

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Іванкова Антона Миколайовича
(ПІБ)

академічної групи 141М-17-4
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(офіційна назва)

на тему Алгоритм та система індукційного демпфування екстремального струму якоря
крупних синхронних приводів
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:				
	<i>Бородай В.А.</i>			
	<i>Тимошенко Л.В.</i>			
Рецензент	<i>Хілов В.С.</i>			
Нормоконтролер	<i>Казачковський М.М.</i>			

Дніпро
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
електропривода
(повна назва)

_____ Казачковський М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« 01 » вересня 2018 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня _____ магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту _____ Іванков А.М., _____ академічної групи _____ 141М-17-4
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(офіційна назва)

на тему Алгоритм та система індукційного демпфування екстремального струму якоря
крупних синхронних приводів

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.11.2018 № 1913-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Глава 1	<i>Розглянуто питання аварійних ситуацій, при використанні електроприводів трубопрокатних машин</i>	22.10.18 – 4.11.18
Глава 2	<i>Розрахунок та дослідження динаміки електроприводу.</i>	5.11.18 – 18.11.18
Глава 3	<i>Розробка і побудова моделі. Аналіз попередніх результатів досліджень.</i>	12.11.18 – 3.12.18
Економічна частина	<i>Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту</i>	04.12.18 – 09.12.18

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Бородай В.А.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії 26.12.2018 р.

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Іванков А.М.

(прізвище, ініціали)

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. Анализ состояния предмета исследований.....	12
1.1. Объект исследований и проблема аварийных ситуаций.....	12
1.2. Установки маховика.....	14
1.3. Применение упругих муфт.....	16
1.4. Методы компенсации динамических ударов.....	18
1.5. Обоснование алгоритма управления возбуждением.....	21
ВЫВОДЫ.....	23
2. Модель электромеханической системы привода.....	24
2.1. Разработка модели двигателя и синтез регулятора возбуждения...	24
2.2. Исходные данные и принятые базовые величины.....	28
2.3. Методика определения параметров системы.....	35
ВЫВОДЫ.....	37
3. Моделирование системы.....	38
3.1. Разработка и построение модели.....	38
3.2. Анализ предварительных результатов исследований.....	43
3.3. Аппаратная реализация системы возбуждения.....	45
ВЫВОДЫ.....	48
4. Экономическая часть.....	49
4.1. Введение.....	49
4.2. Расчет капитальных затрат.....	50
4.3. Расчет эксплуатационных расходов.....	54
4.3.1 Расчет амортизационных отчислений.....	54
4.3.2. Расчет годового фонда заработной платы.....	55
4.3.3. Расчет отчислений на социальные мероприятия.....	56
4.3.4 Определение годовых затрат на техническое обслуживание.....	57

4.3.5 Расчет стоимости потребленной электроэнергии.....	58
4.3.6. Определение прочих расходов.....	59
4.4. Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования.....	60
4.5. Определение и анализ показателей экономической эффективности.....	60
ВЫВОДЫ.....	64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	65

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 66 стр., 12 рис., 8 табл., 16 джерел використаної літератури, 16 листів презентації

Об'єктом роботи: є електромагнітні перехідні процеси при різко-змінному навантаженні в потужних синхронних двигунах.

Мета роботи: Розробка автоматичної системи збудження з нестандартним алгоритмом управління потужних синхронних приводів механізмів гірничо-металургійного комплексу характеризуються періодичними ударними навантаженнями.

Для проведення досліджень використані положення теорії електричних машин, методи синтезу автоматичних систем, математичне моделювання у пакеті Matlab.

Запропонований варіант моделі синхронного двигуна для випадків частотного керування, на базі якого синтезовано структуру системи автоматичного керування збудженням, отримано уточнюючий коефіцієнт для розрахунку підсилення інтегральної частини регулятора та запропоновано алгоритм раціонального керування синхронним приводом за умови кращої нейтралізації зусиль руйнування ізоляції дротів якірних котушок двигуна. Запропонований метод дозволить створити автоматичну систему збудження потужних синхронних двигунів, завдяки якій можливо збільшити міжремонтний термін роботи синхронного приводу.

Виконано розрахунок очікуваного економічного ефекту при впровадженні пропонованої технічної розробки. В результаті показано, що проект може мати практичну цінність завдяки використанню сучасних технічних досягнень.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, МЕХАНІЗМИ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ПРОМИСЛОВОСТІ З УДАРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ, ПОТУЖНИЙ СИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД, ВИКОРИСТАННЯ НЕСТАНДАРТНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛІННЯ КОНТУРОМ ЗБУДЖЕННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 66 стр., 12 рис., 8 табл., 16 источников вы-пользованы литературы, 16 листов презентации

Объектом работы: являются электромагнитные переходные процессы при резко-переменном нагружении в мощных синхронных двигателях.

Цель работы: Разработка автоматической системы возбуждения с нестандартным алгоритмом управления мощных синхронных приводов механизмов горно-металлургического комплекса характеризующиеся периодическими ударными нагрузками.

Для проведения исследований использованы положения теории электрических машин, методы синтеза автоматических систем, математическое моделирование в пакете Matlab.

Предложен вариант модели синхронного двигателя для случаев частотного управления, на базе которого синтезирована структура системы автоматического управления возбуждением, получено уточняющий коэффициент для расчета усиления интегральной части регулятора и предложен алгоритм рационального управления синхронным приводом при условии лучшей нейтрализации усилий разрушения изоляции проводов якорных катушек двигателя. Использование предложенного метода позволит создать автоматическую систему возбуждения мощных синхронных двигателей, благодаря которой можно увеличить межремонтный срок работы синхронного пловду. Выполнен расчет ожидаемого экономического эффекта при впроваджеванни предлагаемой технической разработки. В результате показано, что проект может иметь практическую ценность благодаря использованию современных технических достижений.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАНИЗМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ, МОЩНЫЙ СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

ABSTRACT

Explanatory note 66 pages, 12 figures. , 8 tables. , 16 sources of used literature, 16 letters of presentation

Object of work: are electromagnetic transients under sharply variable loading in powerful synchronous motors.

Objective: Development of an automatic excitation system with a non-standard control algorithm for powerful synchronous drives of the mechanisms of the mining and metallurgical complex characterized by periodic shock loads.

The positions of theory of electric machines, methods of automatic systems synthesis, mathematical modeling in the package Matlab were used for conducting researches. A variant of the model of the synchronous motor for cases of frequency control is proposed, on the basis of which the structure of the system of the automatic excitation control is synthesized, a correction coefficient for the calculation of the gain of the regulator integral part is obtained, and the algorithm of rational control of the synchronous motor is tested, the improved neutralization of the forces of destruction of the conductors insulation of the armature coils of the motor is provided. The use of the proposed methodology will allow the creation of an automatic system for exciting high-power synchronous motors, which can prevent accidents in the armature circuit of the motor and increase the inter-repair interval of the synchronous drive.

Calculation of the expected economic effect when implementing the proposed technical development. As a result, it is shown that the project can be of practical value through the use of modern technical achievements.

ENERGY SAVING TECHNOLOGIES, MECHANISMS OF MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY WITH AN EFFECTIVE LOAD, POWERFUL SYNCHRONOUS ELECTRIC POWER, USE OF NON-STANDARD ALGORITHM OF CONTROL BY EXPOSURE

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

Известно, что крупный синхронный электропривод, входящий в состав горно-металлургического оборудования [1], имеет существенный недостаток, связанный с разрушением якорных катушек двигателя в момент втягивания заготовки в валки. Такие аварийные остановки процесса производства ведут к потере значительных денежных средств из-за сокращения выпускаемой продукции. Помимо этого, ремонт этих установок составляет приблизительно 10% от стоимости эксплуатируемого оборудования, что дополнительно увеличивает затраты на себестоимость выпускаемой продукции. Таким образом, актуальность темы магистерской работы не может ставиться под сомнение.

Цель и задачи исследований

Разработка автоматической системы возбуждения с нестандартным алгоритмом управления мощных синхронных приводов механизмов горно-металлургического комплекса характеризующиеся периодическими ударными нагрузками

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

- выбрать и обосновать перспективные направления усовершенствования системы возбуждения синхронного двигателя;
- определить алгоритм и рациональные параметры системы возбуждения синхронного двигателя, работающего в составе привода с периодической ударной нагрузкой;
- исследовать и показать принципиальную возможность применения такой системы возбуждения для демпфирования экстремальных токов якоря мощных синхронных приводов.

Методы исследования

Для проведения исследований использованы положения теории электрических машин, методы синтеза автоматических систем, математическое моделирование в пакете Matlab.

Объектом исследований являются электромагнитные переходные

процессы при резко-переменном нагружении в мощных синхронных двигателях.

Предметом исследования является изменение тока якоря синхронного двигателя при ударном нагружении.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

- Для эффективного противодействия последствиям ударных нагрузок автоматическая система возбуждения должна обеспечить отличающиеся свойства работы на интервалах максимального возмущения и остаточной колебательности тока якоря;

- Ограничить влияние максимального возмущения возможно путем уменьшения перепада тока в момент приложения нагрузки;

- Для реализации предложенного метода демпфирования следует до начала прокатки в срок пяти постоянных времени обмотки возбуждения [15] увеличить задание на ток в продольной оси до уровня 0,8 от максимального форсирования, а после завершения действия удара (достаточная продолжительность 0,5 с.) сбросить его до нуля, что в дальнейшем обеспечит работу привода в энергосберегающем режиме;

- Величина форсирования возбуждения лимитируется, с одной стороны, получением минимума перепада тока якоря, а с другой - ограничением экстремума на уровне не выше величины максимума характерного для классической системы возбуждения при одинаковых условиях работы.

Научная новизна работы:

Предложен оригинальный вариант динамической модели синхронного двигателя, которая позволяет использование классического метода синтеза регулятора продольного тока якоря, стабилизируемого магнитным потоком возбуждения, а так же сформулированы требования к реализации нестандартного алгоритма управления возбуждением, который обеспечивает существенное уменьшение динамического тока якоря в момент пикового действия нагрузки.

Отличием от результатов, полученных другими авторами, есть применение нового метода управления возбуждением крупных синхронных

приводов и подтверждение принципиальной возможности реализации усовершенствованной системы возбуждения.

Практическое значение работы

Использование предложенного метода позволит создать автоматическую систему возбуждения мощных синхронных двигателей, благодаря которой возможно увеличить межремонтный срок работы синхронного привода.

Основное содержание работы

Первая глава посвящена анализу состоянию синхронных двигателей главного привода автомат-стана ТПА-350. Основная задача компенсировать динамические нагрузки якоря электропривода в момент вовлечения металла в валки трубопрокатного стана. Рассмотрен вопрос аварийных ситуаций, которые возникают в современном производстве при использовании синхронных электроприводов трубопрокатных машин. Рассмотрены способы улучшения мощных синхронных двигателей. В ходе исследования применены методы компенсации ударных токов якоря, определены их достоинств и недостатков.

Во второй главе рассмотрена модель электромеханической системы электропривода. Была произведена разработка модели двигателя и синтез регулятора возбуждения. Пользуясь заводским расчетным формуляром двигателя, стало возможно осуществить выбор соответствия базовых величин и на их основе осуществить расчет параметров модели. В основу разработки модели был положен случай построения двигателя для частотного управления. На базе полученной математической модели была построена структурная схема двигателя, к контуру возбуждения которой добавлено блоки преобразователя напряжения, регулятора тока по оси d и усилителя обратной связи

Третья глава включала разработку и построение модели. Анализ предварительных результатов исследований, полученных зависимостей, а так же показывает, что в момент приложения нагрузки изменение тока якоря уменьшилась примерно втрое, всплеск его максимума вырос почти на 3%, а продолжительность переходного процесса сократилась на 34%. При снятии нагрузки характер изменения тока практически одинаков для обоих вариантов. Были

созданы условия проведения эксперимента и рекомендации для использования. Показана аппаратная реализация системы возбуждения. При таком способе управления снижаются электродинамические усилия в обмотках.

Автоматическая система возбуждения должна обеспечить отличные свойства работы на интервалах максимального возмущения и остаточной колебательности тока якоря.

Ключевые слова

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАНИЗМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ, МОЩНЫЙ СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСТАНДАРТНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Объект исследований и проблема аварийных ситуаций

Характеристика объекта исследований.

Кинематическая схема автомат-стана ТПА-350 приведена на Рис. 1.1, а ее параметры даны в Табл. 1.1.

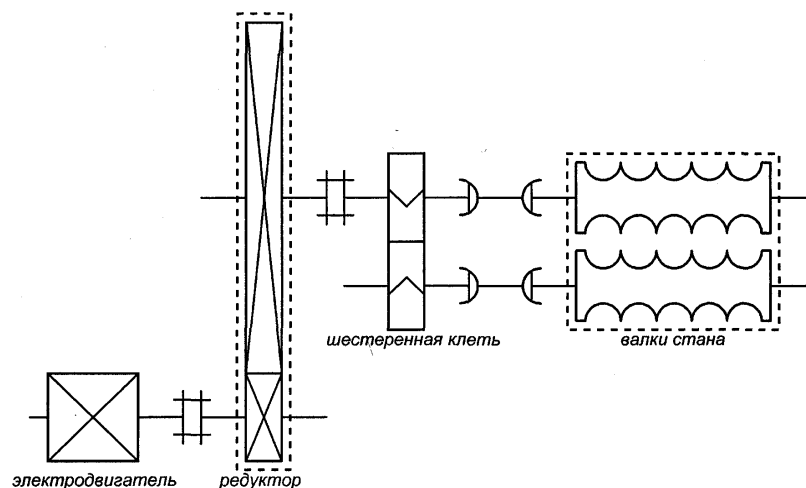


Рис. 1.1 Кинематическая схема автомат-стана

В качестве двигателя главного привода автомат-стана ТПА-350 используются два синхронных двигателя: основной - МС-324-10/12 и резервный - МС-324-8/12. Параметры приводных двигателей по данным завода изготовителя представлены в Табл. 1.2.

Таблица 1.1

Параметр	Значение	
КПД шпинделей	0,97	
КПД шестеренной клетки	0,93	
КПД редуктора	0,95	
КПД муфты	0,99	
Передаточное отношение редуктора	4,98	
Момент инерции редуктора, кгс-м-с ²	262,5	
	тихоходный	быстроходный
Момент вала, кг-м ²	12264,36	800
Скорость вала, об/мин	100,4	500
Диаметр вала, мм	240	270
Диаметр шестерни, мм	2370	535

Продолжение Табл. 1.1

Соединительная муфта, установленная на выходе редуктора	
Тип муфты	ч. 4692 СБ
Жёсткость упругих элементов	нет
Момент инерции, кг-м ²	1633,36

Таблица 1.2

Параметр	Значение	
Тип двигателя	МС-324-10/12	МС-324-8/12
Номинальное напряжение, В	6000	6000
Номинальный ток статора, А	385	290
Номинальная активная мощность, кВт	2880	2300
Номинальная скорость, об/мин	500	500
Число пар полюсов	6	6
КПД, %	92	95,3
cos φ	0,75	0,8
Кратность Мпуск/Мном	1,2	0,7
Кратность Ммакс/Мном	2,5	2,4
Кратность Iпуск/Iном	3,5	3,7
Номинальное напряжение возбуждения, В	68	75
Максимальное напряжение возбуждения, В	90	90
Номинальный ток возбуждения, А	310	340
Момент инерции двигателя, кг-м ²	1300	1030

Проблемы аварийных ситуаций.

Отличительной особенностью механизмов, рабочий инструмент которых - это валки разрушения руд полезных ископаемых или валки пластической обработки металлов, является то, что специфика их эксплуатации предусматривает периодическое возникновение ударных нагрузок. Следствием этого является значительный всплеск токов в обмотках приводных синхронных двигателей, провоцирующие резко-переменные усилия, действие которых вызывает вибрации лобовых частей якорных катушек. В результате влияние последних становится причиной аварийных ситуаций, связанных с повреждением изоляционных материалов проводов катушек якоря в зоне их перехода из магнитопровода в лобовую часть, ремонт которых требует значительных финансовых затрат [1].

1.2. Установка маховика

Маховичный электропривод устанавливают на прокатных станах, нагрузка которых имеет резко выраженный ударный характер, а время нахождения металла в валках за время пропуска невелико (менее 5 с) по сравнению с паузой.

Сущность работы маховичного электропривода заключается в том, что при приложении к приводу ударной нагрузки, в соответствии с механической характеристикой двигателя, происходит снижение скорости с n_0 до n и выделяется энергия ΔA , запасенная в маховых массах привода:

$$\Delta A = \frac{J\omega_0^2}{2} - \frac{j\omega^2}{2} = \frac{GD^2(n_0^2 - n^2)}{730} \quad (1.1)$$

Эта энергия расходуется на совершение полезной работы, и нагрузка на двигатель уменьшается.

Во время паузы, когда нагрузка отсутствует, скорость электропривода возрастает и в маховике увеличивается запас кинетической энергии.

Обычно маховичный привод применяют с асинхронным двигателем в случае, если максимальное значение нагрузочного момента превышает среднеквадратичное значение момента нагрузочной диаграммы стана в 3-4 раза и длительность пика нагрузки равна 2-5 с. При большем времени момент двигателя достигает значительной величины и применение такого привода нецелесообразно.

При рассмотрении целесообразности применения маховичного привода с синхронным двигателем следует учесть особенности его механической характеристики. В отличие от асинхронного двигателя, механическая характеристика СД абсолютно жесткая и при ударном приложении нагрузки скорость практически не изменяется, возможны лишь качания ротора вокруг синхронной скорости в пределах угловой характеристики.

При номинальном моменте угол нагрузки СД составляет 18 эл.град, а при максимальном моменте — 73 эл.град. Следовательно, запас по углу

нагрузки, при ударном приложении нагрузки, можно принять равным 73 эл.град. (от момента холостого хода до максимального динамического момента). При этом запас по физическому углу - незначительный.

Математическое представление и моделирование синхронных машин переменного тока, его характеристик и векторных диаграмм осуществляют, пользуясь однопериодной расчетной моделью, т.е. многополюсную машину приводят к эквивалентной двухполюсной. Однопериодная модель машины удобна тем, что в ней временные и пространственные углы между векторами совпадают, что дает возможность наложить временную векторную диаграмму токов и напряжений на пространственную картину полей в машине. В результате перехода к эквивалентной двухполюсной машине угловые величины (угол поворота ротора, угол нагрузки и т.д.) выражаются электрическими радианами (электрическими градусами). Электрический угол больше физического угла в число пар полюсов

$$[\text{град}] = \frac{[\text{эл. град}]}{p} \quad (1.2)$$

Таким образом, при переходе к физическим градусам получаем, что реальный запас по углу поворота ротора, до выпадения СД из синхронизма, составляет

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{\text{запас}}[\text{эл. град}]}{p} = \frac{73}{6} = 12,2 \text{ град.} \quad (1.3)$$

Рассчитанный угол $\Delta\theta$ отклонения ротора от установившегося значения, вызовет незначительное изменение скорости (около 1%), что не даст возможности маховику отдать запасенную энергию.

Таким образом, применение маховичного привода с синхронным двигателем является не целесообразным.

1.3. Применение упругой муфты

Вариантом ограничения максимального динамического момента, и как следствие тока статора, при ударной нагрузке может быть введение в электро-механическую систему дополнительного упругого элемента (упругой муфты), которые и применяют в таких случаях. При этом необходимо определить требуемую величину жесткости, учитывая передаваемые моменты. Следует учитывать, что рассматриваемая электромеханическая система является достаточно сложной и введение упругого элемента может вызвать и отрицательные явления, как и в процессе синхронизации двигателя, так и при ударном приложении нагрузки на низких частотах.

Для рассмотрения варианта ограничения максимального динамического момента с помощью уменьшения жесткости системы синхронный двигатель-автомат-стан, представим ее механическую часть в виде двухмассовой системы с упругой и диссипативной связями. Упрощенно такую систему можно представить в виде Рис. 1.2

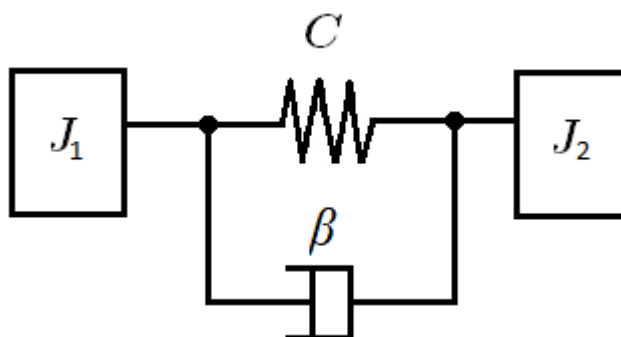


Рис. 1.2. Расчётная схема двухмассовой системы СД-автомат-стан

В расчетной схеме приняты следующие обозначения:

- J_1 - момент инерции синхронного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
- J_2 - эквивалентный момент инерции второй массы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;
- C - жесткость упругой муфты, Нм/рад ;
- β - коэффициент демпфирования (затухания).

В нашем случае J_2 равен:

$$J_2 = J_{\delta} + J_i + J_a + \frac{J_{\delta}}{i^2}$$

где J_p - момент инерции редуктора, кг·м²;

J_M - момент инерции муфты, кг·м²;

J_6 - момент инерции быстроходного вала, кг·м²;

J_T - момент инерции тихоходного вала, кг·м²;

i - передаточное число редуктора.

В основе гипотезы снижения динамического момента было положено, что введение упругости в систему (в качестве установки упругой муфты между валами двигателя и редуктора) приведет к сглаживанию пика тока статора. Колебания тока статора при подаче момента сопротивления упрощенно можно описать уравнением амплитуды вынужденных колебаний системы:

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \cdot \Omega^2}} \quad (1.4)$$

где Ω_0 - частота собственных колебаний;

Ω - частота вынужденных колебаний;

f_0 - приведенная амплитуда вынуждающей силы.

Зависимость частоты собственных колебаний двухмассовой системы от жесткости определяется как:

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{C \cdot (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} \quad (1.5)$$

В свою очередь

$$\Omega = \sqrt{\Omega_0^2 - \beta^2} \quad (1.6)$$

Таким образом, из уравнения (1.5) можно заключить, что уменьшение жесткости муфты приведет к снижению частоты собственных и вынужденных (1.6) колебаний системы.

Из (1.4) видно, что амплитуда вынужденных колебаний находится в обратной зависимости от частот Ω_0 и Ω . Следовательно, введение дополнительного упругого элемента приведет к возрастанию амплитуды упругого и электромагнитного моментов.

Кроме того, введение в систему СД - автомат-стан упругого элемента, может привести к совпадению частоты собственных и вынужденных колебаний системы с электромагнитными колебаниями СД. Это явление, на низких частотах может вызвать значительный механический резонанс, что снизит устойчивость и надежность системы вследствие возрастания динамических нагрузок.

1.4. Методы компенсации динамических ударов

Среди известных механических способов нейтрализации неприемлемой колебательности способ передрозгона двигателя [2], который культивирует до начала рабочего режима повышения жесткости электромеханической системы путем выбора зазоров шпиндельных устройств прокатных валков. Это значительно снижает ударную нагрузку в момент захвата металла, но способ требует определения оптимального режима передрозгона поскольку есть вероятность повторного раскрытия люфтов.

Не требует доказательства то, что для качественного электромагнитного демпфирования колебаний угла нагрузки только благодаря индукторной контура [3] необходимо обеспечить быстрое и существенное форсирование напряжения возбуждения. Препградой реализации такого условия является неспособность серийных автоматических возбудителей обеспечить кратность

форсировки напряжения необходимого уровня, а также вопрос о стойкости обмоток двигателей к резко-переменного повышению напряжения. В результате быстрогодействия регулирования поля возбуждения становится недостаточной, а эффективность компенсации колебаний существенно падает.

Весьма перспективным является способ повышения противодействия синхронных приводов [4] ударным нагрузкам путем ускорения скорости форсирования возбуждения за счет разряда предварительно заряженного конденсатора в этом же контуре с одновременной подачей напряжения от тиристорного преобразователя. Но вопрос устойчивости изоляции двигателя в этом случае также не является решенным.

К традиционным методам электромагнитного демпфирования колебаний электромеханических систем следует отнести известные законы управления возбуждением [5] - [7]:

- поддержание постоянного уровня коэффициента мощности двигателя;
- стабилизация реактивной мощности двигателя заданной величины;
- компенсация реактивного тока якоря.

Так, в методе [8] использована векторная система возбуждения мощного двигателя со стабилизацией коэффициента мощности. Способ достаточно хорошо нейтрализует колебания системы с незначительной амплитудой, но в случае пиковой нагрузки его действие оставляет желать лучшего.

Существует класс автоматических систем возбуждения, где качество компенсации колебаний обеспечивается за счет нелинейных обратных связей [9], которые также хорошо поглощают возмущения малой амплитуды, а относительно максимальных значений, но их работа также имеет низкую эффективность.

В источнике [10] показана целесообразность использования метода программного управления напряжением возбудителя для снижения динамических нагрузок в переходных режимах. Суть метода заключается в целенаправленном питании обмотки возбуждения периодической переменным напряжением, которая помимо уменьшения периодической составляющей

электромагнитного момента частично повышает его среднюю составляющую, которой достаточно для плавного разгона двигателя до синхронной частоты вращения.

Недостатком метода является необходимость использования реверсивного возбудителя.

Как вариант противодействия ударным нагрузкам может быть предложена электромеханическая система предельной степени устойчивости с минимальной колебательностью упругой механической подсистемы [11]. Суть метода заключается в оптимальном налаживании регулятора и упругости системы в заранее оговоренных условиях. Но и таким образом также частично отвечает требованиям компенсации экстремальных нагрузок.

Метод, приведенный в источниках [12] - [14] демонстрирует потенциальную возможность компенсации пусковых токов за счет опережающего увеличения напряжения возбуждения на прогнозируемый провал напряжения питания. Но система возбуждения в данном случае адаптирована для работы синхронного генератора.

Все указанные методы, к сожалению, мало соответствуют условиям нейтрализации вредных усилий в якорных катушках является приоритетом при решении поставленной задачи. Показана актуальная проблема решена путем решения оптимизационной задачи, где в комплексе определенные необходимое значение упругости и фиксированные настройки контура возбуждения [15]. К параметрам настройки системы входят время заблаговременного начала изменения форсирования и конечного уровня напряжения возбуждения. При положительном решении проблемы метод имеет недостаток, который заключается в необходимости периодической перенастройки системы при каждой смене физических и геометрических свойств исходного материала отделки.

1.5 Обоснование алгоритма управления возбуждением.

Как упоминалось ранее, причиной аварий синхронного привода прокатных станов является вибрации лобовых частей катушек якоря в момент вовлечения металла в валки. Понятно, что этот факт является результатом действия сил, возникающих в проводах обмоток якоря вследствие присутствия пикового роста тока. При этом также нужно помнить, что уровень величины усилия зависит от квадрата тока в якорных катушках. То есть уменьшить вибрации - значит уменьшить величину динамического тока и его колебательность.

Условия прокатного производства предусматривают периодическую работу привода в режимах холостого хода (участок 1) или резко-переменной нагрузки (участок 2 Рис 1.3.). Оба интервала действия тока якоря обычно настраивают на функционирование системы с рациональным сохранением энергоресурса.

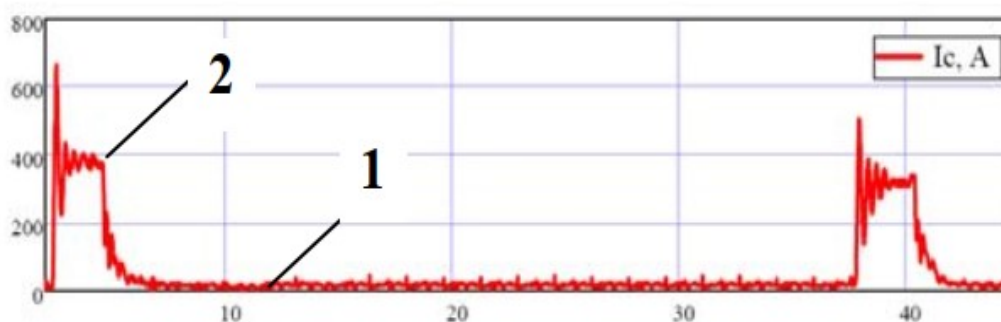
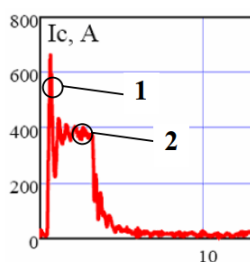


Рис 1.3. Ток якоря при двух проходах прокатки реального прокатного стана

Одним из возможных каналов влияния на регулирование этого тока является автоматическая система возбуждения. Реализация энергосберегающего режима при отсутствии механической нагрузки возможна в случае перевозбуждения двигателя и соответственно емкостного характера его мощности, при которой ток якоря поддерживается нулевым. Синхронная устойчивость привода в промышленных условиях достигается благодаря традиционным законам управления возбуждением [5].



- 1 -максимальное возмущение;
2 -остаточная колебательность.

Рис 1.4. Переходный процесс тока якоря

При близком рассмотрении формы переходного процесса тока якоря (Рис.1.4.) следует выделить несколько участков, где имеет место пиковый рост (1) характерный для момента приложения нагрузки и остаточной колебательности (2), который соответствует завершению процесса вовлечения заготовки в валки. Такая особенность переходного процесса обусловлена инерционностью контура возбуждения и связана с тем, что при набросе нагрузки двигатель «встречает» возмущения с ослабленным полем. Как следствие, для создания необходимого момента на валу двигатель вынужден потреблять больший ток якоря.

Принимая во внимание анализ литературного обзора об достаточно эффективной компенсации колебаний тока якоря малой амплитуды и практически несостоятельность известных способов поглощать экстремальный рост тока, следует сделать вывод, что нужен другой подход к решению такого вопроса. Поэтому как вариант эффективного противодействия максимальному току якоря (участок 1 Рис 1.4.) предлагается заблаговременно увеличить напряжение возбуждения, в свою очередь уменьшит разницу между текущим постоянным и мгновенным увеличенным значением тока якоря при набросе нагрузки.

Остаточная колебательность (участок 2 Рис 1.4.), может быть успешно решена благодаря, например, закону регулирования возбуждения при стабилизации продольного тока якоря на нулевом уровне. Такой алгоритм управления возбуждения может быть практически воплотим при известных параметрах уровня форсирования напряжения и интервалов времени его заблаговременного включения и сброса задания на ток в нулевое состояние.

ВЫВОДЫ

1. Предприятия горно-металлургической промышленности широко используют синхронные электропривода, главным преимуществом которых есть возможность энергосбережения.

2. Обычно пиковые нагрузки компенсируют механическими или электромагнитными способами. Наличие абсолютно жесткой механической характеристики синхронного привода исключает использования в таких электромеханических системах кинетических накопителей энергии.

3. Внедрение упругих муфт предполагает определение оптимального значения параметра компенсации, который не создает условий недопустимой колебательности [1] системы привода.

4. Существующие методы компенсации ударных нагрузок удачно нейтрализуют колебательность системы малой амплитуды, а в случае экстремальных значений – они имеют низкую эффективность.

5. Метод оптимального подбора параметров упругости и номиналов электромагнитной системы возбуждения, при всех положительных свойствах компенсации динамических ударов, имеет существенный недостаток, который заключается в необходимости периодической перенастройки системы электропривода [15].

6. Алгоритм управления возбуждением может быть практически воплощен при известных параметрах уровня форсировки напряжения, интервалов времени его заблаговременного включения и сброса задания на ток в нулевое состояние.

ГЛАВА 2

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА

2.1 Разработка модели двигателя и синтез регулятора возбуждения.

Избежать указанных недостатков предлагается за счет создания системы автоматического регулирования возбуждением с новыми свойствами. Для этого воспользуемся математическим описанием работы синхронного двигателя, реализованным в относительных единицах (о.е.). Входные уравнения баланса напряжений синхронной машины с полным набором обмоток роторной части имеют следующий вид [5], [16].

$$\begin{cases} \dot{U}_d = i_a \dot{r}_a + p\dot{\Psi}_q - \omega_1 \dot{\Psi}_q; \\ \dot{U}_q = i_a \dot{r}_a + p\dot{\Psi}_q + \omega_1 \dot{\Psi}_q; \\ U_f = i_f \dot{r}_f + p\dot{\Psi}_f; \\ 0 = i_{kd} \dot{r}_{kd} + p\dot{\Psi}_{kd}; \\ 0 = i_{kq} \dot{r}_{kq} + p\dot{\Psi}_{kq} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\begin{cases} \dot{\Psi}_d = x_d \dot{i}_a + x_{ad} \dot{i}_f + x_{ad} \dot{i}_{kd}; \\ \dot{\Psi}_q = x_q \dot{i}_q + x_{aq} \dot{i}_{kq}; \\ \dot{\Psi}_f = x_{ad} \dot{i}_d + x_f \dot{i}_f + x_{ad} \dot{i}_{kd}; \\ \dot{\Psi}_{kd} = x_{ad} \dot{i}_d + x_{ad} \dot{i}_f + x_{kd} \dot{i}_{kd}; \\ \dot{\Psi}_{kq} = x_{aq} \dot{i}_q + x_{kq} \dot{i}_{kq}, \end{cases} \quad (2.2)$$

где $\dot{U}_d, \dot{U}_q, \dot{U}_f, \dot{i}_d, \dot{i}_q, \dot{i}_f, \dot{i}_{kd}, \dot{i}_{kq}$ - напряжения и токи в осях d - q катушек якоря, обмоток возбуждения и демпферной обмотки, о.е. .; $\dot{r}_a, \dot{r}_f, \dot{r}_{kd}, \dot{r}_{kq}$ - активные сопротивления якоря, возбуждения и демпферной обмотки, о.е. .; $\dot{x}_{ad}, \dot{x}_{aq}$ - реактивные сопротивления реакции якоря в осях d - q , о.е. .; $\dot{x}_d, \dot{x}_q, \dot{x}_f, \dot{x}_{kd}, \dot{x}_{kq}$ - реактивные сопротивления в осях d - q якорных катушек, возбуждения и демпферной обмотки, о.е. .; $\dot{\Psi}_d, \dot{\Psi}_q, \dot{\Psi}_f, \dot{\Psi}_{kd}, \dot{\Psi}_{kq}$ - потокосцепления в осях d - q якоря, возбуждения и демпферных катушек, о.е.; $p=d/dt$ - оператор Лапласа; ω_1 - частота вращения поля якоря.

В основу разработки модели был положен случай построения двигателя для частотного управления. Для этого из уравнений потокосцепления контура возбуждения и демпферной обмотки (2.2) получены токи

$$\begin{aligned} ikd &= k_9 \Psi_{kd} - k_{10} i_d - k_{11} \Psi_f; \\ if &= k_8 \Psi_f - k_7 i_d - k_8 \Psi_{kd}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{\dot{x}_{kd}}; k_2 = \frac{\dot{x}_{ad}}{\dot{x}_{kd}}; k_3 = \dot{x}_{ad} - \dot{x}_{ad} k_2; \\ k_4 &= \dot{x}_f - \dot{x}_{ad} k_2; k_5 = \dot{x}_{ad} k_1; k_8 = \frac{1}{k_4}; \\ k_7 &= \frac{k_3}{k_4}; k_8 = \frac{k_5}{k_4}; k_9 = k_1 - k_2 k_8, \end{aligned}$$

$$k_{10} = k_2 + k_2 k_7; k_{11} = k_2 k_6.$$

Основываясь на результатах уравнений (2.1) и (2.3), определено потокосцепления якоря по оси d

$$\dot{\Psi}_d = k_{12} i_d + k_{13} \dot{\Psi}_{kd} - k_{14} \dot{\Psi}_{kd}, \quad (2.4)$$

где

$$\begin{aligned} k_{12} &= \dot{x}_d - \dot{x}_{ad} [k_7 + k_{10}]; k_{13} = \dot{x}_{ad} [k_8 - k_{11}]; \\ k_{14} &= \dot{x}_{ad} [k_8 - k_9]. \end{aligned}$$

Согласно системе уравнений (5) производные потокосцеплений имеют вид

$$p \dot{\Psi}_f = \dot{U}_f + k_{16} i_d + k_{17} \dot{\Psi}_{kd} - k_{15} \dot{\Psi}_f;$$

$$\begin{aligned}
p\dot{\Psi}_{kd} &= k_{19}i_d + k_{20}\dot{\Psi}_f - k_{18}\dot{\Psi}_f; \\
p\dot{\Psi}_{kd} &= k_{22}i_q + k_{21}\dot{\Psi}_{kq}
\end{aligned}
\tag{2.5}$$

$$\begin{aligned}
k_{15} &= \dot{r}_f k_6; k_{16} = \dot{r}_f k_7; k_{17} = \dot{r}_f k_8; \\
k_{18} &= \dot{r}_{kd} k_9; k_{19} = \dot{r}_{kd} k_{10}; k_{20} = \dot{r}_{kd} k_{11}; \\
k_{21} &= \frac{\dot{r}_{kq}}{\dot{x}_{kq}}; \quad k_{22} = \frac{\dot{r}_{kq}\dot{x}_{aq}}{\dot{x}_{kq}}.
\end{aligned}$$

Воспользовавшись рассмотренными зависимостями, запишем уравнение напряжения

$$\dot{U}_d = i_d[\dot{r}_a + k_{12}p] + \dot{E}_d, \text{ где } \dot{E}_d = k_{13}\dot{\Psi}_f - k_{14}\dot{\Psi}_{kd} - \dot{\omega}_1\dot{\Psi}_q$$

Тогда переходная функция с учетом последнего уравнения напряжения выглядит

$$\frac{i_d}{\dot{U}_d - \dot{E}_d} = \frac{1/\dot{r}_a}{T_d p + 1}, \text{ где } T_d = \frac{k_{12}}{\dot{r}_a}
\tag{2.6}$$

Подобным образом формируется переходная функция по оси q :

$$\begin{aligned}
i_{kq} &= k_{23}\dot{\Psi}_{kq} - k_{24}i_q, \dot{\Psi}_q = k_{26}\dot{\Psi}_{kq} - k_{25}i_q; \\
k_{23} &= \frac{1}{\dot{x}_{kq}}, k_{24} = \frac{\dot{x}_{aq}}{\dot{x}_{kq}}, k_{25} = \dot{x}_q - \dot{x}_{aq}k_{24}, k_{26} = \dot{x}_{aq}k_{23};
\end{aligned}$$

$$\frac{i_q}{\dot{U}_q - \dot{E}_q} = \frac{1/\dot{r}_a}{T_q p + 1},$$

$$\text{где } T_q = \frac{k_{25}}{\dot{r}_a}, \dot{E}_q = k_{26} p \dot{\Psi}_{kq} + \dot{\omega}_1 \dot{\Psi}_d$$

(2.7)

Для завершения построения модели синхронного двигателя следует привести уравнение механической части в виду:

$$\begin{cases} \dot{M}_e = \dot{\Psi}_d i_q - \dot{\Psi}_q i_d ; \\ \dot{M}_e - \dot{M}_c = T_m p \dot{\omega}_1 ; \\ T_m = \frac{j \omega_b}{M_b p_n} , \end{cases}$$

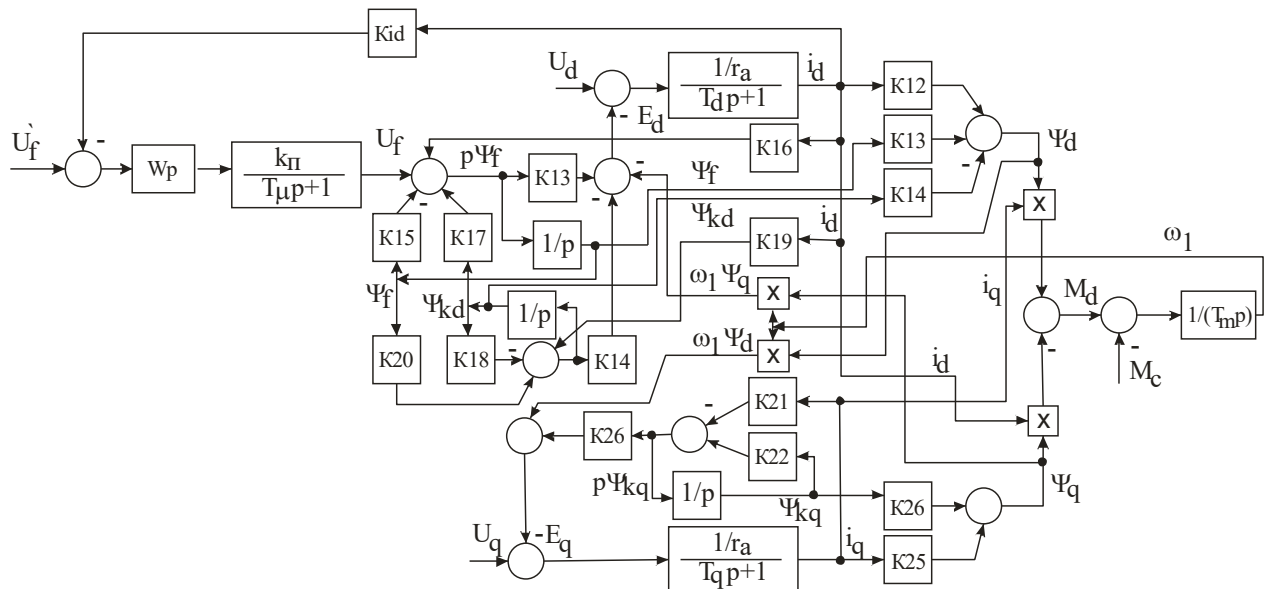
где M_e, M_c - моменты двигателя и статической нагрузки, о.е. ; T_m - механическая постоянная времени, о.е. ; j - момент инерции системы, о.е.; p_n - количество пар полюсов; M_b, ω_b - базовые момент и частота вращения.

Откуда получена переходная функция

$$\frac{\dot{\omega}_1}{\dot{M}_e - \dot{M}_c} = \frac{1}{T_m p} .$$

(2.8)

На базе полученной математической модели построена структурная схема двигателя, к контуру возбуждения которой добавлено блоки преобразователя напряжения, регулятора тока по оси d и усилителя обратной связи (Рис.2.1).



W_p - переходная функция регулятора;
 k_p, T_μ - параметры преобразователя напряжения;
 K_{id} - коэффициент усиления обратной связи

Рис. 2.1. Структурная схема системы регулирования тока i_d .

Для синтеза регулятора желаемого контура задействована его переходная функция, которая настроенная на модульный оптимум.

$$W = \frac{1}{2T_{\mu}[T_{\mu}p+1]}. \quad (2.9)$$

Для такого случая регулятор имеет пропорционально интегральную структуру

$$W_p = \frac{T_{dp}+1}{yT_{\mu}p}, y = \frac{2 \cdot k_p \cdot k_{13} \cdot k_{id}}{\dot{r}_a}. \quad (2.10)$$

2.2. Исходные данные и принятые базовые величины.

Исходя из теоретической выкладки пункта 2.1 параметры будущей модели опираются для электродвигателя по пунктам

Расчет параметров синхронного двигателя

Паспортные данные:

$S_n = 4700000$; $P_n = 4000000$; $U_n = 6000$; $I_n = 451$; $f = 50$; $\cos\varphi_n = 0,9$; $n_n = 75$

Реактивные сопротивления (в Ом)

$X_s = 0,53$	Рассеивания обмотки статора
$X_1 = X_s$	Реакции статора по продольной оси
$X_d = 3,4$	Реакции статора по поперечной оси
$X_q = 2,45$	Рассеивания обмотки возбуждения
$X_{fs} = 1,12$	Переходное сопротивление по продольной оси
$X_d' = 1,34$	Переходное сопротивление по поперечной оси
$X_d'' = 0,85$	Сверхпереходное сопротивление по продольной оси
$X_q'' = 0,854$	

Постоянные времени (в с):

$$T_d' = 0,91$$

Обмотки возбуждения при замыкании статора и размыкания демпферной обмотки

$$T_q'' = 0,015$$

Демпферной обмотки при замкнутом статоре

$$T_{do}'' = 0,019$$

Демпферной обмотки при замкнутом возбуждении и разомкнутом статоре

Активные сопротивления обмоток:

$$R_{15} = 0,055$$

Сопротивление фазы статора при 15 С

Другие исходные данные:

$$GD_2 = 1000000$$

Маховый момент

$$I_{vn} = 270$$

Номинальный ток возбуждения

$$U_{vn} = 240$$

Номинальное напряжение возбуждения

$$U_{vm} = 360$$

Максимальное напряжение возбуждения

Для конкретной мельницы:

$$R_{dob} = 1,6$$

Разрядное сопротивление

$$J_{mm} = 387225$$

Непереведенный момент инерции механизма

$$I_z = 10,0805$$

Передаточное число зацепления

$$C = 6067093$$

Жесткость муфты

$$\Psi = 0,77$$

Коэффициент поглощения для зубчатого зацепления

Расчет параметров модели

Базовый ток:	$I_b = I_n \cdot \sqrt{2}$	$I_b = 637.8$
Базовое напряжение:	$U_b = U_n \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$U_b = 4898.9$
Базовая мощность:	$P_b = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n$	$P_b = 4686929.4$
Базовая частота:	$f_b = f$	$f_b = 50$
Базовая частота вращения:	$\omega_b = 2 \cdot \pi \cdot f$	$\omega_b = 314.1$
	$p = 60 \cdot \frac{f_b}{n_n}$	$p = 40$
Базовая угловая частота вращения:	$\Omega_b = \frac{\omega_b}{p}$	$\Omega_b = 7.8$
Базовый момент:	$M_b = \frac{P_b}{\Omega_b}$	$M_b = 600888.3$
Базовое сопротивление:	$Z_b = \frac{U_b}{I_b}$	$Z_b = 7.6$
Базовая индуктивность	$L_b = \frac{Z_b}{\Omega_b}$	$L_b = 0.9$
Базовое потокосцепление:	$\Psi_b = \frac{U_b}{\omega_b}$	$\Psi_b = 15.5$
Базовый срок:	$t_b = \frac{1}{\omega_b}$	$t_b = 0.003$
	$\varphi_b = \omega_b \cdot t_b$	$\varphi_b = 0.9$
Момент инерции двигателя:	$J_d = 250000$	$J_d = 250000$
Приведенный момент инерции механизма:	$J_m = 350000$	$J_m = 350000$

Относительная жесткость муфт для модели:	$C_o = \frac{C}{64888.695187}$	$C_o = 93.5$
Постоянная инерции двигателя:		
в секундах	$T_{dv} = J_d \cdot \frac{\Omega b^2}{P_b}$	$T_{dv} = 3.2$
в относительных единицах	$T_{dvo} = \frac{T_{dv}}{t_b}$	$T_{dvo} = 1066.6$
Постоянная инерции механизма:		
в секундах	$T_m = J_m \cdot \frac{\Omega b^2}{P_b}$	$T_m = 4.5$
в относительных единицах	$T_{mo} = T_m \cdot \omega_b$	$T_{mo} = 109935000$
Частота собственных колебаний двухмассовой системы:	$\Omega_0 = \sqrt{C \cdot \frac{J_d + J_m}{J_d \cdot J_m}}$	$\Omega_0 = 6.4$
Относительный коэффициент демпфирования для модели:	$\beta = \frac{C \cdot \Psi}{2 \cdot \pi \cdot \Omega_0} \cdot \frac{\Omega b^2}{P_b}$	$\beta = 456004.4$
Индуктивное сопротивление реакции статора в относ. ед.	$x_d = \frac{X_d}{Z_b}$	$x_d = 0.4$
Индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси в Ом:	$X_{ad} = X_d - X_1$	$X_{ad} = 2.87$
в относ. ед.:	$x_{ad} = \frac{X_{ad}}{Z_b}$	$x_{ad} = 0.37$
Индуктивное сопротивление обмотки возбуждения в Ом:	$X_f = \frac{X_{ad}^2}{X_d - X_{d'}}$	$X_f = 3.99$

в относ. ед.:

$$x_f = \frac{X_f}{Z_b} \quad x_f = 0.52$$

Переходное индуктивное сопротивление обмотки возбуждения в Ом:

$$X_f = X_f - \frac{X_{ad}^2}{X_d} \quad X_f = 1.56$$

в относ. ед.:

$$x_f = \frac{X_f}{Z_b} \quad x_f = 0.2$$

Приведенное активное сопротивление обмотки возбуждения в Ом:

$$R_f = \frac{X_f}{\omega_b \cdot T_d'} \quad R_f = 0.005$$

в относ. ед.:

$$r_f = \frac{R_f}{Z_b} \quad r_f = 0.0007$$

Индуктивное сопротивление рассеивания демпферной обмотки по продольной оси в Ом:

$$X_{eds} = X_{fs} \cdot X_{ad} \cdot \frac{(X_d'' - X_s)}{(X_s - X_d'')(X_{fs} + X_{ad}) + X_{ad} \cdot X_{fs}}$$

$X_{eds} = 0.46$

в о.е.:

$$x_{eds} = \frac{X_{eds}}{Z_b} \quad x_{eds} = 0.06$$

Индуктивное сопротивление демпферной обмотки по продольной оси в Ом:

$$X_{ed} = X_{ad} + X_{eds} \quad X_{ed} = 3.33$$

в о.е:	$x_{ed} = \frac{X_{ed}}{Z_b}$	$x_{ed} = 0.43$
Переходное индуктивное сопротивление демпферной обмотки по продольной оси в Ом:	$X_{ed}' = X_{ed} - \frac{X_{ad}^2}{X_f}$	$X_{ed}' = 1.26$
в о.е:	$x_{ed}' = \frac{X_{ed}'}{Z_b}$	$x_{ed}' = 0.16$
Активное сопротивление демпферной обмотки по продольной оси в Ом:	$R_{ed} = \frac{X_{ed}'}{\omega_b \cdot T_{do}''}$	$R_{ed} = 0.21$
в о.е:	$red = \frac{R_{ed}}{Z_b}$	$red = 0.027$
Реактивное сопротивление демпферной обмотки по поперечной оси в Ом:	$X_{aq} = X_q - X_s$ $X_{eq} = \frac{X_{aq}^2}{X_q - X_q''}$	$X_{eq} = 2.3$
в о.е:	$x_{eq} = \frac{X_{eq}}{Z_b}$	$x_{eq} = 0.3$
Сверхпереходное сопротивление индуктивной демпферной обмотки по поперечной оси в Ом:	$X_{eq}'' = X_{eq} - \frac{X_{aq}^2}{X_q}$	$X_{eq}'' = 0.79$
в о.е:	$x_{eq}'' = \frac{X_{eq}''}{Z_b}$	$x_{eq}'' = 0.1$
Активное сопротивление демпферной обмотки по поперечной оси в Ом:	$R_{eq} = \frac{X_{eq}''}{\omega_b \cdot T_q''}$	$R_{eq} = 0.16$
в относ. ед.:	$req = \frac{R_{eq}}{Z_b}$	$req = 0.022$

Остальные параметры

$$D = x_d \cdot x_f \cdot x_{ed} - x_{ad}^2 \cdot (x_d + x_f + x_{ed}) + 2 \cdot x_{ad}^3 \quad D = 0.008$$

$$x_d'' = \frac{D}{x_f \cdot x_{ed} - x_{ad}^2} \quad x_d'' = 0.09$$

$$x_f' = \frac{D}{x_d \cdot x_{ed} - x_{ad}^2} \quad x_f' = 0.22$$

$$x_{ed}'' = \frac{D}{x_f \cdot x_{ed} - x_{ad}^2} \quad x_{ed}'' = 0.11$$

$$x_{ded}'' = \frac{D}{x_f \cdot x_{ed} - x_{ad}^2} \quad x_{ded}'' = 0.14$$

$$x_{fed}'' = \frac{D}{x_f \cdot x_{ed} - x_{ad}^2} \quad x_{fed}'' = 0.72$$

$$x_{fd}'' = \frac{D}{x_{ed} \cdot x_{ad} - x_{ad}^2} \quad x_{fd}'' = 0.36$$

$$x_q = \frac{X_q}{Z_b} \quad x_q = 0.32$$

$$x_{aq} = \frac{(X_q - X_s)}{Z_b} \quad x_{aq} = 0.25$$

$$x_q'' = \frac{x_q \cdot x_{eq} - x_{aq}^2}{x_{aq}} \quad x_q'' = 0.134$$

$$x_{qeq}'' = \frac{x_q \cdot x_{eq} - x_{aq}^2}{x_{aq}} \quad x_{qeq}'' = 0.134$$

Не приведенное сопро-

тивление

обмотки возбуждения

в Ом:

$$R_{f2} = \frac{U_{vn}}{I_{vn}} \quad R_{f2} = 0.88$$

Коэффициент приведе-
ния сопротивления:

$$K_r = \frac{R_f}{R_{f2}} \quad K_r = 0.005$$

Коэффициент приведе-
ния тока:

$$K_i = \sqrt{\frac{3 \cdot K_r}{2}} \quad K_i = 0.086$$

Коэффициент приведения напряжения:	$K_u = \frac{K_r}{K_i}$	$K_u = 0.057$
Напряжение возбуждения приведенное к статору:	$U_f = U_{vn} \cdot K_u$	$U_f = 13.68$
в о.е:	$u_{f0} = \frac{U_f}{U_b}$	$u_{f0} = 0.002$
Максимальное напряжение форсировки, приведенное	$u_{fm} = U_{vm} \cdot \frac{K_u}{U_b}$	$u_{fm} = 0.004$
Добавочное сопротивление обмотки возбуждения:	$r_{df} = R_{dob} \cdot \frac{K_r}{Z_b}$	$r_{df} = 0.001$
Относительное активное сопротивление статора:	$r_a = \frac{1.32 \cdot R_{15}}{Z_b}$	$r_a = 0.009$
Относительный номинальный момент нагрузки:	$M_{cno} = \frac{P_n}{\frac{\Omega_b}{M_b}}$	$M_{cno} = 0.85344$

2.3. Методика определения параметров системы.

Расчет параметров модели

$x_d = 0.4$	$x_q = 0.32$	$x_{ad} = 0.37$	$x_{aq} = 0.25$	$x_{ed} = 0.43$
$x_{eq} = 0.3$	$x_f = 0.52$	$r_f = 0.0007$	$r_{ed} = 0.027$	$r_{eq} = 0.022$

В о.е.

$$k_{01} = \frac{1}{x_{ed}} \quad k_{01} = 2.32$$

$$k_{02} = \frac{x_{ad}}{x_{ed}} \quad k_{02} = 0.86$$

$$k_{03} = x_{ad} - x_{ad} \cdot k_{02} \quad k_{03} = 0.0518$$

$$k_{04} = x_{ad} - x_{ad} \cdot k_{02} \quad k_{04} = 0.2018$$

$$\begin{aligned}
k_{05} &= x_{ad} \cdot k_{01} & k_{05} &= 0.85 \\
k_{06} &= \frac{1}{k_{02}} & k_{06} &= 4.95 \\
k_{07} &= \frac{k_{03}}{k_{04}} & k_{07} &= 0.25 \\
k_{08} &= \frac{k_{05}}{k_{04}} & k_{08} &= 4.21 \\
k_{09} &= k_{01} + k_{02} \cdot k_{08} & k_{09} &= 5.94 \\
k_{10} &= k_{02} - k_{02} \cdot k_{07} & k_{10} &= 0.64 \\
k_{11} &= k_{02} \cdot k_{06} & k_{11} &= 4.25 \\
k_{12} &= x_d - x_{ad} \cdot (k_{08} + k_{08}) & k_{12} &= 0.07 \\
k_{13} &= x_{ad} \cdot (k_{06} - k_{11}) & k_{13} &= 0.25 \\
k_{14} &= x_{ad} \cdot (k_{08} - k_{09}) & k_{14} &= -0.64 \\
k_{15} &= r_f \cdot k_{06} & k_{15} &= 0.00347 \\
k_{16} &= r_f \cdot k_{07} & k_{16} &= 0.00018 \\
k_{17} &= r_f \cdot k_{08} & k_{17} &= 0.00295 \\
k_{18} &= r_{ed} \cdot k_{09} & k_{18} &= 0.16 \\
k_{19} &= r_{ed} \cdot k_{10} & k_{19} &= 0.01728 \\
k_{20} &= r_{ed} \cdot k_{11} & k_{20} &= 0.11475 \\
k_{21} &= \frac{r_{ed}}{x_{eq}} & k_{21} &= 0.09 \\
k_{22} &= \frac{r_{eq} \cdot x_{aq}}{x_{eq}} & k_{22} &= 0.0225 \\
k_{23} &= \frac{1}{x_{eq}} & k_{23} &= 3.33 \\
k_{24} &= \frac{x_{aq}}{x_{eq}} & k_{24} &= 0.83 \\
k_{25} &= x_q - x_{aq} \cdot k_{24} & k_{25} &= 0.1125 \\
k_{26} &= x_{aq} \cdot k_{23} & k_{26} &= 0.8325 \\
T_{dd} &= \frac{k_{12}}{r_a \cdot 1} & T_{dd} &= 7.7
\end{aligned}$$

$T_{qq} = \frac{k_{25}}{ra \cdot 1}$	$T_{qq} = 12..5$	
$T_{mm} = Jd \cdot \frac{\omega b^2}{Mb \cdot p}$	$T_{mm} = 1641882.6$	
$k_{\pi} = \frac{ufm \cdot Ub}{10}$	$k_{\pi} = 1.95$	Коэффициент преобразователя
$T_{\mu} = \frac{0.05}{tb}$	$T_{\mu} = 16.6$	Постоянная времени преобраз., о.е.
$k_{id} = \frac{5}{0.6 \cdot Ub}$	$k_{id} = 0.0017$	Обратная связь за током id
$y = \frac{2 \cdot k_{\pi} \cdot k_{13} \cdot k_{id}}{ra}$	$y = 0.18417$	
$k_p = \frac{T_{dd}}{y \cdot T_{\mu}}$	$k_p = 2.51863$	Пропорциональная часть регулятора
$k_i = \frac{1}{y \cdot T_{\mu}}$	$k_i = 0.32709$	Интегральная часть регулятора
$k_{zi} = k_{15}$	$k_{zi} = 0.00347$	усиление задатчика интенсивности

ВЫВОДЫ

1. Поскольку известные модели синхронного привода не позволяют синтезировать регулятор напряжения на обмотке возбуждения выведена оригинальная модель СД для случаев синхронного управления.

2. Пользуясь заводским расчетным формуляром двигателя, стало возможно осуществить выбор соответствия базовых величин и на их основе осуществить расчет параметров модели.

ГЛАВА 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

3.1 Разработка и построение модели

Согласно предложенной структуре (Рис. 2.1) рассчитана и построена Matlab модель серийного синхронного двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4. Предыдущими исследованиями установлено, что определенные по классической методике коэффициенты усиления регулятора возбуждения, работа которых стабилизирует ток i_d , создают условия для частичной колебательности системы.

Кроме того, выявлено, что значительное влияние на колебательность системы пропорциональная часть регулятора не создает. В отличие от пропорциональной, интегральная часть при уменьшении коэффициента усиления дает удовлетворительный результат компенсации колебательности тока якоря. Цикл исследований (Рис. 3.1.) позволил определить коэффициент коррекции интегральной части регулятора на уровне 0,22 единицы, благодаря чему стало возможным существенно уменьшить размах и время продолжительности переходного процесса тока

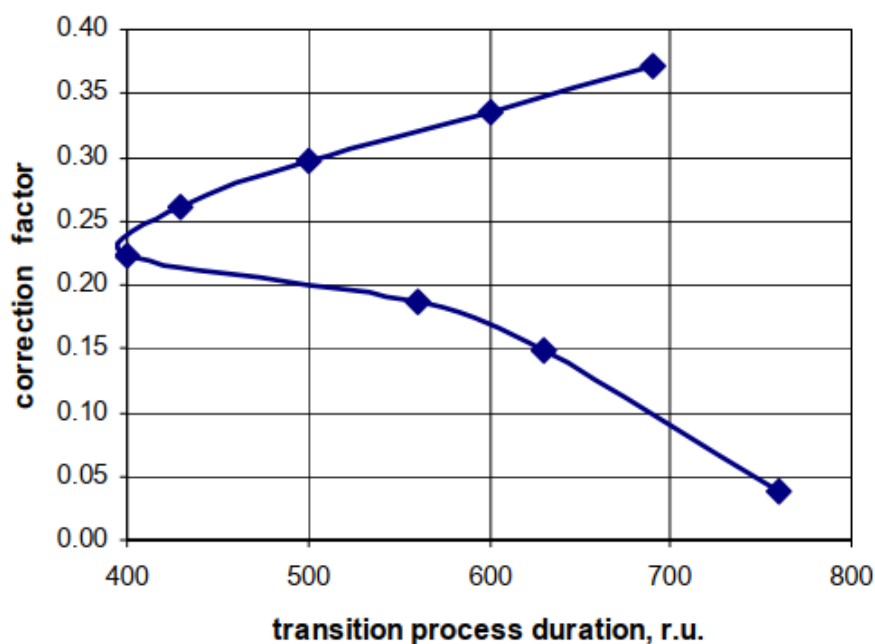


Рис. 3.1. Определение коэффициента коррекции интегральной части регулятора

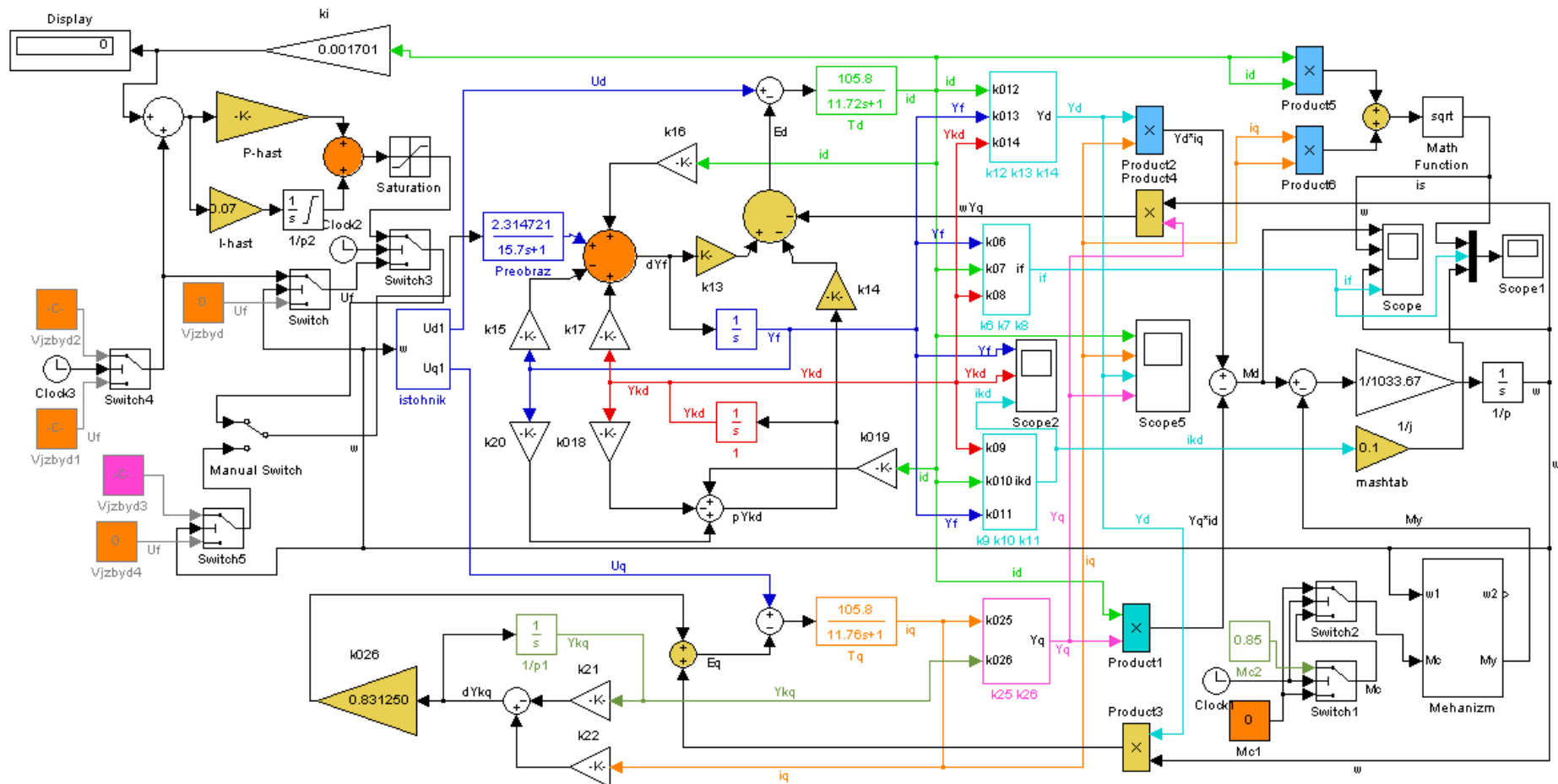
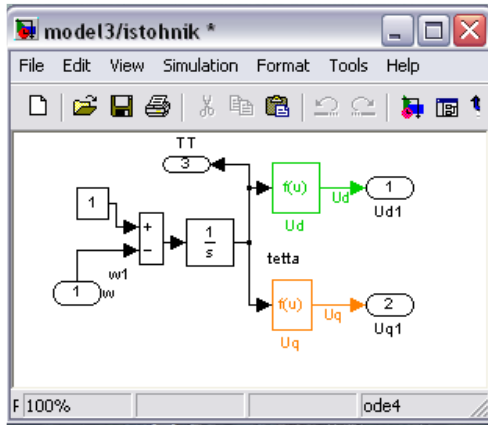
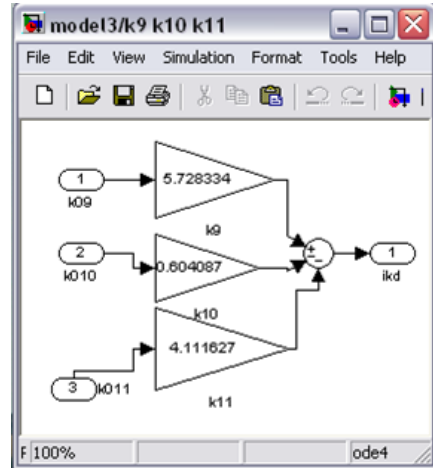


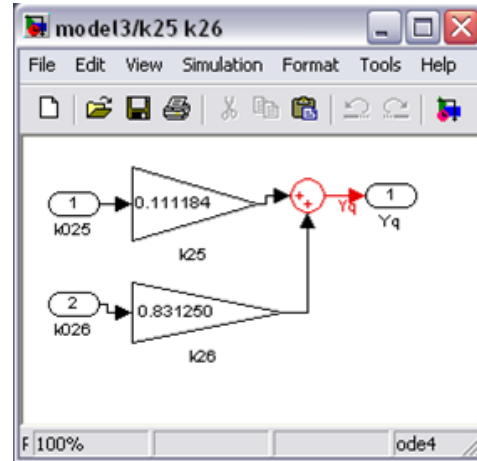
Рис. 3.2. Структурная схема системы



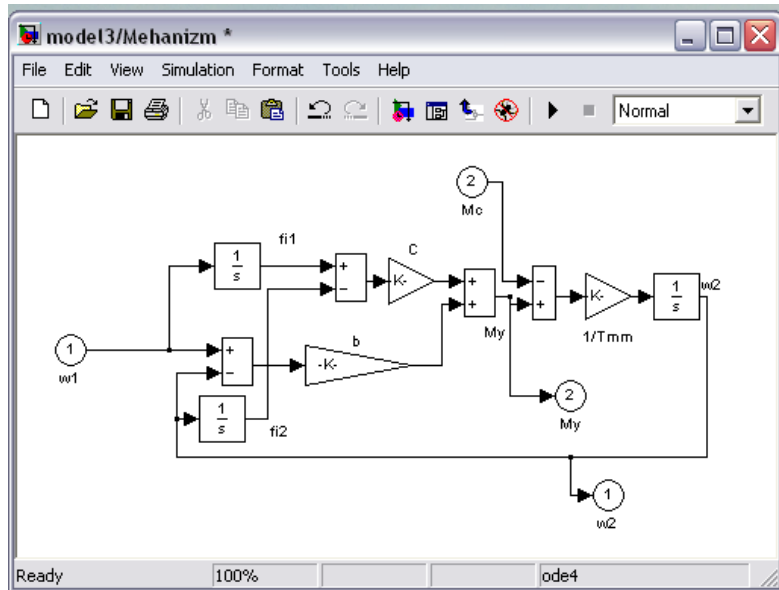
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.3. Структурная схема частных случаев системы :

а) - источник питания; б) – ключи k9, k10, k11; в) - ключи k25, k26; г) – рабочий механизм;

Уменьшение динамики системы (Рис. 2.1.) на подготовительном этапе к появлению возмущения достигнуто за счет установки на входе узла ввода задачи на возбуждение задатчика интенсивности, коэффициент усиления которого на время текущих исследований принято равным контурной коэффициенту k_{15} расчета потокосцепления возбуждения.

При определении необходимого уровня форсировки возбуждения было установлено, что при достижении некоторого уменьшенного значения динамического тока якоря его пиковый максимум начинает расти (Рис. 3.4.), из-за чего дальнейшее стремление к минимизации параметра форсирования теряет смысл.

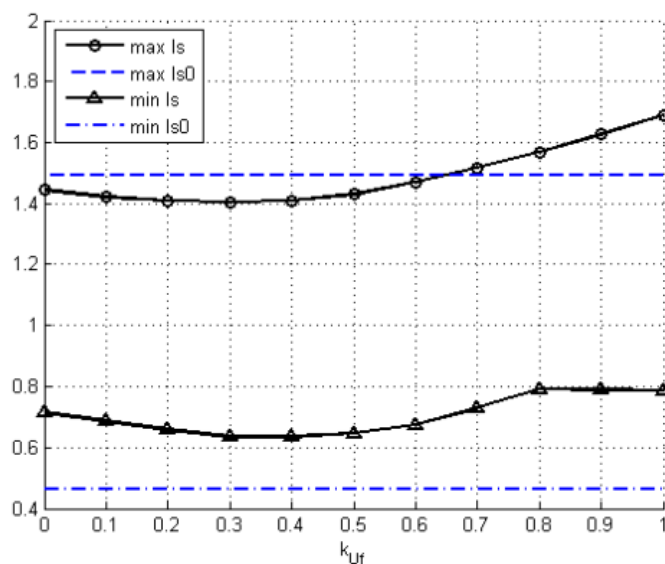


Рис. 3.4. Определение максимально возможного уровня форсировки возбуждения

max Is0, min Is0 - ток якоря стандартного возбуждения, о.е.;
 max Is, min Is - ток якоря нового возбуждения, о.е.;
 kuf - кратность задачи на форсирование тока

Подход к определению временных интервалов регулирования возбуждения следует разделить соответственно на время заблаговременного форсирования для гарантированного достижения определенного уровня тока якоря перед моментом прокатки и время одного полупериода его максимального колебания с момента вовлечения детали в валки.

Очевидно, что продолжительность форсирования зависит от быстродействия роста тока в обмотке возбуждения. Можно считать, что гарантированная продолжительность форсирования будет достаточной для любых случаев нагрузки при ее соблюдении на уровне пяти постоянных обмотки возбуждения. Понятно, что в случае использования избыточного срока может возникнуть перегрев двигателя. Поэтому это время предлагается оптимизировать

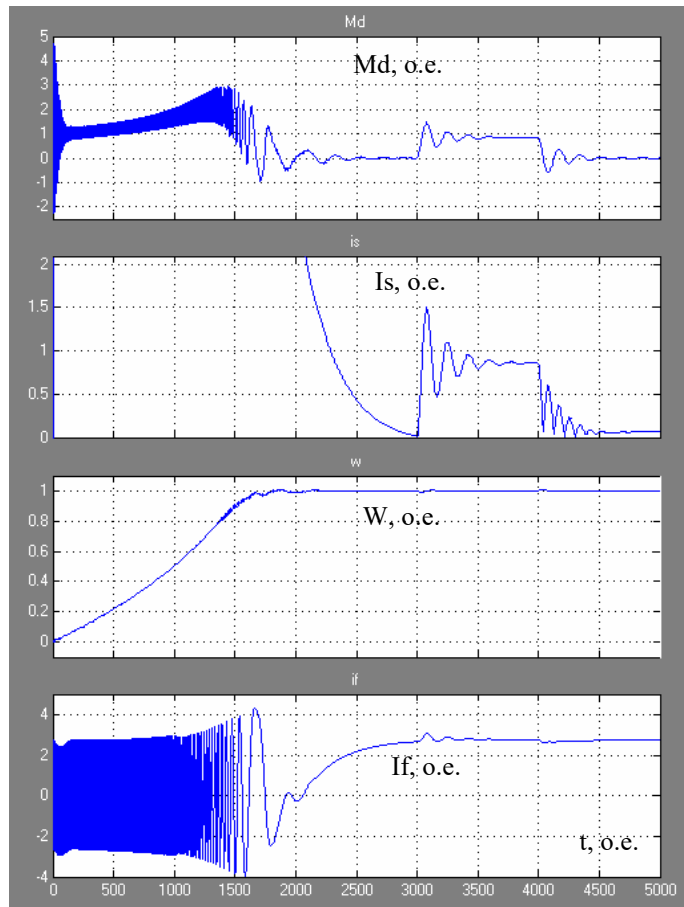
методом источника [15]. По определению времени одного полупериода максимальной колебательности, которая собственно плюсуется к времени форсирования, и является пределом, после которого задание на реактивный ток сбрасывается в нулевое состояние, то он может быть рассчитан через частоту собственных колебаний системы.

Предложенный алгоритм управления возбуждением будет неполным, если не рассмотреть процесс пуска двигателя. В данном случае начало запуска практически не отличается от стандартного метода. Напротив, синхронизация включенного регулирования продольного тока якоря может сделать невозможным успешное завершение этого процесса из-за наличия положительной обратной связи и использования в системе задатчика интенсивности. Поэтому такой способ управления возбуждением предусматривает введение в работу регулятора при отсутствии на нем задачи и при разгруженном двигателе и только после завершения синхронизации, которую нужно осуществлять с номинальным напряжением возбудителя.

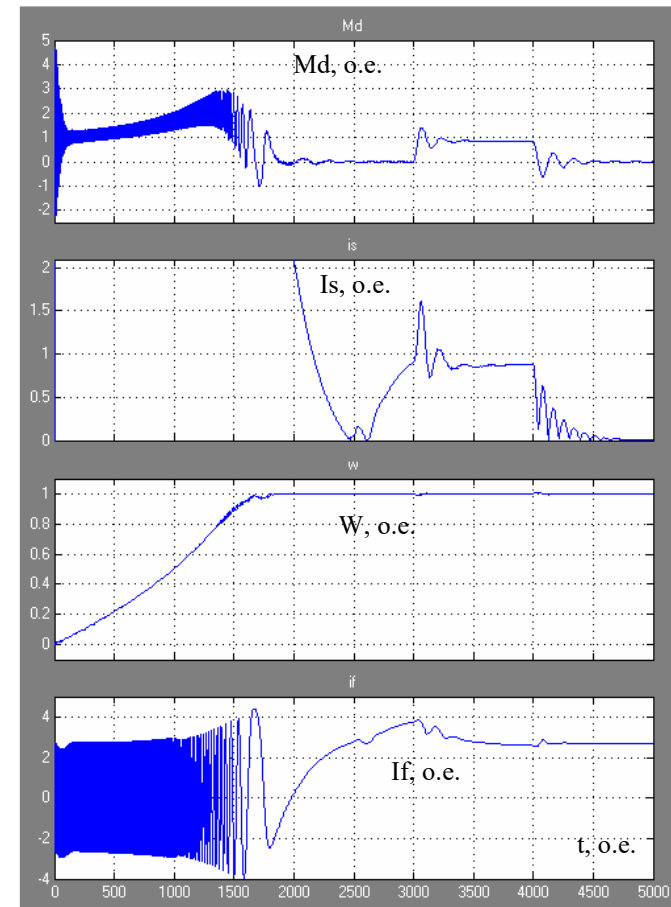
3.2 Анализ предварительных результатов исследований.

Система электропривода и нестандартный алгоритм управления возбуждением испытан на модели, результат действия которой показано на Рис. 3.3. Ее запуск производился за счет демпферной обмотки, а процесс синхронизации - путем подачи напряжения в обмотку возбуждения при достижении скорости вращения двигателя на уровне 0,95 от номинальной. Регулятор при задании 0,8 максимального форсирования включался после завершения переходного процесса в контуре возбуждения в момент времени 8 с (Рис. 3.5).

Через 0,5 сек. с момента наброса нагрузки задания на ток статора по оси d была уменьшена до нуля, что соответствует завершению времени действия максимального всплеска тока якоря. Сброс статического момента выполнено через 3 с.



а



б

M_d – электромагнитный момент двигателя, о.е. (относительные единицы);

i_s – ток якоря, о.е.; w – скорость вращения выходного вала двигателя, о.е.; i_f – ток обмотки возбуждения, о.е.

Рис. 3.5. Результаты сравнительного моделирования: а) – классическая система;

б) – новая система возбуждения.

Анализ полученных зависимостей позволяет утверждать, что в момент приложения нагрузки изменение тока якоря уменьшилась примерно втрое, всплеск его максимума вырос почти на 3%, а продолжительность переходного процесса сократилась на 34%. При снятии нагрузки характер изменения тока практически одинаков для обоих вариантов

3.3 Аппаратная реализация системы возбуждения

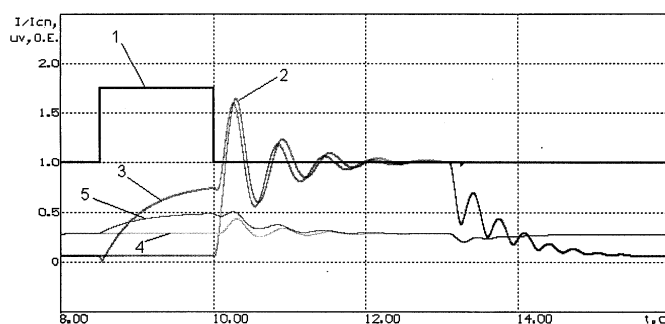
Техническим решением проблемы динамических усилий в статорной обмотке приводного двигателя может выступить система упреждающей форсировки.

Как было показано, в начальный момент приложения нагрузки (вход заготовки в валки) электродвигатель работает с ослабленным полем, что обуславливает значительный бросок тока. Для уменьшения величины динамического тока, и следовательно, производной усилия в обмотках, следует возбудить приводной двигатель заблаговременно до подачи заготовки.

Процессы при упреждающей форсировке были исследованы с помощью разработанной модели системы. На Рис. 3.6. показаны переходные процессы в двух случаях (с форсировкой и без).

Напряжение обмотки возбуждения (кривая 1) форсируется внешним заданием только до подачи нагрузки, с момента приложения нагрузки в действие вступает штатная система автоматического регулирования тока возбуждения.

В традиционной системе управления автомат-станом при нагружении управлением и без него:



- 1-напряжение возбуждения;
- 2-ток статора в системе без упреждающей форсировки;
- 3-ток статора в системе с упреждающей форсировкой;
- 4-ток возбуждения в системе с упреждающей форсировкой;
- 5-ток возбуждения в системе без упреждающей форсировки.

Рис. 3.6. Переходные процессы приводного СД с упреждающим [1] ток статора достигает пикового значения за 0,3 сек (кривая 2), при этом до

приложения момента сопротивления ток в обмотке возбуждения (ОВ) остается номинальным (кривая 4). Высокая интенсивность нарастания тока вызвана ударным приложением момента нагрузки и приводит к значительным электродинамическим нагрузкам в обмотках. Последние определяются квадратом динамического тока. Характер переходного процесса зависит от постоянных времени СД.

Из полученных графиков видно, что предварительное форсирование обмотки возбуждения не приводит к значительному уменьшению пикового тока (кривая 3). Однако плавное увеличение тока статора, в результате форсирования ОВ, позволяет снизить динамический ток при захвате трубы валками. Ток статора плавно нарастает, и к моменту подачи нагрузки достигает значения $0,78 I_N$, что составляет 46% пикового значения тока ($1,7 I_N$).

Форсирование напряжения возбуждения ($U_{B \max} = 1,75 U_{вн}$) следует начинать не позднее чем за 1,5 сек до момента входа заготовки в валки (величина рассчитана как три постоянных времени обмотки возбуждения $T_d=0,5$ сек). Больше время упреждения нецелесообразно.

При таком способе управления снижаются электродинамические усилия в обмотках, поскольку ограничивается темп нарастания динамического тока. Функциональная схема системы упреждающей форсировки показана на Рис. 3.7.

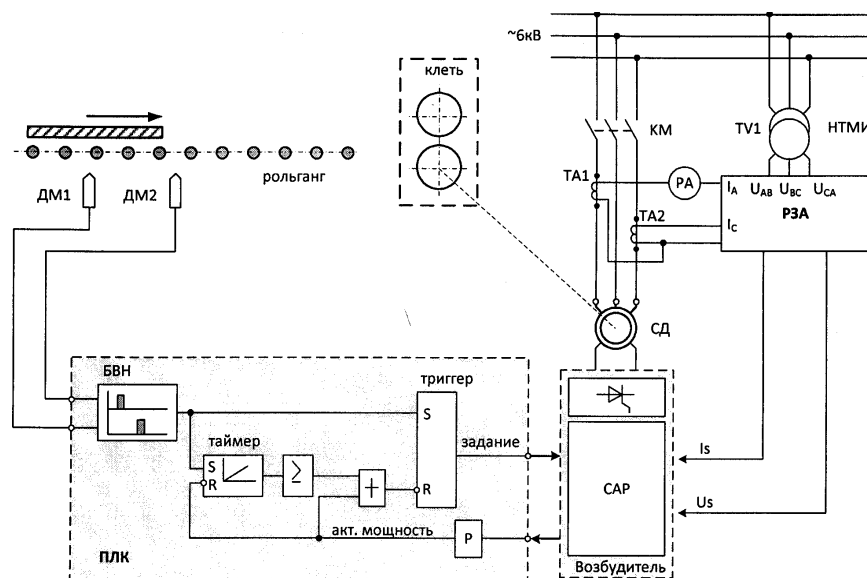


Рис. 3.7. Функциональная схема системы упреждающей форсировки [1]

Основой системы является интеллектуальный модуль - программируемый логический контроллер (ПЛК), корректирующий задание на ток возбуждения приводного двигателя.

Входными сигналами ПЛК являются сигналы от датчиков наличия металла ДМ1 и ДМ2. Использование двух смещенных в пространстве датчиков повышает надежность системы, позволяет определить направление и скорость заготовки для корректного расчета времени форсировки.

Программный блок вычисления направления (БВН) выдает сигнал при движении заготовки по направлению к клетке с требуемой задержкой времени.

Выходной сигнал этого блока активирует триггер задания и одновременно запускает программный таймер. Таймер используется для снятия внешнего сигнала форсировки по истечении уставки (≈ 15 сек) в том случае, если по каким-то причинам заготовка не попала в клетку и штатная система форсировки не была активирована.

В нормальном режиме работы для сброса триггера задания (и таймера) используется сигнал активной мощности, потребляемой приводным двигателем. Наличие этого сигнала свидетельствует о начале прохода заготовки, в ходе которого активируется штатная система форсировки в возбудителе. Сигнал активной мощности может быть получен либо из возбудителя, либо рассчитан по сигналам тока и напряжения статора, получаемым с трансформатора НТМИ.

ВЫВОДЫ

1. Очевидно, что управляемым магнитным потоком возбуждения при набросе нагрузки осуществить компенсацию пикового тока якоря достаточно сложно. Поэтому для эффективного противодействия последствиям ударных нагрузок автоматическая система возбуждения должна обеспечить отличные свойства работы на интервалах максимального возмущения и остаточной колебательности тока якоря.

2. Несмотря на то, что максимальное возмущения - это самая составляющая, которая разрушает изоляцию катушек якоря, ограничить ее влияние возможно путем уменьшения перепада тока в момент приложения нагрузки. Для реализации этого следует до начала прокатки в срок пяти постоянных времени обмотки возбуждения [15] увеличить задание на ток с продольной осью до уровня 0,8 от максимального форсирования, а после завершения действия удара (достаточная продолжительность 0.5 с.) сбросить его в нуль, что в дальнейшем обеспечит работу привода в энергосберегающем режиме. При этом величина форсирования возбуждения лимитируется, с одной стороны, получением минимума перепада тока якоря, а с другой - ограничением экстремума на уровне не выше величины максимума характерного для классической системы возбуждения при одинаковых условиях работы.

ЭКОНОМИЧЕСКА ЧАСТЬ

4.1. Введение

В дипломном проекте разработана система автоматизации возбуждения с нестандартным алгоритмом управления мощных синхронных приводов механизмов горно-металлургического комплекса, характеризующиеся периодическими ударными нагрузками.

Практическое значение результатов проектирования заключается в использовании предложенного метода, что позволит создать автоматическую систему возбуждения мощных синхронных двигателей, благодаря которой можно увеличить межремонтный срок работы синхронного привода, повышение безопасности эксплуатации и срока службы системы. Кроме того выбрана система привода, обеспечивающая уменьшение расходов на вынужденные простои технологического оборудования и снижения финансовых затрат на ремонт. Согласно исходных данных рассчитаны параметры системы.

Для установления экономических преимуществ внедрения частотного электропривода установки необходимо опеределить:

- объем капитальных затрат;
- сумму эксплуатационных расходов;
- показатели экономической эффективности

4.2. Расчет капитальных затрат

Капитальные вложения – это денежные средства, предназначенные для создания и приобретения основных фондов и нематериальных активов, подлежащих амортизации.

Капитальные затраты по реализации проектного технического решения могут включать:

- затраты на приобретение оборудования, техники, технологии, технических средств контроля и учета расходования ресурсов, приборов диагностики состояния оборудования и т. д.;
- затраты, связанные с выполнением монтажно-наладочных работ, также относимые к капитальным;

Проектные капиталовложения определяются на основе договорных цен на электрооборудование, расценок на выполнение монтажных и наладочных работ и других исходных данных, собранных на предварительном этапе.

При определении величины проектных капиталовложений ($K_{пр}$) можно воспользоваться формулой:

$$K_{пр} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр}, \quad (4.1)$$

где $K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right)$ – стоимость приобретения электрооборудования по проекту, необходимого для реализации принятого технического решения;

k – количество необходимых комплектующих элементов;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготовительные и складские расходы;

$Z_{м}$ – затраты на монтажные работы;

$Z_{н}$ – затраты на наладочные работы;

$Z_{пр}$ – прочие единовременные вложения денежных средств.

Сводка капитальных затрат

Таблица 4.1

№ п/п	Наименование комплектующих изделий	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.
1	синхронный двигатель СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4	1		
2	Преобразователь частоты SIEMENS Sinamics G130 6SL33101GF347AA3	1	757656	757656
3	Оптический датчик OSH AF47A5-43P-LZ	1	2804	2804
ВСЕГО				760460

Расходы на монтажные работы (B_m)

Таблица 4.2

Наименование расходов	Ед. изм.	Обозначение	Значение
Численность работников		$Ч$	5
Часовая тарифная ставка монтажника третьего разряду	грн/час	a	36,5
Время для выполнения работ	час	t	16
Коэффициент, учитывающий размер доплат		K_d	1,27
Коэффициент, учитывающий отчисления на социальные мероприятия		K_{cm}	1,22
Коэффициент, учитывающий прочие расходы		K_{np}	1,05

Совершенствование тарифной системы оплаты труда в 2018 году предусматривает привязку расчета размеров должностных окладов (тарифных ставок) к прожиточному минимуму, утвержденного для трудоспособных лиц, вместо привязки их расчета к минимальной заработной платы, как это было раньше.

$$З_m = \sum(Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{сз} \cdot K_{пр} \quad (4.2)$$

$$З_m = 5 \cdot 36,5 \cdot 16 \cdot 1,27 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 4750 \text{ грн.},$$

где Ч – численность работников 3 разряда, необходимых для выполнения определенного объёма монтажных (наладочных) работ, чел.

а – часовая тарифная ставка 3 разряда, грн.

t – время, необходимое для выполнения определенного объёма монтажных (наладочных) работ, час.

K_d – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{см}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий прочие затраты на осуществление монтажных (наладочных) работ.

Расходы на наладочные работы (B_n)

Таблица 4.3

Наименование расходов	Ед. изм.	Обозначение	Значение
Численность работников		$Ч$	2
Часовая тарифная ставка рабочего четвертого разряда	грн/час	A	40
Время для выполнения работ	час	t	10
Коэффициент, учитывающий размер доплат		K_d	1,27

Коэффициент, учитывающий отчисления на социальные мероприятия		$K_{сз}$	1,22
Коэффициент, учитывающий прочие расходы		$K_{пр}$	1,05

$$Z_H = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{сз} \cdot K_{пр} \quad (4.3)$$

$$Z_H = 2 \cdot 10 \cdot 40 \cdot 1,27 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1301,5 \text{ грн ,}$$

где Ч – количество лиц необходимых для монтажа и наладки оборудования;

а – часовая тарифная ставка инженера-наладчика, 4-го разряда, грн / час;

t – время, необходимое для монтажа и наладки оборудования, ч;

K_d – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{сз}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{иш}$ – коэффициент учитывает другие расходы на осуществление работ.

Транспортно-заготовительные и складские расходы рассчитываем согласно прейскуранта цен фирмы «Transportica» по состоянию на 05.12.2018

Тоннаж: 1 т

Расстояние по маршруту: 1681 км

Ориентировочная стоимость перевозки:

$$Z_{гзс} = 30394 \text{ грн}$$

$$K_{пр} = 760460 + 4750 + 1301,5 + 30394 = 796906 \text{ грн} \quad (4.1)$$

4.3. Расчет эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы – это текущие затраты на эксплуатацию и обслуживание объекта проектирования за определенный период (год), выраженные в денежной форме.

К основным статьям эксплуатационных расходов по электротехническому оборудованию относятся:

- амортизационные отчисления (C_a);
- заработная плата обслуживающего персонала ($C_з$);
- отчисления на социальные мероприятия от заработной платы (C_c);
- затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования (C_T);
- стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования ($C_э$);
- прочие эксплуатационные расходы ($C_{пр}$).
- Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составят:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_э + C_{пр}, \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Расчет эксплуатационных расходов ведется по проектному и базовому вариантам параллельно.

4.3.1. Расчет амортизационных отчислений

Годовой фонд амортизационных отчислений определяется в процентах от суммы капитальных затрат для проектного варианта и по данным предприятия о балансовой стоимости заменяемого оборудования для базового варианта. Результаты расчета амортизационных отчислений приведены в таблице 4.2.

$$C_a = K \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.5)$$

где H_a – норма амортизации для заменяемого оборудования (группа 4 основных средств в Налоговом Кодексе Украины по состоянию на 01.01.2018).

Для расчета норм амортизации используем прямолинейный метод. Норма амортизации для проектного и базового вариантов составляет:

$$N_a = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\% \quad (4.6)$$

Расчет амортизационных отчислений Таблица 4.4

Наименование	Капитальные расходы, грн.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, грн
Проектный вариант	796905	20	159381
Базовый вариант	758957	20	151791

4.3.2. Расчет годового фонда заработной платы

Расчет годового фонда заработной платы осуществляется по категориям персонала (рабочие, РСС), обслуживающего объект проектирования, в соответствии с их численностью, режимом работы, часовыми тарифными ставками, должностными окладами, применяемыми на предприятии формами и системами оплаты труда и премирования.

Основная заработная плата работников – это вознаграждения за выполненную работу в соответствии с установленными нормами труда (нормы времени, выработки, обслуживания, должностные обязанности). Она определяется тарифными ставками и сдельными расценками для рабочих, должностными окладами для специалистов, служащих и руководителей.

Дополнительная заработная плата – это вознаграждение за работу сверх установленных норм, за особые условия труда. К дополнительной заработной плате относятся премии, связанные с выполнением производственных заданий и функций, доплаты и надбавки, гарантийные и компенсационные выплаты, предусмотренные действующим законодательством. Поскольку проектное

оборудование не нуждается в постоянном контроле и достаточно уделять около одного часа обзор обслуживанию в течение недели.

$$T_{\text{НОМ}} = 52 \cdot 1 = 52 \text{ час.} \quad (4.7)$$

Таблица 4.5

№ п/п	Наименование профессий работников	Учетная штат, чел.	Часовая тарифная ставка, грн.	Номинальный годовой фонд рабочего времени, ч.	Основная зарплата по тарифу, грн.
1.	Электрослесарь	1	31,4	52	1632,8
2.	Наладчик	1	40	52	2080

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала определяется в размере 10-15% от основной заработной платы.

Таким образом, общая величина годового фонда заработной платы составляет:

$$C_z = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

$$C_{z \text{ пр}} = 2080 + 312 = 2392 \text{ грн}$$

$$C_{z \text{ бз}} = 1632,8 + 244,9 = 1877,7 \text{ грн.}$$

где $Z_{\text{осн}}$, $Z_{\text{доп}}$ – основная и дополнительная заработная плата соответственно, грн.

4.3.3. Расчет отчислений на социальные мероприятия

Отчисления на социальные мероприятия (единый социальный взнос) определяются на основании установленного действующим законодательством процента от суммы основной и дополнительной заработной платы

$$C_c = C_z \cdot 22\% \quad (4.9)$$

$$C_{c \text{ пр}} = 2392 \cdot 0,22 = 526,24 \text{ грн}$$

$$C_{c \text{ бз}} = 1877,7 \cdot 0,22 = 431,09 \text{ грн.}$$

4.3.4. Определение годовых затрат на техническое обслуживание

Годовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт электротехнического оборудования включают затраты в основном на запасные части и определяются по данным предприятия.

Расходы на текущий ремонт электротехнического оборудования можно рассчитать по формуле:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right), \quad (4.10)$$

где R - часовая ставка рабочих, выполняющих ремонт, грн;

t - трудоемкость одного ремонта (для среднего принимаем 7 ч / ед.)

m - количество ремонтов в год;

R_Σ - суммарная категория сложности ремонта (принимаем 10);

S - стоимость однотипных заменяемых элементов, грн;

Π - количество однотипных заменяемых элементов, грн;

T - средний срок службы деталей одного типа, ч;

T_φ - число часов работы оборудования в год, часов

В свою очередь эффективный фонд рабочего времени оборудования ТЕ-Фопределяется как календарный фонд времени T_к(В 2018 году - 116 дней), а также времени простоя оборудования в планово предупредительных работ.

Число часов работы в год составляет 249 · 8 = 1992 час.

(245 рабочих дней, смена 8:00, работа в 1 смену)

Время на проведение ремонтных предупредительных работ

$$T_{п.рем.} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ часов.}$$

Техническая остановка механизма примерно 1 час. в смену есть 249 часов.

Общее время работы оборудования составляет:

$$T_p = 1992 - 48 - 245 = 1695 \text{ час.} \quad (4.11)$$

Проектные расходы:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{т.р.}} &= \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi} \right) = \\
 &= \left(31,4 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 10 + \frac{2804 \cdot 2}{8475} \cdot 1695 \right) + \\
 &+ \left(40 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 10 + \frac{75600}{16950} \cdot 1695 \right) = 16479,6 \text{ грн}
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

Базовые расходы:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{м.р.}} &= \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi} \right) = \\
 &= \left(31,4 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 10 + \frac{2804 \cdot 2}{8475} \cdot 1695 \right) + \\
 &+ \left(31,4 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 10 + \frac{75600}{16950} \cdot 1695 \right) = 13077 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

4.3.5. Расчет стоимости потребленной электроэнергии

Стоимость электроэнергии, потребляемой электроприводом подачи в течение года, определяется исходя из его установленной мощности и годового фонда рабочего времени токарного станка по формуле:

$$C_{\text{э}} = W_{\text{р}} \cdot C_{\text{е}}, \quad \text{грн}, \tag{4.12}$$

$$W_{\text{р}} = N_{\text{у}} \cdot T_{\text{н}} \cdot K_{\text{инт}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}$$

где $N_{\text{у}}$ – установленная мощность оборудования;

$T_{\text{н}}$ – номинальное время работы оборудования за год;

$K_{\text{инт}}$ – интегральный коэффициент использования мощности.

$$\begin{aligned}
 T_{\text{эф}} &= T_{\text{кал}} - T_{\text{нероб}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{техн}} = 365 \text{ дней} \cdot 8 \text{ часов в смену} \cdot 3 \text{ смены} - \\
 &- 115 \text{ дней} \cdot 8 \text{ часов в смену} \cdot 3 \text{ смены} - 6 \text{ дней} \cdot 8:00 \text{ в смену} \cdot 3 \text{ смены} - \\
 &- 246 \text{ дней} \cdot 1:00 \text{ в смену} \cdot 3 \text{ смены} = 8760 - 2760 - 144 - 738 = \\
 &= 5118 \text{ часов}
 \end{aligned}$$

Количество электроэнергии, потребляемой внедряются объектом за год:

$$W_{p \text{ бз}} = 4000 \cdot 5118 \cdot 0,9 = 18424800 \text{ кВт}$$

$$W_{p \text{ пр}} = 4000 \cdot 5118 \cdot 0,8 = 16377600 \text{ кВт} \quad (4.13)$$

где W_r – количество потребленной за год электроэнергии:

21 – количество рабочих дней в месяц (дней);

6 – количество рабочих месяцев в году (мес.);

8 – количество рабочих часов в смену (час);

4000 – мощность электродвигателя (кВт);

$\text{Ц}_\text{э} = 1.64 \text{ грн}$ – тариф на электроэнергию, по состоянию на 1 июня 2017 года, (грн/кВт·ч), без НДС. источник информации: «ДТЭК Днепрооблэнерго»

$$C_{\text{е бз}} = 18424800 \cdot 1,968 = 36260006,4 \text{ грн/год} \quad (4.14)$$

$$C_{\text{е пр}} = 16377600 \cdot 1,968 = 32231116,8 \text{ грн/год}$$

4.3.6. Определение прочих расходов

Прочие расходы по эксплуатации объекта проектирования включают затраты по охране труда, на спецодежду и пр. Согласно практике, эти расходы определяются в размере 4% от годового фонда заработной платы обслуживающего персонала

И составляют:

$$C_{\text{иш бз}} = 1877,7 \cdot 0,04 = 75,1 \text{ грн} \quad (4.15)$$

$$C_{\text{иш пр}} = 2392 \cdot 0,04 = 95,68 \text{ грн}$$

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{пр}} &= C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{\text{иш}} = \\
 &= 159381 + 2392 + 526,24 + 16479,6 + 32231116,8 + 95,68 \\
 &= 32409991,32 \text{ грн}
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
 C_{\text{баз}} &= C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{\text{иш}} = \\
 &= 151791 + 1877,7 + 431,09 + 13077 + 36260006,4 + 75,1 \\
 &= 36427258,29 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

4.4. Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования.

Полная годовая экономия от внедрения варианта определяется с учетом эксплуатационных затрат по данному объекту:

$$E_{\text{кн}} = E_{\pm} \Delta C, \text{ грн} \tag{4.16}$$

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}} = 36427258,29 - 32409991,32 = 4017266,97 \text{ грн}$$

$$E_{\text{кн}} = 796906 + 4017266,97 = 4814173 \text{ грн}$$

где ΔC – экономия (перерасход) на эксплуатационных расходах.

4.5. Определение и анализ показателей экономической эффективности.

Коэффициент эффективности (доходности) капитальных затрат E_p показывает, сколько гривен дополнительной прибыли (экономии) приносит одна гривна капитальных затрат:

$$E_p = E/K = 4814173 / 796906 = 0,6 \text{ доли ед.}, \tag{4.17}$$

где E – общая годовая экономия от внедрения объекта проектирования, грн.;

K – капитальные затраты по варианту, вызвавшие экономию, грн.

Срок окупаемости капитальных затрат T_p показывает, за сколько лет они окупятся за счет общей экономии от внедрения варианта:

$$T_p = K/E_{кп} = 796906/4814173 = 1,6 \text{ лет} \quad (4.18)$$

Проект (проектный вариант) капитальных вложений признается целесообразным, поскольку:

$$E_p > E_k; \quad (4.19)$$

$$0,6 > E_k.$$

Вариант признается экономически целесообразным, так как расчетный коэффициент эффективности превышает величину банковской кредитной ставки:

$$E_p > (N_{кр} + N_{инф})/100 \quad (4.20)$$

$$0,6 > (19 + 12)/100 = 0,31$$

где $N_{кр}$ – банковская кредитная ставка, %;

$N_{инф}$ – годовой уровень инфляции, %.

Вариант признается экономически целесообразным, поскольку расчетный коэффициент эффективности превышает годовой уровень доходности базового варианта:

$$E_p > (N_{деп} - N_{инф})(1 - N_{пр}/100)/100, \quad (4.21)$$

$$0,6 > (23 - 12)(1 - 19/100)/100 = 0,089,$$

где $N_{деп}$ – годовая депозитная ставка, %;

$N_{инф}$ – годовой уровень инфляции, %;

$N_{пр}$ – ставка налога на прибыль, %.

Нормативное значение коэффициента эффективности можно определить также исходя из приемлемой для предприятия индивидуальной нормы доходности:

$$E_n = 1/T_{ож} = 1/5 = 0,2 \quad (4.22)$$

где $T_{ож}$ – ожидаемый, приемлемый для предприятия срок окупаемости капитальных вложений, лет.

При этом вариант признается экономически целесообразным при условии

$$E_p > 1/T_{ож} \quad (4.23)$$

$$1,6 > 0,2$$

Из сравниваемых вариантов выбирается тот, который обеспечивает наибольшее значение E_p . Целесообразнее выбрать проектный вариант, расчетный срок окупаемости капитальных затрат T_p которого составляет:

$$T_p = 1,6 \text{ лет.}$$

Сравнительная оценка технико-экономических показателей Таблица 4.6

№з/ п	Наименование показателей	Единицы из- мерения	Базовый (альтерна- тивный) вариант	Проектный вариант	Изменения по сравне- нию с аль- тернативным вариантом
					±(тыс. грн)
1	2	3	4	5	6
1	Капитальные расходы	тыс. грн.	796906	758957	37948
2	Эксплуатационные расходы	тыс. грн.	36260006	32231116	4028890
	всего				
	в том числе:				
	* амортизацион- ные отчисления	тыс. грн.	151791	159381	-7590
	*заработная плата обслуживающего персонала	тыс. грн	2392	1877,7	514

	* единый социальный взнос	тыс. грн.	526,24	431,09	95,15
	* техническое обслуживание и текущий ремонт	тыс. грн.	13077	16479	-3402
	*стоимость потребляемой электроэнергии	тыс. грн.	36427258	32409991	4017266
	*Прочие расходы	тыс. грн.	95,68	75,1	20,58
3	Годовая экономия всего	тыс. грн		4814173	
4	Расчетный коэффициент эффективности	доли од.	0,6		
5	Расчетный срок окупаемости капитальных вложений	годов	1,6		
6	Экономия электроэнергии	кВт·час	18424800	16377600	2047200

ВЫВОДЫ

В экономическом разделе был проведен сбор исходной экономической информации необходимо для характеристики объекта исследования и выполнения соответствующих расчетов по определению капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Далее была выполнена аналитическая обработка исходной экономической информации и расчет для обоснования затрат по предлагаемому в дипломной работе техническому решению.

Можно сделать вывод, что за счет повышения надежности оборудования, уменьшение простоев, уменьшение потребляемой электроэнергии, снижение затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт была достигнута значительная экономия.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Разработка рекомендаций по эксплуатации синхронного двигателя главного привода автоматстана прокатки труб ООО “ИНТЕРПАЙП НИКОТЬЮБ”: отчет о НИР (заключ.) : 030383/Нац. горн.ун-т; рук. А.С. Бешта; исп.: А.В. Балахонцев, Р.А.Боровик, В.В. Барабан. – Днепр, 2013.– 34 с.
2. Малакова Е. А. Использование предразгона двигателя прокатной клетки для уменьшения динамической нагрузки / Е. А. Маклакова // Russian Is, r.u.W, r.u.Md, r.u.If, r.u.t, s.
3. Линьков С.А. Анализ систем управления синхронных электроприводов [Текст] / С.А. Линьков, А.С. Сарваров, И.В. Бачурин // ЭСиК. Серия „Теория и практика автоматизированного электропривода”. – 2014. – №2(23). – С. 25-28.
4. Слободенюк Д.В. Ємнісний накопичувальний пристрій у контурі збудження синхронної машини для форсування та гасіння поля [Текст] / Д.В.Слободенюк, О.В. Бялобржеський // Електротехніка і Електромеханіка. – 2015. – №2. – С. 16-20.
5. Шевченко І.С. Спеціальні питання теорії електропривода. Динаміка синхронного електропривода [Текст] : навч. посіб. / І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – К. : Кафедра, 2014. – 267 с.
6. Пат. 53711 Україна, МПК (2009) H02M 1/08. Спосіб стабілізації реактивної потужності синхронного генератора шляхом слідкую чого коригування його напруги збудження / В.М. Рябенський, О.О.Ушкаренко, О.Л. Білоконь; Заявник і патентовласник НУК ім. акад. Макарова. Заяв. №U201005973 від 10 лютого 2011 р.

7. Пат. 56988 Україна, МПК (2010) H02M 1/08. Спосіб послідовного коригування струму збудження синхронного генератора для стабілізації його реактивної потужності / В.М. Рябенький, О.О. Ушкаренко, О.Л. Білоконь; Заявник і патентовласник НУК ім. акад. Макарова. Заяв. №U201005970 від 10 лютого 2011 р.
8. Шурыгина Г.В. Улучшение эксплуатационных характеристик синхронных электроприводов металлургических агрегатов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Шурыгина Галина Владимировна ; Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2005. – 20 с.
9. Babaei M. Nonlinear feedback control of chaos in synchronous reluctance motor drive systems [Текст] /M. Babaei, J. Nazarzadeh, J. Faiz // IEEE International Conference. – 2008. – 4 p. doi: 10.1109/ICIT.2008.4608524.
10. Кириченко В.И. Программно управляемый возбудитель синхронных двигателей [Текст] / В.И. Кириченко, М.И. Школа, В.В. Кириченко, Р.А.Боровик // Наука та інновації. – К., 2006. – Т2.№3. – С. 28-37.
11. Задорожня И.Н. Синтез электромеханической системы предельной степени устойчивости и минимальной колебательности упругой механической подсистемы [Текст] / И.Н. Задорожня, Н.А. Задорожний // Вісник НТУ «ХП». – 2017. – 27(1249). – С. 150-155.
12. Пат. 63053 Україна, МПК (2010) H02M 1/08. Спосіб випереджаючого коригування напруги збудження генератора при роботі на асинхронний двигун / В.М. Рябенький, О.О. Ушкаренко, О.Я.Дубовик; Заявник і патентовласник НУК ім. акад. Макарова. Заяв. №U201102430 від 26 вересня 2011 р.

13. Пат. 62906 Україна, МПК (2010) H02M 1/08. Спосіб випереджаючого коригування генератором, що працює на асинхронний двигун / В.М.Рябенський, О.О. Ушкаренко, О.Я. Дубовик; Заявник і патентовласник НУК ім. акад. Макарова. Заяв. №U201100496 від 26 вересня 2011 р.

14. Пат. 62904 Україна, МПК (2010) H02M 1/08. Спосіб випереджаючого коригування генератором, що працює на асинхронний двигун / В.М.Рябенський, О.О. Ушкаренко, О.Я. Дубовик, А.В. Крилов; Заявник і патентовласник НУК ім. акад. Макарова. Заяв. №U201100491 від 26 вересня 2011 р.

15. Borodai V. Efficient Transient Modes of Synchronous Drive for Mining and Smelting Mechanisms [Текст] / V. Borodai, R. Borovyk, O. Nesterova. // Mechanics, Materials Science & Engineering. – 2017. – Vol.8. – No.8. – P. 133-142.

16. Низимов В.Б. Система векторного управління синхронним двигателем с емкостным накопителем энергии в контуре возбуждения [Текст]/ В.Б. Низимов, А.А. Снижко // Вісник СумДУ.Серія „Технічні науки”. – 2011. – №3. – С. 7-12