

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності системи повітрязабезпечення
вогнетривної ділянки ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412

спеціальності 141 Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Бакум М. М.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Друбецька Т.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

2023

**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., доц. В.Л. Коваленко
« _____ » _____ 2023 року

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

Бакуму Максиму Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності системи повітрязабезпечення
вогнетривної ділянки ПрАТ «Запоріжвогнетрив»

керівник роботи Друбецька Т.І. к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи: Сучасний стан біогазових технологій в Україні в
контексті його вироблення та спалювання на підприємствах металургійного
профілю, існуючі сисетми управління процесами виробництва та спалювання
біогазових сумішей.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 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.

5 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.

6 Перелік графічного матеріалу: 1) Аналіз ефективності енергоспоживання ділянки цеху 2) План цеху. 3) Схема 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

7 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Друбецька Т.І. к.т.н., доцент		
Розділ 2	Друбецька Т.І. к.т.н., доцент		
Розділ 3	Друбецька Т.І. к.т.н., доцент		
Розділ 4	Друбецька Т.І. к.т.н., доцент		

8 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ефективності роботи вентиляційних установок	30.09.2023	
2	Математичне моделювання системи енергопостачальна мережа - асинхронний двигун - вентилятор - аеромережа	15.10.2023	
3	Впровадження заходів з економії електричної енергії ділянки вогнетривних бетонів ПрАТ «Запоріжвогнетрив»	25.10.2023	
4	Охорона праці та техногенна безпека	10.11.2023	

Студент М. М. Бакум
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи Т.І. Друбецька
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер І.І. Бандуренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакум М. М. Підвищення енергоефективності системи повітрязабезпечення вогнетривної ділянки ПрАТ «Запоріжвогнетрив». Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Т.І. Друбецька. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

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

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

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

ABSTRACT

Bakum M. M. Improvement in the energy efficiency of the wind-safe heating system of the PJSC “Zaporizhvognetriv”. Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor T.I. Drubetska. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

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, FAN INSTALLATIONS, MATHEMATICAL MODEL, ENERGY EFFICIENCY

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз ефективності вентиляційних установок	12
1.1 Існуючі технологічні схеми вентиляційних установок	12
1.2 Опис схеми функціонування вентиляційних установок	18
1.3 Аналіз продуктивності вентилятора при зміні швидкості обертання	35
2 Моделювання системи електропостачання мережа - асинхронний двигун - вентилятор - повітряна мережа	40
2.1 Розробка функціональної схеми керування електромеханічної системи	40
2.2 Математичний опис елементів системи	41
2.3 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки у відкритій системі	46
2.4 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в замкнутій системі	51
3 Впровадження енергозберігаючих заходів в умовах ПрАТ «Запоріжвогнетрив».....	55
3.1. Коротка характеристика об'єкта дослідження	55
3.2 Виробнича структура і сортамент вогнетривкої ділянки	57
3.3 Огляд споживачів електроенергії підприємства	60
3.4 Аналіз споживання електроенергії підприємством.....	62
3.4.1. Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок ділянки.....	62
3.4.2. Динаміка споживання електричної енергії.....	64
3.5 Техніко-економічне обґрунтування.....	66
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	71
4.1 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	71

4.2. Технічні рішення виробничої санітарії цеху.....	74
4.2.1 Опалення та вентиляція.....	74
4.2.2 Природне і штучне освітлення	75
4.2.3 Санітарія.....	78
4.2.4 Шум і вібрація в цеху.....	78
4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці.....	78
4.4 Заходи пожежної безпеки.....	80
4.5 Заходи з електробезпеки.....	81
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	82
4.7 Екологічні рішення.....	83
4.8 Інженерні рішення щодо забезпечення необхідного повітрообміну.....	84
Вісновки.....	88
Перелік посилань.....	89

ВСТУП

Сучасний курс прискореного соціально-економічного розвитку країни передбачає акцент на підвищенні ефективності капітальних вкладень у будівництво, забезпеченні своєчасного введення в експлуатацію основних фондів і виробничих потужностей, технічному переоснащенні та реконструкції діючих підприємств, а також впровадженні передових технологій та енергозберігаючих заходів.

Сумарні витрати на тепlopостачання народному господарству і населенню складають значну частину паливно-енергетичних ресурсів, що використовуються країною. Тому раціональне використання теплових ресурсів, оптимальне управління тепловим режимом будівель, а також удосконалення систем опалення, вентиляції та кондиціонування мають стратегічне значення.

Гідравлічні машини, такі як насоси і вентилятори, є важливою складовою інженерного обладнання будівель і споруд, які відіграють ключову роль в роботі систем опалення, вентиляції, кондиціонування, водopостачання та каналізації.

Виходячи з важливості цих систем для життя і діяльності людини, розвиток промисловості і будівництва визначається ефективністю гідравлічних машин. Такий підхід сприяє створенню високопродуктивних операцій, які визначаються ефективністю систем опалення, охолодження, вентиляції та кондиціонування.

Гідравлічні машини, такі як насоси, вентилятори та інші, визначаються не тільки типом рідини, що переміщується, але і тиском, що створюється. Ці машини разом з гідромоторами і гідротрансмiсіями відносяться до класу гідравлічних машин, які є необхідною частиною різних систем і конструкцій.

Таким чином, раціональне використання енергетичних ресурсів та оптимізація роботи гідравлічних машин у системах будівель є стратегічно важливими завданнями для забезпечення сталого соціально-економічного розвитку країни. У зв'язку з величезним виробництвом вентиляторів (сотні тисяч

на рік одних тільки осьових вентиляторів) велике значення має їх матеріаломісткість. Оскільки дуже часто вентилятор інтегрується в іншу машину або іншу виробничу лінію, його допустимі розміри та вага обмежені. Високий ККД при даних умовах компоновання є обов'язковим, що дуже важливо для зниження енергоспоживання і особливо важливо, коли привід вентилятора живиться не від мережі, а від автономного джерела живлення. Особливі вимоги пред'являються до регулювання вентилятора поворотом лопатей, до форми його характеристик, до зворотного потоку вентилятора і т.д.

Вимоги до вентиляторів постійно змінюються з появою нових установок і процесів. У той же час часто немає можливості використовувати вентилятори або навіть базувати розроблені вентилятори на відомих аеродинамічних схемах. Існує розбіжність у створенні нової аеродинамічної схеми, що забезпечує задані аеродинамічні, акустичні, вагові та розмірні параметри з високою ефективністю. При цьому повинні бути розроблені вхідні і вихідні патрубки, що з'єднують вентилятор з мережею, від яких багато в чому залежить ефективність роботи вентиляційної установки.

Об'єктом дослідження є вентиляційна система вогнетривкої бетонної ділянки ПрАТ «Запоріжвогнетрив».

Предметом дослідження є робота системи стабілізації тиску вентиляторної установки на основі математичної моделі.

Метою роботи є дослідження структури енергоспоживання вогнетривкої бетонної ділянки ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; вивчити роботу вентиляційної системи ділянки вогнетривкого бетону ПрАТ «Запоріжвогнетрив»; розробити рекомендації щодо стабілізації тиску вентиляторної установки на основі математичної моделі.

Вентиляційні установки є одними з найбільш відповідальних і досить енергоємних агрегатів промислових підприємств, що обумовлює необхідність використання високонадійної і економічно вигідної системи приводу вентиляторів. Аналіз режимів роботи показує, що в більшості випадків ці режими змінні і залежать від багатьох факторів. Під час роботи вентилятора

можна спостерігати досить широку зміну параметрів потоку і розсіювання. Тому необхідно передбачити якомога більший спектр економічних режимів, який, як прийнято в даний час, обмежений областю з ККД не менше 0,6 [1].

Під регулюванням режиму роботи ВУ розуміється навмисна зміна потоку і тиску вентилятора відповідно до нового режиму роботи системи споживача. Продуктивність вентилятора може регулюватися за наступними технологічними схемами: вплив на механізм турбонаддуву (обертання лопатей робочого колеса), вплив на мережу (дроселювання клапаном (шибером)), а також вплив на привід механізму турбонаддуву (зміна швидкості обертання крильчатки одного з вентиляторів), а також зміна кількості одночасно працюючих агрегатів.

1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

1.1 Існуючі технологічні схеми вентиляційних установок

Вентиляційні установки, що застосовуються на промислових підприємствах, визначаються як відповідальні та енергоємні агрегати, що вимагають застосування високоефективної та економічно доцільної системи електроприводу вентиляторів. Аналіз режимів роботи показує варіативність цих режимів, яка залежить від багатьох факторів. У експлуатаційний період можлива значна зміна параметрів потоку і напору. Таким чином, важливо забезпечити максимальну гнучкість економічних режимів, яка зараз часто обмежується зоною ефективності не менше 0,6.

Регулювання режиму роботи вентиляційних установок означає, що подача і тиск вентилятора змінюються цілеспрямовано відповідно до нового режиму роботи системи споживача. Регулювання продуктивності може здійснюватися різними технологічними схемами: впливом на механізм турбонаддува (зміна положення лопатей крильчатки), впливом на мережу (дроселювання клапаном або шибером), а також впливом на привід механізму турбонаддува (зміна швидкості обертання крильчатки одного з вентиляторів), а також зміною кількості одночасно працюючих агрегатів.

Великі осьові вентилятори використовують кут зміни лопатей для регулювання потоку. Такі вентилятори мають механізм повороту лопатей, що дозволяє змінювати кут нахилу від -10 до +150 градусів щодо номінального значення, що призводить до зміни витрати в межах 0,6 від номінальної витрати.

За допомогою лопатевого направляючого апарату можна регулювати потік, що надходить в механізм турбіни, змінюючи його кут. Це дозволяє ефективно регулювати витрату до 30%, забезпечуючи стабільну роботу мережі. Такий підхід забезпечує ефективне регулювання і відповідає вимогам сучасних вентиляційних систем. Зниження енергоспоживання при контролі визначається

заштрихованою ділянкою між лініями N1 і III-III, що підтверджує порівняльну ефективність даного способу управління відцентровими вентиляторами.

Характеристики ВУ і електромережі при управлінні подачею повітря дроселем показані на рисунку 1.1. При повному відкритті засувки точка режиму роботи А визначає режим роботи агрегату, тобто витрата Q_A , напір ГКД, потужність N_A і ККД машини. Якщо дросельна заслінка закрита на нагнітальному патрубку, положення характеристики труби зміниться і точка А переміститься вліво вгору і займе положення В. η

Подальше перекриття дросельної заслінки призводить до того, що система трубопроводів ще більше зміщується вгору, і точка А переміститься в точку С, визначаючи нові значення параметрів Q_C , n_C , $n_{C,C}$. η Таким чином, управління дросельною заслінкою при постійній частоті обертання вентилятора досягається за рахунок введення додаткового аеродинамічного опору в мережу трубопроводів турбодвигуна. Оскільки найбільша швидкість потоку досягається при повному відкритті дросельних заслінок, регулювання дросельної заслінки використовується лише з метою зменшення потоку.

На рисунку 1.2 видно, що дроселювання знижує потужність на валу вентилятора і одночасно збільшує частку енергії, що витрачається при регулюванні, тому це не економічно. Наприклад, при налаштуванні на блок живлення, який дорівнює Q_C , непродуктивний напір, споживаний в дросельній заслінці, визначається відрізком Гцд, а втрачена потужність в цьому випадку дорівнюватиме:

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

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

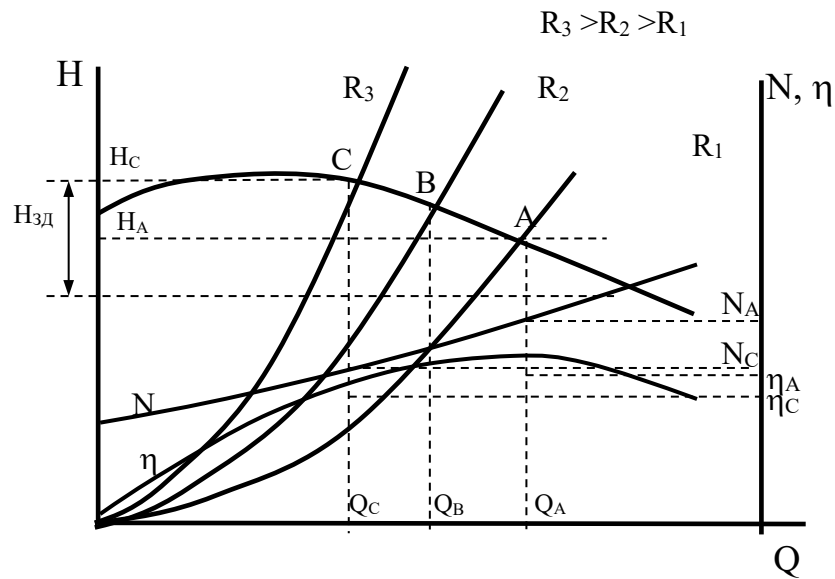


Рисунок 1.1 – Потужність дроселюючого вентилятора

Чим глибше йде процес регулювання дроселювання, тим неефективне енергоспоживання. Ви також можете використовувати регулювання тиску та продуктивності, вмикаючи та вимикаючи вентилятори. Такий спосіб регулювання ефективний при ступінчастому споживанні, коли працює з великим споживачем, а споживана потужність змінюється поетапно.

Також є можливість регулювати вентиляційні установки, змінюючи діаметр крильчатки вентилятора. Вентилятори, що випускаються заводами, мають номінальний діаметр крильчатки. У реальних умовах обрізка робочого колеса часто використовується для вирішення проблем, спричинених продуктивністю мережі, що передбачає зменшення зовнішнього діаметра робочого колеса шляхом повороту крильчатки. Відрізане колесо зазвичай залишає форму лопатей ротора незмінною.

Для визначення параметрів вентилятора після повороту колеса можна скористатися формулами подібності з достатньою точністю:

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

де H – натиск вентилятора до обточування колеса, м;

$H_{об}$ – натиск створюваний вентилятором після обточування колеса, м;

Q - продуктивність вентилятора до обточування колеса, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{об}}$ – продуктивність вентилятора після обточування колеса, $\text{м}^3/\text{с}$;

N – корисна потужність вентиляційної установки до обточування робочого колеса вентилятора, Вт;

$N_{\text{об}}$ – корисна потужність вентиляційної установки після обточування робочого колеса вентилятора, Вт;

D – діаметр робочого колеса вентилятора до його обточування, мм;

$D_{\text{об}}$ – діаметр робочого колеса вентилятора після його обточування, мм.

З рівнянь (1.2) випливає, що при зміні діаметра колеса відношення квадрата діаметра колеса до тиску або витрати є постійною величиною.

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

З останніх виразів випливає: $k_1 H = k_2 Q$. Позначивши $\frac{k_2}{k_1} = k$,

отримаємо: $H = kQ$.

Тому точки, що задовольняють рівнянню пропорційності (1.2), розташовуються на лініях, що проходять через початок координат (рис. 1.2).

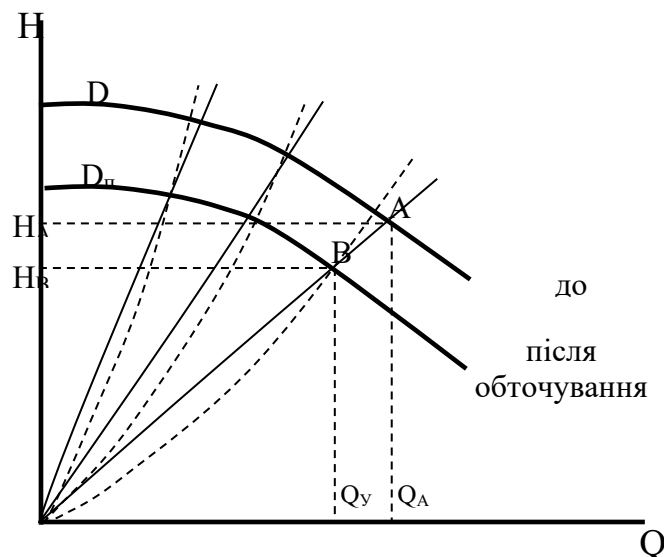


Рисунок 1.2 – Зміна тиску вентилятора і характеристик витрати в залежності від діаметра робочого колеса

Для робочих коліс відцентрових вентиляторів з коефіцієнтом швидкості $n_s < 150$ більш точний результат отримують шляхом перерахунку характеристики тиску за формулами:

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

З останнього рівняння випливає $H = kQ^2$: , тобто режимні точки при обертанні розташовуються на параболах вершиною в центрі координат (рис. 1.3, пунктирні лінії). Щоб визначити оптимальне значення ККД при повороті крильчатки з достатнім ступенем точності, можна скористатися формулою:

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

Значного економічного ефекту можна досягти, регулюючи витрату шляхом зміни частоти обертання робочого колеса вентилятора. На рисунку 1.4 показано положення характеристики тиску. Так як положення $n_1 > n_2 > n_3 > n_4$ шиберної засувки залишається незмінним, то загальний опір трубопроводу не змінюється і положення його характеристики залишиться колишнім. При зменшенні частоти обертання робочого колеса точка режиму роботи А буде переміщатися відповідно до характеристики Q-H, а потік вентилятора і напір зменшуватися.

Знижувати швидкість з метою регулювання продуктивності має сенс лише до певного моменту, коли головка турбонаддува стає нульовою (точка D на рисунку 1.3), при цьому продуктивність вентилятора також падає до нуля. Потужність і ККД можуть бути визначені за кривими потужності і ККД з доступних значень джерела живлення QA, QB.

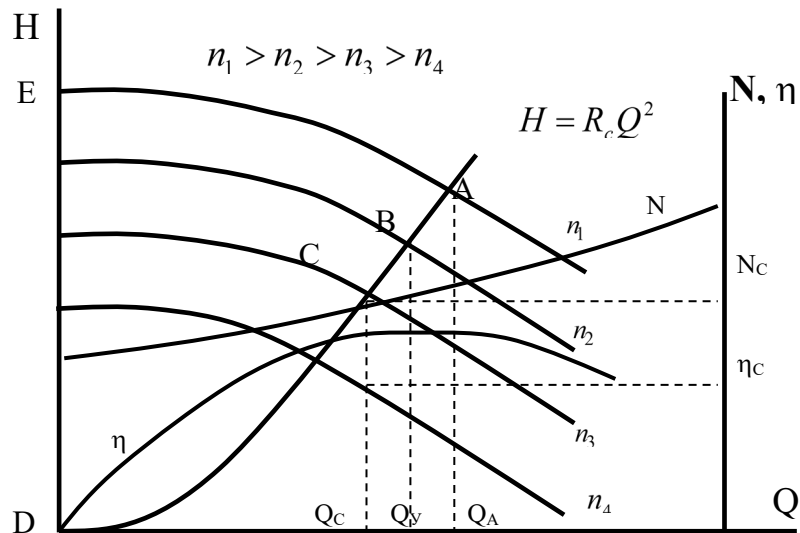
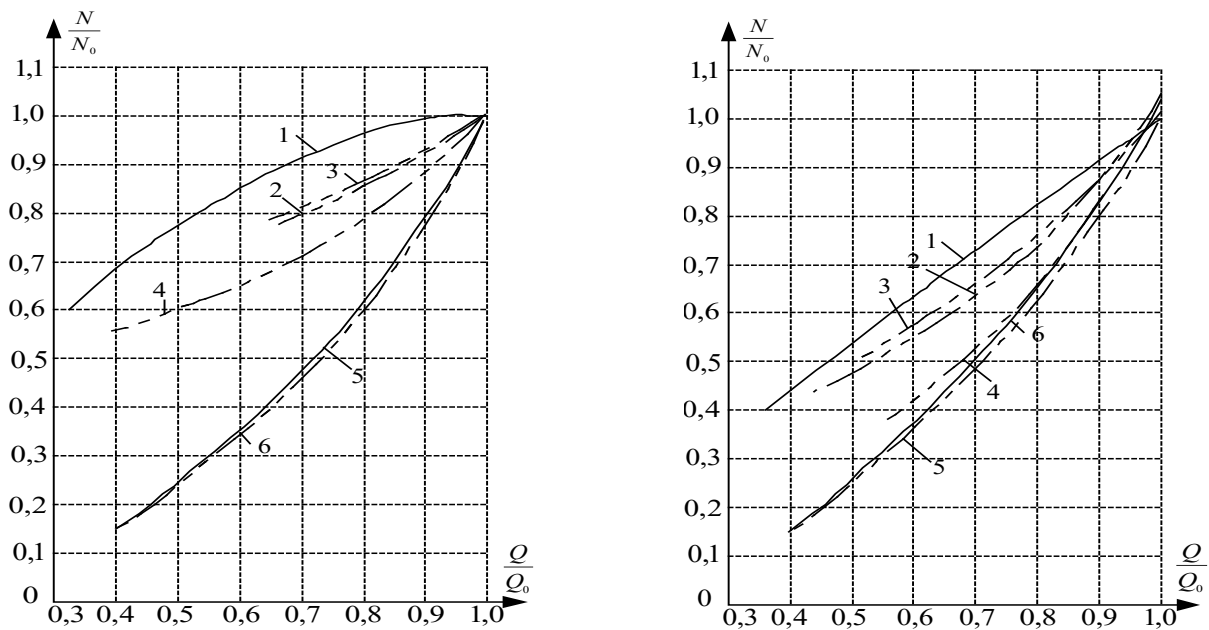


Рисунок 1.3 – Регулювання потужності вентилятора шляхом зміни частоти обертання

На рисунку 1.3 це показано для швидкості N . Регулювання частоти обертання робочого колеса є набагато більш ефективним і економічно вигідним способом, оскільки немає невиробничих втрат потужності.

Порівняння ефективності різних методів контролю наочно показано на графіках на рисунку 1.4.



а - вентилятор ЦН-53 з відігнутими назад лопатками; б - вентилятор ЦВ-55 з загнутими вперед лопатками; 1 - дросельна заслінка; 2 - спрощена направляюча

лопатка; 3 - спрощена осьова направляюча лопатка; 4 - осьова направляюча лопатка; 5 - частота обертання крильчатки вентилятора; 6 – реостат в ланцюзі ротора електродвигуна

Рисунок 1.4 – Зміни енергоспоживання при різних методах управління

За витратою енергії на один привід в режимах управління з однаковими подачами ці методи не рівнозначні.

Для всіх типів вентиляторів найгіршим способом регулювання є дросельна заслінка, яка дає найбільше енергоспоживання. Як видно з графіків, при неглибокому регулюванні подачі вхідної направляючої або муфти ККД практично однаковий. У разі $n_{дв} = const$ глибокого регулювання, з точки зору енергоспоживання, регулювання частоти обертання крильчатки вентилятора є найбільш раціональним способом.

1.2 Опис схеми функціонування вентиляційних установок

Лабораторний комплекс моделі установки вентиляторів призначений для дослідження режимів роботи вентиляторів; процеси, що відбуваються в пневмережі трубопроводу, принцип роботи контрольно-вимірювальної апаратури (манометри, витратоміри, вольтметри, амперметри), аеродинамічного обладнання (електрифікований клапан).

Лабораторний стенд для дослідження режимів роботи ВУ включає вентилятор з приводним двигуном АД1; електрифікована засувка Z1 на виході з вентилятора; Манометр D1 і датчик тиску HE1 на виході з вентилятора (перед клапаном), витратомір DSS (реєстратор) і датчик витрати (з виходом струму).

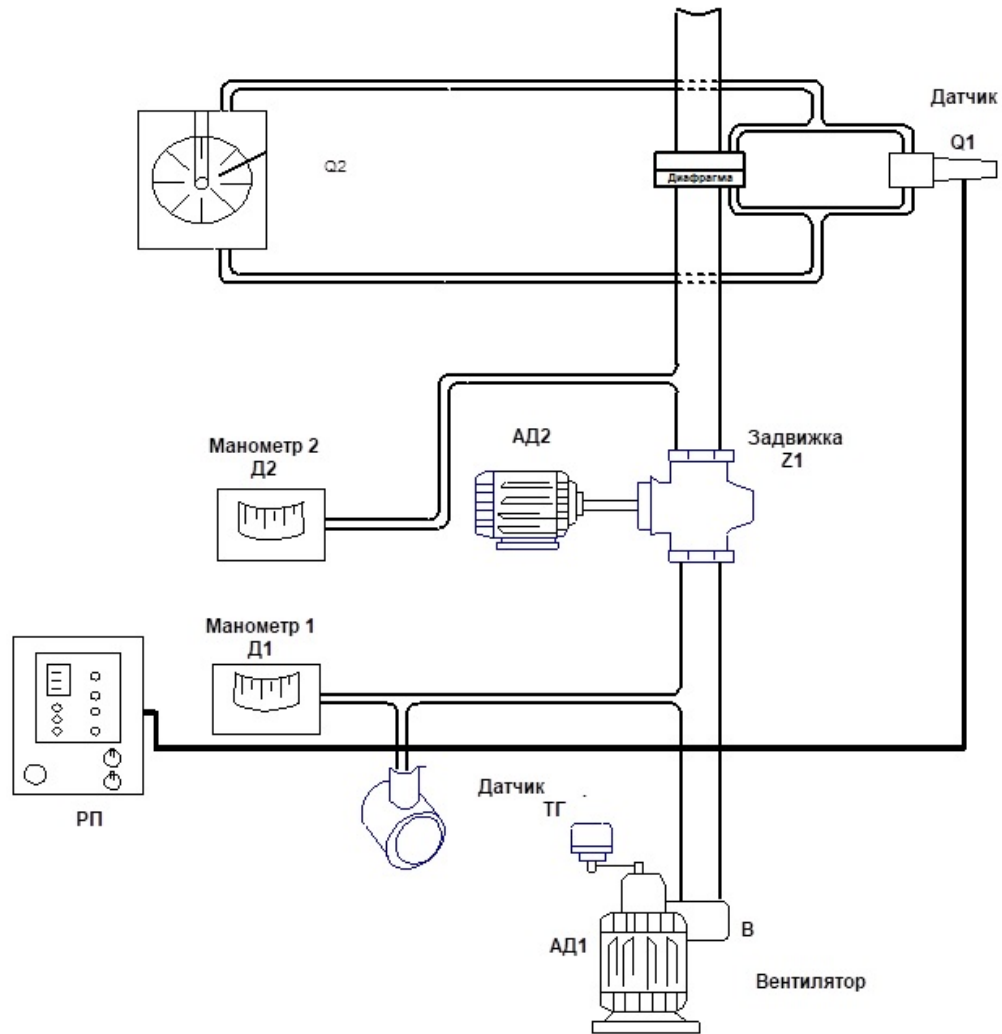


Рисунок 1.5 Функціональна схема аеродинамічної мережі

Вентиляторна установка працює за рахунок обдування у вентиляційну систему. Силовa схема АД1 оснащена однофазним перетворювачем частоти ПЧ з номінальною вхідною напругою 220В. Струм, напруга і споживана потужність системи VF-AD контролюються амперметром А1, вольтметром U1 і ватметром W1 відповідно. Швидкість обертання АД1 регулюється датчиком швидкості підстанції. Датчик струму DT1 і датчик напруги DN1 призначені для електронної реєстрації миттєвих значень струму і напруги, що діють в ланцюзі АД1.

Розташування вентиляторного, пневматичного, силового обладнання, контрольно-вимірювальних приладів і органів управління показано на схемі лицьової панелі стенду (рисунок 1.6).

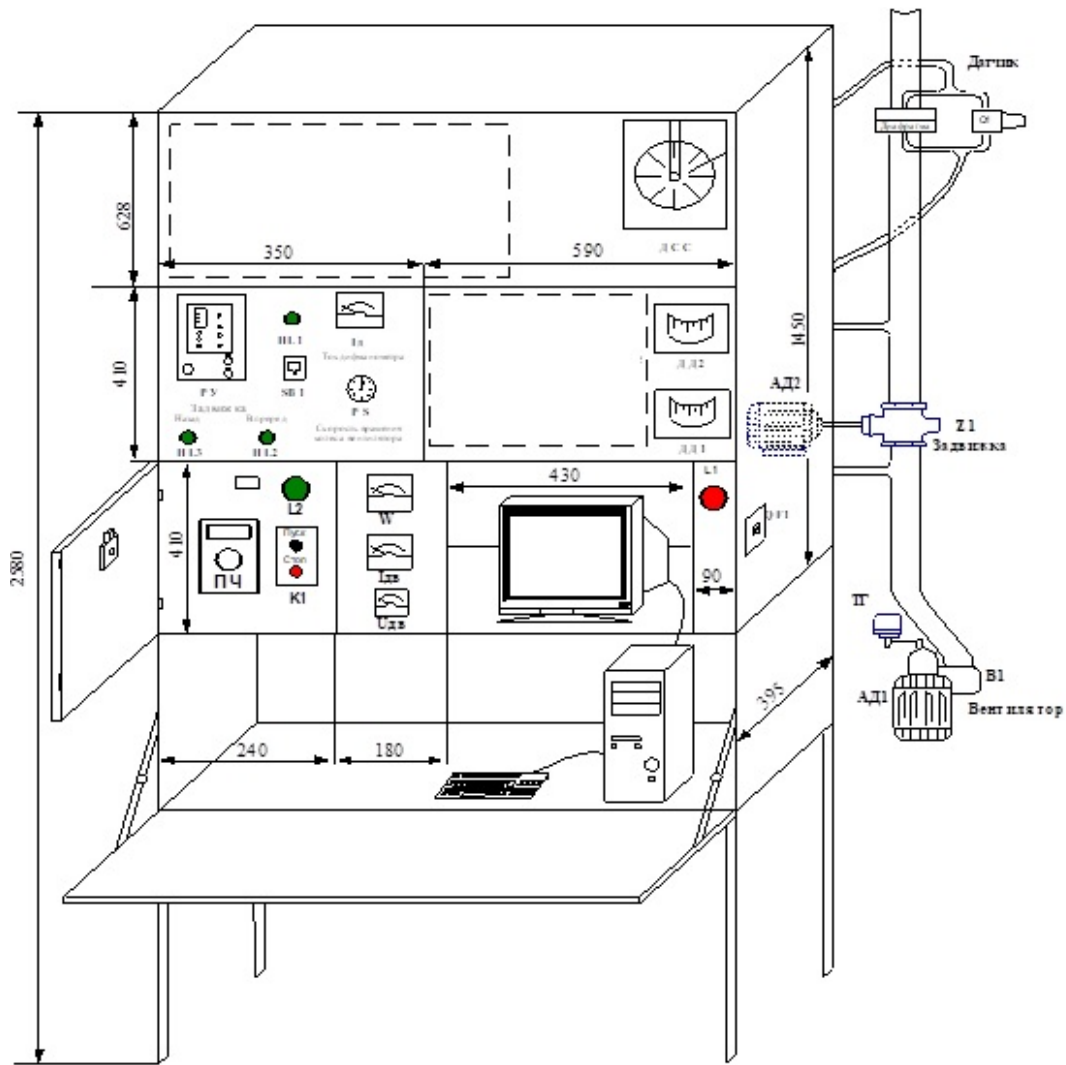


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд стану з передньої панелі

Сигнали від електронних датчиків NE1, DT1, DN1, TG, Q1 надходять на контролер обміну інформацією, потім на перетворювач інтерфейсу зв'язку і потім на комп'ютер, за допомогою якого відбувається опитування датчиків в режимі реального часу, дані обробляються відповідно до обраного алгоритму роботи і команд оператора.

Відцентрові вентилятори широко використовуються в промисловості і комунальному господарстві для вентиляції будівель, анімації робочих місць, вилучення шкідливих речовин в технологічних процесах.

На теплових електростанціях відцентрові вентилятори використовуються для подачі повітря в камери згоряння парогенераторів, переміщення паливних

сумішей в системах пилоутворення, всмоктування димових газів і транспортування їх в атмосферу.

Відцентрові вентилятори.

Відцентрові вентилятори - це машини для руху 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 особливістю відцентрового вентилятора є підвищення тиску за рахунок відцентрової сили газу, що рухається в робочому колесі від центру до периферії [3]. При незначному підвищенні тиску газу зміною його термодинамічного стану можна знехтувати. Отже, теорія машин для переміщення негорючих середовищ застосовна і до відцентрових вентиляторів [3]. Конструкція найпростішого типу відцентрового вентилятора показана на рисунку 1.7.

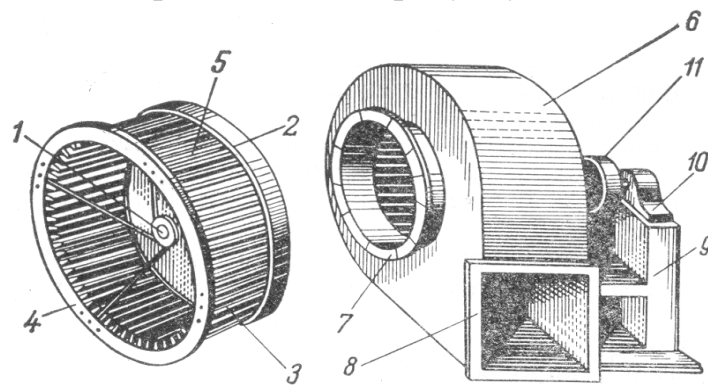


Рисунок 1.7 – Відцентровий вентилятор

Крильчатка вентилятора складається з литої маточини 1, жорстко з'єднаної з основним диском 2. Лопаті несучого гвинта 3 кріпляться до головного диска 2 і до переднього диска 4, що забезпечує необхідну жорсткість решітки лопатей 5. Корпус вентилятора 6 кріпиться до литої або звареної станини 9, на якій розташовані підшипники 10, що несуть вал вентилятора з встановленою на ньому крильчаткою; 7 і 8 - фланці для фіксації всмоктуючого і нагнітального патрубків, 11 - шків приводу вентилятора.

Відцентрові вентилятори випускаються заводами певних геометричних серій. Кожен ряд характеризується постійним співвідношенням рівних розмірів; Розміри окремих машин і їх робочі параметри в серії різні.

Геометрична форма цієї серії представлена аеродинамічною діаграмою, де всі розміри вентилятора наведені у відсотках від зовнішнього діаметра крильчатки (рис. 1.8).

Крім головки, вентилятор характеризується об'ємною витратою Q і загальним ККД, η статичним $\eta_{ст}$ ККД і потужністю N . При зміні частоти обертання вала вентилятора і температури живильного газу всі ці величини змінюються.

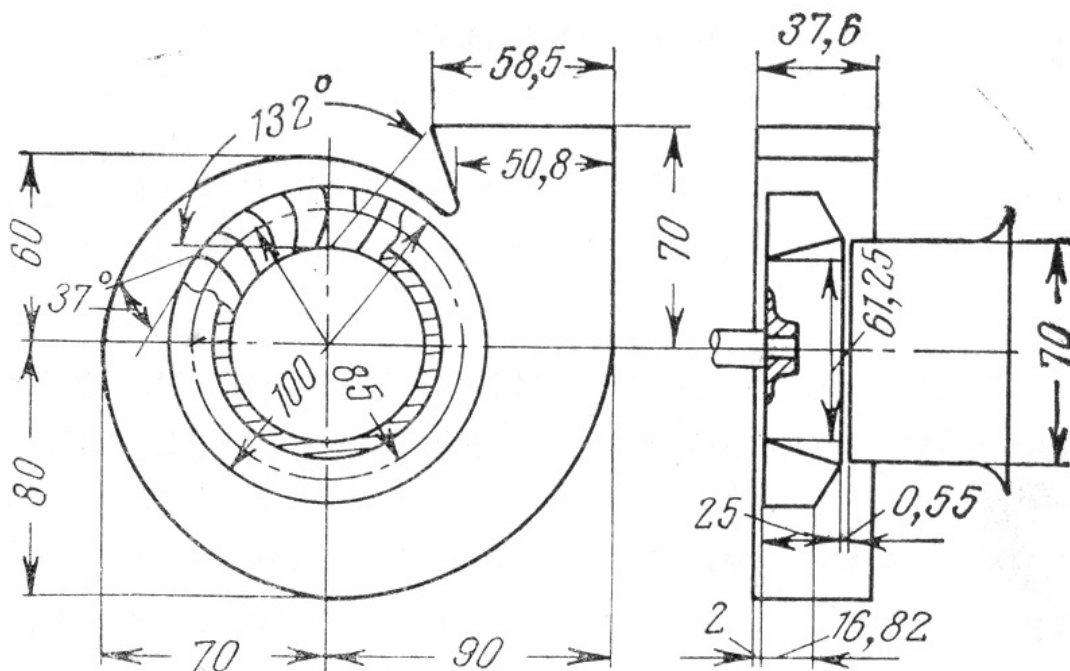


Рисунок 1.8 – Аеродинамічна схема вентилятора ЦКТІ-07-37

В даний час надходять поставки найбільших відцентрових вентиляторів, що використовуються для вентиляції шахт, на $1,8 \cdot 10^6 \text{ м}^3 / \text{год}$ ТЕС - $900 \cdot 10^6 \text{ м}^3 / \text{год}$.

Причиною вибору вентилятора є найвища витрата Q і напір H , яку він повинен генерувати при роботі в даній системі повітряних або газопроводів. Пам'ятаючи про помилки, які можуть виникнути при розрахунку втрат напору в

системі, слід ввести гарантійний запас в робочі параметри і вибрати вентилятор з подачею $1,05 Q$ і напором $1 < 1 H$ (дутьові вентилятори і димососи вибирають витрата $1,1 Q$ і напір $1,2 H$).

Каталожні дані відносяться до нормальних умов ($T = 293 K$, $H_0 = 760$ мм рт. ст.), тому вибір з каталогу проводиться по $Q_k = 1,05Q$ джерелу живлення і напору $H_k = 1,1H\rho_k / \rho$, де ρ_k - щільність повітря (газу) при нормальних умовах.

Потужність електродвигуна приводу вентилятора береться з запасом, що враховує можливе відхилення режиму від розрахункового, зниження ККД вентилятора і старіння ізоляції двигуна при тривалій експлуатації:

$$N_{\text{дв}} = m \frac{\rho Q H g}{1000 \eta}, \quad (1.5)$$

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

Характеристиками вентиляторів називають графіки головок, потужності валів, об'ємної продуктивності потоку.

Продуктивність досягається шляхом безпосереднього тестування вентиляторів на постійній швидкості і розрахована на повітря з $\rho = 1,2$ $кг/м^3$.

При перерахунку характеристик, побудованих для стандартних умов в $H_0 = 760$ мм рт. ст., $T = 293 K$ и $\varphi = 50\%$, натурних масштабах, слід враховувати, що витрата, 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 рисунках 1.9 і 1.10 показані типові форми характеристик відповідно:
 $n = \text{const}$ и $n = \text{var}$.

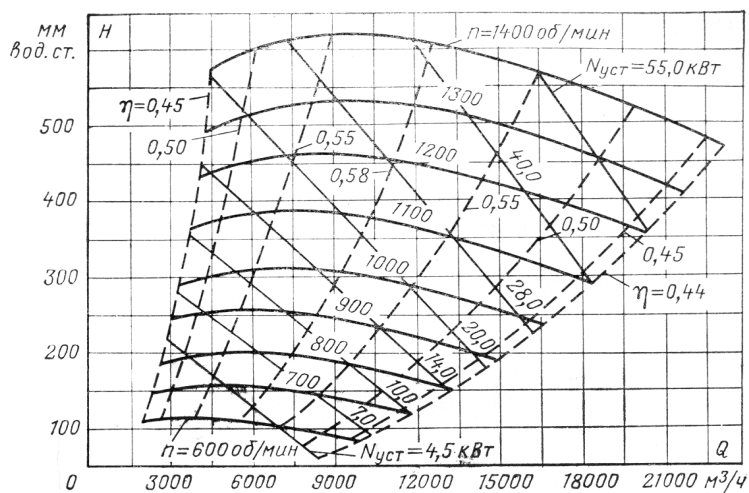


Рисунок 1.9 – Габаритні характеристики вентилятора при $n = \text{const}$

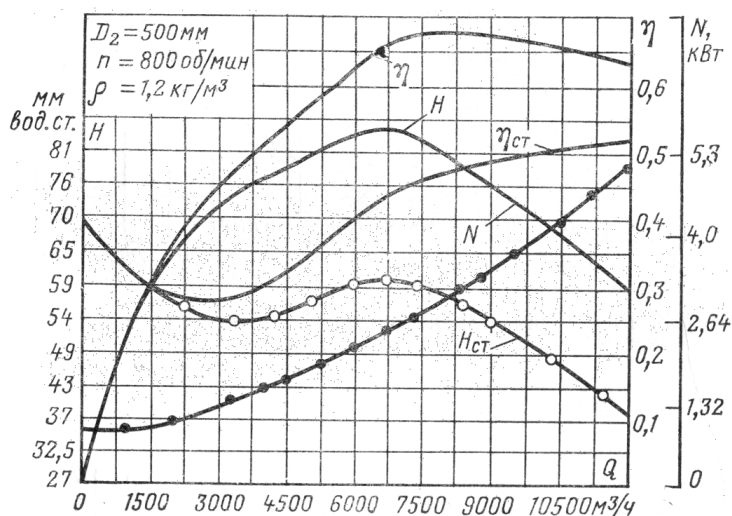


Рисунок 1.10 – Габаритні характеристики вентилятора ГПД No11 $n = \text{var}$

У вентиляторобудуванні широко використовуються безрозмірні характеристики, які характерні для ряду геометрично подібних машин.

На рисунку 1.11 показані безрозмірні характеристики вентиляторів серії С4-76, засновані на результатах випробувань моделі С. $D_2 = 500$ мм
 $n = 1200$ об/мин

Безрозмірні характеристики дуже зручні для розрахунку робочих параметрів вентилятора з цієї серії, який має діаметр крильчатки D_2 і працює зі швидкістю n , об / хв. Розрахунок ведеться за формулами [3]:

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

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

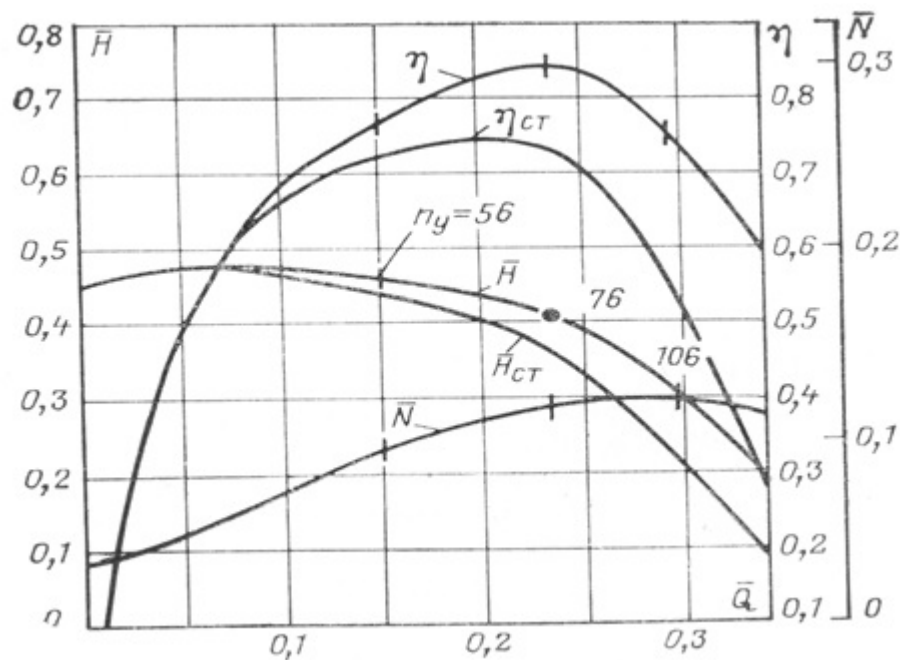
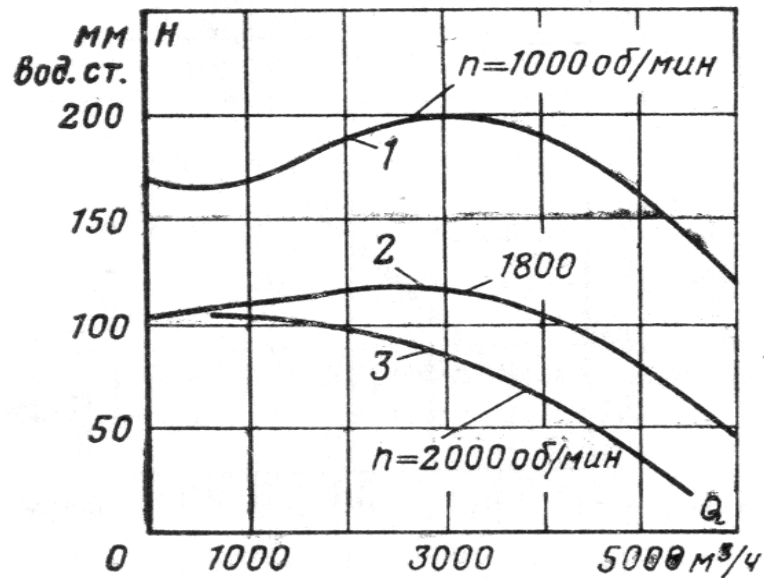


Рисунок 1.11 – Безрозмірні характеристики вентилятора С4-76

Форми характеристик вентиляторів визначаються аеродинамікою їх проточної порожнини і головним чином положенням D_2/D_1 , початковим кутом нахилу лопаті і формою її профілю. На рисунку 1.12 показані три типи характеристик тиску вентилятора. З них цікава характеристика форми сідла 1, яка притаманна вентиляторам з великими кутами і $\beta_{2л}$ малою радіальною довжиною лопатей (маленьких D_2/D_1).

ГОСТ і відомчі інструкції забороняють експлуатацію вентиляторів на $\eta < 0,9\eta_{\max}$. Ця вимога виключає початкову ділянку характеристики сідла з експлуатації при низьких подачах.

У ряді випадків робота вентиляторів з сідлоподібною характеристикою тиску на мережах зі значним статичним напором нестабільна. Ця обставина вказує на небажаність використання вентиляторів з характеристикою сідла [3].



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

Рисунок 1.12 – Технічні характеристики вентилятора:

Особливе значення має питання регулювання роботи вентиляторної установки. На режим його роботи впливає зміна режиму роботи споживача (зміна газовиділення, відхилення фактичних значень параметрів від розрахункових, розробка і розширення шахтного поля). Основними параметрами, що визначають режим провітрювання, є витрата повітря Q , $\text{м}^3/\text{с}$, аеродинамічний опір R , $\text{кг с}^2/\text{м}^5$, і втрата тиску (дисперсія) в магістралі H , $\text{кг}/\text{м}^2$. залежність між цими величинами виражається рівнянням:

$$H_M = R \cdot Q^2, \quad (1.6)$$

де R - опір трубопроводу, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Величина R визначається геометричними і конструктивними елементами мережі: довжиною, поперечним перерізом, периметром, типом кріплення гірничих виробок, схемою їх з'єднання, формою і кількістю місцевих опорів і т.д.

Вплив деформації дорожнього полотна на опір може бути досить значним. Досить зазначити, 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, а на 20% - в 1,58 рази [2].

Вентиляторні установки є одними з найбільш відповідальних і енергоємних агрегатів в шахтах, що обумовлює необхідність застосування високонадійної і економічно вигідної системи приводу вентиляторів. Аналіз режимів роботи показує, що в більшості випадків ці режими змінні і залежать від багатьох факторів. Під час роботи вентилятора можна спостерігати досить широку зміну параметрів потоку і розсіювання. Тому необхідно забезпечити максимально можливу площу економічних режимів, яка, як це прийнято в даний час, обмежена областю з ефективністю не менше 0,6 [1].

Діаметральний вентилятор, показаний на рисунку 1.13, складається з колеса барабанного типу з загнутими вперед лопатками і корпусу з вхідним патрубком і дифузором на виході. Діаметр вентиляторів відомий як з направляючої, так і без неї, а також з багаторічним апаратом, розташованим всередині крильчатки.

Оптимальною особливістю конструювання таких вентиляторів є можливість виготовлення їх коліс з відносно шириною, що значно перевищує ширину коліс радіальних вентиляторів. Використання таких коліс дозволяє значно збільшити подачу.

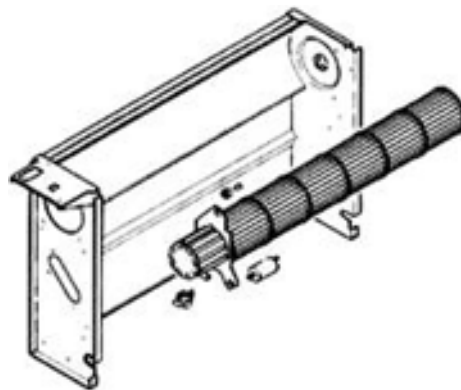


Рисунок 1.13 – Діаметральний загальний вигляд вентилятора

У вентиляторів без направляючої лопаті крильчатка може бути виконана у вигляді двох дисків, до яких приклепані (або приварені) лопаті з листової сталі. При цьому підшипники, в яких знаходиться вал, розташовані по обидва боки корпусу, в результаті чого забезпечується висока жорсткість всієї конструкції. Це особливо важливо для великої ширини коліс.

З направляючою лопаткою робоче колесо нагадує одноразовий всмоктуючий радіальний вентилятор низького тиску: лопаті з одного кінця прикріплені до диска, встановленого на валу, і до кільця на іншому. Направляючий пристрій, що складається з однієї або декількох лопатей, закріплюється на бічній стінці корпусу, навпроти диска робочого колеса. Головною відмінною рисою діаметральних вентиляторів є великі значення загального коефіцієнта тиску, які досягають 3 і більше, причиною цього, як уже зазначалося, є подвійне (діаметральне) проходження потоку через одну і ту ж сітку обертового колеса. Високі значення коефіцієнтів тиску і витрати в порівнянні з їх значеннями для інших типів вентиляторів дозволяють вентиляторам мати менші габарити і частоту обертання робочого колеса. У той же час дуже складний характер течії всередині тіла, що призводить до великої нерівномірності швидкісного поля, викликає значні втрати енергії. У зв'язку з цим максимальні значення сумарного ККД вентиляторів діаметра знаходяться в межах 0,56 – 0,61. Ефект від використання направляючих пристроїв досягається в основному за рахунок збільшення енергоємності вентилятора. (В даному випадку під енергоємністю розуміють корисну потужність вентилятора.) Це відбувається в результаті стабілізації і звуження вихрової зони в заданому місці всередині корпусу, а також за рахунок підвищення ККД «відцентрової» частини крильчатки.

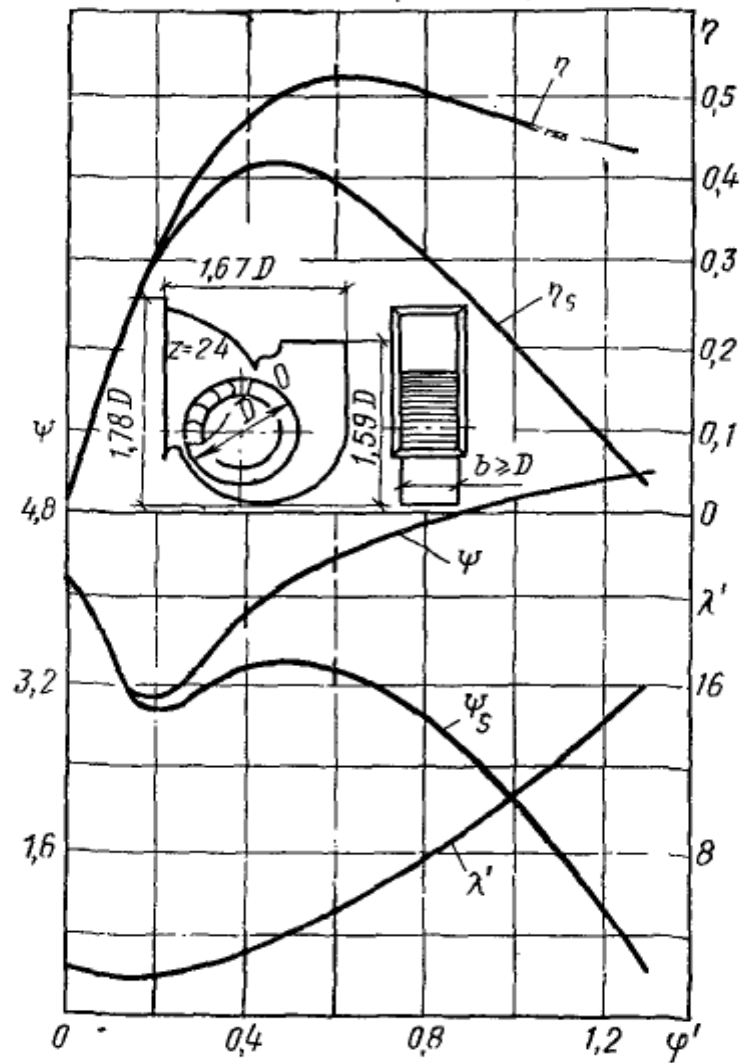


Рисунок 1.14 – Характеристики і схема діаметра вентилятора

За допомогою різного роду направляючих пристроїв, встановлених всередині робочого колеса, а також змінюючи форму корпусу або взаємне розташування корпусу і елементів ІА, можна домогтися зміни аеродинамічних характеристик діаметра вентилятора. Вентилятори діаметра зазвичай працюють в змінних умовах, тому необхідно регулювати режими їх роботи. Робиться це різними способами. Наприклад, регулювання можна проводити, повертаючи направляючу лопатку. Це гарантує, що одна і та ж вентиляційна установка має високі коефіцієнти тиску в широкому діапазоні витрат.

У досліджуваному вентиляторному блоці використовується відцентровий вентилятор типу ВЧ-2005/12, паспортні дані якого наведені в таблиці 1.1. На рисунку 1.15 показана витрата і енергетичні характеристики даного вентилятора.

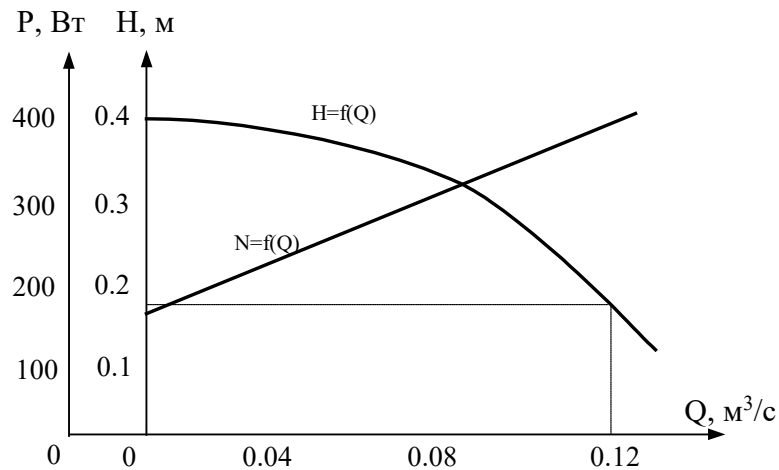


Рисунок 1.15 – Паспортні характеристики тиску, витрати та енергії вентилятора HF-2005/12

Таблиця 1.1 - Дані рейтингу вентиляторів HF-2005/12

Подача, м³/год	Номінальний тиск, кгс/м²	Частота обертання, об/хв	Максимальний тиск, кгс/м²	Потужність, Вт
432	170	2750	380	400

Переважна більшість вентиляторів оснащується нерегульованим електроприводом з асинхронними або синхронними двигунами. Завдяки високому коефіцієнту потужності, ККД і підвищеної надійності за рахунок великого повітряного зазору між статором і ротором, синхронні двигуни широко використовуються в високопродуктивних установках з тривалим терміном експлуатації.

Асинхронні двигуни з контактним кільцем також використовуються в установках вентиляторів. Для управління ланцюгами ротора використовуються роторні магнітні станції.

Залежно від потужності в електроприводах вентиляторних установок застосовують різні типи електродвигунів: при споживаній потужності до 100 - 150 кВт - низьковольтні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором;

потужність від 150 до 350 кВт – низьковольтні синхронні двигуни напругою 380 В; понад 350 кВт - високовольтні синхронні двигуни

Пускові характеристики синхронних двигунів, що працюють в режимі короткозамкненого асинхронного двигуна на роторі, повинні забезпечувати нормальні прискорення. Для визначення механічних характеристик особливо важливі два значення крутного моменту: пусковий момент, який дозволяє приводу рухатися з місця, і вхідний крутний момент, тобто крутний момент зі швидкістю 0,95 синхронної швидкості. Щоб ротор сприятливо увійшов у синхрон, вхідний крутний момент повинен бути більше крутного моменту. Тільки в цьому випадку, подавши збудження, можна забезпечити успішну синхронізацію мотора.

Для приводу з високими пусковими і вхідними крутними моментами, а також з різко коливається навантаженням краще використовувати мотори з провідним коефіцієнтом потужності близько 0,8.

Синхронні двигуни виготовляються з пусковим моментом, що в 0,5-2 рази перевищує номінальний крутний момент.

Пусковий струм статора для різних типів синхронних двигунів в 5 - 8 разів перевищує номінальний струм, причому швидкохідні двигуни мають більш високий пусковий струм, ніж тихохідні двигуни.

При асинхронному пуску синхронного двигуна в обмотці збудження ротора індукуються ЕРС, замикається на опір розряду, що викликає змінний струм з амплітудою, приблизно рівною номінальному постійному струму збудження. Величина струму нерухомого ротора має мало спільного зі значенням опору розряду, так як при частоті струму 50 Гц опір обмотки ротора (в основному реактивне) у багато разів перевищує опір розряду. Під час розгону двигуна ЕРС ротора падає і опір реакції зменшується разом з частотою, тому струм ротора залишається практично незмінним.

Пусковий струм великих синхронних двигунів повинен бути обмежений, щоб зменшити падіння напруги в живильній мережі або зменшити динамічні

сили в передніх частинах обмотки статора і, в деяких випадках, обмежити пусковий момент.

Обмеження струму синхронних двигунів значно збільшує вартість монтажу, так як вимагає додаткових реакторів, резисторів або автотрансформаторів, а також обладнання.

Падіння напруги на шинах живлення допускається до 90% для широко використовуваних комбінованих силових і світлових навантажень, і до 85% номінальної напруги допускається для рідкісних короточасних пусків.

Основні вимоги до електроприводу:

- Значна економія електроенергії
- Глибоке регулювання продуктивності при тривалій роботі
- автоматичне/ручне керування повітрорудкою для стабілізації тиску у вихідному трубопроводі;
- зниження трудомісткості обслуговування технологічного обладнання;
- зниження зносу комутаційної апаратури;
- • надійний захист від аварійних режимів;
- забезпечення роботи повітрорудки переважно в діапазоні швидкостей, що відповідає мінімальним питомим енерговитратам на подачу повітря;
- забезпечення роботи повітрорудки за заданою програмою з інтервалом спрацьовування індивідуально для кожного повітрорудки;
- плавний пуск електродвигуна до необхідного рівня і його подальше регулювання певною вбудованою системою управління;
- облік (інформаційний) спожитої електричної енергії електродвигуном (електродвигунами);
- облік часу роботи електроприводу;
- Не підключайте несправний повітрорудний пристрій.

Реальна характеристика тиску вентилятора може бути представлена з достатнім ступенем точності у вигляді наближених аналітичних залежностей.

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

$$H = A_2 v^2 + B_2 vQ + C_2 Q^2. \quad (1.7)$$

Якщо $H - Q$ характеристика вентилятора плоска, то вираз для характеристики тиску є квадратичною параболою:

$$H = A_2 v^2 + C_2 Q^2 \text{ або } H = H_0 v^2 - R_b Q^2. \quad (1.8)$$

Потужність, що подається на вал відцентрової машини, дорівнює:

$$P = A_3 v^2 Q + B_3 vQ^2 + D_3 v^3, \quad (1.9)$$

де у виразах (1.7) - (1.9) - $v = \omega/\omega_0$ відносна швидкість обертання крильчатки вентилятора; ω_0 - Номінальна швидкість обертання вентилятора $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ - коефіцієнти наближення, які залежать від конструктивних особливостей механізму турбонаддува і визначаються паспортними характеристиками вентиляторів; H_0 - головка, що розвивається вентилятором при нульовій подачі; R_b - Внутрішній опір вентилятора.

Корисна потужність турбомеханізму дорівнює:

$$P_n = \frac{\rho g Q H}{1000}, \quad (1.10)$$

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

З урахуванням (1.7) корисна потужність вентилятора складе:

$$P_{\text{п}} = \frac{\rho g}{1000} A_2 v^2 Q + B_2 v Q^2 + C_2 Q^3. \quad (1.11)$$

ККД турбомеханізму, який дорівнює відношенню чистої потужності до потужності живлення від валу турбомеханізму, становить $P_{\text{пол}}$:

$$\eta_{\text{тм}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{пот}}} = \frac{\rho g}{1000} \frac{A_2 v^2 Q + B_2 v Q^2 + C_2 Q^3}{A_3 v^2 Q + B_3 v Q^2 + D_3 v^3}. \quad (1.12)$$

Для агрегату без регулювання швидкості (в $v = 1.0$ наступних точках):

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

Для отримання характеристик конкретних турбомеханізмів, описаних з певним наближенням виразів (1.7) - (1.9), (1.11), коефіцієнти апроксимації $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ визначають за паспортними характеристиками цих машин в трьох точках для $v = 1.0$:

- $Q = 0$, , $H = H_0$, ; $P = P_0$
- $Q = Q_1$, , $H = H_1$, ; $P = P_1$
- $Q = Q_2$, , , $H = H_2$, $P = P_2$

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

P_0 - холостий хід використовується для покриття втрат потужності, викликаних циркулюючими потоками в крильчатці вентилятора, тертям дисків в ущільненнях і підшипниках машини.

Виходячи з відомих робочих параметрів турбомашини, складемо систему рівнянь, що описують характеристики вентилятора $H - Q$:

$$\begin{cases} H_0 = A_2 v^2; \\ H_1 = A_2 v^2 + B_2 v Q_1 + C_2 Q_1^2; \\ H_2 = A_2 v^2 + B_2 v Q_2 + C_2 Q_2^2. \end{cases} \quad (1.14)$$

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

$$\begin{aligned} A_2 &= H_0; \\ B_2 &= \frac{H_1 Q_2}{Q_1(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_2 Q_1}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_0(Q_2 + Q_1)}{Q_1 Q_2}; \\ C_2 &= \frac{H_2}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_1}{Q_1(Q_2 - Q_1)} + \frac{H_0}{Q_1 Q_2}. \end{aligned} \quad (1.15)$$

Таким же чином складається система рівнянь, що описують характеристики вентилятора P – Q:

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

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

$$\begin{aligned} D_3 &= P_0; \\ A_3 &= \frac{P_2 Q_1}{Q_2(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_1 Q_2}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_0(Q_1 + Q_2)}{Q_1 Q_2}; \\ B_3 &= \frac{P_1}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_2}{Q_2(Q_1 - Q_2)} + \frac{P_0}{Q_1 Q_2}. \end{aligned} \quad (1.17)$$

У таблиці 1.2 наведені значення коефіцієнтів наближення для досліджуваного відцентрового вентилятора.

Таблиця 1.2 Значення коефіцієнтів апроксимації напірно-енергетичних характеристик вентилятора

Тип вентилятора	Н-Q характеристика			Р-Q характеристика		
	A_2	Y_2		A_2	Y_2	
2005/12	0.38	1.694	2005/12	0.38	1.694	2005/12

1.3 Аналіз продуктивності вентилятора при зміні швидкості обертання

Підстановка виразів (1.15), (1.17) рівнянь (1.7), (1.9), (1.11), (1.12) дозволяє розрахувати параметри вентилятора при будь-якому значенні відносної частоти обертання крильчатки турбомеханізму.

Роботу одиночного вентилятора на аеродинамічній мережі протитиску можна описати системою рівнянь виду:

$$\begin{cases} H = A_2 v^2 + B_2 v Q + C_2 Q^2; \\ H = R_c Q^2, \end{cases} \quad (1.18)$$

де R_c - аеродинамічний опір мережі.

Системне рішення (1.18) дозволило отримати залежність продуктивності вентилятора від зміни швидкості його обертання:

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

На рисунку 1.16 показані криві продуктивності вентилятора ВЧ-2005/12 з коефіцієнтами наближення , $A_2 = 0.38$, при змінній частоті обертання робочого колеса і різних параметрах мережі: $B_2 = 1.694$ $C_2 = -28.704$ $R_{c1} = 11.8c^2 / м^5$ $R_{c2} = 30c^2 / м^5$, .

Підставивши рівняння (1.19) у вираз (1.9), отримаємо залежність споживаної вентилятором потужності від зміни частоти обертання крильчатки турбомеханізму:

$$P = \frac{A_3 v^2 (-B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2 v^2 - H_c)})}{2(C_2 - R_c)} + \frac{B_3 v (-B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2 v^2 - H_c)})^2}{4(C_2 - R_c)^2} + D_3 v^3 \quad (1.20)$$

На рисунку 1.16 показані криві потужності, що подається на вал відцентрової машини з коефіцієнтами апроксимації $A_3 = 2.722 \cdot 10^3$, $B_3 = 1.481 \cdot 10^4$ в $D_3 = 160$ залежності від зміни частоти обертання робочого колеса вентилятора і параметрів аеродинамічної мережі.

З урахуванням (1.19) залежність чистої потужності вентилятора від зміни швидкості його обертання виглядає наступним чином:

$$P_n = \frac{9.8 \left(A_2 v^2 + \frac{B_2 v \sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{C_2 \sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} \right) \sigma}{2C_2 - 2R_c}, \quad (1.21)$$

$$\text{від: } \sigma = -B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4C_2 A_2 v^2 + 4C_2 H_c + 4R_c A_2 v^2 - 4R_c H_c} .$$

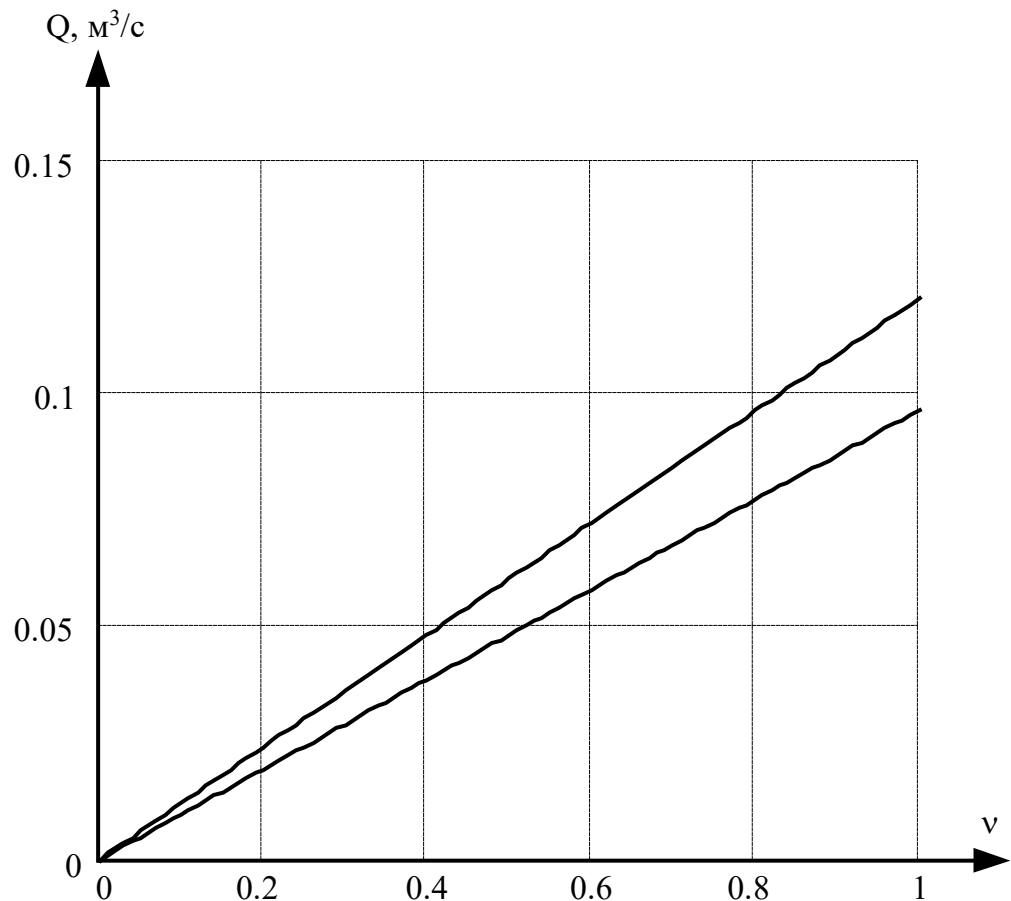


Рисунок 1.16 – Продуктивність вентилятора як функція зміни частоти обертання робочого колеса при змінних параметрах мережі

Підставляючи вирази (1.20), (1.21) в (1.1) і виконуючи ряд перетворень, отримуємо залежність ККД турбомеханізму при змінній частоті обертання вентилятора і різних параметрів мережі, на якій працює цей вентилятор:

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

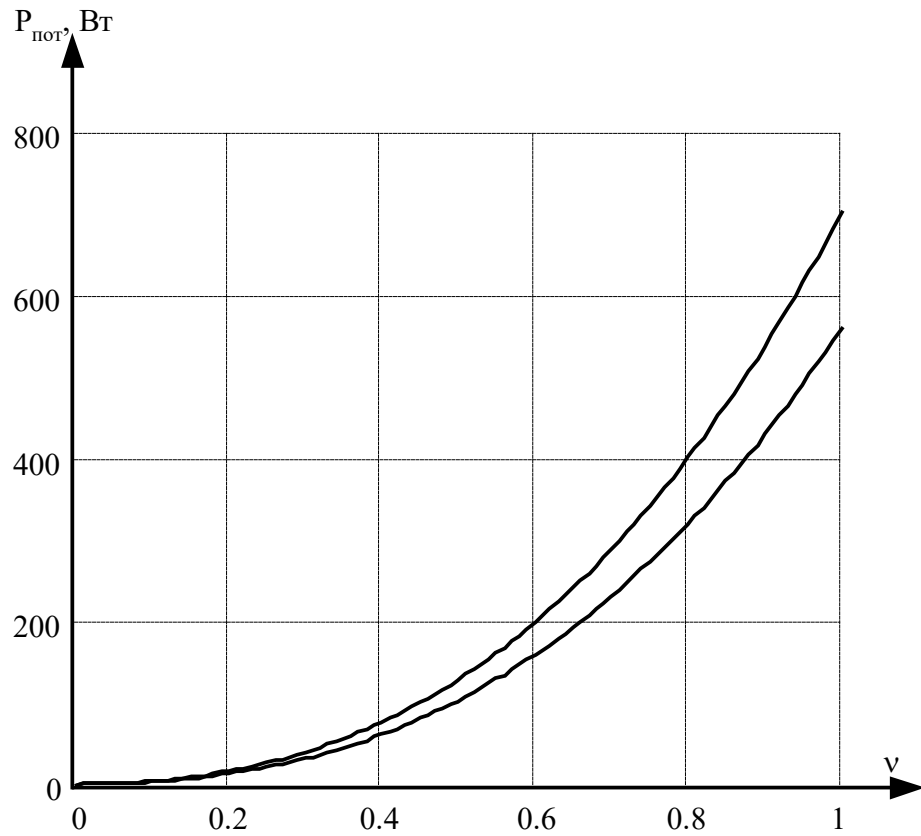


Рисунок 1.17 – Споживана потужність vs. швидкість

Аналіз енергетичних характеристик вентилятора (рис. 1.17) показує, що потужність, споживана агрегатом, значно зменшується зі збільшенням параметрів мережі споживача.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕРЕЖА - АСИНХРОННИЙ ДВИГУН - ВЕНТИЛЯТОР - ПОВІТРЯНА МЕРЕЖА

2.1 Розробка функціональної схеми керування електромеханічної системи

Режими роботи вентиляторної установки, що працює від мережі з протитиском, з урахуванням інерційності процесів, що відбуваються в аеродинамічній системі, ще не вивчені.

Дослідження проводилися на дослідній установці, призначеній для оцінки енергоефективності різних методів регулювання параметрів ВУ. Параметри лабораторної установки наведені в джерелі [25]. У статті проаналізовано один із схематичних варіантів функціонування системи – роботу вентиляторної установки зі змінним електроприводом.

Функціональна схема системи ВФ-АД-вентилятор-аеронет для дослідження динамічних режимів роботи вентиляторної установки, наведена на рисунку 3.1, включає перетворювач частоти (ВЧ) для живлення ланцюга живлення асинхронного двигуна (АД), відцентровий вентилятор (В), що подає повітря споживачеві; Функціональний перетворювач (ФП), система управління перетворювачем частоти (СФ), датчики тиску і витрати вентилятора DD1 і DR1, датчик тиску DD2, встановлений безпосередньо в мережі споживача. На перший вхід опорного пристрою (ДЦ) надходить сигнал Н, який характеризує головку в мережі споживача, а на другий – Н, що визначає фактичний напір в мережі споживача. Різниця між необхідною головкою і головкою струму створює сигнал відкриття Н, який через функціональний перетворювач ФП надходить в систему управління. Керуючий сигнал U формується системою управління відповідно до значення перетвореного сигналу.

Аналіз літератури [1,4] показав, що в мережі ВУ, що функціонує на авіаційну мережу, коефіцієнт ступеня за законом частотного регулювання АТ вентиляторної установки лежить в діапазоні 3-5. Тому закон регулювання частоти має вигляд

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

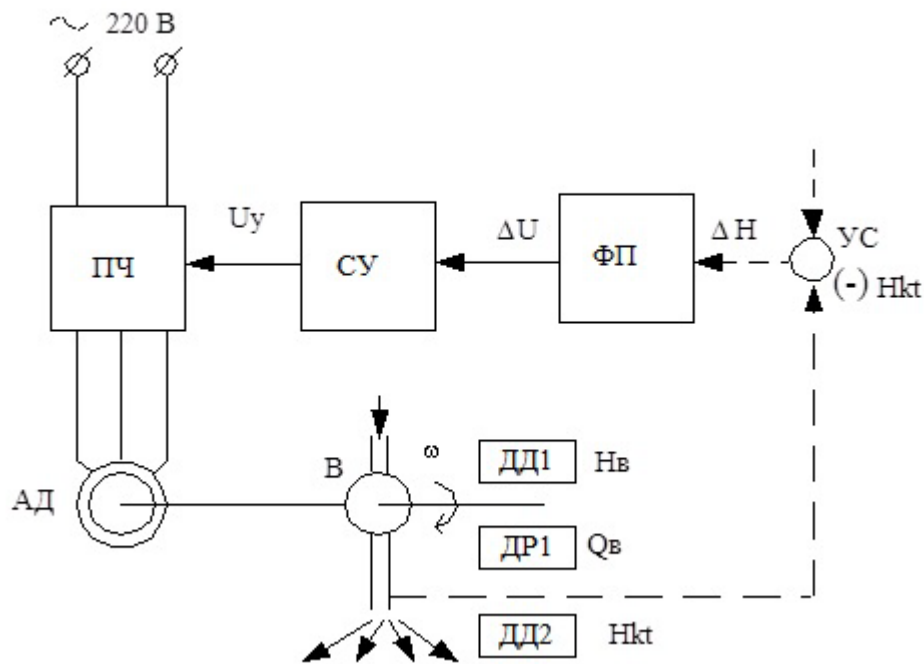


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи управління параметрами установки VF-AD

У відкритій системі ми змінюємо швидкість обертання вентилятора - з частотним регулюванням продуктивності за допомогою частотного перетворювача.

Пунктирною лінією зображено створення замкнутої за параметром процесу замкнутої системи ВФ-АД-вентилятор-повітря, в якій режим роботи залежить від заданого параметра тиску H і тиску в контрольній точці.

2.2 Математичний опис елементів системи

Розглянемо математичний опис елементів, що входять до складу системи ВФ-АД-вентилятор-аеронет.

Завдяки інерційності елементів системи управління перетворювачем частоти, залежність ω_{ac} від ω_{sc} описується диференціальним рівнянням виду:

$$T_{\mu} \frac{dU_y}{dt} = \frac{\Delta U}{U_m} \pi - U_y \quad (2.1)$$

де U - максимальна напруга перетворювача; $T = 0,0001$ - постійний час перетворювача.

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

$$f_c = A + B \cdot \Delta H + C \cdot \Delta H^2 + D \cdot \Delta H^3 + E \cdot \Delta H^4, \quad (2.2)$$

де $A = 30,124$, $B = 4,517$, $C = 0,547$, $D = -0,139$, $E = 0,0084$ - коефіцієнти наближення; ΔH - розкриття цілей в системі.

Беручи до уваги інерційність процесів, маємо:

$$f_2 = f_{20} + ((f_c - f_{20}) \cdot dx / T_{\mu}); \quad (2.3)$$

де $f = f$ - попередня частота перемикавання; $dx = 0,0001$ с - крок інтегрування, виконаний під час моделювання; $T = 0,0001$ с - постійний час перетворювача.

Тоді миттєві значення фазних напруг статора двигуна дорівнюють:

$$\begin{aligned} U_A &= U_s \cdot \sin(f_s \cdot x); \\ U_B &= U_s \cdot \sin(f_s \cdot x - \frac{2 \cdot \pi}{3}); \\ U_C &= U_s \cdot \sin(f_s \cdot x + \frac{2 \cdot \pi}{3}); \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $U_s = f_c^4 \cdot \text{const}$; - від закону електромагнітного управління (лінійного, квадратичного і т.д.); $f_s = 2 \cdot \pi \cdot f_2$ - частота напруги живлення в радіанах.

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

Крутний момент двигуна визначається за формулою:

$$\begin{aligned} M_e = & -L_\mu \cdot p^2 \cdot ((I_A \cdot I_{ar} + I_B \cdot I_{br} + I_C \cdot I_{cr}) \cdot \sin(fs) + \\ & + (I_A \cdot I_{br} + I_B \cdot I_{cr} + I_c \cdot I_{ar}) \cdot \sin(fs + \frac{2 \cdot \pi}{3}) + \\ & + (I_A \cdot I_{cr} + I_B \cdot I_{ar} + I_C \cdot I_{br}) \cdot \sin(fs - \frac{2 \cdot \pi}{3})); \end{aligned} \quad (2.8)$$

і рівняння руху:

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

де M_s - гальмівний момент на валу двигуна.

Момент опору вентилятора визначається за допомогою залежностей (1.9).

Тоді отримуємо:

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

де A_3, B_3, D_3 - коефіцієнти апроксимації; v - Відносна частота обертання крильчатки вентилятора Q - потужність вентилятора [1,20].

Вентилятор і повітряна мережа описуються наступними рівняннями [18,19]:

$$\begin{cases} H_B = H_{0B} v^2 - R_{vB} Q^2; \\ H = R_c Q^2; \end{cases} \quad (2.11)$$

З системи 3.11, яка виражає напір і ємність, отримуємо наступні рівняння:

- Тиск вентилятора

$$H = \frac{H_0 v^2}{\left(1 + \frac{R_B}{R_c}\right)}; \quad (2.12)$$

- Продуктивність вентилятора

-

$$Q_B = \sqrt{\frac{H_{0H} v^2}{R_{BH} + R_c}}; \quad (2.13)$$

Споживання і корисна потужність вентилятора описуються рівняннями (1,9) і (1,11) відповідно. Ефективність описується виразом (1.12).

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

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

де T - постійна часу вентилятора; $k = 1$ - коефіцієнт посилення.

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

Аеродинамічна мережа також є інерційною ланкою, і може бути представлена аперіодичним ланкою 1-го порядку:

$$\frac{H_{\text{тек}_{kt}}}{H_{\text{пред}_{kt}}} = \frac{k_{kt}}{T_L p + 1}; \quad (2.15)$$

де - T_L постійна часу електромережі; $k = 1$ - коефіцієнт посилення.

Постійна часу мережі визначається за допомогою аеродинамічних законів руху середовища [12]:

$$T_L = \frac{l}{V} = 0.0048c \quad (2.16)$$

де l - довжина трубопроводу, рівна 3,6 м для розглянутого випробувального стенду; V - швидкість руху повітря в нагнітальному трубопроводі.

Для моделювання системи, замкнутої за тиском в контрольній точці мережі споживача, необхідно знати фактичне значення тиску в повітряній мережі:

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

де H - напір в опорній точці мережі; R – опір повітряної мережі до контрольної точки $R = 1110 \text{ с}^2/\text{м}^5$; H - тиск вентилятора.

2.3 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки у відкритій системі

При моделюванні відкритої системи ВФ-АД-вентилятор-аерорешітка були отримані наступні динамічні характеристики: криві струму статора і ротора, напруга, частота обертання двигуна, крутний момент на валу двигуна (рис. 3.2 - 3.5), головка вентилятора і подача, напір у споживача (в опорній точці), споживана потужність вентилятора і сумарна потужність і його ККД (рис. 3.6 - 3.13). На графіках показані результати моделювання при пуску системи і динамічних процесах при зниженні частоти обертання двигуна, а також при зміні опору трубопроводу за допомогою клапана (клапанної кришки). Швидкість

регулювалася ступінчастою зміною частоти живильної мережі з 50 до 45 Гц. Графіки (рис. 2.2-2.9) показують, що при зменшенні частоти напруги живлення, а відповідно і швидкості обертання двигуна в момент 1 с, напір і живлення двигуна зменшуються.

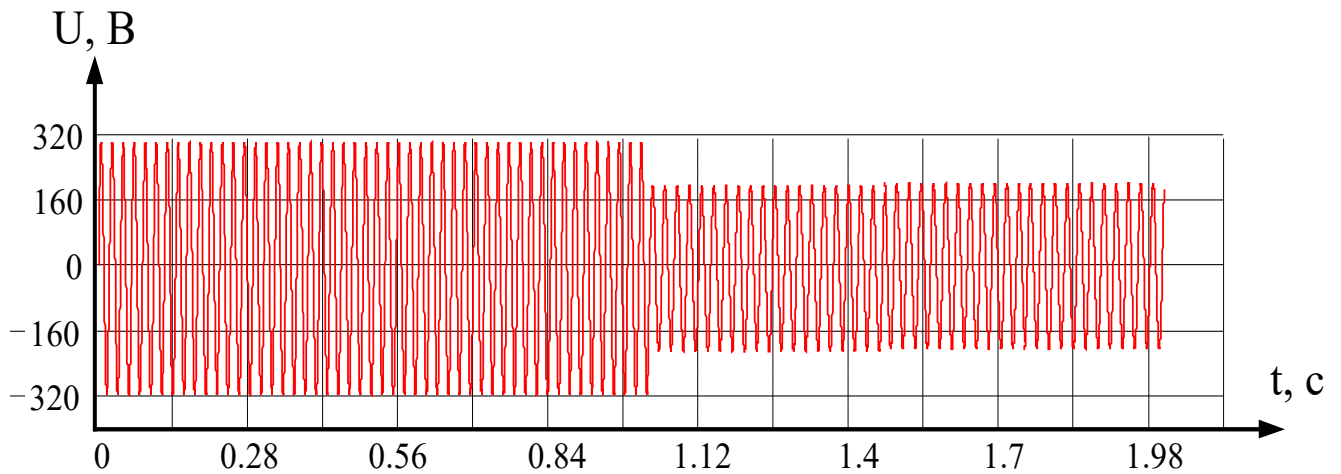


Рисунок 2.2 – Крива напруги на статорі приводу вентилятора у відкритій системі VF-AD-вентилятор-мережа

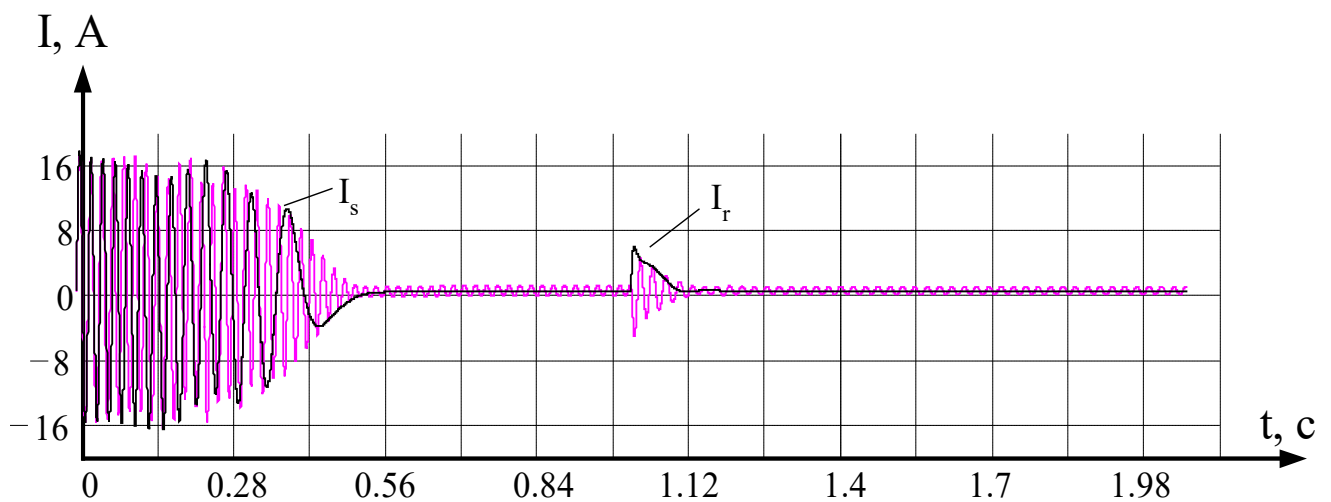


Рисунок 2.3 – Крива струму статора і ротора приводу вентилятора у відкритій системі VF-AD-FAN-POWER GRID

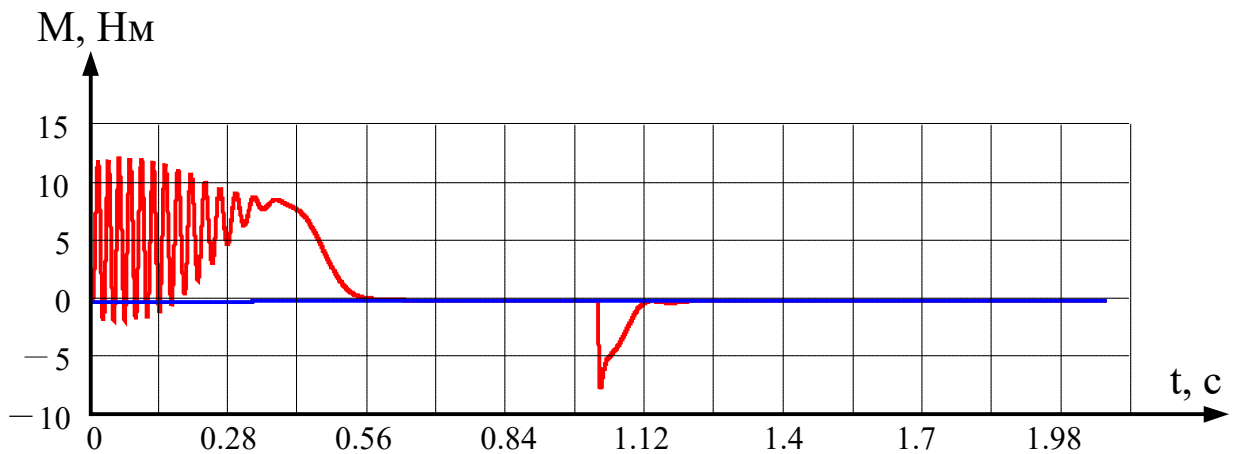


Рисунок 2.4 – Крива крутного моменту на валу приводу вентилятора у відкритій мережевій системі VF-AD-FAN-MAINS

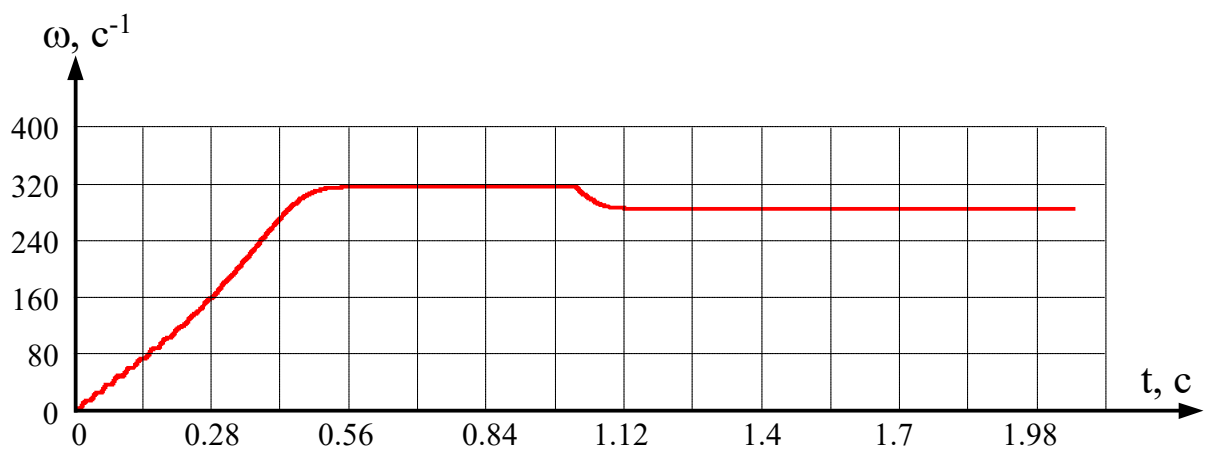


Рисунок 2.5 – Зміна швидкості обертання вентилятора у відкритій системі VF-AD-Fan-Network

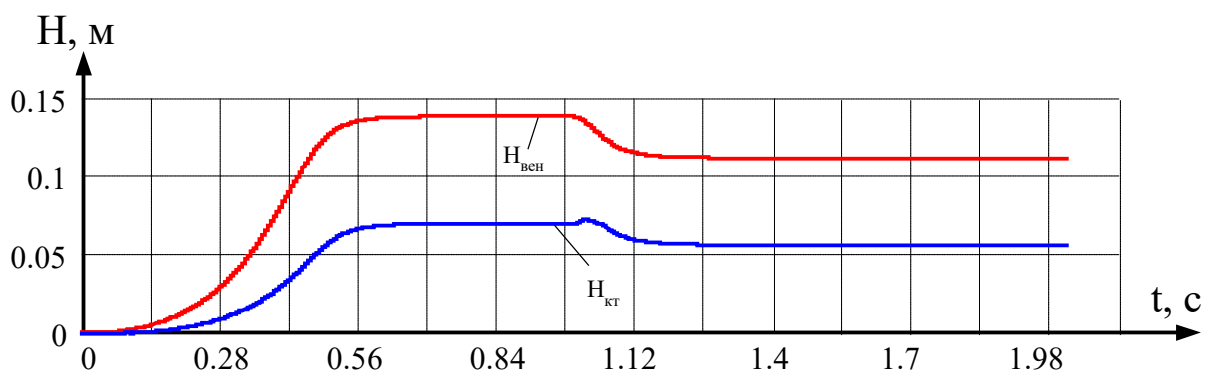


Рисунок 2.6 – Криві тиску вентилятора і мережі у відкритій системі VF-AD-вентилятор-магістраль

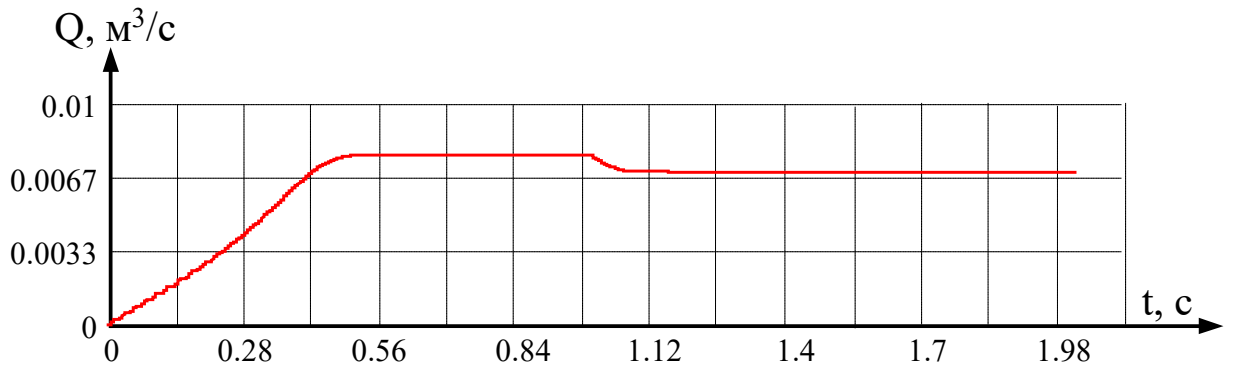


Рисунок 2.7 – Крива продуктивності вентилятора у відкритій системі VF-AD-Fan-AC

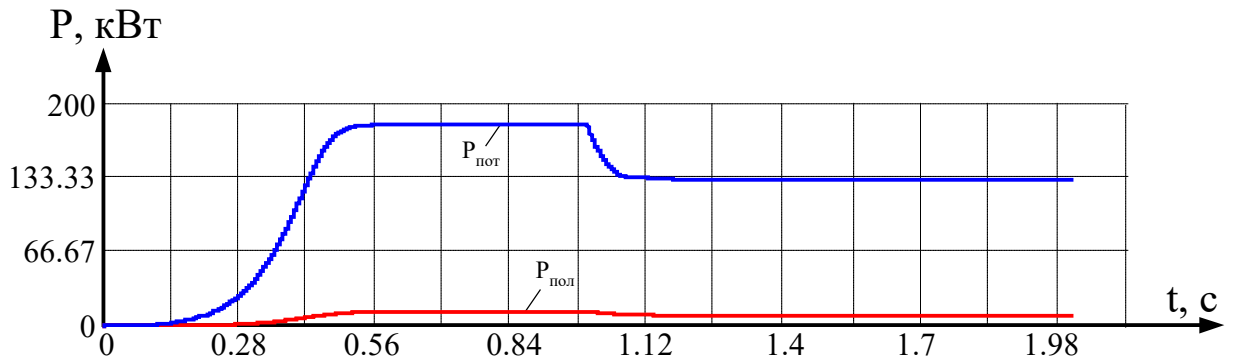


Рисунок 2.8 – Криві енергоспоживання вентилятора та чистої потужності у відкритій мережевій системі VF-AD-Fan-Power

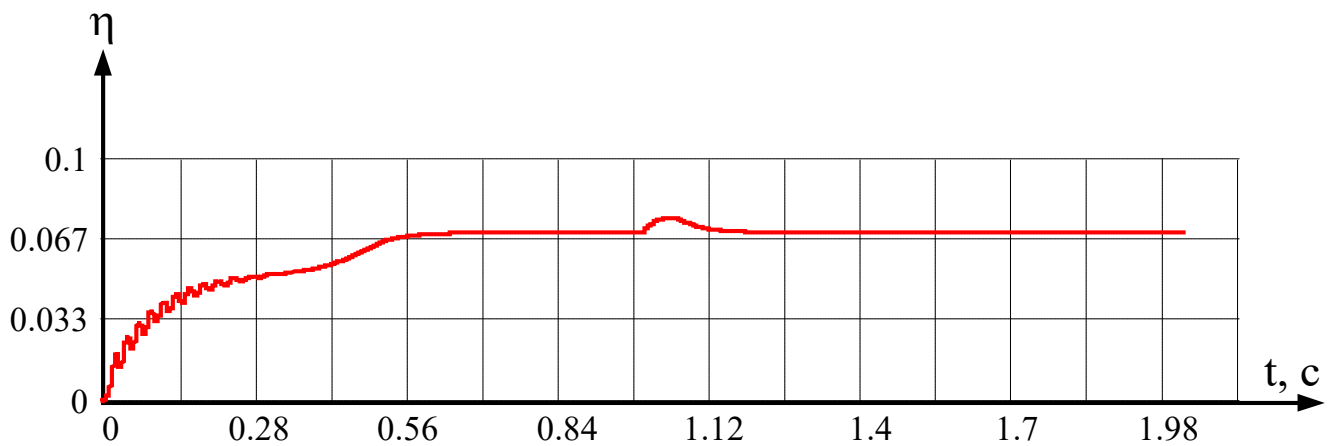


Рисунок 2.9 – Ефективність вентилятора у відкритій мережевій системі VF-AD-Fan-Power

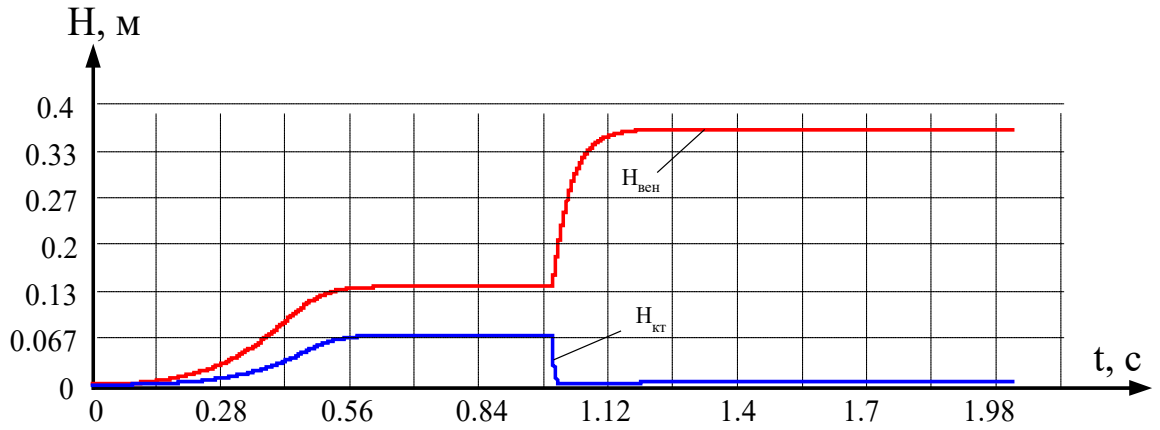


Рисунок 2.10 – Криві вентилятора та головки живлення у відкритій системі вентилятор-літак VF-AD

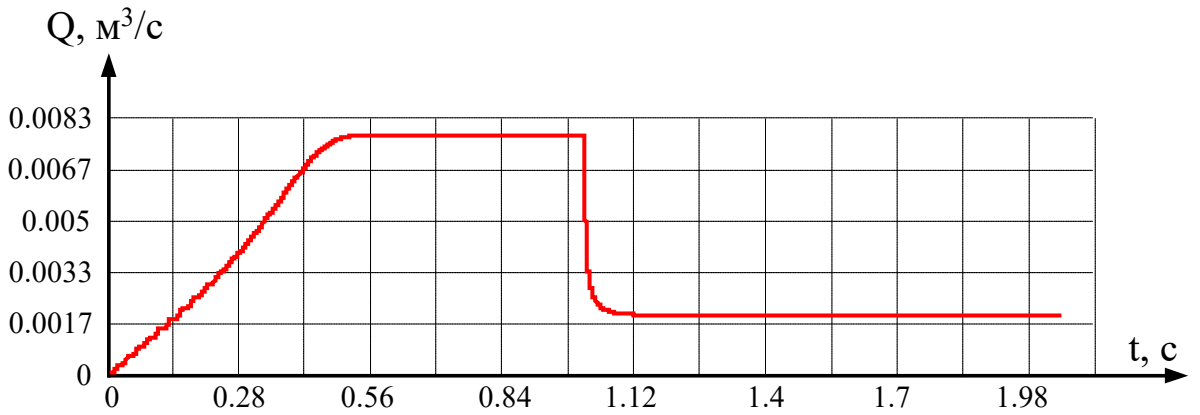


Рисунок 2.11 – Крива продуктивності вентилятора у відкритій системі VF-AD-Fan-AC

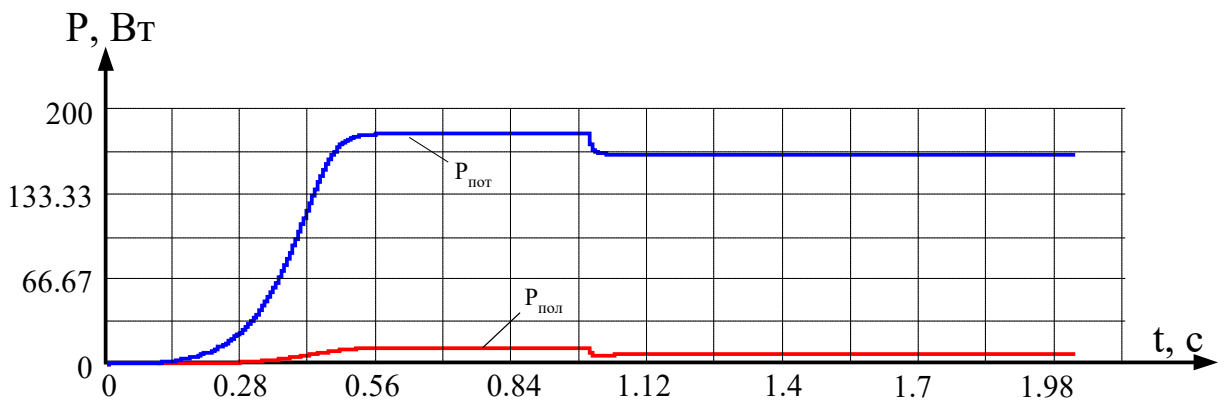


Рисунок 2.12 – Криві енергоспоживання вентилятора та чистої потужності у відкритій системі VF-AD-вентилятор-літак

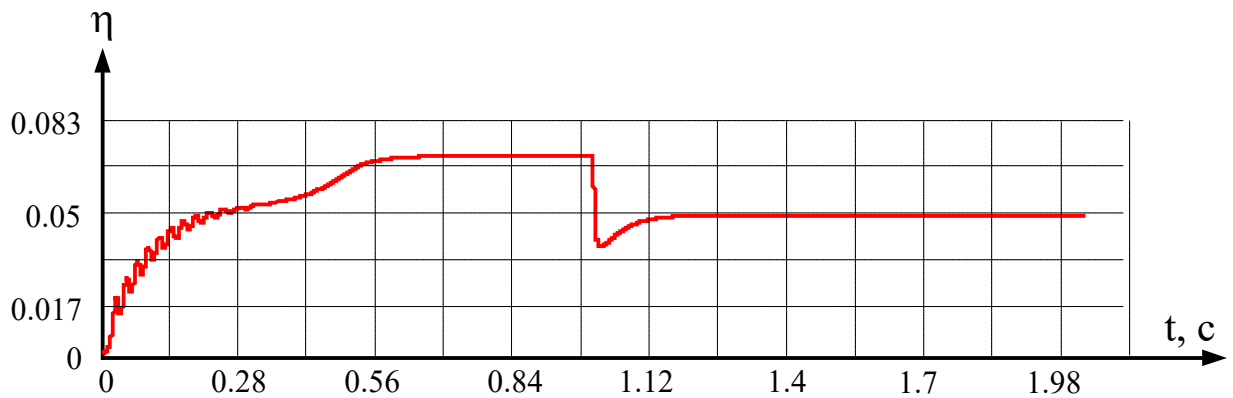


Рисунок 2.13 – Ефективність вентиляторів у відкритій системі VF-AD-Fan-Network

Аналіз продуктивності показав, що зниження швидкості призводить до зниження напору і продуктивності вентилятора, що розвивається, що також призводить до зменшення напору в мережі. При регулюванні технологічних параметрів засувкою головка вентилятора збільшується і зменшується в точці управління, що свідчить про збільшення динамічної складової головки і обумовлено втратами напору на контролі.

2.4 Аналіз перехідних і динамічних характеристик вентиляторної установки в замкнутій системі

При моделюванні замкнутого циклу системи VF-AD-вентилятор-аеронет були отримані характеристики тих же параметрів двигуна і вентилятора, що і для відкритої системи. Були проведені дослідження замкнутої системи режимів пуску і реакції на збурення, що моделювали зниження подачі повітря в мережу споживача і, як наслідок, підвищення тиску в трубопровідній системі. При моделюванні передбачається, що параметри мережі $R = 1110 \text{ с}^2/\text{м}^5$, час моделювання - 2 с.

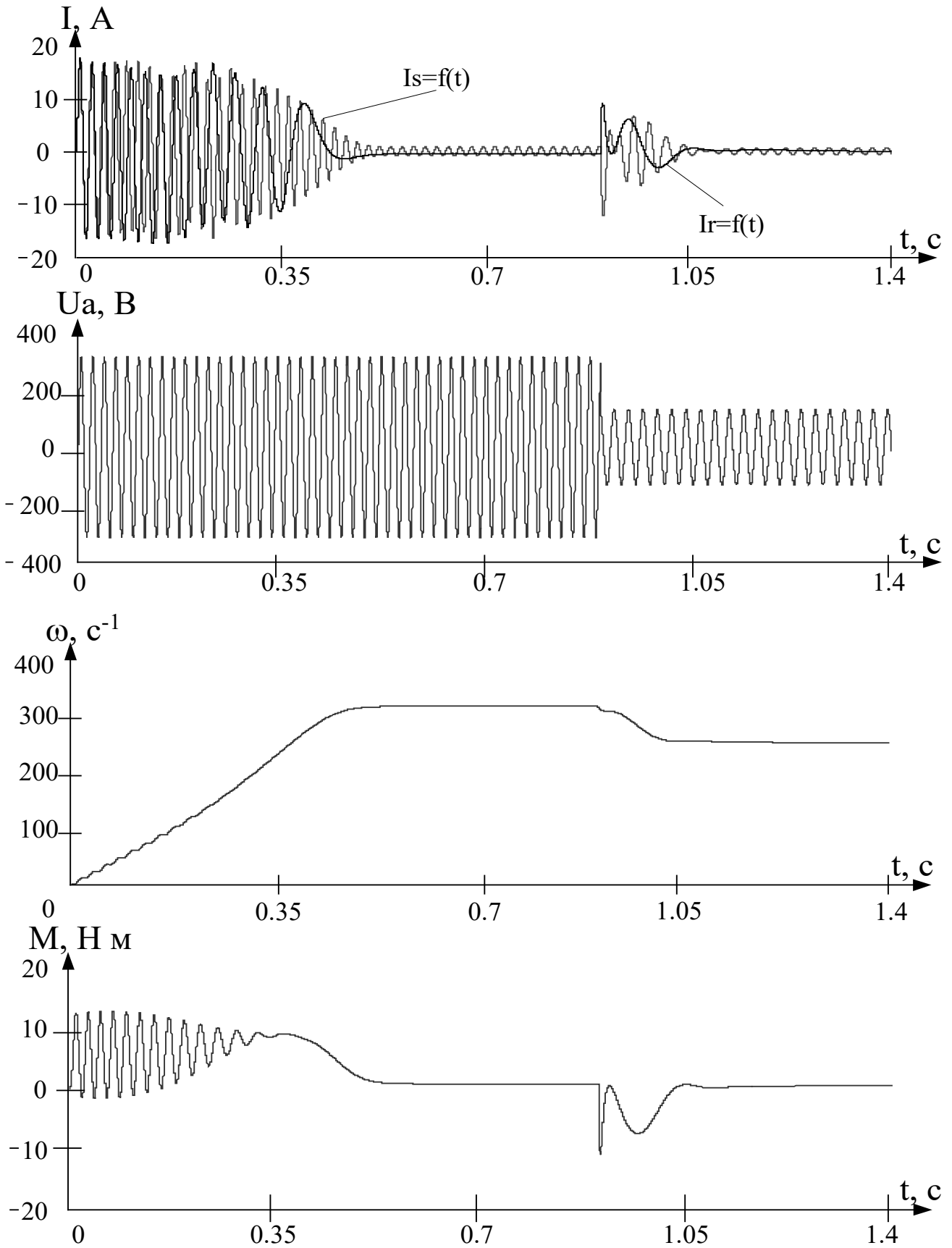


Рисунок 2.14 – Динамічні характеристики двигуна в замкнутій системі VF-AD-вентиляторно-аеронавігаційної мережі

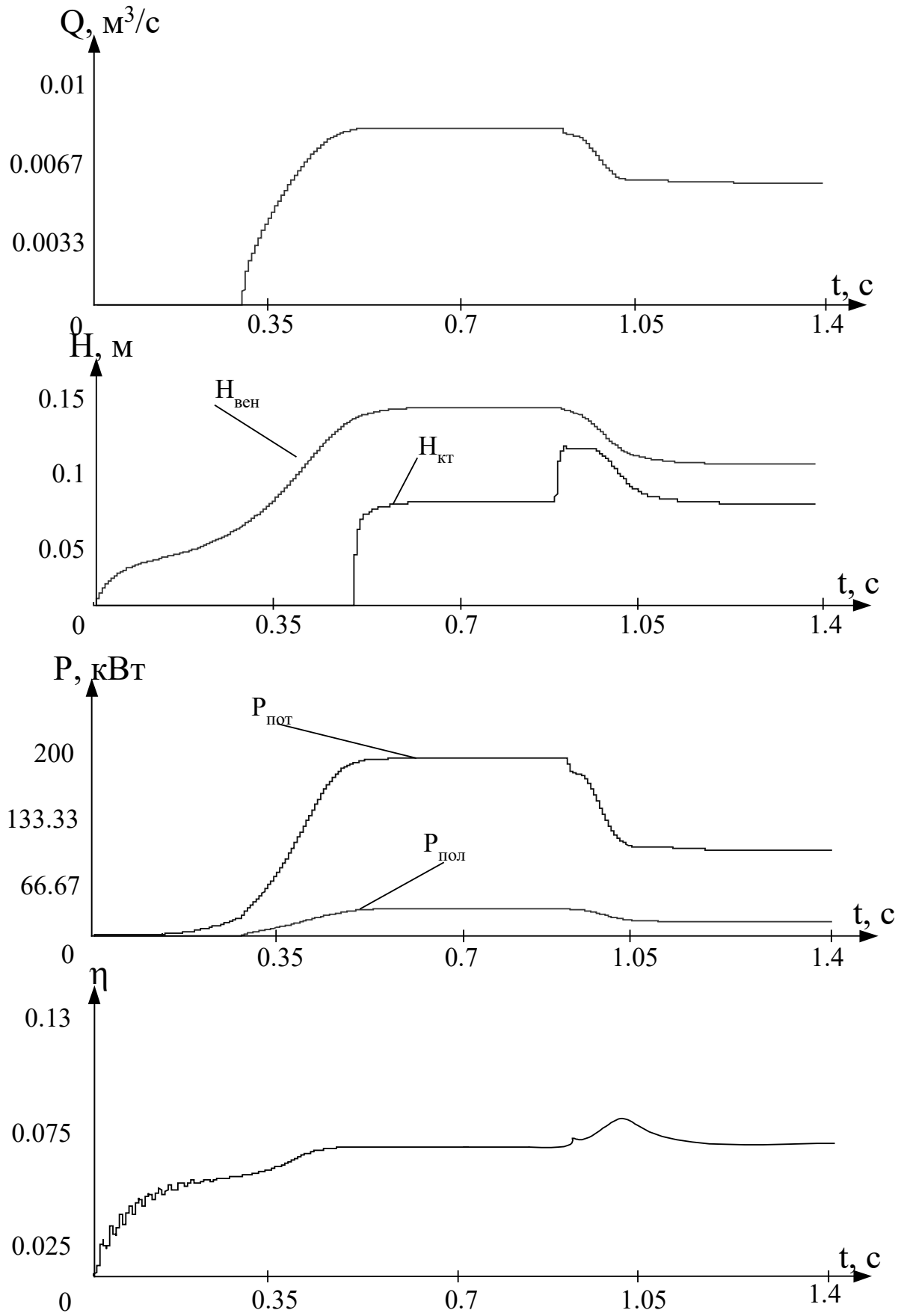


Рисунок 2.15 – Технологічні та енергетичні характеристики в замкнутій системі ПЧ – вентилятор – повітряна мережа

На графіках видно, що після запуску системи тиск у споживача досягає значення встановленого значення. Після цього протягом 0,86 с на систему подається ефект збурення, що відповідає підвищенню тиску в опорній точці на 2 м. В результаті збільшується напір і витрата на виході з вентилятора, що дає можливість стабілізувати тиск у споживача. У цьому режимі ККД вентилятора змінюється незначно і тримається на максимальному рівні.

Аналіз динамічних характеристик (рис. 2.14 - 2.15) показав, що при збурюючому факторі, відповідному зниженню споживання повітря в мережі споживача, система знижує частоту припливної мережі; При виникненні порушення, що відповідає збільшенню подачі повітря споживачеві, напруга живильної мережі зростає. Це показує працездатність системи ВФ-АД-вентилятор-аеронавігаційна мережа, яка замикається під тиском досліджуваної системи.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В УМОВАХ ПрАТ «ЗАПОРІЖВОГНЕТРИВ»

3.1 Коротка характеристика об'єкта дослідження

ПрАТ «Запоріжвогнетрив» входить до п'ятірки найбільших виробників вогнетривкої продукції в країнах СНД і є найбільшим вогнетривким підприємством України, якому немає рівних за видами і номенклатурою продукції, що випускається, високоякісної продукції - більше 1200 основних марок вогнетривів, неформових матеріалів, бетонних сумішей і мас. Підприємство спеціалізується на виробництві шамотної глини, смоли, магнезії та неформових виробів.

Основними споживачами продукції ПрАТ «Запоріжвогнетрив» є підприємства металургійної, цементної, скляної, хімічної, теплової енергетики країн СНД, Європи, Азії та Африка.

Одним з ключових напрямків роботи компанії є сервіс. В рамках сервісу ПрАТ «Запоріжвогнетрив» виконує наступні роботи:

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

Завдяки контролю всього технологічного ланцюжка - від виробництва вогнетривких виробів до монтажу футерування і сервісного обслуговування, ПрАТ «Запоріжвогнетрив» забезпечує замовнику підвищену стійкість вогнетривкої кладки.

З 2003 року на ПрАТ «Запоріжвогнетрив» введена і успішно функціонує система менеджменту якості, що відповідає вимогам міжнародного стандарту ISO 9001:2015 в області розробки, проектування, виробництва, постачання та сервісного обслуговування вогнетривів для металургійної та інших галузей промисловості.

У листопаді 2023 року міжнародні аудитори органу з сертифікації TÜV Thüringen e.V. провели повторний аудит оцінки відповідності системи менеджменту якості ПАТ «Запоріжжнеупор» вимогам ISO 9001:2015. За результатами аудиту сертифікаційний орган «TÜV Thüringen e.V.» видав сертифікат відповідності системи менеджменту якості ПрАТ «Запоріжвогнетрив» вимогам міжнародного стандарту ISO 9001:2015 у сфері розробки, проектування, виробництва, постачання та післяпродажного обслуговування вогнетривів для металургійної та інших галузей промисловості.

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

У листопаді 2023 року міжнародні аудитори провели другий наглядний аудит з оцінки відповідності системи енергетичного менеджменту ПрАТ «Запоріжвогнетрив» вимогам міжнародного стандарту ISO 50001. В результаті аудиту системи енергетичного менеджменту компанії було продовжено термін дії сертифіката.

ПрАТ «Запоріжвогнетрив» приділяє особливу увагу технологічному контролю виробництва - від сировини до кінцевого продукту. Вся продукція, що відвантажується споживачам, має сертифікат якості.

На підприємстві розроблена та впроваджена лабораторна система якості, яка відповідає вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2009, що підтверджується сертифікатом відповідності, виданим Державним підприємством «УкрНДІ промислового розвитку». У червні 2023 року відділом технологічного контролю здійснювався метрологічний нагляд, за результатами якого було підтверджено відповідність системи якості лабораторії вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2009 в

системі Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Промисловий реєстр» на право проведення випробувань.

3.2 Виробнича структура і сортамент вогнетривкої дільниці

ПрАТ «Запоріжвогнетрив» має 5 основних видів виробництва:

виробництво магнезії;

виробництво шамотної глини;

виробництво вогню;

виробництво високоглиноземистої сировини;

Виробництво неформованих вогнетривів.

Виробництво магнезії

Виробництво магнезії характеризується широким асортиментом периклазних, периклазо-хромітових, хромопериклазових виробів, які використовуються для футерування мартенівських і електричних сталеплавильних печей, конвертерів, обертових печей, термічних агрегатів. Продукція обпалюється в тунельній печі довжиною 156 м з автоматичним режимом випалу. Пресова дільниця виробництва оснащена гідравлічними пресами німецької фірми «Laeis Bucher».

Одним з перспективних напрямків діяльності ПАТ «Запоріжжнеупор» є поліпшення технічних характеристик магнезійних вогнетривів, які, на думку фахівців, в найближчому майбутньому залишаться основним конструкційним матеріалом для футеровки сталеплавильних і металургійних агрегатів. Серед магнезійної продукції, що випускається ПАТ «Запоріжнейпор», особливе місце займають периклазовуглецеві вогнетриви, які дозволяють забезпечити впровадження передових металургійних процесів на провідних підприємствах України та світу.

Шамотне виробництво

Виробництво шамотної глини - це різноманітні вогнетривкі вироби, до яких відносяться ковші, складної і особливо складної форми, вироби загального призначення, фіксатори, центральні труби, воронки і багато іншого. Пресова дільниця виробництва оснащена гідравлічними пресами німецької фірми «Laeis Bucher», механічними пресами SM +1085 і системою люлькових конвеєрів, які забезпечують мультимарочне завантаження на вагони-печі. Виробництво оснащено тунельними печами довжиною 168 м, 165 м і 87 м.

Виробництво обсмажування Шамото

Шамотне виробництво спеціалізується на випуску шамотної продукції, асортимент якої невеликий, але вкрай важливий, так як саме обпалена шамотна глина є основним компонентом вогнетривких виробів, що випускаються підприємством. Основним обладнанням вогнепереробної промисловості є обертові печі.

Виробництво глинозему з високим вмістом глинозему

Вироби з високим вмістом глинозему використовуються для футерування доменних печей, трубопроводів гарячого дуття, позапічної обробки сталі та інших теплових агрегатів кольорової металургії. Вироби високоглиноземного виробництва мають високу міцність і вогнестійкість. Виробництво оснащено механічними пресами вітчизняного виробництва та гідравлічними пресами німецької фірми «Laeis Bucher». Випал здійснюється в тунельній печі довжиною 156 м.

Виробництво неформованих вогнетривів

Виробництво неформованих вогнетривів є відносно новим напрямком діяльності ПрАТ «Запоріжвогнетрив», який є частиною масштабної інвестиційної стратегії підприємства, спрямованої на диверсифікацію виробництва.

Виробнича лінія виробляє вогнетривкі бетонні суміші для металургійної, феросплавної, алюмінієвої та цементної промисловості. Потужність виробничої лінії дозволяє випускати близько 16 тисяч тонн продукції на рік.

Вогнетривкі сухі бетонно-цементні суміші для футеровки теплових агрегатів чорної і кольорової металургії, в тому числі сталеливарних і проміжних ковшів, укріттів термічних агрегатів, склоплавильних печей, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Асортимент товарів

Марка	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	CaO ₃ , %	Максимальна робоча температура, °C
ССБ-45С	45	-	3,5	1400
SSB-65S	65	1,5	1,5	1550
SSB-80S	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
SSB-90V	90	0,5	1,5	1700

Виробнича лінія оснащена високотехнологічним обладнанням фірм GALICO (Словаччина) та EIRICH (Німеччина), які є світовими лідерами з виробництва сумішей для обладнання.

Виробництво вогнетривкого сухого бетону не передбачає випалу, як в класичній технології виробництва вогнетривких виробів. Це дає значну конкурентну перевагу новим матеріалам, оскільки для їх виробництва не використовується дорогий природний газ.

Із запуском нової виробничої лінії асортимент продукції значно розширився, в першу чергу за рахунок марок теплоізоляційних сумішей ЛПС і УСК-Л, які користуються попитом у споживачів. Дана продукція використовується при розливанні різних марок сталі, зокрема, для облаштування прес-форм, сталеливарних і промислових ковшів.

3.3 Огляд споживачів електроенергії

Споживачів можна класифікувати за принципом перетворення електричної енергії в інші види, на наступні групи:

1) Загальнопромисловий електропривод, де електрична енергія перетворюється в механічну. Такий тип приймачів зустрічається на всіх промислових підприємствах, де для електроприводу на сучасних машинах використовуються всі типи 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 та установки, електродугові печі, електрошлакові печі переплаву, електронно-променеві нагрівальні агрегати, контактне та дугове зварювання);

б) електрохімічні – перетворення електричної енергії в хімічну (до них відносяться: електролізні установки, гальванічне покриття, електрохімічна обробка, анодування);

в) електрофізичний – перетворення електричної енергії в різні види механічної енергії, що використовується для обробки виробів (до них відносяться: ультразвукова обробка, магнітно-імпульсна обробка, електрофільтри).

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

Окремим видом навантаження є установки для вентиляції виробничих приміщень. Вентиляція - це комплекс заходів і пристроїв, що застосовуються при організації повітрообміну для забезпечення заданого стану повітряного середовища в приміщеннях і на робочих місцях відповідно до СНиП (будівельними нормами і правилами). Вентиляційні системи забезпечують підтримання допустимих метеорологічних параметрів у приміщеннях різного призначення.

Класифікація вентиляційних систем:

При всьому різноманітті вентиляційних систем, обумовлених призначенням приміщень, характером технологічного процесу, типом шкідливих викидів і т. Д., Їх можна класифікувати за такими 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:
 - канална;
 - безканална.

3.4 Аналіз споживання електроенергії підприємством

3.4.1. Характеристика встановлених електроприймачів та електроустановок ділянки

Основними споживачами електричної енергії ділянки є технологічне та зварювальне обладнання. Вони живляться від трифазної мережі частотою 50 Гц і напругою 0,38 кВ. Структура споживачів, що споживають електроенергію, представлена на рисунку 3.1 наступним чином: електроприводи – 54%, вентиляція – 12%, електротермічні та електричні технології – 4%, освітлювальні та інші споживачі – 22%.

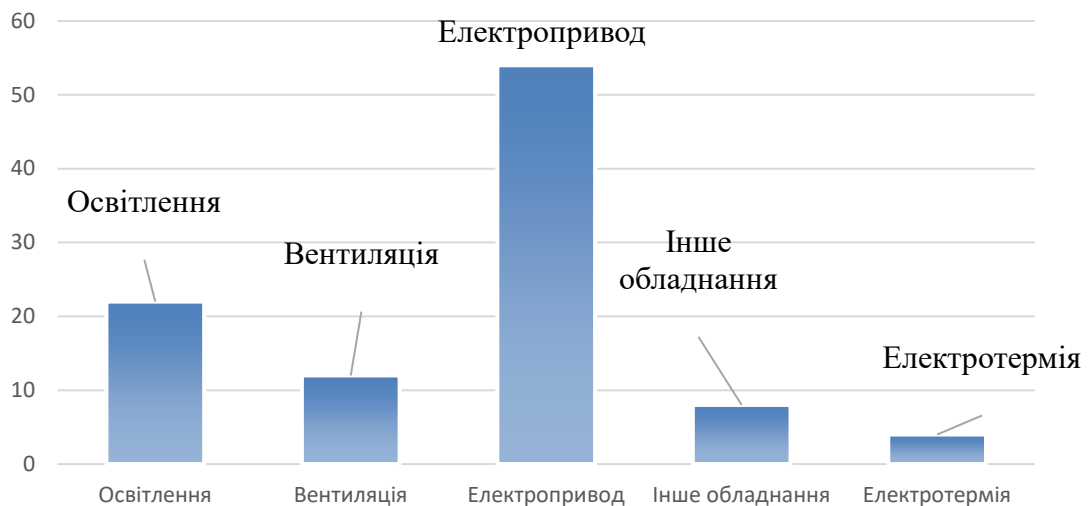


Рисунок 3.1 – Діаграма коефіцієнта енергоспоживання обладнання Профілі з вогнетривкого бетону ПАТ "Запоріжнепер"

Основні електроприймачі підприємства:

– технологічне обладнання (всього близько 180 шт.: станки, преси, електричні пічі, 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 АС/DC – 1шт., УДГУ-301, газоплазморізальна машина ППЛКП - 2шт);

– кран-балки;

– освітлення (освітлення у виробничих цехах — світильники з люмінесцентними лампами типів ДРЛ-1000 та ДРЛ-700 — 70 шт., освітлення цехів — люмінесцентні лампи ДРЛ-400 (30 шт.) та ДРЛ-250 (10 шт.), освітлення периметра — люмінесцентні лампи ДРЛ-250 (30 шт.) та ДРЛ-125 (30 шт.); освітлення в адміністративно-побутових приміщеннях здійснюється світильниками з люмінесцентними лампами типу ЛБ-36 (50 шт.); освітлення в туалетах, каналізаційних насосних станціях, побутові номери – з лампами розжарювання (50 шт.);

Відсоткове співвідношення споживання електричної енергії для постачання електричної енергії споживачам ПрАТ «Запоріжвогнетрив» наведено в таблиці 1.1.

Порівнюючи схему фактичного розподілу споживання електроенергії зі схемою типового розподілу, можна зробити висновок, що саме система освітлення є найбільш енергоємною категорією споживачів у даній галузі господарської діяльності.

У таблиці 3.2 наведено річне енергоспоживання цеху з ремонту обладнання та структуру витрат.

Таблиця 3.2 – Річне споживання енергії та витрати

Енергоносій	Одиниці вимірювання	Витрата, н.о.	Витрати за 2023 рік, грн	%
Електроенергії	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

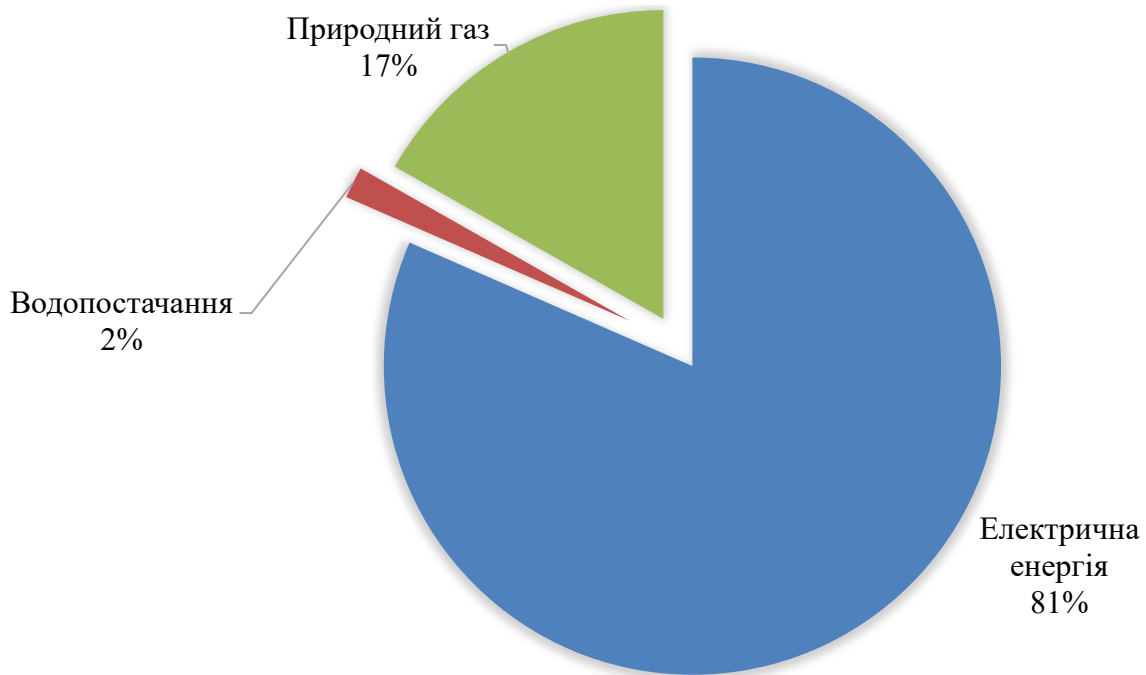


Рисунок 3.2 – Структура витрат на енергоносії

Як видно з рисунка 3.2, грошові витрати електроенергії, спожитої майстернею з ремонту обладнання, значно перевищують вартість інших енергоресурсів.

З таблиці 3.2 видно, що великий відсоток споживання електроенергії припадає на електродвигуни, більшість з яких складають асинхронні двигуни.

3.4.2. Динаміка споживання електроенергії

Ця електроенергія широко використовується на промислових підприємствах для приводу різних механізмів, для освітлення, для різних електротехнологічних установок, до яких відносяться: електротермічні, електрозварювальні, електролізні установки та ін.

Дані про місячне споживання електроенергії основними споживачами та тарифи на електричну енергію у 2023 році[2] представлені у таблиці 3.4, а динаміка місячного споживання електроенергії представлена на рисунку 3.3.

Динаміка споживання електроенергії у 2023 році наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Річне споживання електроенергії в 2023 році

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
Просто	78,2	52,29

Таблиця 3.4 - Динаміка споживання електроенергії в 2021-2023 рр.

Років	2021	2022	2023
Споживання електроенергії, млн·кВт·год	7,36	7,52	8,11
Витрати, млн грн	7,65	7,83	8,43

З наведених даних видно, що протягом останніх 3 років споживання електроенергії компанією стабільно зростає. Це пов'язано зі зростанням виробництва товарної продукції і розширенням її асортименту. Споживання електроенергії у 2023 році зросло на 10% порівняно з 2021 роком.

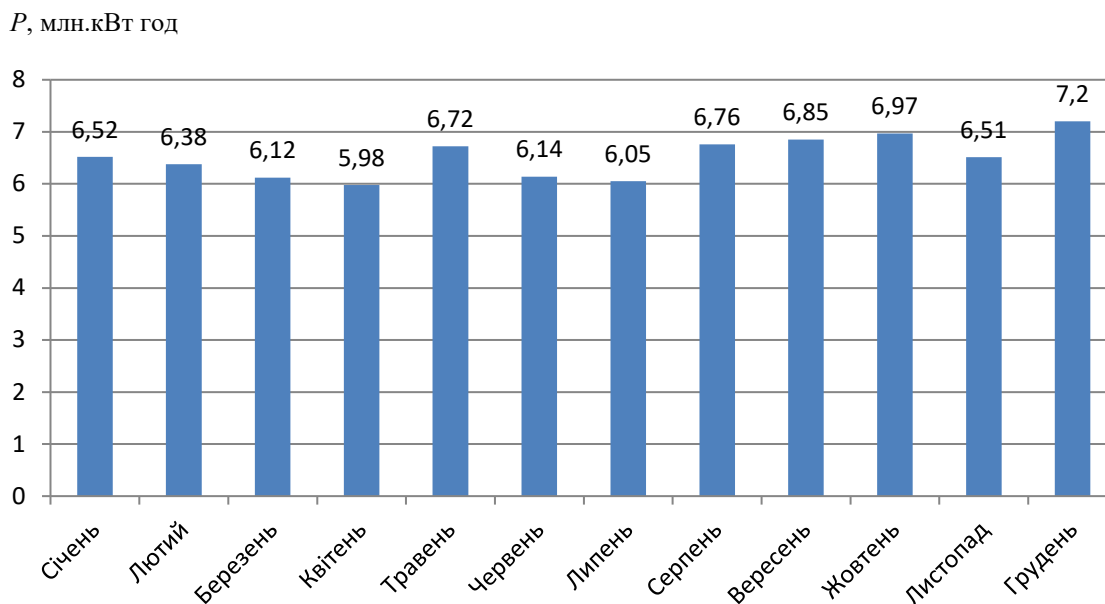


Рисунок 3.3 – Динаміка місячного споживання електроенергії у 2023 році

3.5 Техніко-економічне обґрунтування

Визначимо вартість створення програмного продукту (моделі), яка складається з витрат на оплату розробника програми і витрат на оплату комп'ютерного часу при налагодженні програми:

$$Z_{\text{СПП}} = Z_{\text{СПП}}^{\text{МВ}} + Z_{\text{СПП}}^{\text{ЗП}} + Z_{\text{Общ}}, \quad (3.1)$$

де $Z_{\text{СПП}}$ - вартість створення програмного продукту;

$Z_{\text{СПП}}^{\text{ЗП}}$ - трудовитрати розробника програми;

$Z_{\text{СПП}}^{\text{МВ}}$ - витрати на оплату машинного часу;

$Z_{\text{Общ}}$ - Загальні витрати.

Вартість винагороди розробника програми визначається шляхом множення трудомісткості створення програмного продукту на середню годинну заробітну плату програміста (з урахуванням коефіцієнта соціальних внесків):

$$Z_{\text{спп}}^{\text{зп}} = t \cdot T_{\text{час}}. \quad (3.2)$$

Складність розробки програмного забезпечення можна визначити наступним чином:

$$t = t_0 + t_a + t_б + t_{\text{п}} + t_{\text{д}} + t_{\text{от}}. \quad (3.3)$$

де t - трудовитрати на складання опису завдання;

t – трудовитрати на розробку алгоритму розв'язання задачі;

t – трудовитрати на розробку структурної схеми алгоритму розв'язання задачі;

t - трудовитрати на складання програми за готовою блок-схемою;

t – трудовитрати на підготовку документації для виконання завдання;

t - це зусилля, необхідні для налаштування програми на комп'ютері зі складним завданням налагодження.

Складові витрат, в свою чергу, можуть бути розраховані в термінах умовного числа операторів Q . У нашому випадку число операторів в налагодженій програмі $Q = 4000$.

Розрахуйте трудовитрати, необхідні для складання опису.

Оцінити трудовитрати на підготовку опису завдання не представляється можливим, так як це обумовлено творчим характером роботи, замість цього ми оцінимо трудовитрати на вивчення опису завдання з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста, що визначається:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{75 \dots 85K},$$

де B - коефіцієнт збільшення трудовитрат через недостатнє опису завдання, уточнень і деякого доопрацювання, $B = 1, 2 \dots 5$;

K - кваліфікаційний коефіцієнт розробника, для тих, хто працює до 2 років $K = 0,8$.

У зв'язку з тим, що опис даної задачі вимагало багато уточнень і уточнень в описі, прийmemo коефіцієнт B рівним 4.

Таким чином, отримуємо:

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

Трудовитрати на розробку алгоритму розв'язання задачі:

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

Трудовитрати на розробку блок-схеми алгоритму вирішення завдання розраховуються наступним чином:

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

Трудовитрати на складання математичного опису на основі готової блок-схеми розраховуються за формулою:

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

Трудовитрати на налаштування математичної моделі на комп'ютері зі складним налагодженням задачі:

$$t_{от} = 1.5 \cdot t_{от}^A, \quad (3.4)$$

де t_A - це зусилля, необхідні для налаштування програми на комп'ютері з автономним налагодженням одного завдання.

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

То

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

Розрахунок трудовитрат на підготовку документації

Трудовитрати на підготовку документації під завдання визначаються:

$$t_d = t_{др} + t_{до}, \quad (3.5)$$

де t – трудовитрати на підготовку матеріалів у рукописі;
 t - вартість редагування, друку та обробки документів.

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

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

То

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

Отже, загальну складність створення математичної моделі можна обчислити:

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

В результаті розрахунку вартість створення даного програмного продукту склала 126890,33 грн. Цю цифру складно оцінити, так як наявні на ринку аналогічні продукти занадто специфічні і їх кількість дуже мало. Для зниження витрат можуть бути запропоновані наступні рішення. Як бачите, три чверті витрат складають витрати на оплату праці. Ці витрати можуть бути знижені за рахунок підвищення продуктивності за рахунок використання більш сучасних комп'ютерів, підвищення комфорту на робочому місці та інших факторів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

Короткі мережі пічних трансформаторів напруги, які виконані у вигляді трифазної мостової схеми, використовуються для забезпечення електроенергією споживачів великої потужності. Самі пічні установки є джерелом найбільших гармонійних складових при змінних напругах і струмах, причому найважливішими є 11-я і 13-я гармоніки, за ними йдуть 23-я і 25-я, 35-я і 37-а, а також інші гармоніки, кількість яких визначається співвідношенням $12n + 1$ (де n - натуральне число). При цьому критерієм оцінки якості електричної енергії є несинусоїдальний коефіцієнт і рівень вищих гармонійних складових напруги.

Наявність високих рівнів більш високих гармонійних складових по струму і напрузі призводить до ряду негативних явищ – збільшуються втрати в електричних мережах, в силових трансформаторах, скорочується термін служби ізоляції електричних машин і високовольтних апаратів. Крім того, ускладнюється експлуатація пристроїв релейного захисту, автоматики та телемеханіки.

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

- оксид азоту: NO_2 – 5 мг/м³;
- оксид сірки: SO_2 – 10 мг/м³;
- оксид вуглецю: CO – 20 мг/м³;
- триоксид сірки SO_3 – 1 мг/м³.

Для семінару розроблені наступні заходи з охорони праці.

Проаналізовано потенційно небезпечні шкідливі фактори виробничого середовища, які можуть проявлятися в процесі функціонування технологічного процесу.

Шкідливі речовини поділяються на 4 класи небезпеки. У кімнаті електролізу знаходяться речовини 3-го і 4-го ступеня небезпеки. Існує небезпека отруєння персоналу чадним газом (СО), який може потрапити в зал при порушенні технологічного режиму через негерметичність ущільнень, а також небезпека при вході в зону викиду шкідливих речовин.

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

Вибух - це миттєве вивільнення енергії речовини і зниження тиску до атмосферного. Причинами вибуху можуть бути:

- Підвищення тиску через несправні запобіжні клапани
- Знижена інтенсивність охолодження, через що нагріті стінки перестають охолоджуватися;
- амортизація агрегату в зв'язку з терміном його служби;
- порушення технічних умов експлуатації;
- недоліки конструкції і невідповідність матеріалу проектним параметрам.

Вжито спеціальних заходів для контролю та обмеження шкідливих викидів та шуму. Розрізняють такі види шуму, що виникають під час роботи електродугового пічного обладнання: шум корпусу, створюваний механічними коливаннями; повітряний шум, що генерується безпосередньо вихлопними системами цеху.

Основними джерелами повітряного шуму, які в ряді випадків вимагають застосування спеціального шумопоглинаючого обладнання, є напівпровідниковий перетворювач енергії АС-DC і система видалення шкідливих випромінювань. У пічних установках використовуються такі види звукопоглинального обладнання:

- звукопоглинаючі стенди;
- звукопоглинаючі корпуси;
- Шумоглушники.

Таблиця 4.1 – Технологічні схеми умов праці оператора зварювального апарату

№ з/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, та характер праці		
				1 ступінь	2 градус	3 град
1	Шкідливі хімічні речовини,					
	2 клас безпеки : SO ₂	1	4,8	4,8 р.		
	3- клас безпеки: NO ₂	5	5,5	1.1р		
	4- клас безпеки: 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				

Вібрація обладнання (насосів, трубопроводів і т.д.) також є джерелом шуму. У зв'язку з цим основним методом боротьби є звукоізоляція джерела, а основними заходами в даному випадку є:

- пристрій віброізоляції бетонного фундаменту під піч;
- віброізоляція магістральних насосів;
- віброізоляція опорних стяжок трубопроводу;
- шумоізоляція напівпровідникових приладів;
- Використання глушників в каналі викиду шкідливих газів.

Захисні засоби використовуються для захисту персоналу від ураження електричним струмом в мережах. Всі струмопровідні частини і проводи ізолювані. Опір ізоляції не менше 500 кОм. Застосовується захисне блокування, тобто відключення електричних ланцюгів в аварійних ситуаціях із загальним часом спрацьовування 0,2 секунди. Електрообладнання дугового цеху електropечей живиться від мережі змінного струму напругою 10 кВ/1200В/50 Гц.

Для одного робітника (оператора пічного цеху) відповідно до гігієнічної класифікації наводяться гігієнічні характеристики трудового процесу і факторів виробничого середовища, складається карта умов праці (табл. 4.1).

Умови і характер роботи відносяться до II класу. На робочому місці є чотири фактори 1 ступеня, два фактори 2 ступеня та один фактор 3 ступеня.

4.2 Технічні рішення для промислової санітарії цеху

4.2.1 Опалення та вентиляція

Для приміщень цеху з категорією робіт середньої тяжкості, наведені в таблиці 4.2. Параметри виробничого середовища встановлюються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря в робочій зоні».

У виробничому приміщенні, якщо кількість тепла, що виділяється, достатня для обігріву приміщень в холодну пору року, система опалення не потрібна. У виробничому приміщенні використовується природна і механічна вентиляція.

Природна вентиляція відбувається за рахунок аерації. Аерація здійснюється під впливом аеростатичного і вітрового тиску. Для припливу зовнішнього повітря в приміщення в «холодних» проходах встановлюють отвори в зовнішніх стінах і ліхтарі, чергуючи їх з «гарячими», а прольоти

відокремлюють один від одного опущеними зверху перегородками, що не доходять до підлоги на 2-4 м.

Таблиця 4.2 – Нормативні параметри виробничого середовища

Характеристика виробничих приміщень з надмірним виділенням тепла $C > 23 \text{ Вт (м}^3\text{)}$	Категорія посади	Період року (теплий, холодний)		
		На постійних робочих місцях		
		Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Тепла пора року	Середній ступінь тяжкості-2b	22-25;	40-70;	0.2-0.3;

У механічній вентиляції повітрообмін досягається за рахунок різниці тисків, створюваної вентилятором. Механічна вентиляція застосовується в тих випадках, коли тепловіддача на підприємстві недостатня для використання протягом року, аерації, а також якщо кількість або токсичність шкідливих речовин, що виділяються в повітря приміщення, вимагає постійного повітрообміну, незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

Для відводу надлишкового тепла передбачена припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція котельні. У теплу пору року повітря подається в робочу зону через фрамуги вікон. Вихлоп здійснюється з верхньої зони через дефлектори.

4.2.2 Природне і штучне освітлення

Приміщення цеху електродугових печей забезпечуються достатнім природним освітленням, а в нічний час – електричним освітленням. Місця, які з технічних

причин не можуть бути забезпечені природним світлом, забезпечуються електричним освітленням. Освітлення відповідає СНиП 2-4-79 «Природне і штучне освітлення».

Особливості залу:

- Характер роботи	Постійний моніторинг
- Розслаблення зорової роботи	8
- підкатегорія робіт	В
- Контраст об'єкта визнання	Гарна робота
-тіло	Світлий
- коефіцієнт природного освітлення E_n	
З верхньою і комбінованою. Освітлення	0,9%
- коефіцієнт природної освітленості E_n	
При звичайному освітленні	0,3%

Раціональне освітлення має важливе значення для створення сприятливої робочої обстановки. Незадовільне освітлення ускладнює роботу, призводить до зниження продуктивності і працездатності очей, може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяють на робоче (для роботи в нічний час або в місцях без достатньої кількості природного освітлення), аварійне (для робіт у разі аварійного відключення робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей з приміщення у разі аварійного відключення робочого освітлення) та охоронне. При необхідності частина ламп того чи іншого типу освітлення використовується для аварійного освітлення. Використовуються ртутно-дугові лампи (ДРЛ).

Штучне освітлення проектується двома системами: загальною (рівномірною або локалізованою, з урахуванням розташування робочих місць) і комбінованою, коли до загального освітлення додається локальне освітлення. Для штучного освітлення використовуються стельові світильники типу ДРЛ-150, або світильники типу Астра. Для локального освітлення використовуються лампи розжарювання потужністю 150 Вт і лампи НСП-200.

Аварійне освітлення передбачає найменш допустиму освітленість.

Для закритих приміщень він становить 5 лк, але не менше 2 лк, в проходах і сходових клітках приміщень не менше 0,5 лк, на відкритих майданчиках не менше 0,2 лк.

4.2.3 Санітарно-побутові приміщення

При облаштуванні санітарно-побутових приміщень в дипломній роботі керуємося СНиП 2.09.04-87 «Адміністративно-побутові будівлі». Зведення стін, вікон, стель і т.д. у виробничих приміщеннях відповідає санітарним нормам, забезпечує сприятливі умови праці для працюючого персоналу.

До побутових об'єктів належать приміщення для задоволення санітарних потреб працівників під час їх перебування на роботі: їдальні, роздягальні, душові, туалети, вбиральні, запас питної води та комора для інвентарю. На території підприємства працюють медпункти, укомплектовані аптечками та іншими медикаментами.

4.2.4 Шум і вібрація в майстерні

Робота обладнання, а також пульсація потужного електричного поля всередині печі створює шум і вібрацію в цеху. Тому існують різні види шуму. Серед них можна виділити механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи, насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - в електродуговому цеху, середній - на робочому місці оператора, а найнижчий - в побутових і допоміжних приміщеннях.

Сильний шум шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалий шум, який пригнічує, впливає на центральну нервову систему, а через неї і на весь організм. Це свідчить про необхідність розробки та впровадження заходів щодо зниження шуму та захисту обслуговуючого персоналу від нього.

З метою зниження шуму використовуються звукоізоляційні конструкції:

- звукоізольоване місце для контролю робочого місця машиніста дугової печі;
- Звукоізоляція трубопроводу.

Джерелом вібрації в цеху є насоси, двигуни та ін. Максимально допустимий рівень вібрації - 92 дБ. Вплив вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини і може викликати вібраційну хворобу. Загальна вібрація впливає на нервову і серцево-судинну системи людини, відбувається порушення в вестибулярному апараті, порушується обмін речовин, виникають головні болі, погіршується сон і т.д.

В якості захисних заходів використовується віброізоляція. Для зменшення передачі вібрацій і шуму по повітроводах і трубах їх з'єднують з вентиляторами і насосами за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини. Під джерелом вібрації встановлюють міцну основу.

4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці

Відповідно до вимог охорони праці була проведена компоновка обладнання цеху, визначений комплекс заходів з охорони праці. Використано засоби контролю параметрів автоматичної системи управління технологічними процесами, а також систему протиаварійних заходів та блокувань. Електрообладнання та заходи щодо його безпечної експлуатації. Безпечні умови експлуатації багато в чому залежать від пристроїв, які потрібно захистити.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Електрична безпека. Терміни та визначення» обладнання котельні забезпечується робочою ізоляцією –

електричною ізоляцією струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу та захист від ураження електричним струмом.

Відповідно до ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Електротехнічні вироби. Враховуючи вимоги Правил улаштування електроустановок, НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Система стандартів безпеки праці. Електротехнічні вироби. Загальні вимоги безпеки» Обладнання котельні захищене від перевантажень автоматизованою системою управління. Захисне заземлення слід використовувати для запобігання ураженню електричним струмом при дотику до металевих частин під напругою в результаті порушення ізоляції. Для розподілу електроенергії котельня обладнана модульною шафою з автоматичним вимикачем і магнітним пускачем.

Перед пуском електродвигунів подається попереджувальний сигнал. Особи, які обслуговують електроустановки, мають кваліфікаційну групу не нижче 3. Всі деталі, які проводять струм, ізольовані. В якості захисної ізоляції використовуються термостійкі лаки, плівки, емалеві і масляні фарби, а також запірні пристрої для запобігання помилкових спрацьовувань за допомогою автоматичних вимикачів.

Захисне заземлення електроприймачів здійснюється сталевими трубами, опір заземлюючого пристрою не перевищує 4 Ом. Положення «включено» і «вимкнено» чітко позначені на проводах комутаційних апаратів. Для захисту від короткого замикання використовуються швидкодіючі релейні захисти і вимикачі, запобіжники.

У семінарі реалізовано комплекс організаційних заходів, спрямованих на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. До таких заходів можна віднести чітке розмежування обов'язків обслуговуючого персоналу, доручення обслуговування окремих одиниць обладнання конкретним працівникам, розробку посадових інструкцій для всіх категорій працівників і періодичну перевірку знань персоналу.

З метою запобігання аварій такий об'єкт, як сталеплавильний цех, підлягає періодичному огляду і випробуванню обладнання територіальними органами Держгірпромнагляду. Для запобігання витоку газу через зварні та болтові з'єднання, запірну арматуру, газопровід у зборі складають іспит Державного нагляду з охорони праці України.

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

4.4 Заходи пожежної безпеки

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Будівельні норми і правила, правила пожежної безпеки» цех відноситься до категорії «Г» за ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій. Проектом передбачена можливість швидкої евакуації людей з цеху. Сталеплавильний цех має два запасних виходи з протилежних сторін будівлі. Двері з службових і допоміжних приміщень відкриваються в бік майстерні. Також є дві пожежні драбини.

До основних засобів пожежогасіння в цеху відносяться: пінні вогнегасники ОВП-10, порошкові вогнегасники ОП-5, ОП-7, пожежне обладнання (ковдра з теплоізоляційного листа, ящики з піском, діжки з водою, пожежні відра, лопати, гаки, ломи, сокири та ін.). У цеху є внутрішній протипожежний водопровід з пожежними гідрантами і шлангами, а також пожежні щити, до складу яких входять: два вогнегасники, ящик з піском, два лома, три гака, дві лопати. Протипожежні навчальні заходи проводяться для персоналу цеху один раз на квартал; Інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки.

4.5 Заходи електробезпеки

Електробезпека - це система організаційно-технічних заходів і засобів, що захищають людину від шкідливого і небезпечного електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики [16].

Електричний струм, що проходить через живий організм, має термічну, електролітичну та біологічну дію. Тепловий і електролітичний ефекти притаманні всім провідникам, в той час як біологічні ефекти притаманні тільки живим тканинам.

Для забезпечення безпеки під час експлуатації електроустановок в проекті всі електроустановки заземлюються шляхом підключення їх не менше ніж в двох місцях до ланцюгів заземлення електрообладнання і блискавкозахисту з урахуванням вимог ЕІР [13].

Номинальні струмові навантаження не перевищують гранично допустимих для обраних перерізів проводів і кабелів. Обладнання, прилади, проводи, шини та конструкції відповідають нормальним умовам короткого замикання. Заземлення електрообладнання забезпечує безпеку персоналу під час експлуатації та ремонту електроустановок. Опір заземлюючого пристрою не повинно перевищувати 4 і 8 Ом при міжфазних напругах 380 і 220 В відповідно.

Електроспоживаючі установки, електроприлади в певних випадках можуть призвести до ураження електричним струмом. Контакт людини з нетеплоізованими поверхнями теплопроводів і обладнання теплових контурів може призвести до опіків різного ступеня тяжкості.

Зони захисту та блискавкозахисту

Щоб уникнути небезпеки ударів блискавки, обладнується захист, що представляє собою сукупність захисних пристроїв, призначених для захисту людей, будівель і споруд, обладнання та матеріалів від можливих вибухів, пожеж і руйнувань, що виникають при виникненні блискавки, а в будинках сільськогосподарських підприємств - також для безпеки тварин і птахів.

Пристрої, призначені спеціально для прийому електричного розряду від блискавки, відводять її струм на землю і називаються громовідводами. Захисна зона блискавковідводу - це та частина простору, яка примикає до блискавковідводу і захищає конструкцію від прямих ударів блискавки з достатнім ступенем надійності (99%). Радіус зони захисту розраховується за конкретними параметрами для конкретного блискавковідводу. За ступенем надійності зони захисту блискавковідводів поділяються на два типи: А – зі ступенем надійності 99,5% і вище; В - 95% і вище.

Блискавковідводи повинні бути виготовлені (оцинковані або пофарбовані): стрижень перетином не менше 10 мм² і довжиною не менше 200 мм, трос (багатодротовий оцинкований кабель) перетином не менше 35 мм². Їх встановлюють на димоходах, в найвищій точці.

4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху використовуються зовнішні і внутрішні протишумові пристрої (антифони). В якості зовнішніх протишумових навушників рекомендується використовувати шумоподавляючі навушники, що закривають вушну раковину, а в якості внутрішніх протишумних навушників - штекери і вкладиші, які вставляються в зовнішній слуховий прохід.

Ступінь шумозаглушення залежить від конструкції та частоти шумозаглушення. Свічки гасять шум на 5-7 дБ на частотах до 500 Гц і на 15 дБ на частотах вище 3000 Гц. Захист від шуму МІОТ послаблює шум до 8 дБ на частотах до 500 Гц і до 55 дБ на частотах від 5000 до 7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів підходять заглушки - кліпси, що представляють собою гумові заглушки з плоскою торцевою поверхнею, які закріплюються на ободі з підпружиненого сталевого дроту діаметром 1,5-2 мм.

Для захисту органів дихання використовується фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачено.

4.7 Екологічні рішення

Виробництво шамотної глини - одна з галузей промисловості, яка виділяє велику кількість небезпечних речовин. Кількість викидів залежить від використовуваної сировини, технологічного режиму плавки і способу видобутку газу. Висока температура і дія електричної дуги в робочому просторі викликають утворення оксиду вуглецю, оксидів азоту і сірки, ціанідів і фторидів, які виділяються з печі разом з газами. Вихід технологічних газів з печей визначається згорянням вуглецю шихти і електродів, розкладанням необпаленої частини вапняку і всмоктуванням в піч атмосферного повітря.

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

4.8 Інженерні рішення для забезпечення необхідного повітрообміну

На сьогоднішній день в цеху використовуються печі для виробництва ДСП. З точки зору технологічної частини проекту обсяг цеху дорівнює:

$$V = B \cdot H \cdot L . \quad (4.1)$$

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

де B - ширина приміщення майстерні, м;
 H - висота приміщення майстерні, м;
 L Довжина приміщення майстерні, м.

Для створення необхідного повітрообміну розрахункову кількість вентиляційного повітря визначають за формулою:

$$L = \frac{Q}{c_v \rho (t_{\text{відх}} - t_n)}, \quad (4.2)$$

де Q - уявне виділення тепла в приміщення, кВт;
 c_v – теплоємність повітря, $c_v = 1$ кДж/кг К;
 ρ щільність повітря, $\rho = 1,2$ кг/м³;
 $t_{\text{відх}}$ – температура повітря, що видаляється, К;
 t_n – температура приточного повітря, К.

При допустимій інтенсивності теплового випромінювання 140 Вт/м²[11] і фактичній 200 Вт/м², сумарне тепловиділення від зовнішніх поверхонь устаткування і трубопроводів з площею поверхні $F = 42$ м²дорівнює:

$$Q = F \cdot q . \quad (4.3)$$

де F - площа тепловіддачі, м²;
 q - інтенсивність теплового випромінювання,

$$Q = 42 \cdot 60 = 2520 \text{ В.}$$

Для приведення складових формули до співрозмірних одиниць виміру представимо Q як 2,52 кДж/с. Для літнього періоду перепад температур $\Delta t = (t_{\text{yx}} - t_n) = 3$ К.

Тоді:

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

Даний проект передбачає установку дефлекторів типу ЦАГІ в цеху електродугових печей. Було прийнято наступне конструктивне рішення по установці дефлекторів - установка необхідної кількості дефлекторів уздовж коника покрівлі. Необхідно видаляти повітря з цеху дефлекторами 2523 м³/год. Розрахункова швидкість вітру для Запоріжжя становить 2 м/с [12]. Використовуючи характеристики дефлекторів при сумарному тиску в соплі дефлектора $H = 0,02$ Па, Попередньо вибираємо дефлектор No7 (діаметр сопла $D = 700$ мм, висота сопла $H = 1200$ мм, висота сопла $H_1 = 900$ мм, зовнішній діаметр $D_1 = 1300$ мм).

Конструкція дефлектора визначається за формулою:

$$L_d = \frac{B - \sqrt{B^2 + 4K \cdot H_c}}{-2K}, \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

де K - коефіцієнт опору мережі, Па;

B - Коефіцієнт опору каналу.

Динамічний тиск повітря при передбачуваній швидкості вітру $V = 2,0$ м/с і $\rho = 1,29$ кг/м³с, Па [13]:

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

То

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

Коефіцієнт лобового опору воздуховода визначається виразом:

$$B = 0,0577 \cdot \frac{v_6}{d^2}. \quad (4.5)$$

де v_6 - розрахункова швидкість вітру, 2 м/с;

d - Діаметр воздуховода, м.

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

Сума локальних коефіцієнтів лобового опору для дефлектора ЦАГІ $\sum \xi = 0,6$.

Опір воздуховода H_c дефлектору:

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

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

Знайдемо коефіцієнт опору мережі:

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

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

То:

$$Ld = \frac{0,235 - \sqrt{0,235 + 4 \cdot 0,23 \cdot 1,548}}{-2 \cdot 0,23^2} = 0,38 \text{ м3/с.}$$

Необхідна кількість дефлекторів, шт:

$$N = \frac{L}{L_d}. \quad (4.8)$$

$$N = \frac{0.7}{0.38} = 1,84 \approx 2$$

Результати розрахунку підтверджують необхідність установки в цеху двох дефлекторів ЦАГІ No7 з діаметром труби 700 мм.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих методів контролю продуктивності підтверджує, що зміна швидкості обертання є більш енергоефективною стратегією в порівнянні з дроселюванням і покроковим регулюванням потоку. Перерахунок характеристик тиску і витрати при змінній швидкості показує, що зі збільшенням аеродинамічного опору мережі відбувається збільшення споживаної потужності і зменшення подачі вентилятора.

Проведено розрахунок електромеханічних та енергетичних характеристик приводу вентилятора при частотному регулюванні. Результати математичного моделювання системи VF-AD-вентилятор-аерорешітка з урахуванням інерції процесів, що відбуваються, показали, що при зниженні частоти живильної мережі потужність, споживана вентилятором, зменшується на 62,5%, а ККД вентилятора практично не змінюється і залишається на максимальному рівні.

Дослідження динамічних процесів в замкнутій системі регулювання параметрів вентиляційної установки підтверджують працездатність розробленої математичної моделі системи ВФ-АД-вентилятор-аерорешітка, що враховує інерційність системи.

В економічній частині розрахунок собівартості і річних експлуатаційних витрат здійснюється за розробленою математичною моделлю.

У розділі охорони праці звертається увага на шкідливі і небезпечні фактори, способи і методи їх нормування, розраховується обґрунтування даного об'єкта.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М.: Издательство «Энергия», 1972. - 240 с.
2. Черкаський В.М., Насоси, вентилятори, компресори. М., Издательство «Энергия», 1977.
3. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М.: Издательство «Энергия», 1972.
4. Смирницкий Б.В. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов. Учебник. Харьков : КДПУ, 1998.
5. Чорний О., Луговий А.В., Родкін Д.Ю. Моделирование электромеханических систем. Учебник для высших учебных заведений. - Кременчук : КДПУ, 2001.
6. Зубова О.И., Колесник Ю.М. Методические указания до оформления дипломных та курсових проектів. Учебник. - Кременчук : КДПУ, 2001.
7. Сендлер А. С., Сарбатов Р. С. Автоматическое регулирование частоты асинхронных двигателей. М.: Издательство «Энергия», 1974. - 328 с. (русской языком)
8. Чілікін М. Г., Ключев В. І., Сендлер А. С. Теория автоматизированного электропривода. Москва, Издательство «Энергия», 1979. - 616 с.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Іжевск: НІК «Регулярна і хаотична динаміка», 2000. – 576 с.
10. Чорний А. ., Родкін Д. Ю. Моделирование электромеханических систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.
11. Сердюк А.А., Коренкова Т.В., Баженова Ю.В. Режимы работы компьютеризированного аэродинамического комплекса. Научные работы ХДПУ. –Том. 6/2005(35). - Кременчук: КДПУ.

12. Овчаренко А.С. Довідник з електропостачання промислових підприємств [текст]: проектування і розрахунок./ А.С. Овчаренко, М.Л. Рабінович - К.:Техніка, 1985. – 279 с. –

13. Жежеленко І.В. Показники якості електроенергії та їх контроль на промислових підприємствах. Москва, Видавництво «Електроатоміздат», 1986. – 168 с.

14. Усатенко С.Т., Дачанюк Т.К., Терехова М.В. Реалізація електричних схем методом ЕСКД. - М.: Видавництво стандартів, 1989. – 325 с.

15. Довідник з електропостачання промислових підприємств [текст]: проектування і розрахунок. Овчаренко А.С., Рабінович М.Л. - К.: Техніка, 1985. 279 с.

16. Усатенко С.Т., Дачанюк Т.К., Терехова М.В. Виконання електричних схем за ЕСКД: Довідник. - М.: Видавництво стандартів, 1989. – 325 с.

17. Неклепаєв Б.М. Електрична частина електростанцій: підручник. М., Видавництво «Енергія», 1976. - 552 с.

18. Гарнов В.К., Вишневецький Л.М., Левін Л.Г. Оптимізація роботи потужних металургійних установок [текст]. М., Укр., Металургія, 1975. - 334 с.

19. Силові кремнієві затвори (діоди, тиристори, симистори) [Текст]: каталог-довідка. М., Видавництво «Інформелектро», 1970. - 51 с.

20. Блоки випрямлячів серій ВАК і ВАКВ [Текст] : каталог-довідка. М., Видавництво «Інформелектро», 1970. - 83 с.

21. Семенко Н.Г., Гамазов Ю.А.- М.: Зрада стандартів, 1984. – 264 с.

22. Спектор С.А. Вимірювання великих постійних струмів [текст]/С.А. Спектор – Ленінград: Енергія, 1978.

23. Бадманова Ю.А., Конторович Ю.Є. Виробництво алюмінію [Текст]: Довідник металурга з кольорових металів. М., Укр., Металургія, 1971. - 560 с.

24. Розанов Ю.К. Основи силової преобразовательної техніки Ю.К. Розанов - М.: "Енергетика", 1979. - 392 с.

25. Єдина методика розрахунку коефіцієнтів перетворення перетворювальних підстанцій установок [текст]: Всесоюзний науково-дослідний

проектний інститут алюмінієвої, магнієвої та електродної промисловості (ВАМІ). - Ленінград, 1969. - 19 с. : іл.

26. Методичні вказівки до дипломного проекту з розділу «Охорона праці»[Текст]: – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 60 с.

27. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж[Текст]: Правила./ ДП "НТУКЦ "АселЕнерго", - Київ, 2003. 25 с.

28. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж [текст] : М., Видавництво «Енергія», 1987. 83 с.

29. Андреев В.А. Релейний захист, автоматизація систем електропостачання [текст]/ В.А. Андреев. –М.; Вища школа, 1983. 423 с.

30. Князевський Б.А. Охрана труда в электронних установках / Б.А. Князевський – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 244 с.

31. Заступник О.В. Цивільна оборона [текст]/О.. Заступник В.І. Коваленко, І.С. Мужик. Львів: Афіша, 2001. ISBN 966-06-0196-6.

32. Проект. Порядок розроблення, погодження та затвердження проектною документації на будівництво[Текст]: ДБН А.2.2-3-2004. – 2004-07-01. – К.: Держстандарт України, 2004. 39 с.

33. Основні вимоги до проектною та робочою документації [Текст]: ГОСТ 21.101.97. – 1998-04-01. М.: Изд-во. Стандарти, 2003. –25 с.

34. Правила улаштування електроустановок[Текст]: Розділи 1.7, 2.4, 1.9, 2.5 // ПУЕ-2006. – 2006-05-01. Київ : ІМК, 2006. 653 с.

35. Методичні вказівки з проектування електропостачання промислових підприємств[Текст]: СН 174-75. – 1994-01-01. Київ : Видавництво «Важпромелектропроект», 1994. 34 с.

36. Правила безпечною експлуатації електроустановок споживачів [текст]: ДНАОП 0.00-1.21-98. – 10.02.1998. – Київ: Міністерство праці та соціального захисту. Політика України, 1998. – 134 с.

37. Інструкція з блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]: РД 34.21.122-87. – 1997-07-30. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 1997. 43 с.

38. Електротехнічні вироби. Загальні вимоги електробезпеки [текст]: ГОСТ 12.2.007.0-75. – 1978-01-01. М.: Видавництво «Будвид», 2003. 17 с.

39. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1-7-2002. – Введено. – 2021-06-01. – Київ: УкрРІТЦ, 2021. – 39 с.

40. Електричні прилади[Текст]: СНиП 3.05.06-85. -Входити. – 1985-06-05. Москва, УГПІ Видавництво «Тяжпромелектропроект», 1985. 59 с.

41. Енергозбереження. Основні положення: ДСТУ 2339-94. – 1994-01-31. Київ: Держстандарт України, 1994. 29 с.

42. Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму підвищеної напруги 6-750 кВ [Текст]: ГКД 341.004.001-94. – 1994-09-05. Х.: Промисловість, 2011. 58 с.