МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАОЧНОЇ ФОРМИ ЗДОБУТТЯ ОСВІТИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз та підвищення ефективності електропривода підживлювального насоса котельні

Виконав: студент 4 курсу
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Н.А. Лизогуб
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц., Дьяченко В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент к.т.н., доц., Башлій С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут заочної форми здобуття освіти
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.О. Завідувач кафедри
к.т.н., доц. Д.М. Морозов
«_____» 2026 року

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

Лизогуб Наталія Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Аналіз та підвищення ефективності електропривода підживлювального насоса котельні
керівник роботи Дьяченко В.В., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 23 » 12 2025 року № 1833 - с
1 Строк подання студентом роботи 20 травня 2026 р.
2 Вихідні дані до роботи: Технічна характеристика, навантажувальні діаграми роботи електропривода, характеристика існуючої системи керування електроприводом насосної установки
3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Теоретико-аналітичні основи дослідження електропривода насосної установки 2) Проєктування, розрахунок та дослідження системи електропривода насосної установки 3) Охорона праці, промислова безпека та екологічні аспекти експлуатації насосної установки
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) постановка задачі дослідження; 2) схема до реконструкції; 3,4) математичні моделі електропривода; 5) дослідження динамічних властивостей електропривода;

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Дьяченко В.В. к.т.н., доц.		
Розділ 2	Дьяченко В.В. к.т.н., доц.		
Розділ 3	Дьяченко В.В. к.т.н., доц.		

6 Дата видачі завдання 15.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретико-аналітичні основи дослідження електропривода насосної установки	10.03.2026	
2	Проєктування, розрахунок та дослідження системи електропривода насосної установки	10.04.2026	
3	Охорона праці, промислова безпека та екологічні аспекти експлуатації насосної установки	15.05.2026	

Студент _____ _____ Н.А. Лизогуб
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ _____ В.В. Дьяченко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лизогуб Наталія Андріївна: Тема роботи: Аналіз та підвищення ефективності електропривода підживлювального насоса котельні

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник к.т.н., доц., Дьяченко В.В.,. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні заочної форми здобуття освіти. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності роботи електропривода мережевого насоса котельної шляхом реконструкції існуючої системи керування та впровадження частотного регулювання. Актуальність теми обумовлена значними витратами електроенергії у системах теплопостачання, де насосне обладнання є одним із найбільших споживачів енергоресурсів. Особливу увагу приділено необхідності модернізації застарілих систем керування насосними агрегатами для забезпечення економічної та надійної роботи теплових мереж.

У роботі виконано аналіз технологічного процесу роботи підживлювального насоса К-100-65-250 та досліджено особливості функціонування асинхронного електропривода потужністю 75 кВт. Детально розглянуто конструктивні та технічні характеристики насосного агрегату, умови його експлуатації, а також особливості електричної принципової схеми системи керування.

Ключові слова: електропривод, підживлювальний насос, асинхронний двигун, перетворювач частоти, частотне регулювання, енергоефективність, насосна установка, система теплопостачання, механічні характеристики, електроспоживання, MATLAB/Simulink, автоматизація, теплові процеси, охорона праці, реконструкція електропривода.

ABSTRACT

Lyzohub Nataliia Andriivna: Thesis topic: Analysis and Efficiency Improvement of the Electric Drive of a Boiler House Feed Pump.

Bachelor's qualification thesis for obtaining the higher education degree in specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", scientific supervisor: PhD in Engineering, Associate Professor V.V. Diachenko. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnia, part-time form of education. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2026.

The qualification thesis addresses the issue of improving the efficiency of the electric drive of a boiler house network pump through the reconstruction of the existing control system and the implementation of frequency regulation. The relevance of the topic is обусловед by the significant electricity consumption in heat supply systems, where pumping equipment is one of the largest consumers of energy resources. Particular attention is paid to the necessity of modernizing outdated pump control systems in order to ensure economical and reliable operation of heating networks.

The work includes an analysis of the technological operation process of the K-100-65-250 feed pump and investigates the operating features of a 75 kW induction motor drive. The structural and technical characteristics of the pumping unit, operating conditions, and the features of the electrical schematic diagram of the control system are considered in detail.

Keywords: electric drive, feed pump, induction motor, frequency converter, variable frequency control, energy efficiency, pumping unit, heat supply system, mechanical characteristics, power consumption, MATLAB/Simulink, automation, thermal processes, occupational safety, electric drive modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП……8

1 Теоретико-аналітичні основи дослідження електропривода насосної установки……10

1.1 Аналіз технологічного процесу, ланкою якого є електропривод підживлювального насосу ……..10

1.2 Основні технічні характеристики насосу……..10

1.3 Опис роботи схеми електричної принципової насоса……..12

1.4 Основні шляхи реконструкції електропривода насосу та формування вихідних даних……12

2. Проєктування, розрахунок та дослідження системи електропривода насосної установки

2.1 Розрахунок потужності двигуна……14

2.2 Розрахунок основних параметрів двигуна і виробничого механізму……15

2.2.1 Побудова механічних характеристик двигуна і виробничого механізму……15

2.2.2 Визначення часу пуску і гальмування двигуна і побудова характеристик розгону і гальмування……17

2.2.3 Розрахунок і побудова навантажувальної діаграми електроприводу. Перевірка правильності вибору двигуна ……..18

2.2.4 Побудова кривих нагріву і охолодження двигуна ……20

2.3 Реконструкція електроприводу шляхом інтеграції в систему керування перетворювача частоти ……..21

2.3.1 Обгрунтування вибору системи керування……21

2.3.2 Вибір перетворювача частоти……23

2.3.3 Дослідження системи електроприводу в динамічних режимах роботи……24

2.3.3.1 Математична модель привода……..24

2.3.3.2 Вибір машинної моделі та моделювання перехідних процесів 25

3 Охорона праці, промислова безпека та екологічні аспекти експлуатації насосної установки……...28
3.1 Загальна характеристика умов праці……..28
3.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика…….34
3.3 Охорона навколишнього середовища.....37
ВИСНОВКИ ПІДСУМКОВІ…….……..……39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……..…….……41.
Додаток А. Схема електрична принципова електроприводу насосу……47
Додаток Б. Механічні характеристики насосу та двигуна та спільна механічна характеристика, характеристики розгону, гальмування, нагрівання та охолодження…….49
Додаток В. Модель асинхронного двигуна та графіки перехідних процесів.....53

ВСТУП

За теплопостачання міст і селищ відповідають котельні. По мережах, тепло доставляється в будинки споживачів. Але, на жаль, технічний стан комунікацій і теплових пунктів залишає бажати кращого. Щорічно із-за застарілого устаткування і зношених труб збільшується число розривів магістральних і розподільних мереж.

Звичайно, власті спільно з муніципальними підприємствами прагнуть виправити ситуацію, що склалася, проводячи екстрені ремонти. Але, очевидно, що вітчизняним мережам необхідно глобальна модернізація, яка включатиме не тільки заміну комунікацій, але і реконструкцію устаткування теплових пунктів, а також установку приладів обліку. Комплексний підхід приведе до зниження споживання ресурсів і підвищення ефективності роботи систем теплопостачання.

Для того, щоб розставити пріоритети і скласти грамотний план модернізації системи теплопостачання, насамперед, потрібно провести енергоаудит. Він дозволяє визначити джерела і причини втрат і нераціонального використання теплової енергії. Згідно проведеному аналізу виконується техніко-економічний розрахунок і складається план енергозберігаючих заходів.

Але енергообстеження системи теплопостачання не зачіпає ще один важливий параметр – витрати електроенергії технологічним устаткуванням, яке встановлене на джерелах тепла. Самими ємкими з точки зору є насоси – в середньому вони споживають від 30 до 60% всієї електроенергії, використовуваної тепловим пунктом. Крім того, фахівці стверджують, що у вартості життєвого циклу насосного устаткування 85% складають витрати на споживану електрику. Тоді як покупка займає всього 5% від загальних витрат, а ремонт і сервісне обслуговування – 10%. Саме тому важливо відстежувати і знижувати не тільки витрати такого ресурсу, як тепло, але і витрати електроенергії [1].

Дослідження насосних систем отримала назва pump-аудит. Воно включає комплекс наступних заходів:

— аналіз режимів роботи і споживання електроенергії;

— проведення вимірювань на об'єкті;

— підбір насосного устаткування з урахуванням робочих характеристик і умов експлуатації.

Одним з найпопулярніших енергозберігаючих заходів, які проводяться за підсумками обстежень теплових мереж, стає оснащення споживачів (промислових і житлово-комунальних будівель) насосними вузлами з керованою подачею теплоносія. Вказані заходи приводять до того, що споживання ресурсу стає динамічним. Це означає, що і на розподільних пунктах необхідно регулювати подачу так, щоб в мережі не циркулював перегрітий теплоносій.

На більшості теплопунктів в нашій країні дане питання вирішується установкою в систему спеціальних засувок, які зменшують або збільшують потік води в міру необхідності. Правда, при цьому насоси все одно працюють на повну потужність. Очевидно, що такий шлях складно назвати ефективним. Набагато розумніше і економічніше регулювати подачу теплоносія зміною швидкості обертання робочого колеса насоса. Тобто агрегат здатний перекачувати рівно стільки теплоносія, скільки потрібно споживачам.

Для автоматичного регулювання швидкості обертання асинхронний двигун насоса оснащується перетворювачем частоти (ПЧ). П'ять-десять років тому ПЧ і мотори встановлювалися окремо, сьогодні ж крупні виробники випускають продукцію з вбудованими «перетворювачами». Такий крок не тільки знижує загальну вартість устаткування, але і значно спрощує установку і експлуатацію насосів. Тотальне впровадження описаної вище технології в західних країнах принесло високий економічний ефект.

1 Теоретико-аналітичні основи дослідження електропривода насосної установки

1.1 Аналіз технологічного процесу, ланкою якого є електропривод підживлювального насосу

Об’єктом дослідження виступає підживлювальний насос К-100-65-250, який приводиться в рух асинхронним двигуном потужністю 75 кВт.

Для перекачування гарячої води в системах теплових мереж котелень використовуються підживлювальні насоси. Вони призначені для роботи з носієм, температура якого не перевищує 180°С. Устаткування відрізняється простою конструкцією, високою надійністю і продуктивністю. Вони невибагливі, не вимагають складного обслуговування і характеризуються простим монтажем. Підвищений запас міцності досягається за рахунок застосування в процесі виготовлення проточної частини сірого чавуну і якісної сталі.

Працюють підживлювальні насоси для котелень з чистою водою, кількість механічних домішок в рідини, яка перекачується не повинна перевищувати 5 мг/л. Максимальний розмір твердих частинок обмежений 0,2 мм. Витримка цих параметрів в процесі водопідготовки допоможе забезпечити багаторічну безаварійну експлуатацію обладнання [2].

1.2 Основні технічні характеристики насосу

Насос К-100-65-250 - відцентровий консольний насос, одноступінчатий з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса.

Насос К100-65-250 призначений для перекачування чистої води, виробничо-технічного призначення (крім морської) з pH 6 ... 9, температурою від 273 до 358К (від 0 до + 85°С) і від 273 до 378К (від 0 до 105°С), і інших рідин,

схожих з водою по щільності, в'язкості і хімічної активності, що містять тверді включення розміром до 0,2 мм, об'ємна концентрація яких не перевищує 0,1%.

Ущільнення валу насоса - одинарне, подвійне сальникове. Найбільше допустиме надлишковий тиск на вході в насос, для насосів з м'яким сальником, 0,35МПа (3,5 кгс/см^2), з ущільненням торця 0,6 МПа (6,0 кгс/см^2). Матеріал деталей проточної частини - сірий чавун.

Умовне позначення насоса відповідає ГОСТ 22247-96 К-100-65-250-С-УХЛ4, де:

К - тип насоса (консольний);

100 - номінальний діаметр вхідного патрубка, мм;

65 - номінальний діаметр вихідного патрубка, мм;

250 - номінальний діаметр робочого колеса, мм;

С - умовне позначення одинарного сальникового ущільнення вала насоса або СД - подвійного сальникового ущільнення;

УХЛ - кліматичне виконання;

4 - категорія розміщення агрегату при експлуатації.

Характеристики насоса К-100-65-250:

Подача……..100 м^3/ч;

Напор……..80 м;

Потужність…… 75 кВт;

Частота обертання……... ..3000 об/хв;

Габаритні розміри……. 1350×498×645 мм;

Маса…… 433 кг;

Комплектується асинхронним двигуном.

1.3 Опис роботи схеми електричної принципової насоса

Схема електрична принципова основних електроприводу насосу наведена в додатку А на рисунку А.1[3].

Насос приводиться в рух асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором. Насос може працювати лише при повністю заповненій гідросистемі в режимі S1 (тривалий) та S3 (повторно –короткочасний). Запуск насоса без заповнення його гідросистеми рідиною не припустимо, тому в системі передбачено датчик рівня рідини. Для унеможливлення розриву трубопроводу при його забрудненні зазвичай в систему встановлюють датчик тиску.

В системі керування знаходяться автоматичні вимикачі QF1 та QF2, тумблери SP и SL, реле часу КТ1 та реле максимального струму КА1, сигнальні лампи HLE1, HLE2, HLR.

В таблиці 1.1 наведено характеристики електродвигуна насосу ВАО 91–2.

Таблиця 1.1 − Характеристики електродвигуна ВАО– 91–2

Позначення	Найменування	Тип	Потужність, кВт	Номінальний струм, А
М	Привод насосу	Електронасос К-100-65-250	75	143,48

1.4 Основні шляхи реконструкції електропривода насосу та формування вихідних даних

Механізм електропривода насосу приводиться в рух асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором ротором типу ВАО– 91–2, потужністю 75 кВт і частотою обертання n=2900 хв$^{-1}$.

Проект реконструкції виконується шляхом інтеграції в існуючу систему електропривода перетворювача частоти, який в наш час найбільш широко використовується через безсумнівні переваги [4].

Завдяки плавному регулюванню частоти обертання асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частоти, відповідно робочі параметри насоса будуть приведені у відповідність з режимом його роботи, згідно технологічним процесом, що в кінці надасть можливість уникнути гідроударів, що виникають в системі, при звичайному дросельному регулюванні [1].

2. Проєктування, розрахунок та дослідження системи електропривода насосної установки

2.1 Розрахунок потужності двигуна

Згідно [3] потужність насоса дорівнює:

$$P_{н} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{н}}, \tag{2.1}$$

де Q – подача насоса, $м^3/с$;

$$Q = \frac{100}{3600} = 0{,}0277 \text{ } м^3/с;$$

H – напор, м; ρ – щільність води, ρ =1000 $кг/м^3$; $\eta_{н}$ – ККД насоса, $\eta_{н}$=0,5 [3].

$$P_{н} = \frac{1000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}0277 \cdot 80}{0{,}5} = 43477 \text{ Вт} = 43{,}47 \text{ кВт} \text{ .}$$

Потужність приводного електродвигуна вибирають на основі наведеної вище формули, але з урахуванням можливого відхилення режиму роботи насоса від його номінального (паспортного) режиму. Щоб не перевантажувати двигун при будь-яких режимах, його потужність вибирають із запасом [5]:

$$P_{Д} = \frac{k \cdot P_{н}}{\eta_{П}}, \tag{2.2}$$

де k – коефіцієнт запасу, k = 1,5; $\eta_{П}$ – ККД передачі, при з’єднанні вілів двигуна і и насоса муфтою $\eta_{П}$=0,88 [6].

$$P_{Д} = \frac{1{,}5 \cdot 43{,}47}{0{,}88} = 74{,}11 \text{ кВт.}$$

Обираємо асинхронний двигун (АД) типу ВАО– 91–2 [7], технічні характеристики якого наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики двигуна ВАО– 91–2.

$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, об/хв	η, %	$Cos\varphi_{ном}$	$\frac{M_п}{M_{ном}}$	$\lambda=\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_п}{I_{ном}}$	J, кг/м^2	$S_н$, в.о.
75	2900	90,0	0,88	1,5	2,2	6,5	0,6	0,013

2.2 Розрахунок основних параметрів двигуна і виробничого механізму

2.2.1 Побудова механічних характеристик двигуна і виробничого механізму

Номінальна частота обертання:

$$\omega_{ном} = 2 \cdot \pi \cdot n_{ном} / 60 = 2 \cdot \pi \cdot 2900 / 60 = 309{,}97 \text{ рад/с.} \qquad (2.3)$$

Синхронна частота обертання:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot n_0 / 60 = 2 \cdot \pi \cdot 3000 / 60 = 314{,}16 \text{ рад/с.} \qquad (2.4)$$

Номінальний момент:

$$M_{ном.} = P_{ном.} / \omega_{ном.} = 75000 / 309{,}97 = 242 \text{ Н·м.} \qquad (2.5)$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_н \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0{,}013 \cdot \left(2{,}2 + \sqrt{2{,}2^2 - 1} \right) = 0{,}054 \ . \qquad (2.6)$$

Критичний момент асинхронного двигуна:

$$M_К = \lambda \cdot M_{ном.} = 2{,}2 \cdot 242 = 532{,}2 \text{ Н·м.} \quad (2.7)$$

Залежність ковзання від частоти обертання:

$$S(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} \ . \quad (2.8)$$

Рівняння механічної характеристики АД [5]:

$$M(\omega) = -\frac{2 \cdot M_k}{\frac{s(\omega)}{s_k} + \frac{s_k}{s(\omega)}} \ . \quad (2.9)$$

Рівняння механічної характеристики насоса [5]:

$$M_0(\omega) = -[M_{0нас} + (M_{сном.нас} - M_0) \cdot (\frac{\omega}{\omega_{ном}})^2], \quad (2.10)$$

де $M_{о\ нас} = 0{,}1 \cdot M_{ном} = 0{,}1 \cdot 242 = 24{,}2$ Нм;

$M_{с\ ном\ нас} = 0{,}8 \cdot M_{ном} = 0{,}8 \cdot 247 = 193{,}76$ Нм.

Рівняння спільної механічної характеристики :

$$M_д(\omega) = M(\omega) - M_о(\omega). \quad (2.11)$$

Згідно з розрахунковими формулами (2.8)-(2.11) побудуємо механічні характеристики двигуна, насосу, та спільну характеристику з урахуванням впливу передачі, що представлені в додатку Б на рисунках Б.1, Б.2, Б.3 в

програмі Mathcad 14 [8].

2.2.2 Визначення часу пуску і гальмування двигуна і побудова характеристик розгону і гальмування

Розрахунок часу пуску асинхронного двигуна виконуємо за методом площин [9,10] за допомогою програми Mathcad 14, який стандартною функцією цієї програми. Розіб'ємо вісь координат на ряд ділянок $\Delta\omega_I$, при цьому $\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 = \ldots = \Delta\omega_I$.

Спільна механічна характеристика механізму замінюється апроксимуючою ламаною кривою і вважається, що на кожній ділянки розбиття значення моменту:

$$M_{di} = \frac{M_{di\ поч.} + M_{di\ кін.}}{2}, \qquad (2.12)$$

$M_{di\ поч.}; M_{di\ кін.}$ –початкове та кінцеве значення моменту і-їділянки.

Загальна тривалість пуску [5]:

$$t_П = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i, \qquad (2.13)$$

де Δt_i – визначається для кожної ділянки розбиття за формулою [5]:

$$\Delta t_i = J \cdot \frac{\Delta\omega_i}{M_{дi}^{ср.}}. \qquad (2.14)$$

Сумарний час розгону електроприводу до номінальної швидкості:

$$t = \sum_{i=1}^{50} \Delta t_i \; ; \; t = 0{,}542237 \text{ с.}$$

Характеристика розгону електропривода наведена в додатку Б на рисунку Б.4. Побудова характеристики виконано в програмі Mathcad 14.

Розрахунок, щодо визнаечння часу гальмування виконаємо аналогічно [9,10].

Сумарний час гальмування:

$$t_c = \sum_{i=4}^{50} \Delta t_{Ci} \; ; \; t_c = 0{,}567006 \text{ с.}$$

Характеристика гальмування електропривода наведена в додатку Б на рисунку Б.5. Побудова характеристики виконано в програмі Mathcad 14.

2.2.3 Розрахунок і побудова навантажувальної діаграми електроприводу. Перевірка правильності вибору двигуна

Після того як визначені час пуску і гальмування будується навантажувальна діаграма електроприводу. Навантажувальний режим тривалого постійного навантаження. Кожен цикл навантаження заданий трьома значеннями моментів навантаження M_1, M_2, M_3, часом їх дії t_1, t_2, t_3 та часом паузи t_o.

Еквівалентний момент навантаження [5]:

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3}{\beta_1 \cdot t_1 + \beta_2 \cdot t_2 + \beta_3 \cdot t_3 + \beta_0 \cdot t_0}} \; ; \qquad (2.15)$$

де t_1 і M_1 - час пуску и середнє значення момента на валу електродвигуна

при пуску; t_2 і M_2 - час і середнє значення момента при роботі електродвигуна с постійною швидкістю; t_3 і M_3 – час гальмування и середнє значення моменту при останові електродвигуна; t_o – пауза; $\beta_1 = \beta_3 = 0,75$, $\beta_2 = 1$, $\beta_o = 0,5$ коефіцієнти, що враховують погіршення тепловіддачі внаслідок зниження швидкості при пуску, гальмуванні і останова в порівнянні з періодом постійного навантаження; $t_1 = 0,542$ с; $t_2 = 10800$ с; $t_3 = 0,567$ с; $t_o = 10800$ с; M_1=206Нм, M_2=247Нм, M_3=198Нм [11].

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{206^2 \cdot 0,542 + 247^2 \cdot 10800 + 198^2 \cdot 0,567}{0,75 \cdot 0,542 + 1 \cdot 10800 + 0,75 \cdot 0,567 + 0,5 \cdot 10800}} = 201,67 \ \text{Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка вибору двигуна по можливості запуску :

$$M_{ном} = 242 \ \text{Н} \cdot \text{м} \quad > M_{екв.\ прив} = 201,67 \ \text{Н} \cdot \text{м}; \tag{2.16}$$

$$M_{пуск} = К_{пм} \cdot M_{ном} = 1,5 \cdot 242 = 363 \ \text{Н} \cdot \text{м}; \tag{2.17}$$

$$M_{пуск.} > M_{1.} \tag{2.18}$$

363 Н·м >206 Н·м.

Електродвигун проходить по умові запуску.

Перевірка по перевантажувальної здатності:

$$M_К = \lambda \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 242 = 532,4 \ \text{Н} \cdot \text{м} \tag{2.19}$$

$$M_К > M_{К.МАХ}$$

532,4 Н·м > 520 Н·м

Обраний двигун задовольняє умовам пуску і перевантажувальним здатностям. Навантажувальна діаграма електропривода побудована в додатку Б на рисунку Б.6.

2.2.4 Побудова кривих нагріву і охолодження двигуна

При складанні вираження для побудови кривої нагріву приймаємо клас ізоляції обмотки статора Н , яка розрахована на тривалу допустиму температуру $\Theta_{доп.}$=180ºС. Допустиме перевищення температури ізоляції над температурою навколишнього середовища

$$\tau_{уст.}^{ном.} = \Theta_{доп.} - 40^0 C = 140^0 C . \quad (2.20)$$

Постійна часу нагріву асинхронного двигуна [5]:

$$T_н = 7,5 \text{ хв.}$$

Постійна часу охолодження [5]:

$$T_о = 1,05 \cdot T_н = 7,875 хв. \quad (2.21)$$

Вираз для побудови кривої нагріву:

$$\tau = \tau_{уст} + (\tau_0 - \tau_{уст}) \cdot e^{\frac{-t}{T_н}} . \quad (2.22)$$

Вираз для побудови кривої охолодження:

$$\tau = \tau_{уст} \cdot e^{\frac{-t}{T_н}} . \quad (2.23)$$

Криві нагріву та охолодження приводного двигуна наведено в додатку Б на рисунках Б.7 та Б.8.

2.3 Реконструкція електроприводу шляхом інтеграції в систему керування перетворювача частоти

2.3.1 Обгрунтування вибору системи керування

Розрізняють наступні режими робота насосних установок:

- змінна витрата при постійному натиску;
- змінний натиск при постійній витраті;
- змінна витрата і натиск.

Регулюють роботу насосних станцій зазвичай за рахунок:

а) зміни швидкості обертання валу насосного агрегату, що відповідає переходу на іншу характеристику Q-H (підвищення натиску і продуктивності);

б) застосування регулюючої засувки (підвищення гідравлічного опору системи, що приводить до втрат натиску);

в) зміни числа одночасно працюючих агрегатів.

Найбільш енергетично ефективним серед перерахованих є спосіб регулювання швидкості обертання валу насоса (хоча часто застосовується спосіб зміни числа одночасно працюючих агрегатів унаслідок простоти реалізації, але з енергетичного боку цей спосіб неефективний із-за великого впливу на мережу перехідних процесів, що відбуваються у високовольтному двигуні при пуску).

З технологічної точки зору потрібне «двозонне» регулювання, для забезпечення можливості «двозонного» регулювання подачі насоса.

Для вибраного електродвигуна існують наступні способи регулювання:

- зміна живлячої напруги (є «однозонним вниз»)

- зміна частоти напруги, що підводиться («двузонне»).

Згідно технологічним завданням вибираємо частотний спосіб регулювання [12].

Поширеною системою частотно-регульованого асинхронного приводу є система із статичним перетворювачем частоти з автономним інвертором. Найбільше застосування для промислових приводів може мати статичний перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму (ПЛПС). Структурна схема такого приводу показана на рисунку А.2 додатку А .

Перетворювач складається з трьох силових елементів - випрямляча (керованого або некерованого), фільтра (Ф) і автономного інвертора (АІ). На вхід випрямляча (В) подається нерегульована напруга змінного струму промислової частоти ($U_П$); на виході випрямляча постійна пульсуюча напруга з постійними значеннями U_d і I_d (в разі некерованого випрямляча) або змінюються (в разі керованого). З виходу випрямляча постійна напруга через фільтр, що згладжує (Ф) подається на вхід інвертора (частіше АІН), який перетворює постійну напругу в змінну регульованою амплітуди і частоти (U_2=var, f_2=var). У якості фільтра, що згладжує в даній схемі зазвичай використовується котушка індуктивності з сердечником. Крім силових елементів, перетворювач містить систему управління (рисунок А3 додаток А), що складається з блоку керування випрямляча (БКВ) і блоку керування інвертором (БКІ). Вихідна частота регулюється в широких межах і визначається частотою комутації тиристорів інвертора, яка задається блоком управління інвертором. У такій схемі проводиться роздільне регулювання амплітуди і частоти вихідної напруги, що дозволяє здійснити за допомогою блоку завдання швидкості (БЗШ) необхідне співвідношення між діючим значенням напруги і частотою на затискачах асинхронного двигуна.

Проміжна ланка постійного струму дозволяє регулювати частоту як вгору, так і вниз від частоти мережі живлення; він відрізняється високим ККД (близько 0,96), значною швидкодією, малими габаритами, порівняно високою надійністю і безшумністю в роботі .

2.3.2 Вибір перетворювача частоти

Вибір перетворювача частоти виконується виходячі з умов:

$$I_{вих.пч} \geq I_{1н}; \tag{2.24}$$

$$U_{вих.пч} \geq U_{1н}, \tag{2.25}$$

де $I_{вих.пч}; U_{вих.пч}$ – вихідні струм і напруга перетворювача частоти; $I_{1н}; U_{1н}$ – номінальні струм і напруга асинхронного двигуна.

Знаходимо номінальний струм:

$$\mathrm{I_{1ф}} = \frac{\mathrm{P_n}}{3\mathrm{U_{фн}} \cdot \eta_н \cdot \cos\phi_н}. \tag{2.26}$$

де P_{2n} – номінальна потужність двигуна, кВт; η – коефіцієнт корисної дії (ККД); *cos φ* – коефіцієнт потужності [7].

$$\mathrm{I_{1ф}} = \frac{75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,88} = 143,48A.$$

Умовам (2.24) и (2.25) задовільняє перетворювач частоти ATV 212HD75N4 [13]. Пристрій призначено для плавного пуска и економічного регулювання продуктивності насосу шляхом зміни частоти обертання приводного двигуна.

Основні параметри ПЧ ATV 212HD75N4 наведені в таблиці 2.2 [13] .

Таблиця 2.2 − Основні параметри ПЧ ATV 212HD75N4

Наименование параметра	Величина
Номінальна вихідна потужність ПЧ, кВт	80
Номінальни струм, А	176
Номінальна напруга на вході, В	380(+10%-15%)
Діапазон регулювання напруги, В	0 – $U_{мережі}$
Частота мережі, Гц	50±5%
Діапазон регулювання частоти, Гц	0,5 – 200

Схема підключення насосу та перетворювача частоти наведена на рисунку А.4 додатку А.

Пуск насоса здійснюється натисканням кнопки SB1, зупинка здійснюється натисканням кнопки SB2. Контактором КМ2-КМ3 здійснюється перемикання живлення насоса від ПЧ або від мережі. Лампочки HL1 і HL2 є індикаторами роботи насоса від ПЧ або від мережі. Витяжний вентилятор М1 призначено для охолодження шафи управління, його включення забезпечується термостатом К1. Датчик тиску ВР1 служить для виміру тиску в вихідний магістралі і передачі його значення на ПІД-регулятор ПЧ.

2.3.3 Дослідження системи електроприводу в динамічних режимах роботи

2.3.3.1 Математична модель привода

Для визначення характера прохождення перехідних процесів системи в перехідних режимах необхідно визначити коефіцієнти характеристичного рівняння системи в операторної формі [14]:

$$T_M T_E \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1 = 0, \qquad (2.27)$$

де T_M – механічна постійна часу системи,T_e – електромагнітна постійна часу.

Визначити постійні часу можна за допомогою таких формул [14]

$$T_M = J\frac{\omega_0}{M_{\max}} = 0,6\cdot\frac{314,1}{532,22} = 0,354 \text{ с;} \quad (2.28)$$

$$T_E = \frac{1}{S_K\cdot 2\cdot 3,1416\cdot 50} = \frac{1}{0,054\cdot 314} = 0,05891 \text{ с,} \quad (2.29)$$

$$(4...6)T_E = (4...6)\cdot 0,0589 = 0,2356.....0,3628 \text{ с,} \quad (2.30)$$

$$T_M < (4...6)T_E, \quad (2.31)$$

а це значить, що перехідні процеси в системі повинні мати коливальний характер.

2.3.3.2 Вибір машинної моделі та моделювання перехідних процесів

В якості програмного пакета для моделювання напівпровідникових електроприводів найбільш підходящою вважається система MatLab зі своїми пакетами розширення, в якості основного інструменту вивчення напівпровідникового електроприводу [14].

Основними пакетами розширення, які використані при дослідженні напівпровідникового електропривода, Simulink і є Power System Blockset.

В модель (рисунок В.1 додатку В) входять елементи:

– Asynchronous Machine SI Unit – готова модель асинхронного двигуна параметрами, відповідними номінальним паспортним даним двигуна;

– 3 джерела синусоїдальної напруги AC Voltage Sourse з номінальними параметрами: f=50 Гц, U_m=311 В; зсунуті по фазі один відносно одного на 120^0, моделюють трифазну систему напруг з номінальними значеннями: $U_ф$=220 В, $U_л$=380 В.

– Three-Phase V-I Measurement – трифазний мультиметр для здійснення замірів вого струму і напруги.

– 2 елемента типа Scope – моделі осцилографів для перегляду графіків вих струму і напруги, а також зміни в часі частоти обертання ротора двигуна і моменту на його валу.

– 2 елемента типа Display для контроля сталого значення тих же параметрів.

– Step – елемент, за допомогою якого, можливо змоделювати наброс навантаження на вал двигуна в певний момент часу.

Змоделюємо прямий пуск двигуна без навантаження при частоті напруги живлення f = 37,5 Гц використовуючи закон частотного регулювання $\frac{U}{\sqrt{f}} = const$.

В таблиці 2.3 наведено параметри напруги живлення та частоти.

Таблиця 2.3 − Параметри напруги живлення та частоти

Частота, Гц	Напруга, В
50	380
37,5	329

При частоті мережі f=50 Гц та лінійній напрузі $U_л$=380 В отримані графіки перехідних процесів за відсутності навантаження (прямий пуск) наведені на рисунку В.2 додатку В.

Після закінчення перехідного процесу отримуємо такі усталені значення зведені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4−Усталені значення частоти обертання, струму і моменту при f=50 Гц

Частота обертання, об/хв	Струм, А	Момент, Нм
2890	43,67	6,83

При частоті мережі f=37,5 Гц та лінійній напрузі $U_л$=329 В отримані графіки перехідних процесів за відсутності навантаження n=f(t) та $M_в$=f(t) наведені на рисунку В.3 додатку В.

Після закінчення перехідного процесу отримуємо усталені значення зведені до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5−Усталені значення частоти обертання, струму і моменту при f=37 Гц

Частота обертання, об/хв	Струм, А	Момент, Нм
2895	23,15	3,25

Отримані дані свідчать про задовільну якість перехідних процесів пуску двигуна.

Розрахунки п. 2.3.3.2 показали, що зі зміною частоти живлячої мережі та рівня напруги час перехідного процесу збільшився з 0,8 с (при прямому пуску) до 1,2с (при частотному), при цьому кількість коливань моменту при прямому пуску дорівнювала 13, а при частотному збільшилася до 19, але при цьому максимальна амплітуда кидку моменту при прямому пуску склала 2317,5 Нм, але при частотному зменшилася до 973,25 Нм, це обумовлено тим, що частотний пуск уповільнює час розгону двигуна. Наведені характеристики перехідних процесів пуску свідчать про доцільність використання перетворювача частоти, оскільки це призводе до уникнення кидків моменту та струму, що сприяє збільшенню терміну служби двигуна і системи в цілому.

3 Охорона праці, промислова безпека та екологічні аспекти експлуатації насосної установки

Даний дипломний проект передбачає реконструкцію системи курування електроприводом підживлювального насосу в умовах котельні.

В даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори дільниці, а також узагальнені питання пожежної профілактики.

3.1 Загальна характеристика умов праці

Установки, що виробляють пар або гарячу воду, називаються котельними установками. Устаткування котельні: водогрійні та парові котли, тепломережні бойлерні установки, економайзери, повітропідігрівники, пароперегрівники і живильні насоси.

Згідно Державних санітарних нормам та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затвердженою наказом Міністерства охорони здоров'я України 08.04.2014 р. № 248 важкість праці визначається переважно навантаженням на опорно-руховий апарат людини.

Котельня являє собою розташовану в одному технічному приміщенні установку, яка складається з котла і допоміжного обладнання (тягодуттьові машини, механізми і пристрої управління, димова труба тощо), для отримання водяної пари або гарячої води за рахунок теплоти палива, що спалюється. Основним пристроєм котельні є паровий, жаротрубний

та/або водогрійний котел, в якому відбувається нагрівання робочої рідини (теплоносія, як правило води або пари).

Котельні використовуються при централізованому тепло-і паропостачанні або при місцевому постачанні, якщо ця котельня локального значення (у межах приватного будинку, кварталу). Котельні з'єднуються зі споживачами за допомогою теплотраси і / або паропроводів. Теплові мережі ділять на магістральні, квартальні та місцеві.

Котельні можуть працювати на твердому (вугілля), рідкому (мазут, дизпаливо) або газоподібному паливі (природний газ). Димові гази, що утворюються при роботі котлів, відводяться за допомогою димової труби.

У тепловому господарстві країни знаходиться понад 100 тис. котелень різного призначення. Переважна більшість із них — це дрібні промислові чи опалювальні автономні котельні. Стан обладнання більшості з них незадовільний, потребує реконструкції та заміни. Основним паливом для котелень є природний газ — 52—58% (мазут — 12—15%, вугілля — 27—36%).

Опалення котельні – конвекційне від котла, вентиляція – приточно – витяжна, кількість працівників – 5 осіб.

Визначимо у відповідності до ДСН 3.3.6.042-99 [34] категорії важкості робіт у котельні за енерговитратами. Категорія важкості робіт наладчика електрообладнання відноситься до категорії IIа і являє собою роботу пов'язану з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження.

Загальні енерговитрати організму робітника даної категорії робіт 176-232 Вт (151-200 ккал/год.).

Оптимальні і фактичні параметри метеоумов згідно ГОСТ 12.1.005-88 [35] та ДСН 3.36.042-99 [34] приводяться в таблиці 3.1. Фактичні параметри метеоумов – в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Допустимі і оптимальні параметри мікроклімату для робочої зони

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с, не більше	
		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
Холодний	IIа	19-21	17-23	40-60	75	0,2	<0,3
Теплий	IIа	21-23	18-27	40-60	65 при 27 °С	0,3	0,2-0,4

Таблиця 3.2 – Фактичні параметри метеоумов в робочій зоні

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с, не більше
Холодний	IIа	20-22	40-60	0,1
Теплий	IIа	21-23	50-60	0,3

Як видно з таблиць 3.1 і 3.2 параметри мікроклімату досліджувальної ділянки мають задовільні значення.

Відповідно ДСН 3.3.6.037-99 [36] визначимо нормативну інтенсивність теплового опромінювання в приміщенні.

Для профілактики перегрівання працюючих в умовах нагріваючого мікроклімату організовують раціональний режим праці та відпочинку.

При мікрокліматичних умовах, що перевищують допустимі параметри, внутрішньозмінний режим праці та відпочинку організовують за рахунок тривалості робочого часу:

- при поєднанні температури повітря, що перевищує допустимий рівень, з відносною вологістю, яка перевищує 75 %, тривалість регламентованих перерв рекомендується встановлювати не менше 20 % робочого часу;

- при інтенсивності теплового опромінення понад 350 Вт/м^2 та опроміненні понад 25 % поверхні тіла тривалість безперервної роботи і регламентованих перерв встановлюється у відповідності з даними, наведеними в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Допустима тривалість безперервного інфрачервоного опромінення та регламентованих перерв протягом години

Інтенсивність ІЧ опромінювання, Вт/м^2	Тривалість безперервних періодів опромінювання, хв.	Тривалість перерв, хв.	Сумарне опромінювання протягом зміни, %
350,0	20,0	8,0	до 50
700,0	15,0	10,0	до 45
1050,0	12,0	12,0	до 40
1400,0	9,0	13,0	до 30
1750,0	7,0	14,0	до 25
2100,0	5,0	15,0	до 15
2450,0	3,5	12,0	до 15

Небезпечні і шкідливі виробничі чинники відповідно до ГОСТ 12.0.003–74 [38] підрозділяються за прикладом дії на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні, а також чинники трудового процесу, які характеризують тяжкість і напруженість праці.

Основними шкідливими виробничими чинниками котельні шкідливі хімічні речовини, пил, шум, електричний струм, теплове опромінення.

У котельні проявляють свою токсичну дію багато шкідливих хімічних виробничих чинників. Так, у районі нагрівальних пристроїв виникає загазованість, обумовлена використанням газового палива і поширенням газів в колопічному просторі. У котельні використовують горючі і вибухонебезпечні речовини: для опалювання нагрівальних пристроїв горючі гази, мазут; для мастила устаткування – різні змащувальні матеріали.

Оцінюючи параметри запиленості котельні, слід звернути увагу, що пил гігієнічно шкідливий з огляду впливу на організм людини. Найбільш небезпечними вважаються частинки розмірів від 3 -10 мкм, які потрапляючи в легені при диханні затримуються в них і накопичуються. Що призводить

до захворювань. За ГОСТом 12.1.005-88 [35] нормуються гранично допустимі концентрації різного пилу в робочій зоні. ГДК пилу різного походження коливаються від 1 до 10 мг/м^3. Вміст пилу у приміщенні для обслуговування поста керування 1,5 мг/м^3, у приміщенні електрообладнання 0,75 мг/м^3.

Шум на дільниці є причиною швидкого стомлення працівників, що призводить до зниження продуктивності праці і збільшення браку, причому зниження продуктивності праці тим більше, чим складніше трудовий процес і чим більше у ньому елементів розумової праці. Нормування рівнів шуму здійснюється відповідно до ДСН-3.3.6.037-99[36]. Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на працівника протягом робочої зміни, значеннями безпечними для її здоров'я і працездатності. Шум в приміщені згідно з нормами не перевищує 55 дБА.

Працівники котельні піддаються впливу вібрації, гігієнічна оцінка вібрації здійснюється згідно з ДСН-3.3.6.039-99[37]. Генерується вібрація ручним інструментом, механізмами і сприймається тілом людини при безпосередньому контакті.

Таблиця 3.4 - Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації

Середньогеометричні частоти октавних смуг, Гц	Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с^2	дБ	м/с·10^2	дБ
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109

Таблиця 3.5 - Фактичні значення нормованих параметрів локальної вібрації

Середньогеометричні частоти октавних смуг, Гц	Допустимі значення нормованих параметрів локальної вібрації			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с^2	дБ	м\с·10^2	дБ
63	5,2	80	1,3	105
125	10,5	90	1,3	105

Фактичні показники вібрації, як видно з таблиць (3.4 та 3.5) не виходять за рамки допустимих показників.

Згідно ДБН В.25-28-2006 [39] робота наладчика електрообладнання відноситься до V розряду зорової роботи, який характеризується роботою малої точності.

Параметри природного і штучного освітлення приведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Параметри природного і штучного освітлення

Розряд зорової роботи	Природне освітлення			Штучне освітлення			
	Район по ресурсам світового клімату	m, коеф. світового клімату	КЕО, N, %	Освітленність,Е, лк		Пок. освітленості Р	Коеф пульс., %
				Нормативне значення	Фактичне значення		
V	1	1	3	200	350	40	20

При освітленні приміщення цеху використовують природне освітлення та штучне, яке здійснюється електричними лампами, і комбіноване, при якому у світлий час доби недостатнє освітлення доповнюється штучним.

По небезпеці поразки електричним струмом, згідно НПАОП 40.1-1.32-01 [40] дільниця відноситься до приміщення без підвищенної безпеки. Електричне обладнання є потенційно небезпечним для працюючих, оскільки органи відчуття людини на віддалі не можуть виявити електричну напругу.

Класифікація виробничих приміщень за електробезпекою наведена в таблиці 3.7.

Приміщення дільниці за ступенем небезпеки ураження людей відповідно таблиці 3.7 належить до 1 класу.

Таблиця 3.7 – Класифікація виробничих приміщень за електробезпекою

Приміщення за ступенем ураження	Вологість, %	Температура, °С	Клас
Приміщення без підвищенної безпеки	40-60	20-28	1
Приміщення з підвищеною безпекою	Більша 75	Більша 35	2
Приміщення особливо небезпечні	Близько 100		3

3.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 [41] дільниця відноситься до категорії Д пожежо-вибухонебезпеки виробництва. Будівлю котельні побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла і ін.) і, згідно ДБН В.1.1-7-2002 [42], вона має II ступінь вогнестійкості. Ступінь вогнестійкості будинку визначається межами вогнестійкості його будівельних конструкцій і межами поширення вогню по цих конструкціях.

Пожежна безпека котельних установок при їх проектуванні та експлуатації забезпечується дотриманням протипожежних вимог, викладених у будівельних нормах і правилах з проектування котельних установок і Правила пристрою і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів.

Якщо пожежа загрожує котельні або виник в самій котельні, слід прийняти міри до повної зупинки котлів та попередження їх вибуху, для чого необхідно закрити запірний запобіжний клапан, засувку на вводі, а також усі крани і засувки; відкрити крани продувних свічок і вжити заходів до гасіння вогню; закрити шибер за котлом; закрити вікна і двері; якщо котел паровий, вимкнути живильний насос; підняти запобіжні клапани і заклинити їх, щоб вони не могли закриватися і забезпечували випуск пари в атмосферу; викликати пожежну команду.

На випадок пожежі в котельні є наступний протипожежний інвентар: вогнегасники ОП-5 (один на кожну топку), ящик місткістю 0,5 $м^3$ з сухим піском і дві сталеві лопати, повсть або ковдру, шланг для водопровідного крана. Вогнегасники, якими оснащен об'єкт, відповідають вимогам ДСТУ 3675-98 або ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) та ГОСТ 12.2.037-78, технічних умов, експлуатаційних документів виробників і сертифіковані в Україні в установленому порядку.

Вибух газів може відбутися в топці або у верхній частині газоходів. При вибуху газів в газоходах підвищується тиск і можливі випадки

руйнування обмурівки, а в топці відбувається викидання полум'я з оглядового і завантажувального отворів при відкритій топкових дверцятах або крізь щілини при закритих дверцятах, що піддає небезпеці обслуговуючий персонал котельної. У разі вибуху газів в топці або газоходах котла обслуговуючий персонал зобов'язаний негайно зупинити роботу і доповісти про це особі, відповідальній за котельню.

Парові котли, що працюють під тиском понад 0,07 МПа, з температурою води понад 115 ° С як найбільш небезпечні розміщують в окремо розташованих одноповерхових будівлях. Сюди відносяться котельні установки промислових підприємств та котельні районних систем теплопостачання.

У вбудованих у виробничі або багатоповерхові будинки іншого призначення котелень допускається застосовувати прямоточні котли продуктивністю пара до 4 т / год, водотрубні і газотрубні котли з поверхнею нагріву не більше 30 м^2, з робочим тиском не вище 0,8 МПа і вмістом води не більше 50 л на 1 м^2 поверхні нагрівання, а також парові котли, для яких добуток тиску на число квадратних метрів поверхні нагрівання не перевищує 20.

Опалювальні котельні з водяними або паровими котлами низького тиску часто розміщують в підвалах будівель, але з певними обмеженнями. Зокрема, не можна встановлювати котли під видовищними приміщеннями, приміщеннями зі значним скупченням людей, під груповими кімнатами дитячих установ і під класами загальноосвітніх шкіл. Не можна розташовувати котельні, що працюють на газоподібному паливі, під приміщеннями, в яких може одночасно перебувати більше 50 чол. (Торговельні та обідні зали, гардеробні, фойє, під глядацькими залами і сценами видовищних підприємств, роздягальнями та мильними лазень і т. Д.). Крім того, котельні не повинні вбудовуватися в лікарняні будівлі та примикати до житлових приміщень.

Стіни, перекриття та покриття окремо розташованих та вбудованих котелень повинні виконуватися з негорючих матеріалів. Лише в котельнях з поверхнею нагріву котлів до 450 м^2 можна влаштовувати згорає покриття, якщо воно знаходиться на висоті 0,7 м від обмурівки котлів. Горищні перекриття над приміщеннями котельних не влаштовують. Покриття будівель котелень при котлах високого тиску роблять або легко-скидали (власна маса 1 м^2 конструкцій повинна бути до 90 кг) або зі світловими і вентиляційними ліхтарями площею не менше 10% площі підлоги, зайнятої котлами. В останньому випадку замість ліхтарів можна влаштовувати засклені прорізи у стінах тієї ж площадки. Враховуючи, що пожежна небезпека котелень при застосуванні пилоподібного палива (вугільної, торф'яної пилу) збільшується, сумарна площа засклених прорізів, площа світлових і вентиляційних ліхтарів в цьому випадку повинна бути не менше 30% від площі однієї з зовнішніх стін.

З приміщень котелень влаштовують не менше двох виходів назовні, розташованих в протилежних сторонах. При площі підлоги менше 200 м^2 і довжині фронту котлів (тільки водотрубних і газотрубних) не більше 12 м допускається влаштування одного виходу назовні. Двері з котелень в службові, побутові, а також допоміжні виробничі приміщення повинні відкриватися в бік котельної.

При розміщенні водяних і парових котлів низького тиску в підвалах перекриття над підвалом має бути неспаленим з межею вогнестійкості не менше 1 год. Вхід в таку підвальну котельню влаштовують окремим, при цьому він не повинен сполучатися з сходовою кліткою загального користування.

3.3 Охорона навколишнього середовища

Основним джерелом утворення шкідливих речовин при роботі котельні є котлоагрегати. При горінні газу в атмосферу надходять такі шкідливі речовини: окис вуглецю; оксиди азоту; сірчистий ангідрид;

При спалюванні різних палив, поряд з основними продуктами згоряння (CO_2, H_2O, NO_2) в атмосферу надходять забруднюючі речовини в твердому стані (зола і сажа), а також токсичні газоподібні речовини - сірчаний і сірчистий ангідрид (SO_2, SO_3). Всі продукти неповного згоряння є шкідливими (CO,CH_4, C_2H_6) [44].

Оксиди азоту шкідливо впливають на органи дихання живих організмів і викликають ряд серйозних захворювань, а також руйнівно діють на обладнання та матеріали, сприяють погіршення видимості. Окисли азоту утворюються за рахунок окислення міститься в паливі азоту та азоту повітря, і містяться в продуктах згоряння всіх палив. Умовою окислення азоту повітря є дисоціація молекули кисню повітря під впливом високих температур в топці. У результаті реакції в котельній камері утворюється переважно окис азоту NO (більше 95%). Утворення двоокису азоту NO_2 за рахунок доокісленія NO вимагає значного часу і відбувається при низьких температурах на відкритому повітрі.

У воді NO практично не розчиняється. Очищення продуктів згоряння від NO та інших окислів азоту технічно складна і в більшості випадків економічно нерентабельна. Внаслідок цього, зусилля спрямовані в основному на зниження утворення окислів азоту в топках котлів.

Радикальним способом зниження утворення окислів азоту є організація двостадійного спалювання палива, тобто застосування двоступеневих пальникових пристроїв. Тому в первинну зону горіння подається 50-70% необхідного для горіння повітря, інша частина повітря

надходить у другу зону, тобто відбувається допалювання продуктів неповного згоряння[45].

ВИСНОВКИ ПІДСУМКОВІ

В дипломному проекті на тему: «Аналіз та підвищення ефективності електропривода підживлювального насоса котельні» виконана реконструкція електропривода шляхом інтеграції в існуючу систему управління перетворювача частоти, який дозволяє використовувати асинхронний двигун в короткочасних режимах роботи, без великих кидків струму при пусках, та плавно регулювати його швидкість обертання.

В основній частині роботи проведено розрахунок потужності та вибір приводного електродвигуна. Було обрано електродвигун змінного струму ВАО– 91–2 з потужністю 75кВт, частотою обертання $n = 2900$ хв$^{-1}$.

Було розроблено технічне рішення з реконструкції схеми управління механізмом. Застосування нового органу управління перетворювача частоти серії ATV 212HD75N4 з вихідною потужністю 80000 Вт і номінальним струмом 176 А виробництва Німеччина підвищує забезпечує надійну і безпечну експлуатацію насосу.

Для моделювання роботи системи перетворювач – частоти – асинхронний двигун було обрано систему MatLab 5.0. Виконано моделювання перехідних процесів пуску двигуна без навантаження при скалярному (корневому законі керування $\frac{U}{\sqrt{f}} = const$) при частоті напруги живлення $f_2 = 37{,}5$ Гц і при прямому пуску. Отримані графіки перехідних процесів. Визначені усталені значення частоти обертання, струму і моменту.

Аналіз графіків перехідних процесів пуску показав, що зі зміною частоти живлячої мережі та рівня напруги час перехідного процесу збільшився з 0,8 с (при прямому пуску) до 1,2с (при частотному), при цьому кількість коливань моменту при прямому пуску дорівнювала 13, а при частотному збільшилася до 19, але при цьому максимальна амплітуда кидку моменту при прямому пуску склала 2317,5 Нм, але при частотному зменшилася до 973,25 Нм, це обумовлено

тим, що частотний пуск уповільнює час розгону двигуна. Наведені характеристики перехідних процесів пуску свідчать про доцільність використання перетворювача частоти, оскільки це призводе до уникнення кидків моменту та струму, що сприяє збільшенню терміну служби двигуна і системи в цілому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чумак Є.Ю., Сіріков О.І. Енергозбереження в насосних установках.. Наука – виробництву, 2015 : тези доповідей студентів і магістрантів на XLIX науковій конференції, м. Кіровоград, 16 квітня 2015 р. / Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2015. С. 118–120.

2. Плєшков П.Г., Казанцев Ю.І., Орлович А.Ю. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в система з електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 230 с.

3. Масальський В.О., Сіріков О.І. Енергозбереження в вентиляційних установках. Наука – виробництву, 2015 : тези доповідей студентів і магістрантів на XLIX науковій конференції, м. Кіровоград, 16 квітня 2015 р. / Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2015. С. 116–118.

4. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23-26 квітня 2013 р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2013. - Ч.2. - С. 57-58.

5. Насос ПЕ-60-32-4. Інструкція з використання

6. Сільське господарство України: криза та відновлення /За ред. Штефана Фон Крамона-Таубаделя, Сергія Дем’яненка, Арніма Куна. – К.: КНЕУ, 2004. – 207 с.

7. Плєшков П. Г., Серебренніков С. В., Сіріков О. І., Безкровна Г. В. Моніторинг якості електричної енергії у системі енергетичного менеджменту підприємства. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 102

„Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2010. С.36-37.

8. Плєшков П. Г., Сіріков О. І., Безкровна Г. В. Оптимізація рівня напруги в цехових мережах промислових підприємств. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/. – Вип. 24.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 237-242.

9. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., ін. Елетропривод – К.: Видавництво "Ліра-К", 2009. – 504 с.

10.Сіріков О.І., Безкровна Г.В. Зменшення втрат електроенергії в системі „електродвигун-лінія електропередачі” шляхом вибору оптимального рівня напруги. Вісник національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харьків: НТУ „ХПІ”. – 2011. №48. С. 68-75.

11.Сиволов Г.Е., Кармалов А.И., Ивансон П.Б., Исхаков Ю.Б. Многоуровневая автоматизированная система управления техно- логическими процессами водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9—1.

12.Кулінченко, В. Р. Лопатеві і гідроструминні багатофункціональні насосні установки (проектування, розрахунок і експлуатація) : навч. посіб. / В. Р. Кулінченко, О. П. Ломейко ; Мелітополь: «Видавничий будинок ММД», 2011. - 260 с.

13.. Насосні станції : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. – Рівне: НУВГП, 2008. – 125 с.

14. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Бєляєва ; Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 195 с.

15. Колотило М. І. Насоси, повітродувки, компресори : навч. посібник для вузів / М. І. Колотило – Харків : ХДТУБА, 1997. – 128 с.

16. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: «УкрНДІводоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланий та інш. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 280 с.

17.G. Goldberg. “EMC PROBLEMS OF POWER LINE COMMUNICATION (PLC) SYSTEMS”. 2001

18.Коренькова Т.В. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук. – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2013. – 198 с.

19. Перетворювачі частоти Altivar 212 від 0,75 до 75 кВт Каталог 2012.

20. Гідравлічні і аеродинамічні машини [Текст] / [М. І. Колотило, О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, та інш.] – Кіровоград, 1997. – 176 с.

21. Kiselychnyk O., Bodson M., Werner H. Overview of energy efficient control solutions for water supply systems // Transactions of Kremenchuk State Polytechnic Univ. Kremenchuk: KSPU, N3/2009 (56), part 1, 2009. pp.40-45.

22. Smart Circulators. The new generation of intelligent pumps. http://www.grundfoss.com/web/HomeUs.
nsf/GrafikOpslag/Article_Misc/$File/smartCirculators.pdf

23. Попович М.Г., Кіселичник О.І., Бур'ян С.О., Соколовський О.Ф./ Експериментальні дослідження роботи інтерактивного енергозберігаючого контролера на гібридній моделі насосної установки// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2007 (44). Частина 1. С.72-75.

24. Popovich M., Kiselychnyk O., Buryan S. Extremal electromechanical control system of water supply pumps connected in series // Transactions of

Kremenchuk State University. Kremenchuk: KSU, N3/2010 (62), part 2, 2010.pp.37-41.

25. Попович М.Г., Печеник М.В., Ковальчук О.В., Кіселичник О.І. «Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи з асинхронним електроприводом»// Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» . Збірка наукових праць. Тематичний випуск 10. - Харків, НТУ ХПІ, 2001. с.314-318.

26. Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І. Енергозбереження в системах водопостачання при екстремальному керуванні насосними установками// Технічна електродинаміка, Теорія і практика енергозбереження. Київ, 2003. с.52-55.

27. Kiselychnyk O., Bodson M., Werner H. Interactive energy saving control of water supply pump based on pressure measurement // Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University. Kremenchuk: KSPU, N3/2009 (56), part 1, 2009. pp.166-171.

28. ITT Industries. Vogel Select CD// Selection Program Jan. 2009.

29. Marino R., Peresada S. and Tomei P. Exponentially convergent rotor resistance estimation for induction motors// IEEE Trans.on Industrial Electronics. - 1995. - Vol. 42, No. 5. -P. 508-515.

30. "Energy Saving Calculator".Режим доступу: http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01_inv/01h_ssp.

31 Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. Навчальний посібник. – 2-ге вид. перероб. та доповнене/В.Г. Рудницький. – Київ:Освіта України, 2013.-287 с.

32 Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид. 2-е, доправ. Та доп./Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен/За ред. Академіка НАН України Г.Г. Півняка.- Дніпропетровськ:Видавництво НГА України, 2000.-597 с.

32. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. № 379/1404.

33. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. − М.: Изд-во стандартов, 1990.

34. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Держстандарт, 1999. – 31 с.

35. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.

36. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. – К.: Держстандарт, 1999.

37. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Государственные санитарные правила и нормы работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин.

38. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд України, 2006.

39. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

40. НПАОП 0.00–4.12.05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2005.

41. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Укр. НДІПБ, 2007.

42. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об′єктів будівництва. − К.: Держбуд України, 2003.

43. НАПБ Б.03.001-2004. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. К.: МНС України, 2004.

44. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. − Х.: Видавництво САГА, 2017. – 364 с.

Додаток А

Схема електрична принципова електроприводу насосу

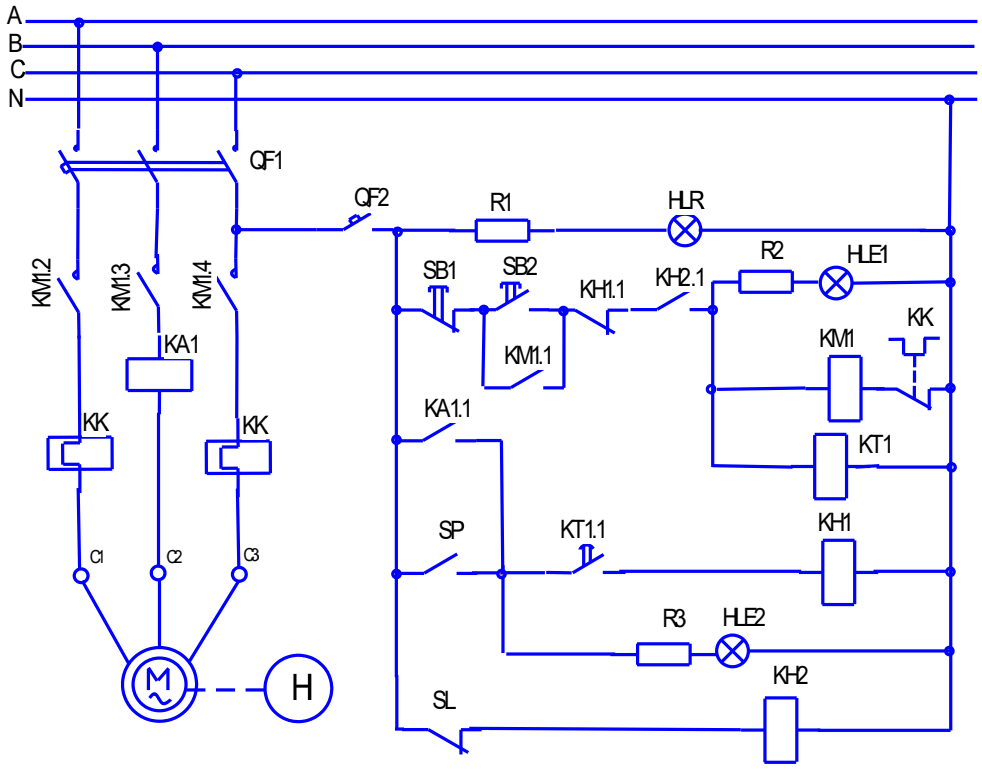


Рисунок А.1 − Схема електрична принципова електроприводу насосу

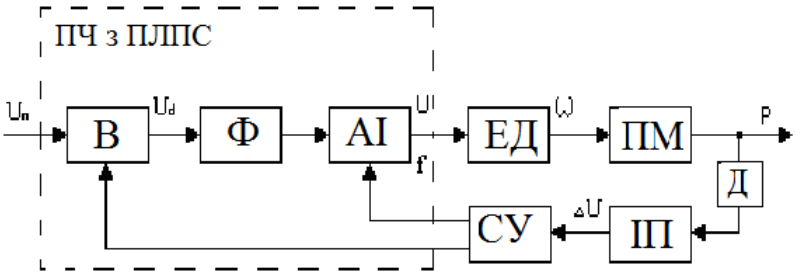


Рисунок А.2 – Структурна схема частотно–регульованого привода

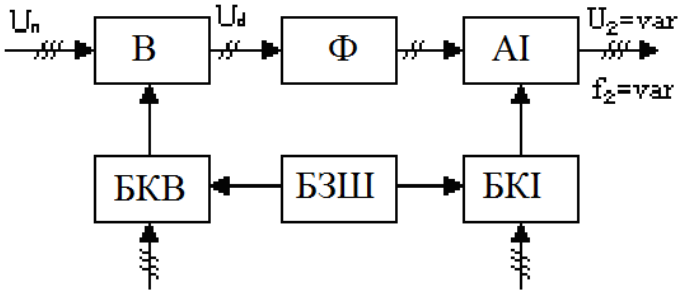


Рисунок А.3–Система керування випрямлячем і інвертором

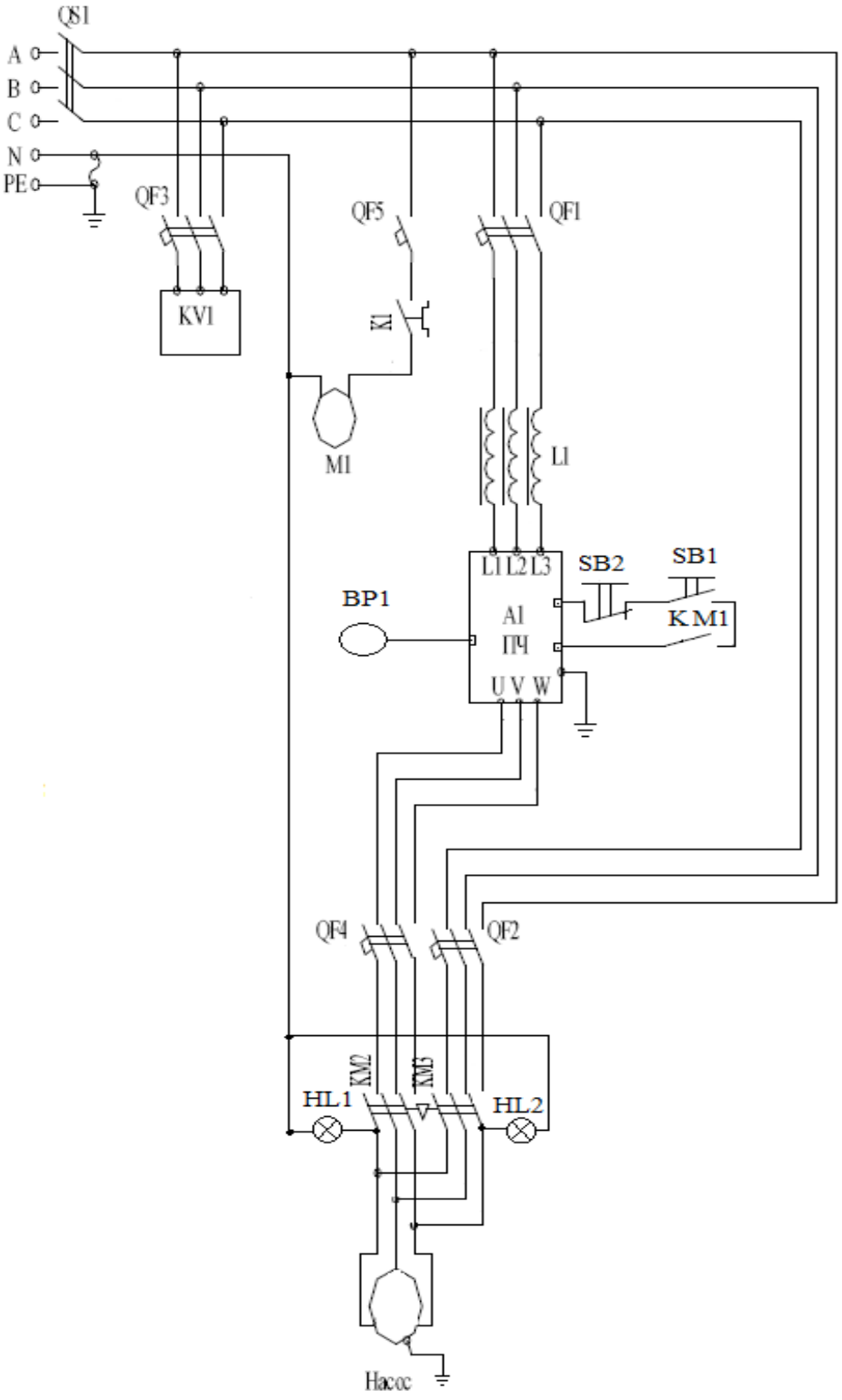


Рисунок А.4 - Схема підключення двигуна до перетворювача частоти

Додаток Б

Механічні характеристики насосу та двигуна та спільна механічна характеристика, характеристики розгону, гальмування, нагрівання та охолодження

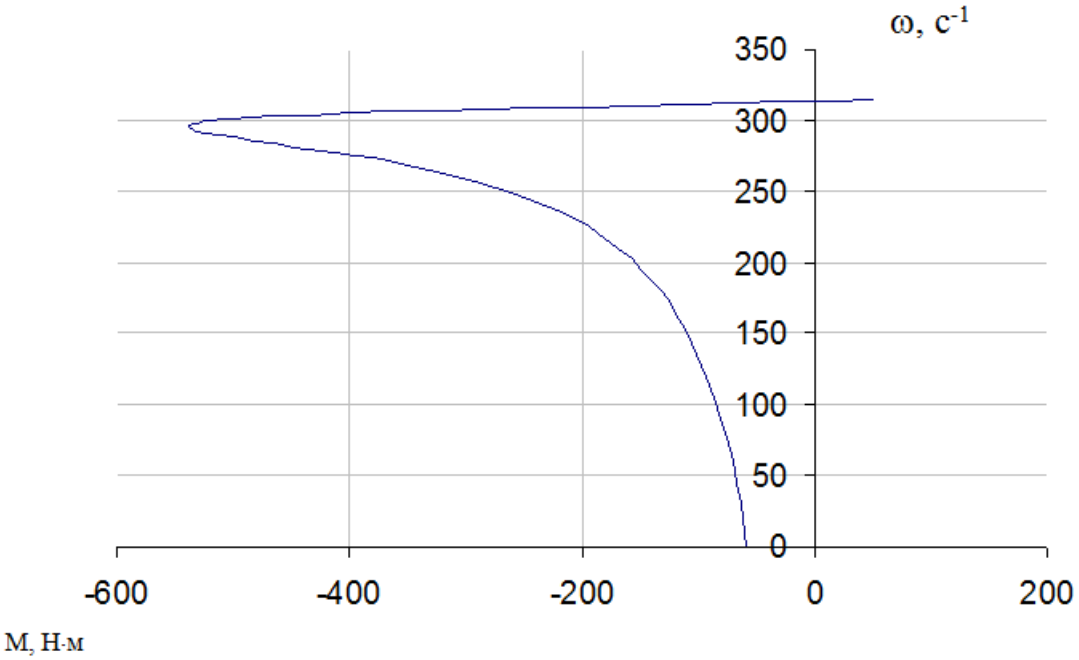


Рисунок Б.1 − Механічна характеристика двигуна

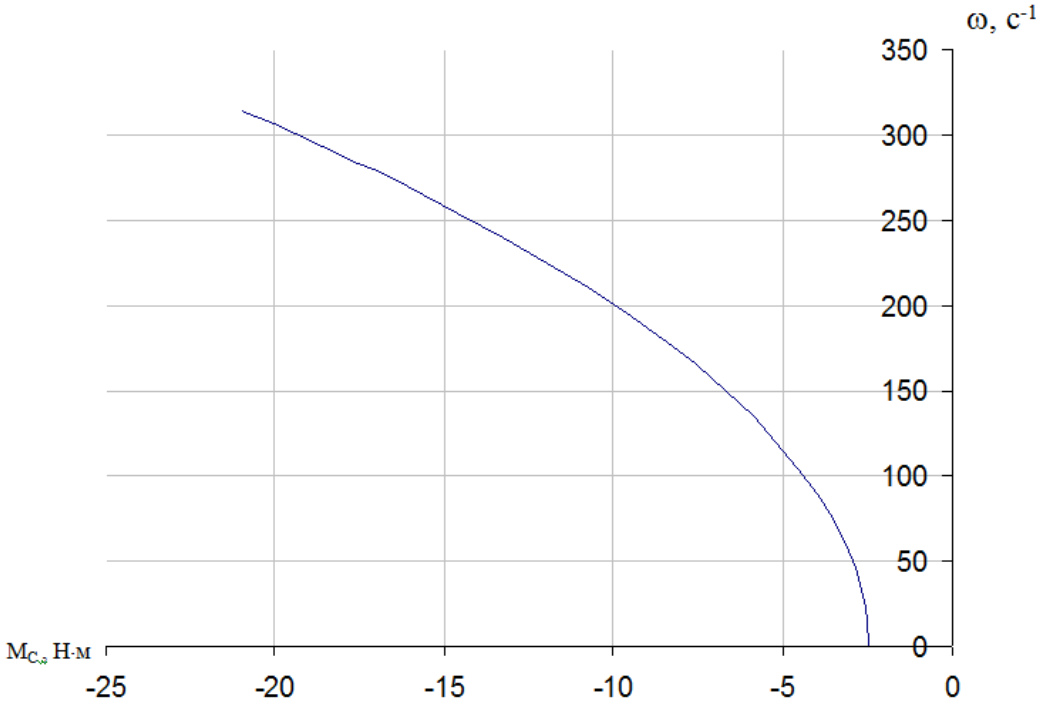


Рисунок Б.2 − Механічна характеристика насоса

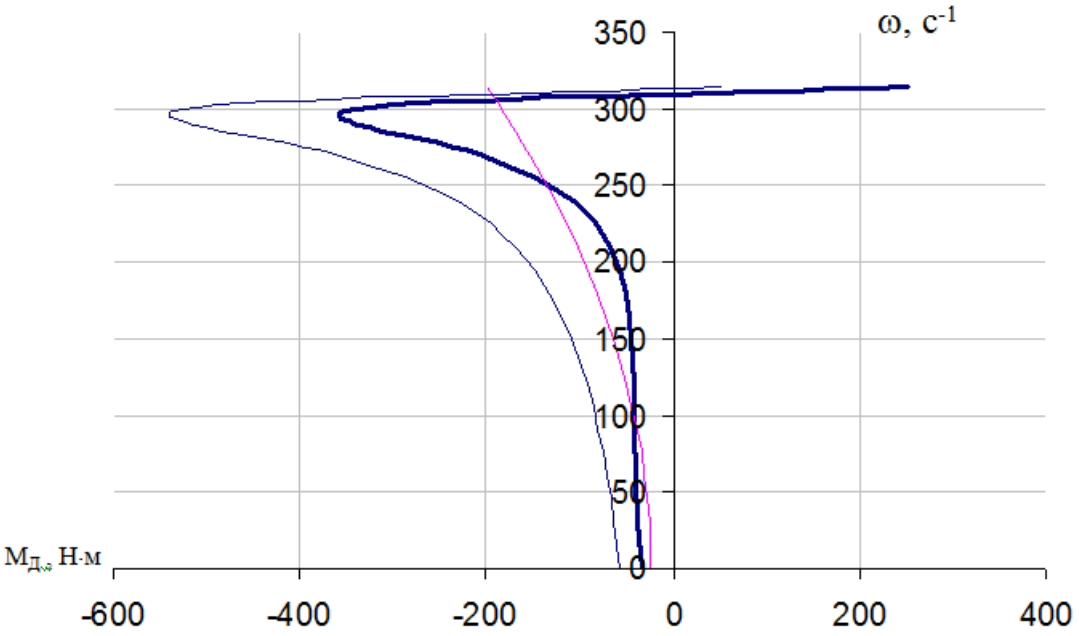


Рисунок Б.3 – Спільна механічна характеристика

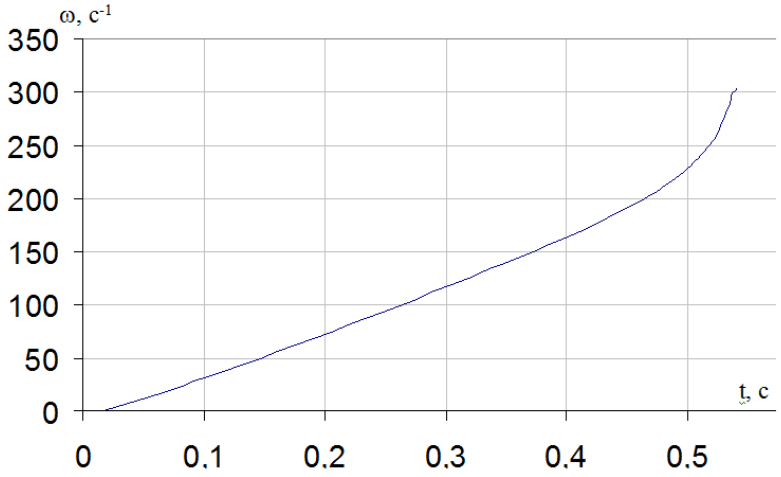


Рисунок Б.4 – Крива розгону електропривода

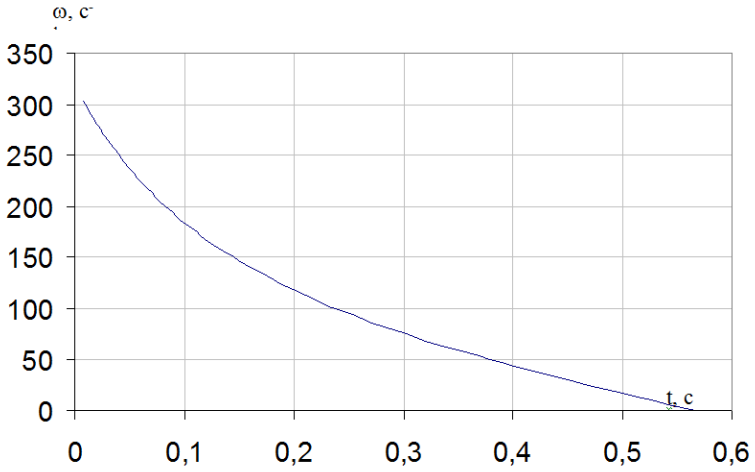


Рисунок Б.5 – Крива гальмування електропривода

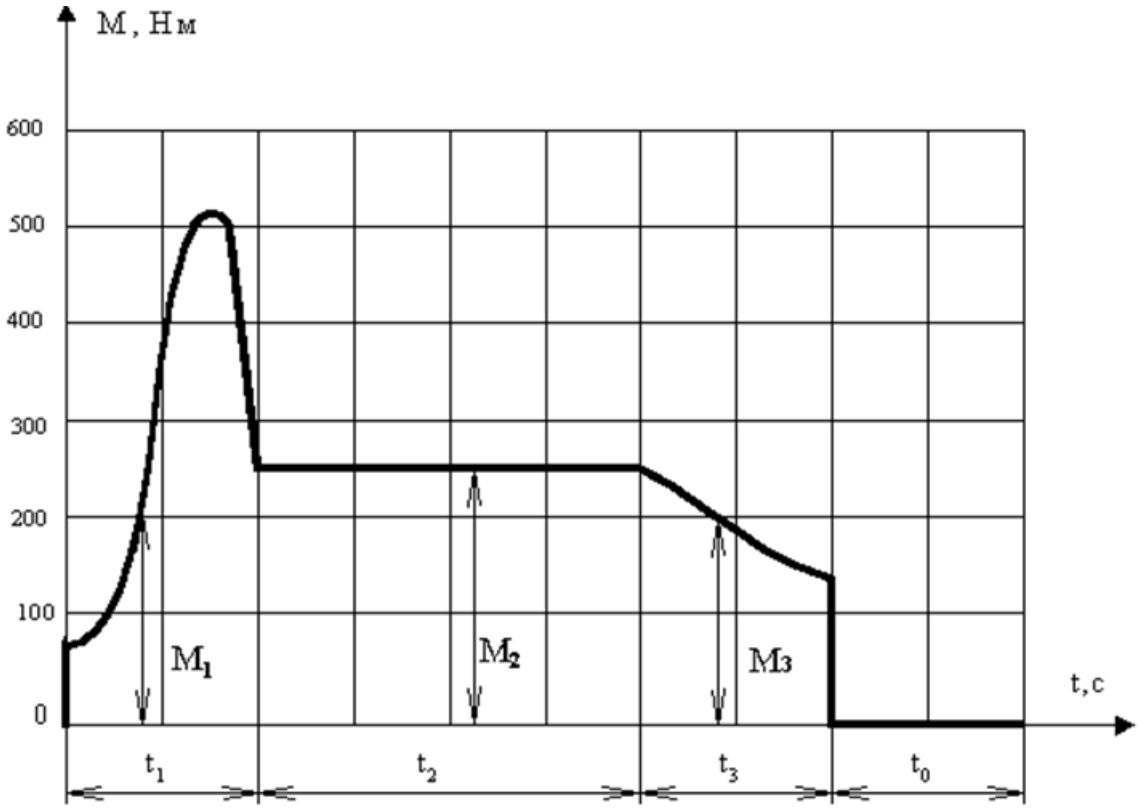


Рисунок Б.6 – Навантажувальна діаграма електропривода

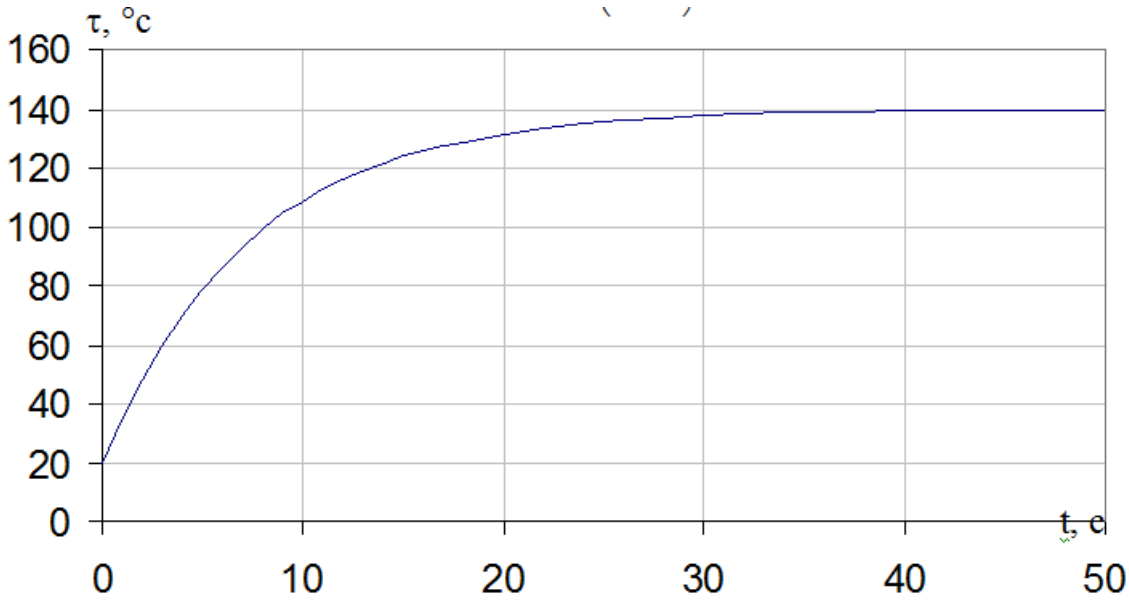


Рисунок Б.7 – Крива нагріву асинхронного двигуна

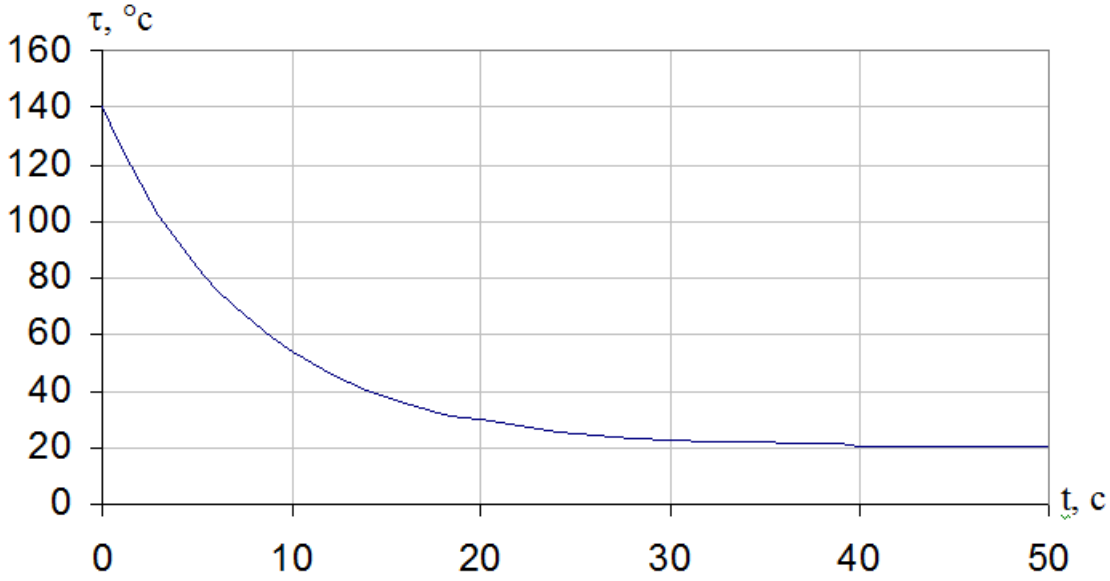


Рисунок Б.8 − Крива охолодження асинхронного двигуна

Додаток В

Модель асинхронного двигуна та графіки перехідних процесів

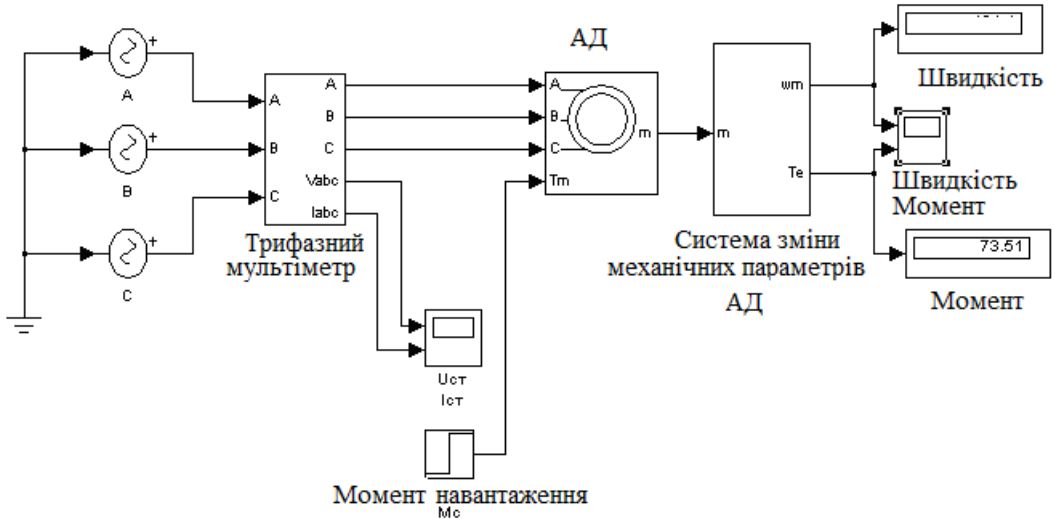


Рисунок В.1−Модель системи ПЧ-АД для програмного пакета MatLab 6.5

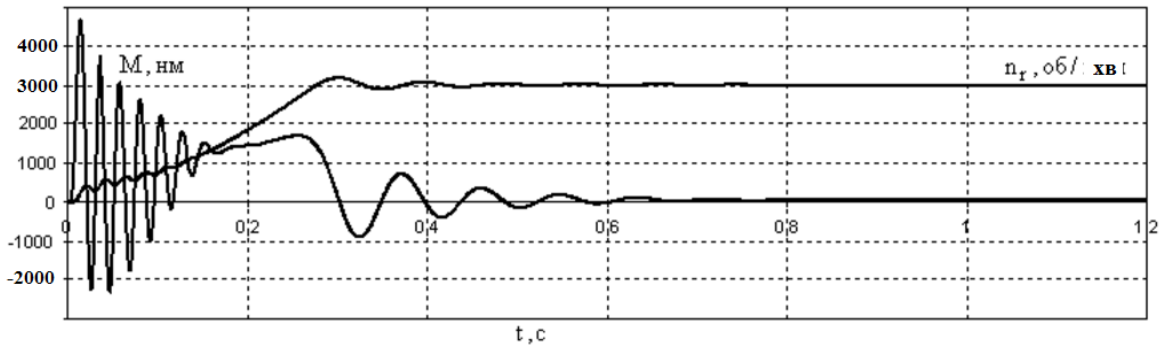


Рисунок В.2 − Графики n=f(t) и M=f(t) при f=50 Гц за відсутності навантаження

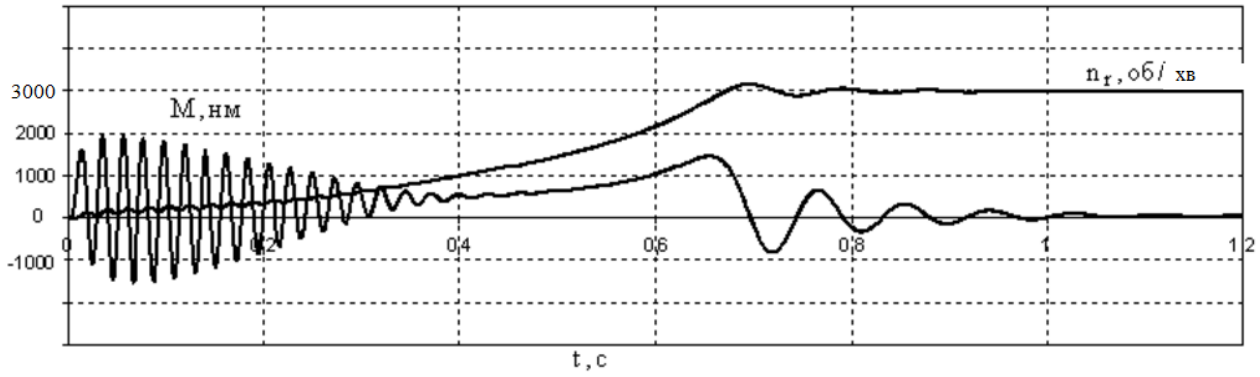


Рисунок В.3 − Графики n=f(t) и M=f(t) при f=37,5 Гц за відсутності навантаження