 2,0 м/с і ρ = 1,29 кг/м^{3}дорівнює, Па [13]:

$$h_{дв} = \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2},$$

Тоді,

$$h_{дв} = \frac{2^2 \cdot 1{,}29}{2} = 2{,}58 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору повітряпроводу визначаємо за виразом:

$$B = 0{,}0577 \cdot \frac{\nu_в}{d^2}. \quad (4.5)$$

де $\nu_в$ - розрахункова швидкість вітру, 2 м/с;

d - діаметр повітряпроводу, м.

$$B = 0{,}0577 \cdot \frac{2}{0{,}7^2} = 0{,}235$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів для дефлектора ЦАГИ $\sum\xi = 0{,}6$.

Опір повітряпроводу Hc до дефлектора:

$$Hc = \sum \xi \cdot h_{дв}. \quad (4.6)$$

$$H_c = 0{,}6 \cdot 2{,}58 = 1{,}548 \text{ Па}.$$

Знаходимо коефіцієнт опору мережі:

$$K = \frac{H_c}{h_{дв}^2}. \quad (4.7)$$

$$K = \frac{1{,}548}{2{,}58^2} = 0{,}23 \cdot$$

Тоді:

$$\text{Lд} = \frac{0{,}235 - \sqrt{0{,}235 + 4 \cdot 0{,}23 \cdot 1{,}548}}{-2 \cdot 0{,}23^2} = 0{,}38\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Необхідна кількість дефлекторів, шт:

$$N = \frac{L}{L_Д} \cdot \tag{4.8}$$

$$N = \frac{0.7}{0{,}38} = 1{,}84 \approx 2$$

Результати розрахунку підтверджують необхідність установки в приміщенні цеху двох дефлекторів №7 ЦАГИ з діаметром патрубка 700 мм.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих методів регулювання продуктивності показав, що регулювання зміною швидкості обертання є енергетично більш доцільним порівняно з регулюванням дросселированием і ступінчастим регулюванням подачі.

Перерахунок напірно-витратних характеристик при змінної швидкості обертання показав, що при збільшенні аеродинамічного опору мережі відбувається збільшення споживаної потужності і зменшення подачі вентилятора.

Зроблено розрахунок електромеханічних і енергетичних характеристик приводу вентилятора при частотному регулюванні.

Результати математичного моделювання системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа з урахуванням інерційності процесів, що протікають показав, що для розімкнутої системи при зменшенні частоти живильної мережі величина потужності, споживаної вентилятором, знижується на 62,5%; ККД вентилятора при цьому змінюється незначно і тримається на рівні максимального.

Виконані дослідження динамічних процесів, що протікають в замкнутій системі регулювання параметрами вентиляційної установки, довели працездатність запропонованої математичної моделі системи ПЧ-АД-вентилятор-аеромережа враховує інерційність системи.

В економічній частині зроблено розрахунок собівартості і річних експлуатаційних по розробленій математичній моделі.

У розділі охорони праці було приділено увагу шкідливих і небезпечних факторів, способів і методів їх нормалізації та пожежної безпеки в електроустановках, а також проведений розрахунок заземлення для даного об'єкту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кравчук В.В., Кондратенко В.І., Коробко В.І. Електропривод: підручник. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 275 с.

2. Руденко О.С., Ковальчук В.М., Кондратенко В.І. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. – Київ: Либідь, 2002. – 512 с.

3. Чорний О.П., Луговий А.В., Родькін Д.Й. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник. – Кременчук: КДПУ, 2001. – 376 с.

4. Чиликін М.Г., Ключев В.І., Сандлер А.С. Теорія автоматичного керування: підручник. – Київ: Вища школа, 1982. – 616 с.

5. Прандтль Л. Основи гідроаеромеханіки: навчальний посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 576 с.

6. Овчаренко А.С., Рабинович М.Л. Електропостачання промислових підприємств: підручник. – Київ: Техніка, 1985. – 279 с.

7. Усатенко С.Т., Даченюк Т.К., Терехова М.В. Виконання електричних схем за ЄСКД: довідник. – Київ: Стандарт, 1989. – 325 с.

8. Дяченко С.М., Коваленко В.Г. Автоматизований електропривод промислових механізмів. – Харків: ХНУРЕ, 2008. – 312 с.

9. Жежеленко І.В. Показники якості електроенергії та їх контроль на промислових підприємствах. – Київ: Електроатомиздат, 1986. – 168 с.

10. Сердюк А.А., Коренькова Т.В., Баженова Ю.В. Режими роботи комп’ютеризованого аеродинамічного комплексу // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: зб. наук. праць КДПУ. – Вип. 6/2005(35). – Кременчук: КДПУ.

11. Зубова О.І., Колесник Я.М. Методичні вказівки щодо оформлення дипломних та курсових проєктів: навчальний посібник. – Кременчук: КДПУ, 2001. – 84 с.

12. Смирнитський Б.В. Автоматизований електропривод типових промислових механізмів: навчальний посібник. – Харків: ХГПУ, 1998. – 220 с.

13. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Електропривод турбомеханізмів. – Київ: Енергетика, 1972. – 240 с.

14. Черкаський В.М. Насоси, вентилятори, компресори. – Київ: Енергетика, 1977. – 320 с.

15. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматичне частотне керування асинхронними двигунами. – Київ: Енергетика, 1974. – 328 с.

16. Загальна електротехніка і основи електроніки" / В.М. Співак, А.М. Гуржий, А.Т. Нельга, О.С. Ітякін. – Київ: КПІ, 2020. – 266 с.

17. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури" / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш. – Львів, 2010. – 222 с.

18. Тлумачний польсько-українсько-англійський словник з енергетики" /М. Гінзбург.

19. Теоретичні основи електротехніки: методи розрахунку нелінійних електричних кіл" / В.І. Коробко, В.В. Кондратенко. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 180 с.

20. Методичні вказівки до дипломного проектування з розділу “Охорона праці”[Текст] : - Запоріжжя.: ЗДІА, 2012. – 60с.

21. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж[Текст] : Правила./ ДП ”НТУКЦ” АсЕлЕнерго, - Київ, 2003. – 25 с.

22. Депутат, О.П. Цивільна оборона [Текст]/О.П. Депутат, В.І Коваленко, І.С. Мужик. – Львів.: Афіша, 2001.ISBN 966-06-0196-6.

23. Проектування. Порядок розробки, погодження та затвердження проектної документації для будівництва[Текст]: ДБН А.2.2-3-2004.–Введ. – 2004-07-01. – Київ: Держстандарт України, 2004. – 39 с.

24. Основні вимоги до проектної та робочої документації [Текст]: ГОСТ 21.101.97.–Введ. – 1998-04-01. – М.: Изд-во. стандартов, 2003. –25с.

25. Правила пристрою електроустановок[Текст]: Глави 1.7, 2.4, 1.9, 2.5// ПУЕ-2006. – Введ. – 2006-05-01. – К.: ІМЦ, 2006. – 653с.

26. Вказівки щодо проектування електропостачання промислових підприємств[Текст]: СН 174-75. – Введ. – 1994-01-01. – К.: Важпромелектропроект, 1994. – 34 с.

27. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]: ДНАОП 0.00-1.21-98. – Введ. – 1998-02-10. – К.: Мін. праці і соц.. політики України, 1998. – 134 с.

28. Інструкція з пристрою блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]: РД 34.21.122-87. – Введ. – 1997-07-30. – Київ: Мінпаливенерго України, 1997. – 43 с.

29. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги електробезпеки [Текст]: ГОСТ 12.2.007.0-75. – Введ. – 1978-01-01. – М.: Будвидат, 2003. – 17 с.

30. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1-7-2002. – Введ. – 2017-06-01. – К.: УкрНДІЦЗ, 2017. – 39 с.

31. Енергозбереження. Основні положення[Текст]: ДСТУ 2339-94. – Введ. – 1994-01-31. – К.: Держстандарт України , 1994. – 29 с.

32. Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750кВ [Текст]: ГКД 341.004.001-94. – Введ. – 1994-09-05. – Х.: «Індустрія» ,2011. – 58 с.