

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра электротехнических комплексов и материалов (ЭКМ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Эффективность применения ферромагнитных клиньев в асинхронных двигателях большой мощности

УДК 621.313.333.07.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Чередниченко Артем Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Цукублин А.Б.	К.Т.Н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	К.Э.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студент:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Чердниченко Артем Андреевич

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов.	При проведении исследования используется база лабораторий ЭНИН ТПУ; в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	Отчисления в социальные фонды - 30 % от ФОТ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциального потребителя, SWOT анализ
2. Планирование этапов и выполнения работ по НИР (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности и трудоемкости работы)	Планирование научно-исследовательских работ, определение действующих лиц, длительности и трудоемкости работ.
3. Расчет бюджета для научно-технического исследования	Определение материальных затрат НИИ, затрат на специальное оборудование, расчет основной заработной платы и накладных расходов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Диаграмма Исикавы, диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента ТПУ	Фигурко А.А.	К.Э.Н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Чердниченко А.А.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Чередниченко А.А.

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС при разработке и

эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Чередниченко А.А.		

Приложение А

The efficiency of the ferromagnetic coil braces in the high-power induction motors

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Чередниченко А.А.		

Консультант кафедры электротехнических комплексов и материалов:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цукублин А.Б.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков ЭНИН:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Федоринова З.В.	к.п.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа _____ 103 _____ с., _____ 47 _____ рис., _____ 19 _____ табл., _____ 22 _____ источника, _____ 1 _____ прил.

Ключевые слова: Асинхронный двигатель, ферромагнитный клин, магнитная индукция, вращающий момент

Объектом исследования является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором на базе 3АНГ

Цель работы – исследование влияния ферромагнитных клиньев в полуоткрытых пазах статора на энергетические показатели асинхронного электродвигателя большой мощности с короткозамкнутым ротором.

В процессе исследования проводились расчеты в программе Elcut 5.1., моделирование в Компас 3Dv15.2., расчеты в программе Ansys Maxwell

В результате исследования уменьшены пульсации магнитной индукции, момента, увеличен КПД.

Содержание

Введение.....	10
1. Объект исследования.....	11
2. Исследование магнитных полей двигателя с использованием программного продукта Elcut.....	12
2.1. Исследование магнитных полей с диэлектрическими клиньями в пазах статора.....	13
2.2. Исследование магнитных полей с ферромагнитными клиньями стандартных размеров в пазах статора.....	20
2.3. Исследование магнитных полей с модифицированными ферромагнитными клиньями в пазах статора.....	22
3.Определение энергетических характеристик с помощью Ansis Maxwel.....	25
3.1. Характеристики электродвигателя при отсутствии клина.....	28
3.2. Характеристики электродвигателя при установке в пазы статора ферромагнитных клиньев.....	31
4.Сравнение результатов полученных при расчетах.....	34
5.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	38
5.1.Предпроектный анализ.....	38
5.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	39
5.3. FAST-анализ.....	40
5.4.Диаграмма Исикава.....	41
5.5. SWOT анализ.....	43
5.6. Экономия, окупаемость и прибыль.....	44

5.7. Определение трудоемкости выполнения работ.....	45
5.8. Разработка графика проведения научного исследования.....	46
5.9. Расчет бюджета для научно-технического исследования.....	50
5.10. Сравнение исследований.....	52
6. Социальная ответственность.....	59
6.1. Производственная безопасность.....	59
6.2. Опасные факторы.....	68
6.3. Экологическая безопасность.....	73
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	78
Заключение.....	81
Приложение А	

Введение

Асинхронные электродвигатели используются во многих сферах производства, поскольку являются надежными и энергоэффективными. Они отличаются плавностью запуска, максимальной защитой от перепадов напряжения и простотой эксплуатации. Стоит обратить внимание и на коэффициент полезного действия, который имеют мощные электродвигатели – более 95%, что немаловажно для крупномасштабного производства.

В зависимости от того, в каких условиях используется асинхронные электродвигатели, выделяют следующие типы:

1. Устройства общего использования. Например, стандартный электродвигатель имеет доступную цену и применяется в обычных условиях эксплуатации.

2. Взрывозащищенные. Эксплуатируются на производствах с повышенной взрывоопасностью. Во многих случаях используются двигатели мощностью $132 \div 160$ кВт.

3. Мощностью $200 \div 560$ кВт. используются высоковольтные двигатели.

4. Двигатели механизмов. Эти устройства являются частью механизмов машин, например, используются для работы кранов.

В промышленности используют, в основном, электродвигатели большой мощности асинхронного типа. Они отличаются простой конструкцией, хорошей перегрузочной способностью и надежностью. Конечно, в зависимости от качественных характеристик, может меняться цена устройства.

В России потребление электродвигателями переменного тока составляет более 40% производимой электроэнергии. В связи с этим повышение энергоэффективности асинхронных электродвигателей переменного тока является актуальной задачей. В двигателях большой мощности обмотка выполняется из медной шины прямоугольного сечения [6], поэтому для упрощения ее укладки в статоре используются полуоткрытые пазы.

Неравномерность воздушного зазора создает пульсации магнитного потока, который, в свою очередь, приводит к появлению пульсационных потерь и, соответственно, снижению энергетических характеристик. Кроме того, пульсации магнитного потока приводят к пульсациям момента. Поэтому существует потребность в уменьшения пульсаций магнитного потока.

Целью данной работы является исследование влияния ферромагнитных клиньев в полуоткрытых пазах статора на энергетические показатели асинхронного электродвигателя большой мощности с короткозамкнутым ротором. Для этого необходимо решить ряд задач:

1. Исследовать влияние магнитного клина на пульсации магнитной индукции по длине воздушного зазора;
2. Исследовать влияние магнитного клина на пульсации момента вращения;
3. Влияние магнитного клина на энергетические показатели электродвигателя.

1.Объект исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором на базе 3АНГ производимый ОАО “ТЭМЗ”, г. Томск, со следующими параметрами:

Таблица 1 – Параметры стандартного электродвигателя

Полезная мощность, кВт	55
Частота сети, Гц	50
Число пар полюсов	4
Коэффициент полезного действия, о.е.	0,89
Коэффициент мощности	0,87
Ток холостого хода, А	16,77
Фазный ток статора, А	63,94
Пусковой ток, А	248,21
Число параллельных ветвей	1
Ширина проводника, мм ²	2,8
Высота проводника, мм ²	1,9
Внешний диаметр статора, мм	529

Продолжение таблицы 1

Внутренний диаметр статора, мм	365
Ширина воздушного зазора, мм	0,9
Диаметр вала ротора, мм	120
Длина пакета статора, мм	280
Длина пакета ротора, мм	285
Число пазов статора	72
Высота паза статора	37,6
Высота шлица паза статора, мм	1,25
Ширина шлица паза статора, мм	5,5
Диаметр паза статора у основания, мм	9,7
Диаметр паза статора у расточки, мм	11,35
Число пазов ротора	86
Высота паза ротора, мм	36,5
Высота мостика паза ротора, мм	1
Диаметр паза ротора больший, мм	5,5
Диаметр паза ротора у основания, мм	5,5
Площадь паза статора в штампе, мм ²	354

Стержни в роторе выполнены из меди, пазы в роторе закрытые, пазы в статоре полуоткрытые.

Обмотки статора крепят в пазах диэлектрическими клиньями. При использовании таких клиньев наблюдаются пульсации магнитной индукции по длине воздушного зазора и пульсации момента. Поэтому предметом исследования в данной работе будут являться пульсации магнитного потока и связанные с ним пульсации момента и магнитной индукции.

2. Исследование магнитных полей двигателя с использованием программного продукта Elcut

Для исследования и проектирования различных устройств, как например, соленоиды, электрические машины, магнитные экраны, постоянные магниты, реакторы, и тому подобные, часто применяют данные расчетов магнитного поля. Обычно при расчетах магнитного поля представляют интерес такие величины, как магнитная индукция, напряженность магнитного поля, магнитные силы и моменты, индуктивность, а также потокосцепления с различными обмотками. В многообразии программных продуктов,

используемых для решения задач магнитостатики, стоит уделить внимание компьютерной программе от российского разработчика Elcut, которая предоставляет возможности моделирования электротехнологических установок. Пакет ELCUT может применяться для решения линейных и нелинейных задач магнитостатики в плоской и осесимметричной постановке. Используется формулировка задачи относительно векторного магнитного потенциала. При постановке задачи используются следующие возможности:

1. Свойства сред: воздух, изотропные и ортотропные материалы с постоянной магнитной проницаемостью, изотропные ферромагнетики, проводники с током, линейные и нелинейные постоянные магниты.
2. Источники поля: распределенные и сосредоточенные токи или плотность тока, однородное внешнее поле и постоянные магниты.
3. Граничные условия: заданное значение потенциала (условие Дирихле), заданные значения касательной составляющей индукции (условие Неймана), условие постоянства потенциала (нулевого потока) на поверхностях сверхпроводников.
4. Результаты расчета: магнитный потенциал, магнитная индукция, напряженность магнитного поля, силы, моменты, энергия магнитного поля, потокосцепления, собственные и взаимные индуктивности.
5. Специальные возможности: Интегральный калькулятор может вычислять различные интегральные значения на определенных вами линиях и поверхностях. Магнитные силы могут быть переданы в задачу расчета механических напряжений в элементах конструкции.

2.1. Исследование магнитных полей с диэлектрическими клиньями в пазах статора

Первоначально рассмотрим диэлектрический клин, приведем расчет асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в программе Elcut 5.1. и построим график зависимости магнитной индукции по длине воздушного зазора. Чтобы реализовать эту задачу с помощью программы ELCUT, необходимо пройти следующие этапы:

2.1.1.Создание эскиза листа статора.

Чертеж выполнен в программе Compas 3D с реальными размерами электродвигателя на базе ЗАНГ и показан на рисунке 1, исходные данные для построения чертежа листа статора приведены в таблице 1.

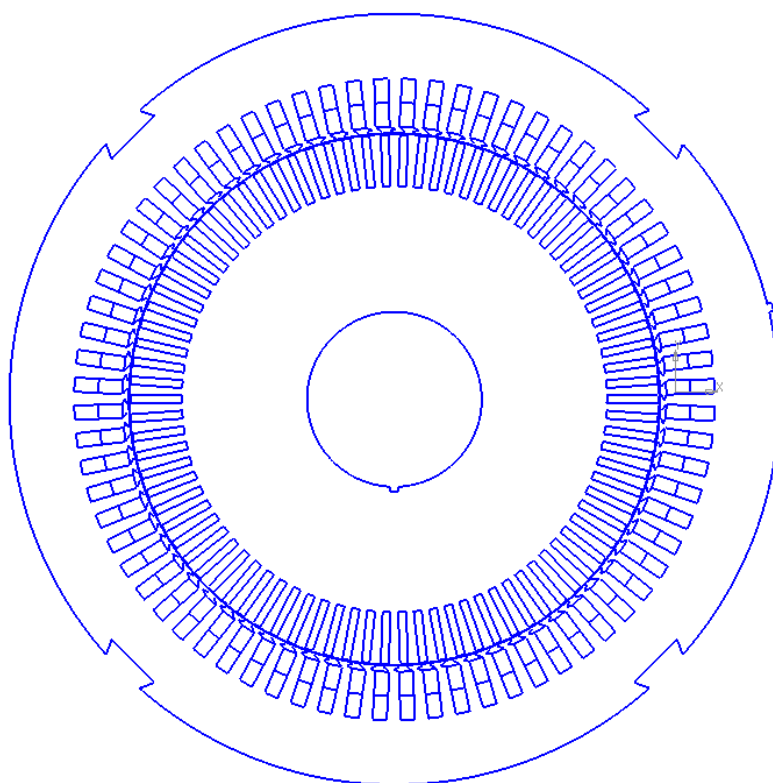


Рисунок 1 – Эскиз листов статора и ротора

2.1.2.Построение обмотки и определение направления тока.

Для построения обмотки необходимы данные, представленные в таблице 2, и некоторые расчеты, приведенные ниже.

Таблица 2 – Исходные данные для построения обмотки

Число зубцов статора	Z_1	72
Число полюсов	$2p$	8
Число фаз	m	3

Далее приведены необходимые расчеты для построения схемы-развертки обмотки.

Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{72}{8 \cdot 3} = 3;$$

Полюсное деление:

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} = \frac{72}{8} = 9;$$

Шаг фазы:

$$2q = 2 \cdot 3 = 6.$$

По полученным расчетам строим схему-развертку обмотки статора, при этом учитываем, что присутствует укорочение шага обмотки на 1 паз.

Расставляем направление тока в каждом пазе, это делается таким образом, чтобы направление тока начала и конца катушечных групп одной фазы совпадал по направлению. Направление тока необходимо для задания параметров обмотки статора.

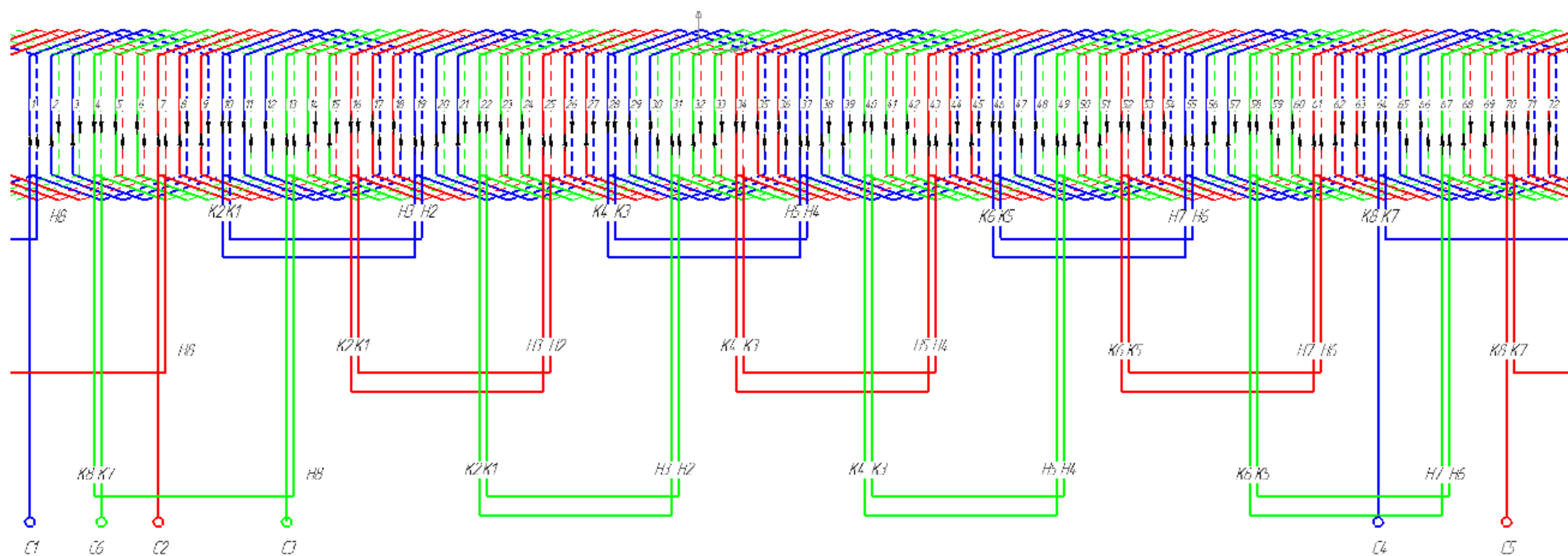


Рисунок 2 – Схема развертка обмотки статора

2.1.3. Расчет плотности тока.

Для расчета плотности тока понадобятся данные: ток холостого хода $I_0 = 16,8 \text{ А}$, и площадь паза $q_{\text{п}} = 354 \text{ мм}^2$.

Так как обмотка с укорочением, в пазу будут находиться разноименные фазы, поэтому необходимо найти плотность тока в верхней и нижней частях паза. Паз имеет прямоугольную форму, поэтому разделим площадь паза пополам, чтобы определить площадь в верхней и нижней частях паза. $q_{\text{пв}} = 177 \text{ мм}^2$, $q_{\text{пн}} = 177 \text{ мм}^2$.

Определим величину тока холостого хода в каждой из фаз. Ток холостого хода в фазе А будет равен сумме токов двух других фаз с противоположным направлением, следовательно $I_{0\text{А}} = 16,8 \text{ А}$, $I_{0\text{В}} = -8,4 \text{ А}$, $I_{0\text{С}} = -8,4 \text{ А}$.

Плотность тока в фазе А:

$$J_{\text{А}} = \frac{I_{0\text{А}}}{q_{\text{пн}}} = \frac{16,8}{177 \cdot 10^{-6}} = 94915 \frac{\text{А}}{\text{м}^2};$$

Плотность тока в фазе В:

$$J_{\text{В}} = \frac{I_{0\text{В}}}{q_{\text{пн}}} = \frac{8,4}{177 \cdot 10^{-6}} = 47457 \frac{\text{А}}{\text{м}^2};$$

Плотность тока в фазе С:

$$J_{\text{С}} = \frac{I_{0\text{С}}}{q_{\text{пн}}} = \frac{8,4}{177 \cdot 10^{-6}} = 47457 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

Плотность тока необходима для задания параметров обмотки статора.

2.1.4. Создание математической модели.

Следующим шагом является перенос чертежа из Compass 3D в Elcut, далее при решении задачи будет необходимо описать свойства сред, указать источники поля и определить граничные условия. Связь физических свойств с геометрическими объектами устанавливается путем присвоения меток геометрическим объектам при редактировании модели. Метки блоков описывают свойства материалов и нагрузок в подобластях модели, метки ребер описывают граничные условия на внешних поверхностях модели, метки

вершин описывают точечные источники поля и условия закрепления (граничные условия), приложенные к определенным точкам в модели.

В данной задаче создаются блоки: магнитопровод, клин, воздух. Происходит построение сетки конечных элементов во всех блоках, входящих в расчетную область.

Результат решения программный пакет Elcut представляет в виде картины поля.

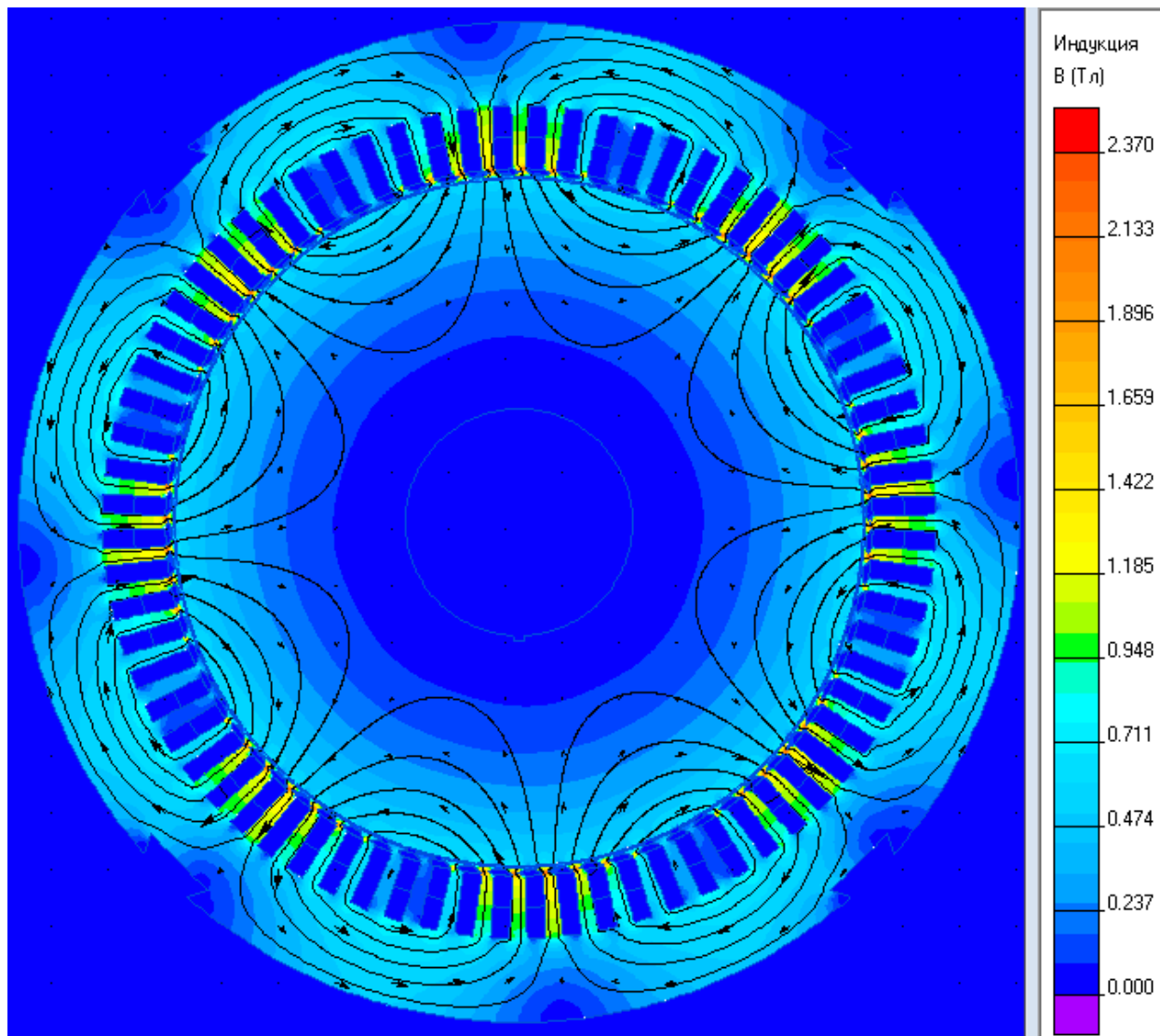


Рисунок 3 – Результат решения в программе Elcut 5.1.

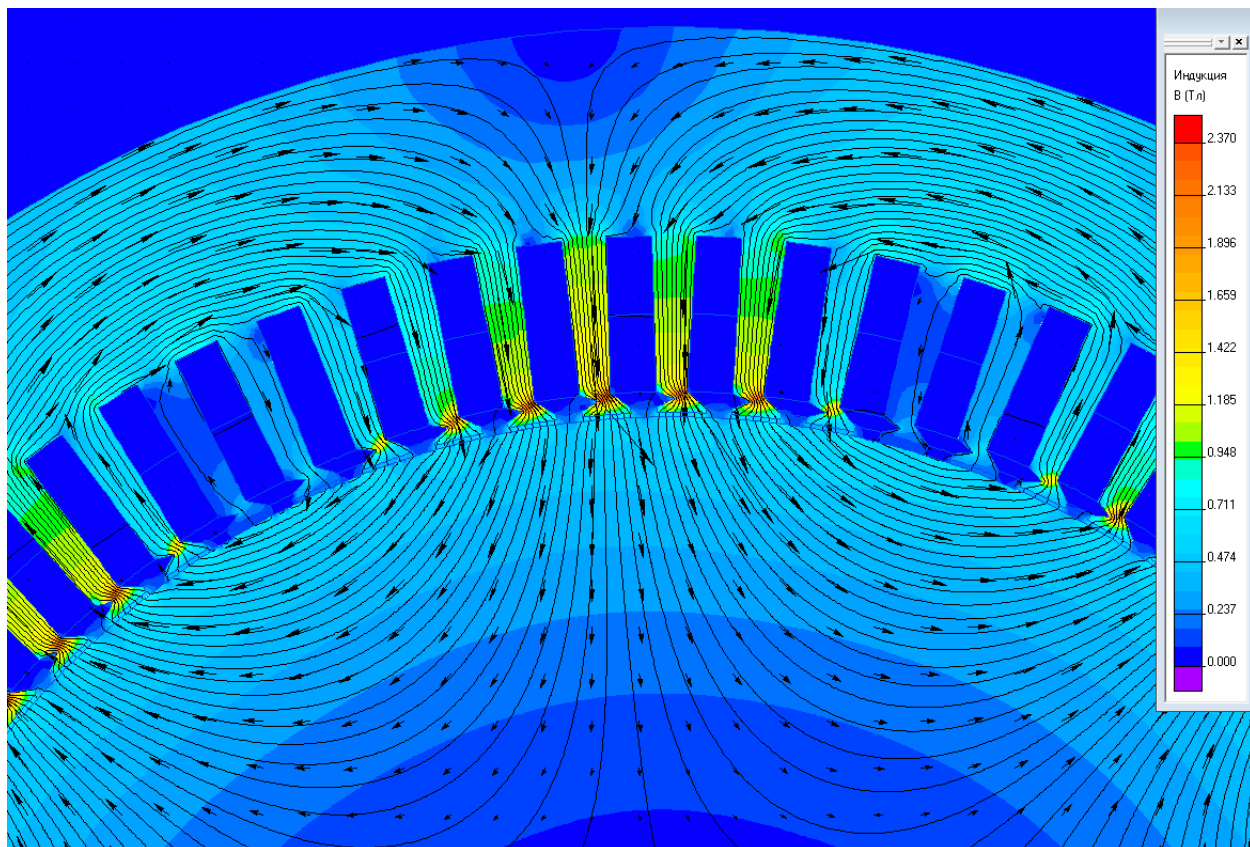


Рисунок 4 – Магнитная индукция, поток и вектора магнитной индукции при диэлектрическом клине

На рисунке можно увидеть, что магнитное поле замыкается по ярму статора, зубцам, проходит через воздушный зазор, ротор и аналогичным образом в обратном направлении, при этом не проходит через клин. Самая насыщенная часть это зубец статора в месте расположения клина, индукция в этом месте составляет 2,37 Тесла.

Для представления графика магнитной индукции, необходимо создать контур по длине воздушного зазора. Результат представлен на рисунке 5.

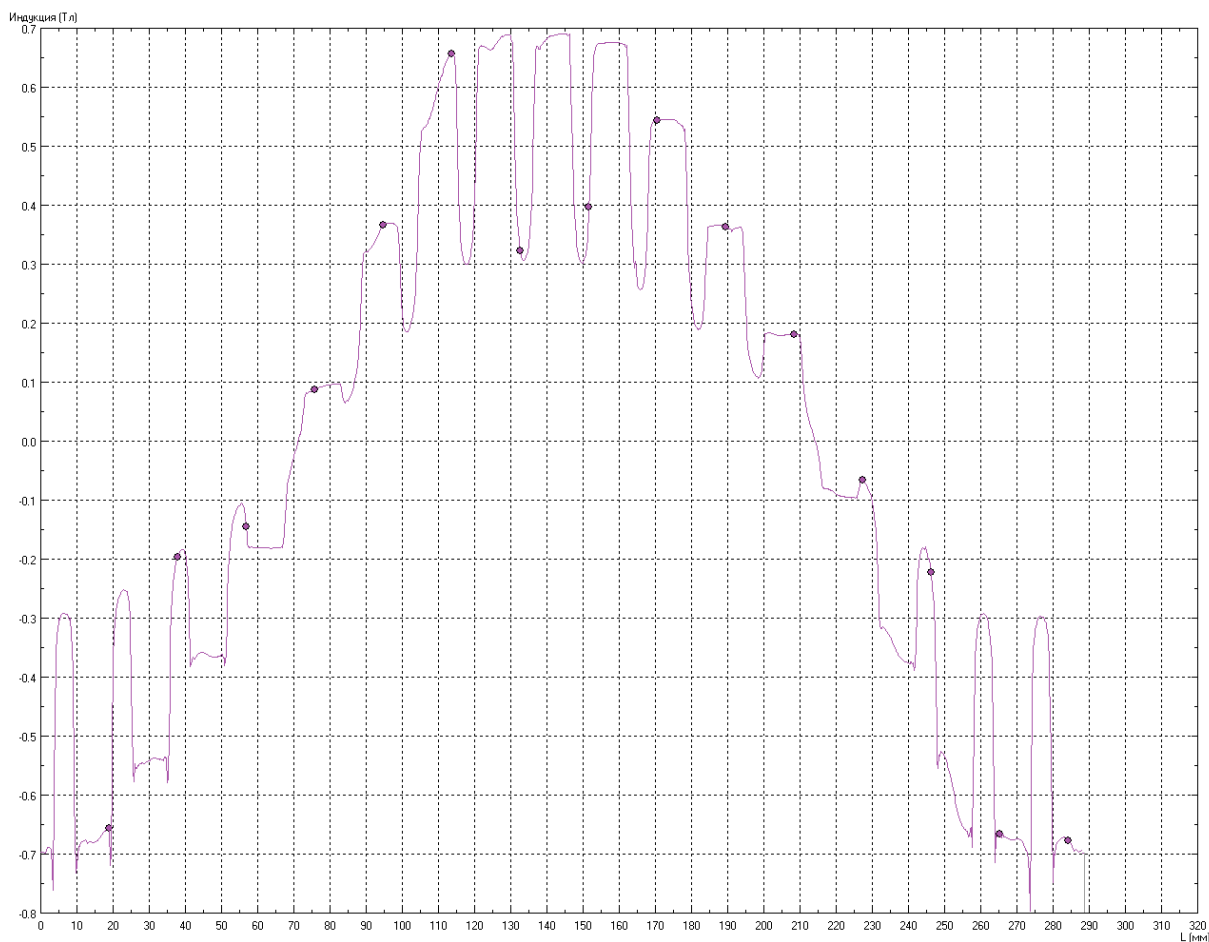


Рисунок 5 – Магнитная индукция по длине воздушного зазора при диэлектрическом клине

На графике видны пульсации магнитной индукции. Эти пульсации в среднем составляют $\Delta B=0,4$ Тл. Поэтому, для крепления данный клин подходит, но при этом будут иметь место пульсации момента.

2.2. Исследование магнитных полей с ферромагнитными клиньями стандартных размеров в пазах статора

Для решения этой задачи попробуем использовать ферромагнитный клин стандартных размеров, показанный на рисунке 6.

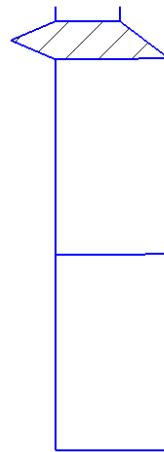


Рисунок 6 – Паз статора с ферромагнитным клином стандартных размеров

Проведем такие же расчеты, как и с диэлектрическим клином в программе Elcut 5.1. Получим график зависимости магнитной индукции по длине воздушного зазора и проанализируем его.

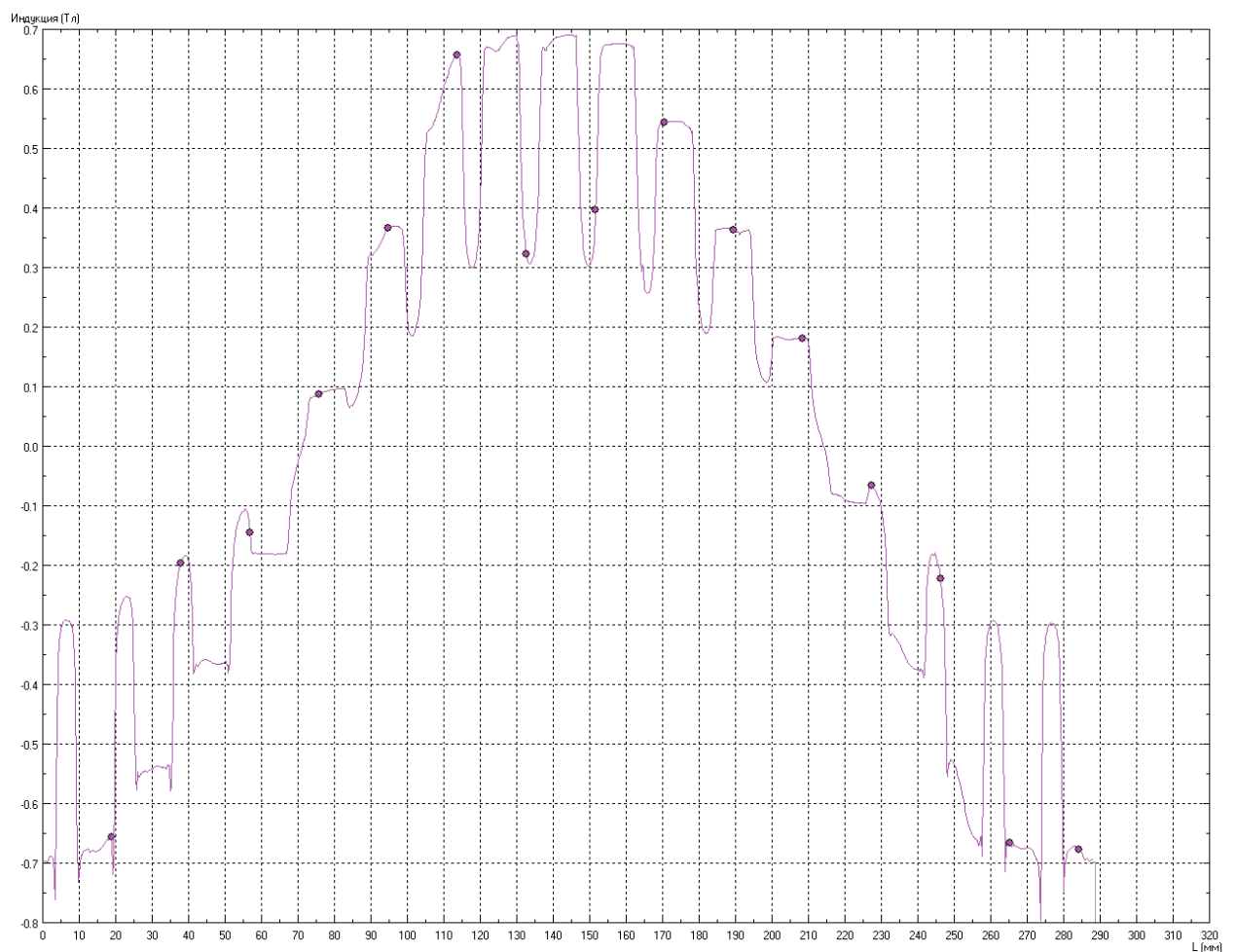


Рисунок 7 – Распределение магнитной индукции по длине воздушного зазора с использованием ферромагнитного клина стандартных размеров

Проанализировав график, можно сказать, что такая форма магнитного клина не дает необходимых улучшений, пульсации магнитной индукции по длине воздушного зазора остались почти неизменными и в среднем равны 0,4 Тл. Причина этого в том, что воздушный зазор остался неравномерным по всей длине.

2.3. Исследование магнитных полей с модифицированными ферромагнитными клиньями в пазах статора

Для решения этой проблемы попробуем использовать магнитный клин, показанный на рисунке 8, такой клин делает воздушный зазор равномерным по всей длине.

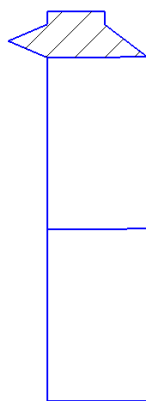


Рисунок 8 – Паз статора с модифицированным ферромагнитным клином

Аналогичным образом, как и для стандартных ферромагнитных клиньев, проведем расчеты в программе Elcut 5.1.

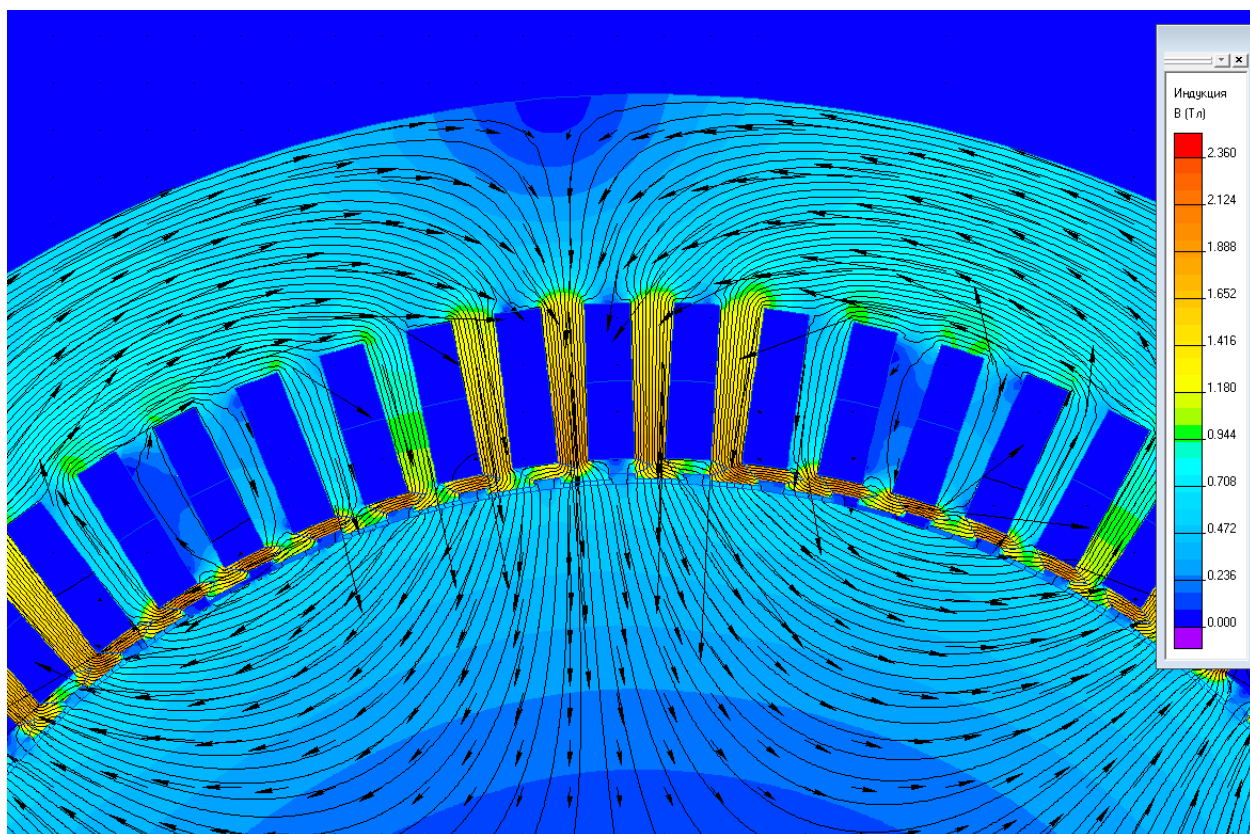


Рисунок 9 - Магнитная индукция, поток и вектора магнитной индукции при использовании модифицировании магнитных клиньев.

При использовании магнитного клина поток проходит помимо ярма, зубцов, воздушного зазора еще и по клиньям, тем самым разгружается паз от поперечных магнитных потоков.

Получим график распределения магнитной индукции по длине воздушного зазора.

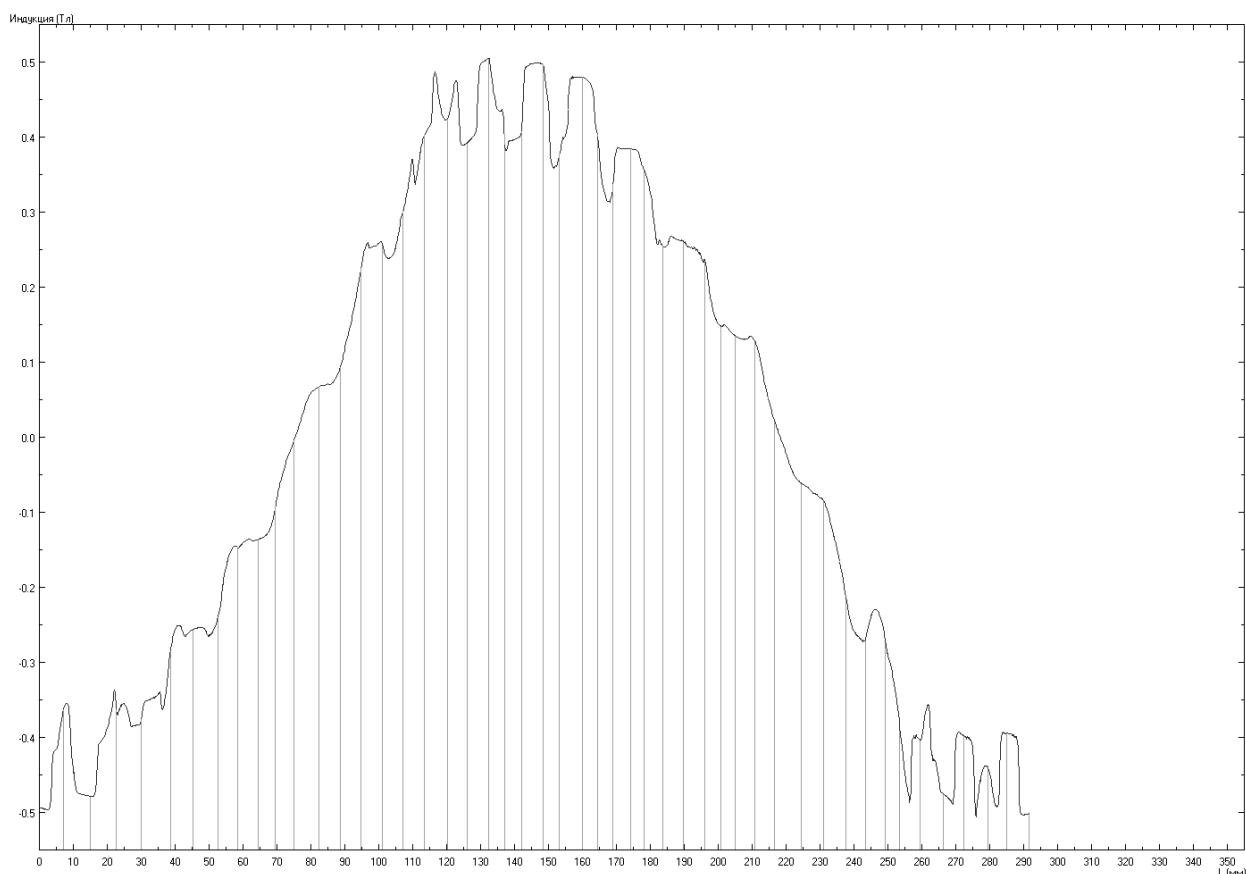


Рисунок 10 – График распределения магнитной индукции по длине воздушного зазора без клина.

Из графика видно, что пульсации магнитной индукции уменьшаются. При ферромагнитном клине стандартных размеров величина пульсации составляет $\Delta B=0,4$ Тл, а при модифицированном магнитном клине в среднем - $\Delta B=0,1$ Тл, следовательно, форма магнитного клина предложенной формы (рисунок 8) уменьшает пульсации магнитной индукции по длине воздушного зазора. Для наглядности приведем данные для 3х видов клина в виде таблицы.

Таблица 3 – Данные опытов с использованием различных клиньев

Конструкция и форма клина	Амплитуда пульсация индукции, ΔB (Тл)
1.Диэлектрический	0,4
2.Магнитный клин стандартных размеров	0,4
3.Модифицированный магнитный клин	0,1

Основываясь на данных полученных при применении диэлектрического и магнитного стандартных размеров и модифицированного клиньев, можно сделать вывод, что использование третьего из вариантов уменьшает пульсации магнитной индукции в 4 раза, разгружает паз от поперечных магнитных потоков.

Так, как в программе Elcut нет возможности определить энергетические характеристики, нет возможности посмотреть распределение индукции в динамическом режиме, поэтому дальнейшее более глубокое исследование будет проводиться в программе ANSYS Maxwell, для разных вариантов исполнения клина.

3. .Определение энергетических характеристик с помощью Ansis Maxwell

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники.

Ansys Maxwell — это современное, высокопроизводительное программное обеспечение для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, используемое для анализа моделей двигателей, датчиков, трансформаторов и многих других электрических и электромеханических устройств различного применения.

Математическая основа Ansys Maxwell - метод конечных элементов, задача которого заключается в нахождении единственно возможного распределения электромагнитного поля в заданной расчётной области при указанных граничных условиях и возбуждении.

Метод конечных элементов является мощным, надежным и современным средством исследования поведения конструкций в условиях

разнообразных воздействий. Программа ANSYS, использующая метод конечных элементов, широко известна и пользуется популярностью среди исследователей. Средства метода конечных элементов ANSYS позволяют проводить расчеты статического и динамического характера. Это позволяет решить широкий круг задач.

В данной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Сделать эскиз листа магнитопровода статора и ротора согласно размерам реального электродвигателя, характеристики взяты с модели 3АНГ.
2. Сделать математическую модель асинхронного двигателя в программе ANSYS Maxwell с использованием и отсутствием магнитного клина.
3. На основании данных полученных с помощью математической модели сделать выводы о эффективности использования магнитного клина в полукоткрытых пазах статора.

Первым шагом для создания математической модели в программе ANSYS Maxwell является создание 3D модели магнитопровода статора и ротора в программе Compass 3D, модель представлена на рисунке 11.

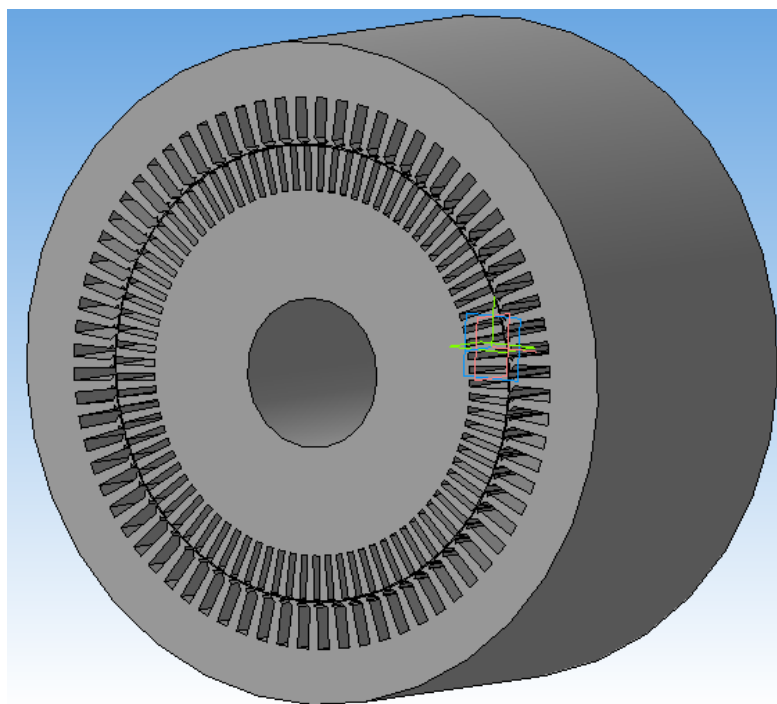


Рисунок 11 – 3D модель выполненная в Compass 3D

Следующим шагом является перенос эскиза из Compass 3D в ANSYS Maxwell, создание из 3D-модели 2D-модели, заполнение пазов статора и ротора обмоткой. 2D-модель с заполнением пазов обмоткой показана на рисунке 12.

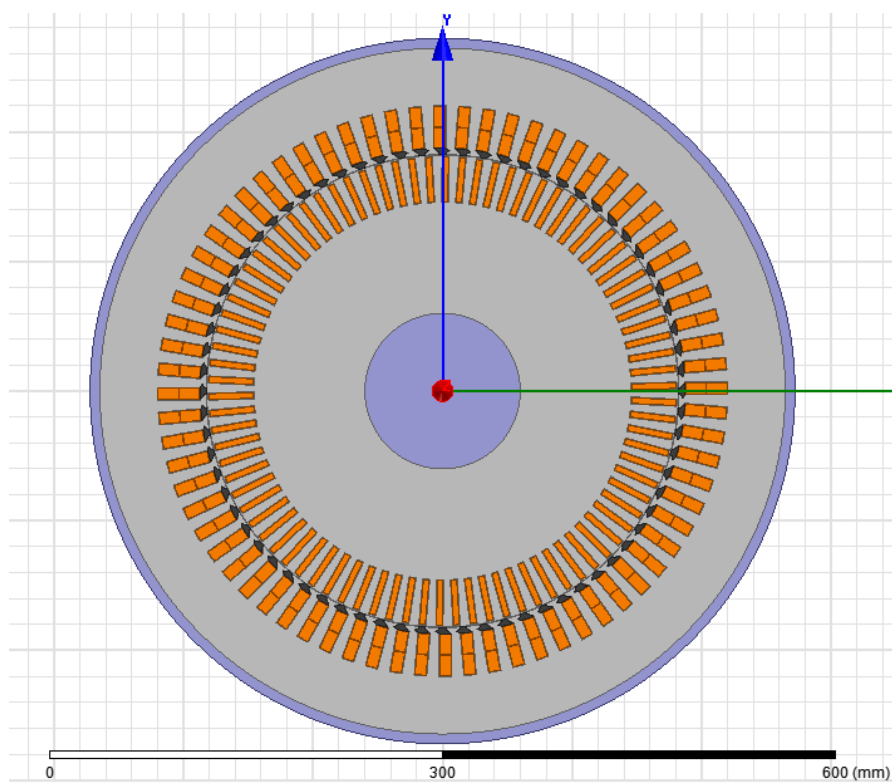


Рисунок 12 – Эскиз в 2D магнитопровода статора и ротора с заполнением пазов обмоткой

Далее задается материал, для магнитопровода ротора и статора - steel (электротехническая сталь), для обмоток ротора и статора - cooper (медь). Характеристики материала задаются автоматически.

Согласно обмотке, представленной на рисунке 2, задается расположение обмотки в пазах, направление протекания тока по обмотке статора, определяется расположение фаз по пазам, и для каждой фазы задается источник напряжения, источник задается формулами с учетом того, что все фазы должны быть смещены на 120 электрических градусов.

Формула для фазы А: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time + 0,01)$;

Формула для фазы В: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time - \frac{2 \cdot \pi}{3})$;

Формула для фазы С: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time - \frac{4 \cdot \pi}{3})$.

Обмотка ротора делается короткозамкнутой, обмотка статора соединяется в звезду.

Так же задается активное сопротивление обмотки статора и ротора и их индуктивность, заполняется момент инерции ротора.

Выполняются настройки сетки и задаются параметры расчета, проверяется модель на наличие ошибок и выполняется расчет. Время расчета задаем из расчета, что электродвигатель выйдет на установившийся режим, это мы можем отследить по графику зависимости частоты вращения от времени, полученному при расчетах.

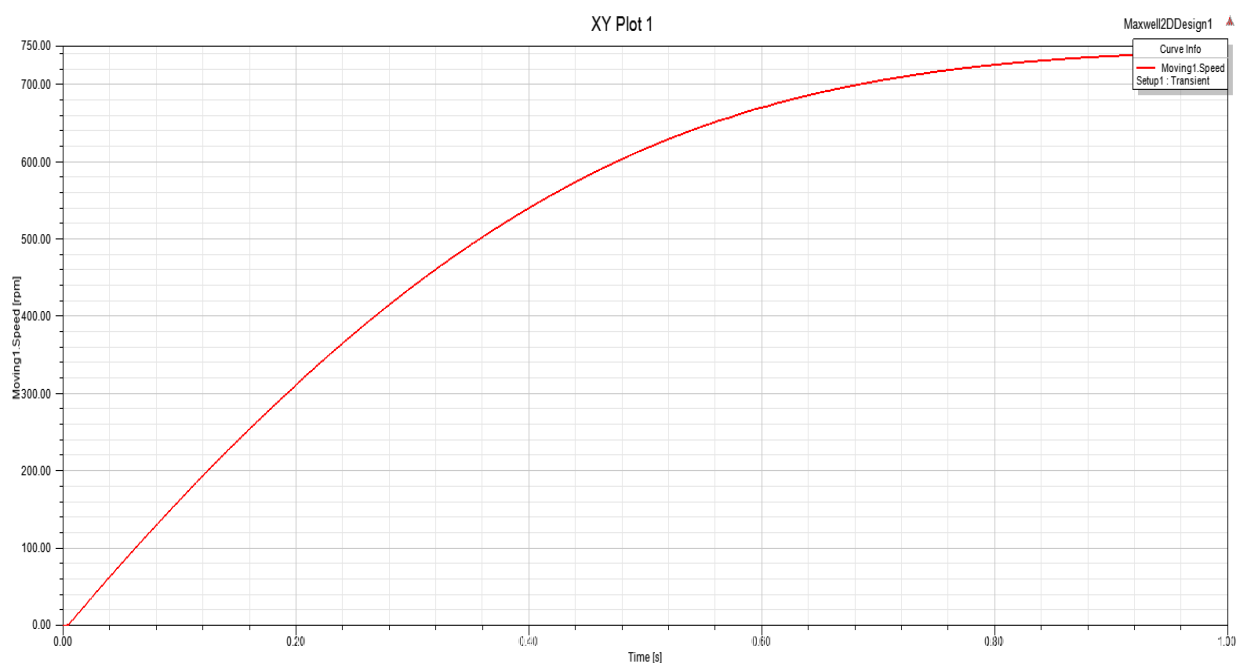


Рисунок 13 – График зависимости частоты вращения от времени

Как видно из графика, асинхронный электродвигатель за 1 секунду вышел на постоянную частоту вращения около 750 об/мин., следовательно, такого времени будет достаточно для проведения исследования.

3.1. Характеристики электродвигателя при отсутствии клина

Первый опыт проводится для модели с отсутствием клина в обмотке статора.

Для того, чтобы решить поставленные задачи, необходимо при расчетах получить следующие графики:

1. Зависимость тока от времени в обмотке статора;
2. Зависимость вращающего момента от времени;
3. Зависимость потерь в стали от времени.

На рисунке 14 изображен график тока, полученный при расчетах программы.

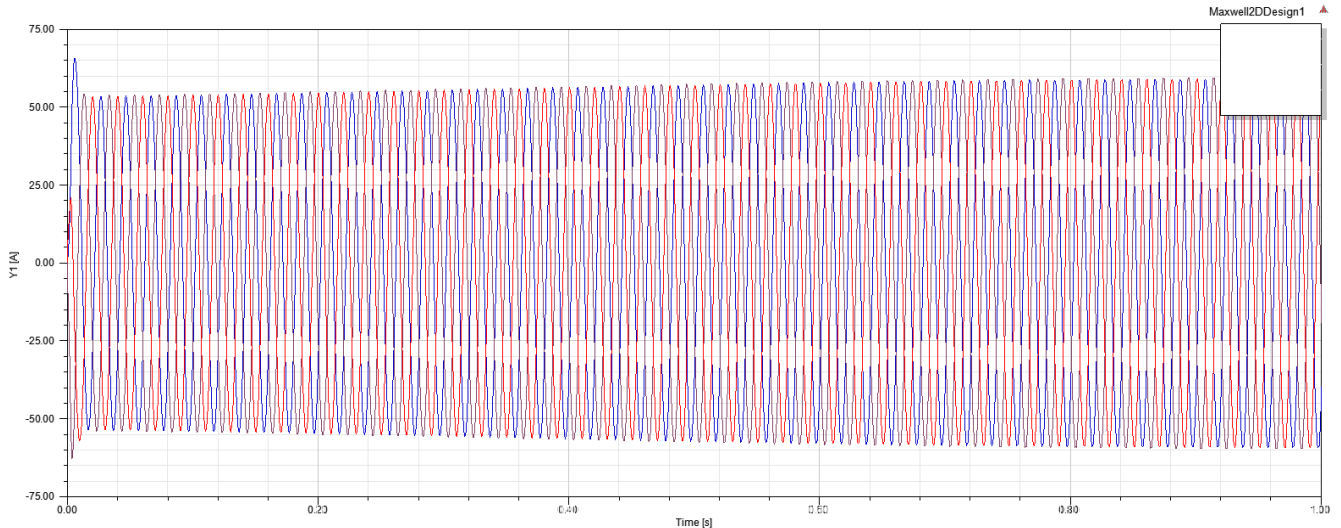


Рисунок 14 – График зависимости тока в фазах от времени

Проанализировав график можно сказать следующее:

Ток в установившемся режиме колеблется от 53 до 55 А, результатом колебаний является погрешность расчетов программы. Токи относительно друг друга смещены на 120 электрических градусов.

Следующий полученный график - это вращающий момент от времени, показан на рисунке 15.

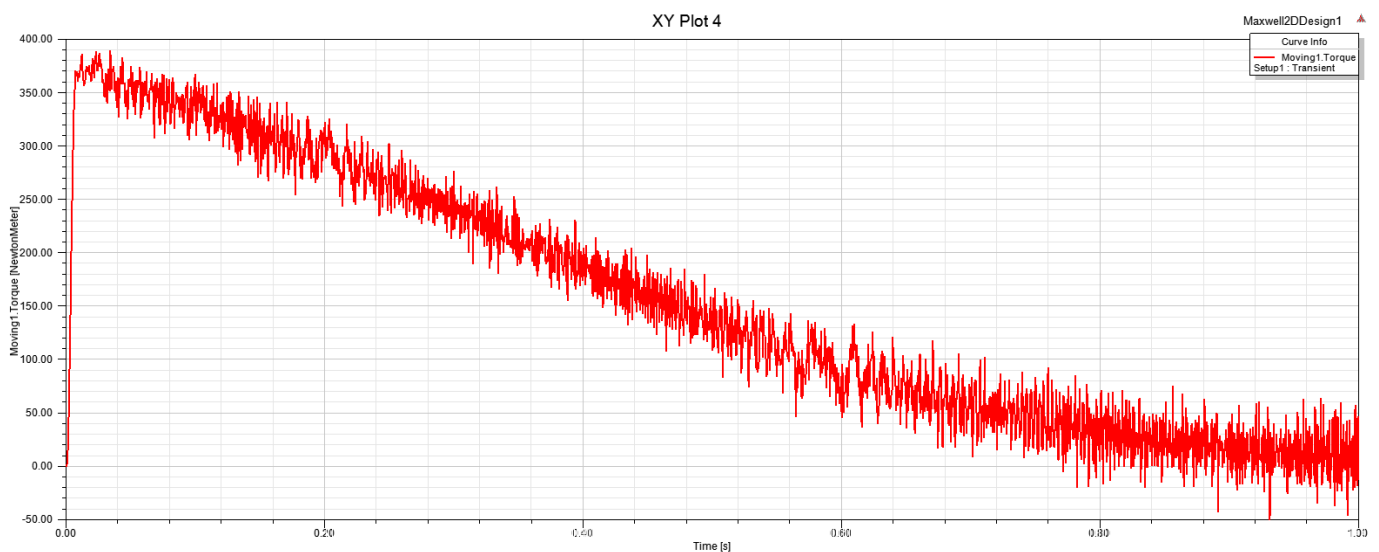


Рисунок 15 – График зависимости вращающего момента от времени

Как видно на графике момента, присутствуют колебания, которые отрицательно сказываются на ходовых характеристиках электродвигателя.

Для определения средних пульсаций найдем среднее значение колебаний в такой момент времени, когда электродвигатель вышел на установившийся режим. Для этого необходимо провести среднюю линию и найти максимальное и минимальное значение колебаний, то есть провести среднюю линию и от этой средней отмерить максимальное и минимальное отклонение. На рисунке 16 показан график со средней линией.

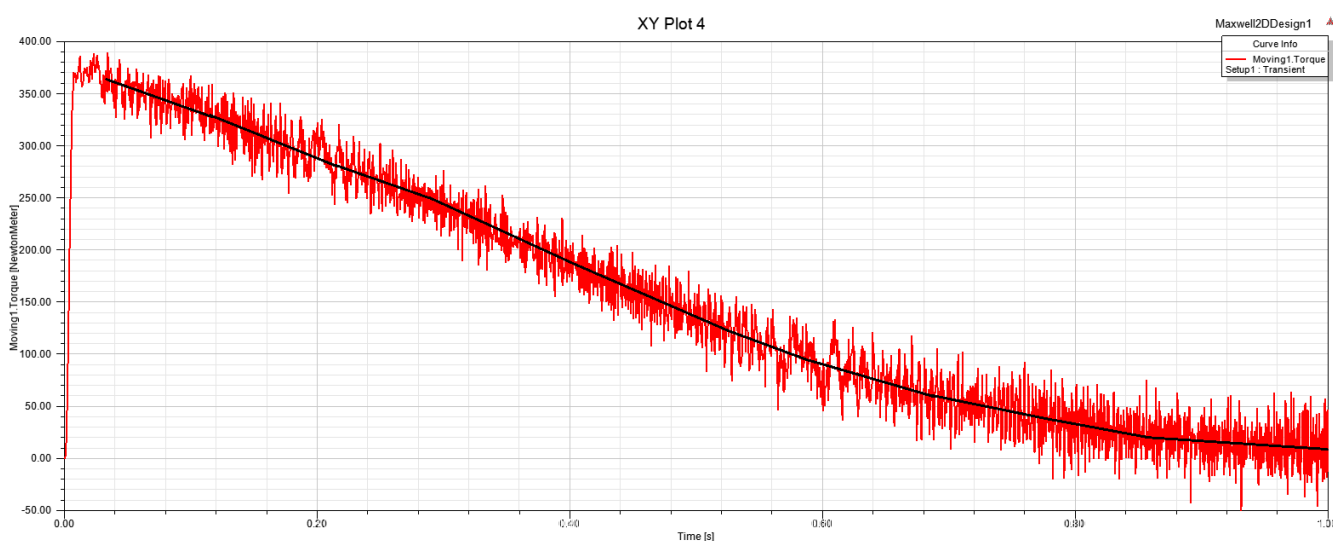


Рисунок 16 – График зависимости момента вращения от времени со средней линией

Максимальное отклонение момента вращения 37,5 Н · м, минимальное 87,5 Н · м, следовательно, среднее отклонение амплитуды будет равно:

$$A_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}{2} = \frac{37,5 + 87,5}{2} = 62,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Следующим шагом является получение зависимости постоянных потерь от времени, для того чтобы оценить влияние клина на энергетические характеристики электродвигателя. Данная зависимость снимается для нагруженного двигателя. График представлен на рисунке 17.

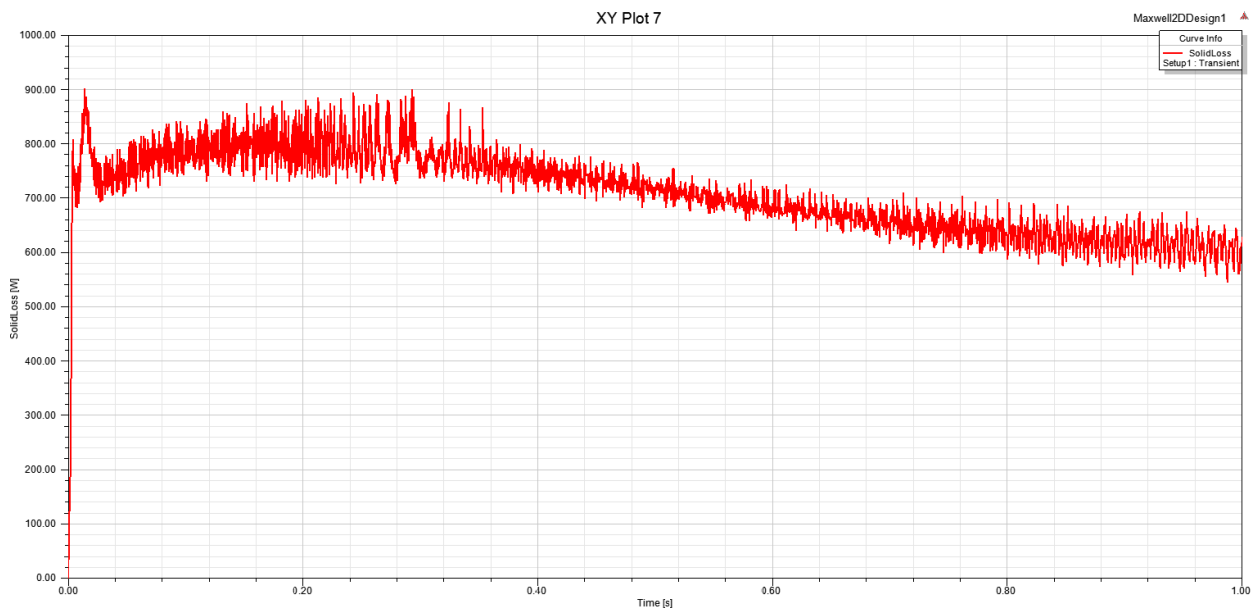


Рисунок 17 – График потерь в стали от времени при отсутствии клина

Проанализировав график можно сказать, что потери на временном участке когда электродвигатель перешел в установившиеся режим приблизительно равны 600 Вт. Определим КПД исходя из того, что остальные потери остались неизменными, основываясь на формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + \sum P};$$

где P_2 – полезная мощность;

P_1 – потребляемая активная мощность;

$\sum P$ – суммарные потери.

Суммарные потери в свою очередь состоят из механических, добавочных, электрических и потерь в стали.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_{ст} + P_{мех} + P_{доб} + P_{эл}} = \frac{55000}{58700 + 600 + 500 + 300 + 310} = 0,91 = 91\%;$$

3.2. Характеристики электродвигателя при установке в пазы статора ферромагнитных клиньев

Для крепления обмотки в статоре возможно использовать клинья из ферромагнитных материалов (магнитные клинья).

Магнитные клинья находятся непосредственно у воздушного зазора, в месте, максимально влияющем на формирование магнитного поля. Они частично выравнивают кривую магнитного поля в зазоре в местах расположения пазов и одновременно влияют на напряженность магнитного поля в зубцах сердечника статора. Эффект применения магнитных клиньев эквивалентен уменьшению ширины паза.

Этот расчет проводится аналогичным образом, описанным выше, с одним условием, что в статоре в пазу присутствуют магнитные клинья.

На рисунке 18 изображен график тока, полученный при расчетах программы.

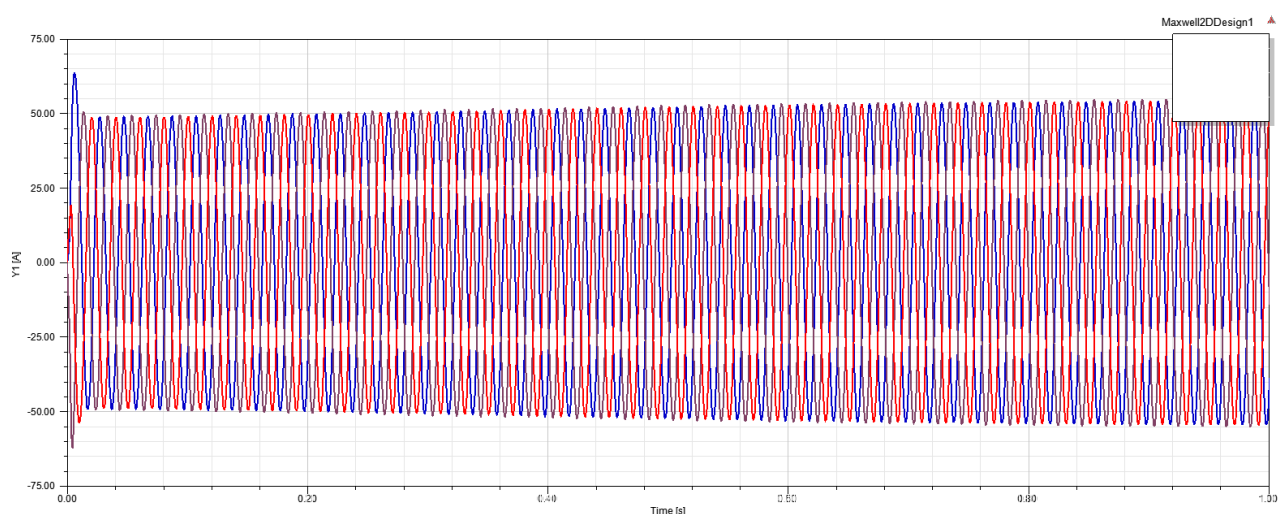


Рисунок 18 – График зависимости тока в фазах от времени

Ток в установившемся режиме колеблется от 49 до 52 А. Токи относительно друг друга смещены на 120 электрических градусов.

Следующий полученный график - это вращающий момент во времени, показан на рисунке 19.

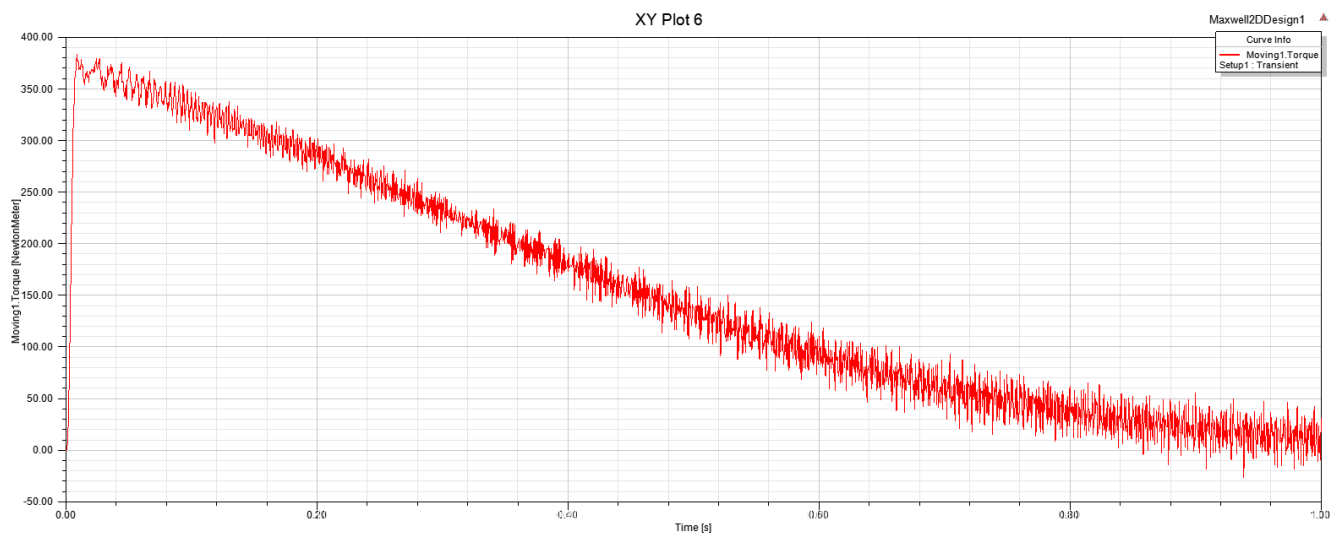


Рисунок 19 – График зависимости вращающего момента от времени
На рисунке 20 показан график со средней линией.

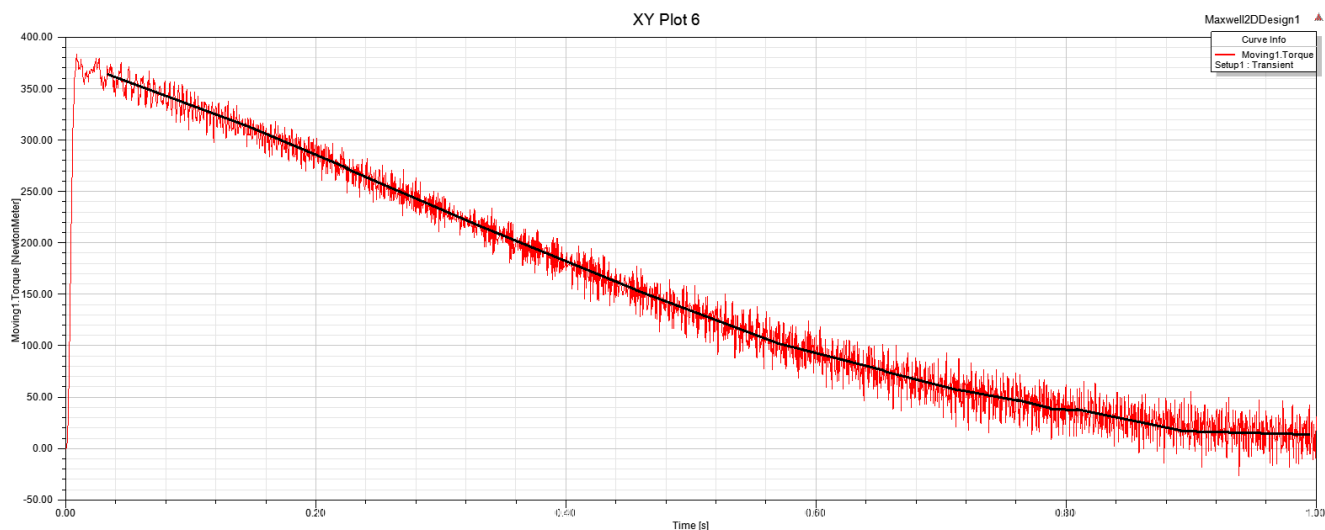


Рисунок 20 – График зависимости момента вращения от времени со средней линией

Максимальное отклонение момента вращения 32,5 Н · м, минимальное 57,5 Н · м, следовательно, среднее отклонение амплитуды будет равно:

$$A_{cp} = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} = \frac{32,5 + 57,5}{2} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

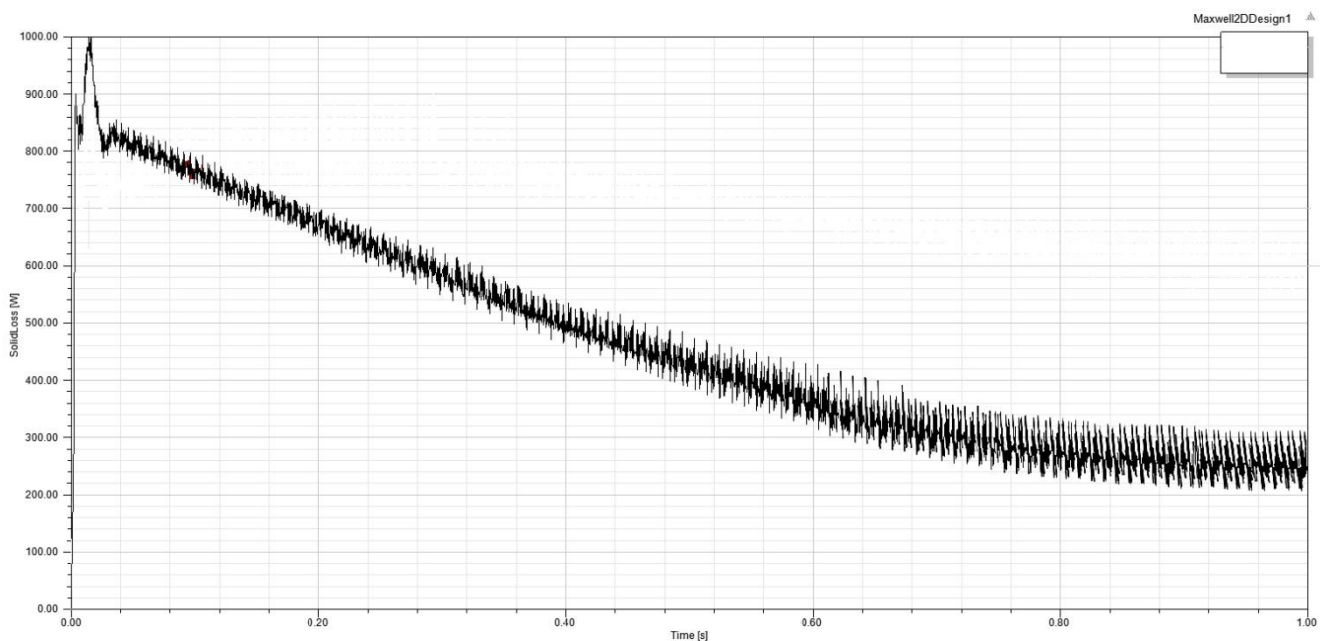


Рисунок 21 – График потерь в стали от времени

Проанализировав график можно сказать, что потери на временном участке когда электродвигатель перешел в установившиеся режим равны 150 Вт. Определим КПД:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}} + P_{\text{эл}}} = \frac{55000}{58700 + 150 + 500 + 300 + 310} = 0,92 = 92\% .$$

4. Сравнение результатов полученных при расчетах

Получив необходимые результаты, сравним расчеты, полученные при отсутствии магнитного клина в обмотке статора и его наличии.

Для наглядного сравнения результатов совместим графики, учитывая масштаб. Так как во всех фазах значение тока приблизительно одинаково, то на графике изобразим одноименную фазу для обоих случаев.

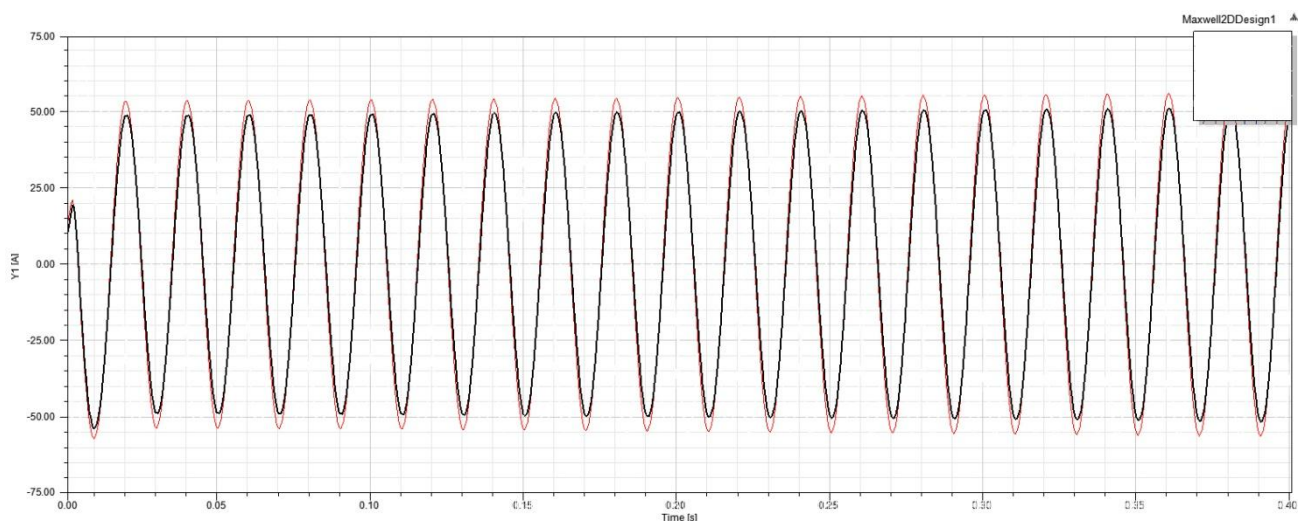


Рисунок 22 – Графики токов в фазе А

Ток при отсутствии клина обозначен на графике красным цветом, при наличии клина черным цветом.

На графике видно, что ток в фазе А при наличии магнитного клина меньше, чем ток в этой же фазе при отсутствии клина. Это объясняется тем, что увеличивается индуктивное сопротивление рассеяния. В снижение тока в обмотке статора можно убедиться, представив их в числовом значении. Ток в установившемся режиме при отсутствии клина в среднем составляет 54 А, а при установке клина 50 А, в среднем ток снизился на 4А, что составляет 8%.

Следующим графиком рассмотрим вращающий момент, представленный на рисунке 15 и 19.

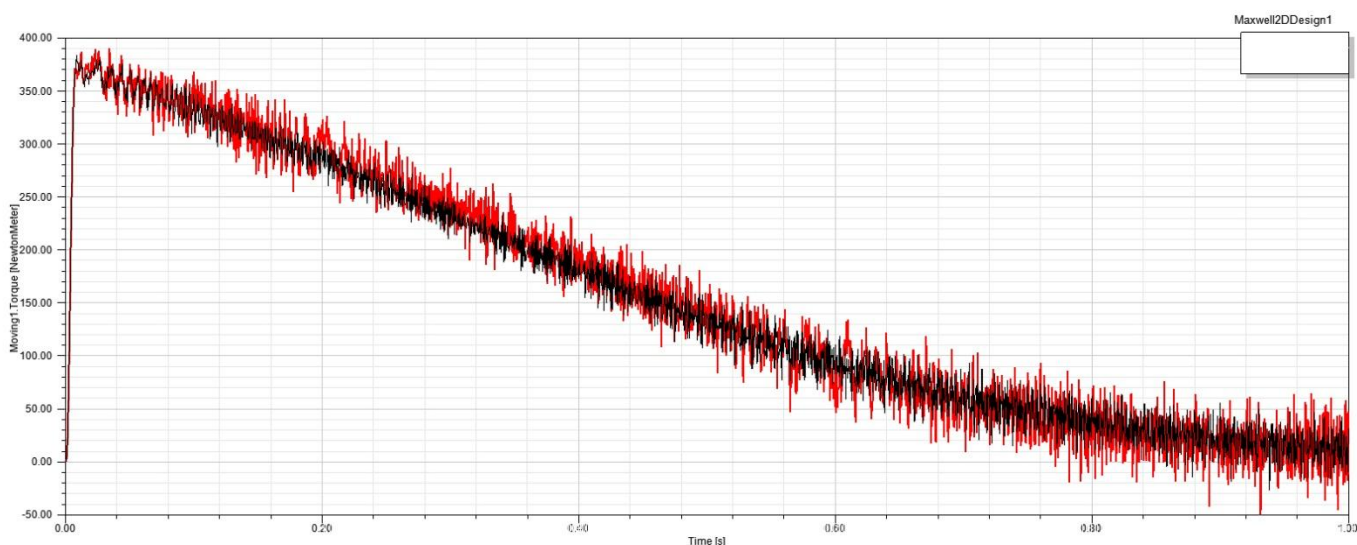


Рисунок 23 – Графики зависимости момента от времени при использовании ферромагнитного клина и его отсутствии

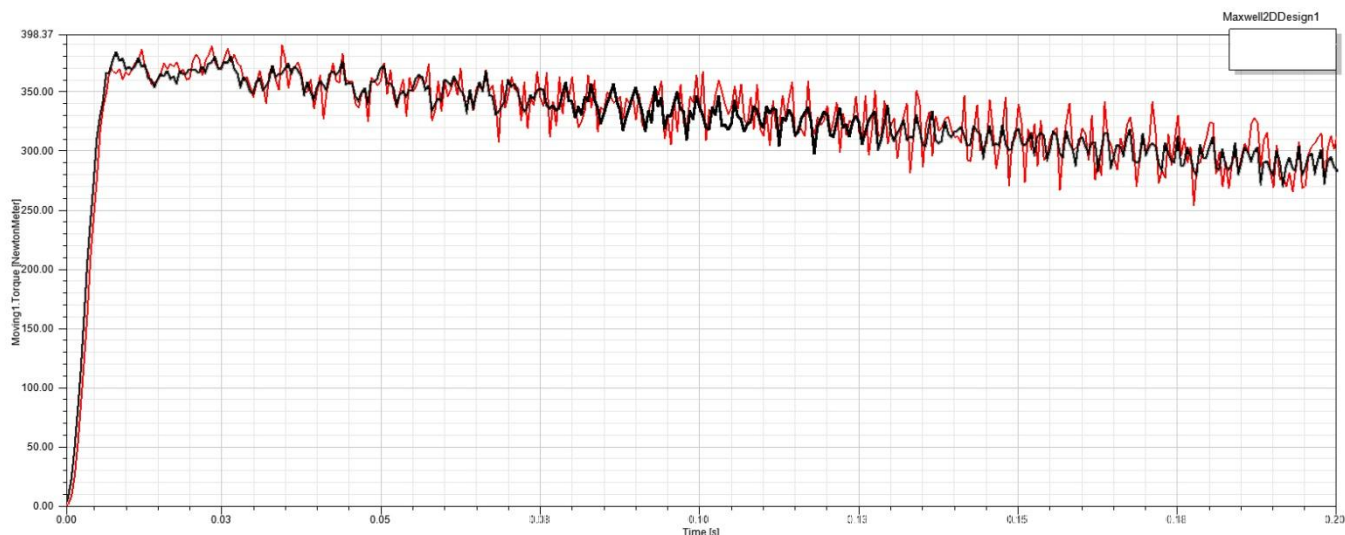


Рисунок 24 – График зависимости момента от времени(0,2 сек)

Красным цветом показан момент при отсутствии клина, черным при наличии клина.

На графиках видно, что пульсации электромагнитного момента при отсутствии клина имеют более высокое значение амплитуды на всем протяжении работы асинхронного электродвигателя, чем при наличии магнитного клина. Так же это можно отследить по числовым значениям: при наличии магнитного клина среднее отклонение амплитуды равно $45 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а при отсутствии клина $62,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$., что составляет 28%. Отсюда можно сделать вывод, что использование ферромагнитного клина уменьшает пульсации момента за счет того, что уменьшаются пульсации магнитного потока.

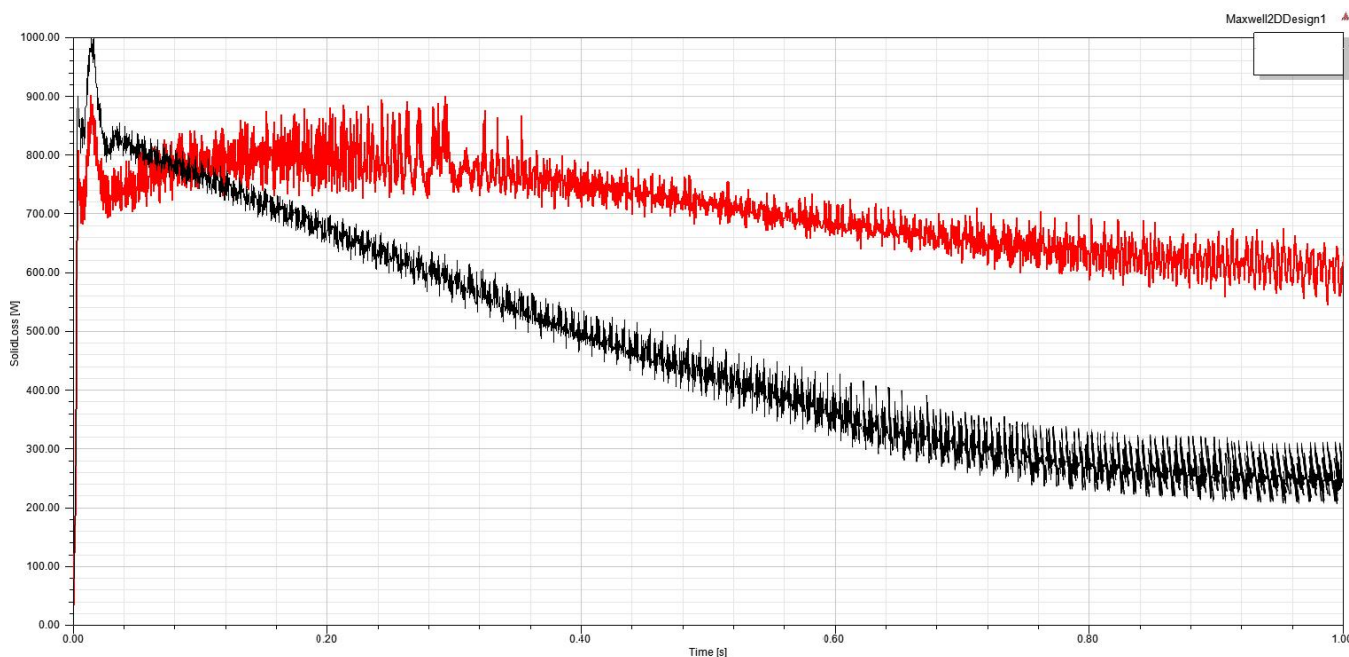


Рисунок 25 – Графики постоянных потерь при использовании магнитного клина и его отсутствии

Черным цветом представлен график при наличии магнитных клиньев в пазах статора, а красным при их отсутствии.

На графиках видно что уменьшаются постоянные потери(потери в стали). При использовании ферромагнитного клина потери составляют 150 Вт, а при отсутствии клина 600 Вт. Потери уменьшились в 4 раза. Потери в стали уменьшаются за счет снижения поверхностных и пульсационных потерь, которые зависят от неравномерности кривой распределения магнитной индукции в воздушном зазоре.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1. Предпроектный анализ

В соответствии с «Энергетической стратегией на период до 2020 года» высшим приоритетом государственной энергетической политики является повышение энергоэффективности промышленности. Одним из основных способов предотвращения энергетического кризиса это проведение политики, предусматривающей масштабное внедрение на предприятия энерго и ресурсосберегающих технологий. Энергосбережение является приоритетным направлением технической политики во всех развитых странах мира.

В ближайшем будущем проблема энергосбережения повысит свой рейтинг при ускоренном развитии экономики, когда появится дефицит электрической энергии и компенсировать его можно двумя путями – внедрение новых энергогенерирующих систем и энергосбережением. Первый путь более долгий и длительный во времени, а второй – значительно быстрее и экономически выгоднее потому, что 1кВт мощности при энергосбережении стоит в 4..5 раз меньше, чем в первом случае.

В основном высокая энергоемкость экономики вызвана использованием энергорасточительного оборудования, а именно электродвигателей с низкими энергетическими показателями. Такие электродвигатели используются повсеместно на различных фабриках, заводах, буровых установках в шахтах и т.д.

Дополнительные затраты, связанные с приобретением энергосберегающих электродвигателей, окупаются за счет экономии электроэнергии за 2-3 года в зависимости от мощности двигателя.

При этом срок окупаемости более мощных двигателей меньше, так как эти двигатели имеют большую годовую наработку и более высокий коэффициент загрузки.

Объем продаж электродвигателей на рынках России, стран Восточной Европы и СНГ по прогнозу компании Frost & Sullivan составят в 2016 году 652,1 млн. долл. США. Это почти на 180 млн больше показателей 2011 года.

Россия является одним из крупнейших участников рынка, в 2011 году выручка от продажи электромоторов равнялась 215,5 млн. долл. США. Согласно исследованиям Frost & Sullivan среднегодовой темп роста в России с 2011 по 2016 годы составит 5.2 %, а выручка предприятий в 2016 г. будет равной 277,5 млн. долл. США.

Страны Восточной Европы по показателю среднегодового темпа должны обойти Россию и СНГ, их потенциал оценивается в 9.1 %.

Целью данной работы является рассмотрение возможностей создания электродвигателя с относительно высокими энергетическими и механическими показателями.

5.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

По сравнению с традиционными асинхронными двигателями модифицированные электродвигатели имеют ряд преимуществ. Значительно меньшие расходы на эксплуатацию, меньше потери, повышенный срок службы. При той же мощности, что и стандартный двигатель, с каждым оборотом модифицированные электродвигатели экономят электрическую энергию и, следовательно, расходы на эксплуатацию.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4. Для анализа был взят модифицируемый электродвигатель и двигатель ЗАНГ315 компании ОАО «ТЭМЗ»

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Мощность, кВт	0,1	5	5	0,5	0,5
2. Оборотов в минуту	0,05	5	5	0,25	0,25
3. Ток, А	0,1	5	4	0,5	0,4
4. КПД, %	0,15	5	4	0,5	0,4
5. Коэф. мощности	0,15	5	5	0,5	0,5
6. Масса, кг	0,05	4	5	0,4	0,5
7. Номинальный момент, Н·м	0,05	5	5	0,5	0,5
8. Плавность хода	0,05	5	4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	0,5	0,4
10. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	0,4	0,4
11. Цена	0,1	3	4	0,3	0,4
12. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1			5,35	5,05

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

По итогам данного анализа можно сделать вывод что, модификация электродвигателя конкурентоспособна, так как превосходит по току, КПД и плавности хода, что не мало важно.

5.3. FAST-анализ

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает модифицированный асинхронный электродвигатель.

Асинхронные двигатели — наиболее распространенные электрические машины. Особенно широко они используются как электродвигатели и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую.

Деталь исследования одна, это магнитный клин он выполняет следующие функции: позволяющие сформировать магнитное поле определенной конфигурации в межзубцовом пространстве электродвигателя, снизить амплитуды зубцовых гармоник магнитной индукции в воздушном зазоре между ротором и статором, эффективно уменьшить добавочные потери, моменты от высших гармоник магнитного поля, шумы и вибрации магнитного происхождения.

5.4. Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Диаграмма Исикава представлена на рисунке 26.

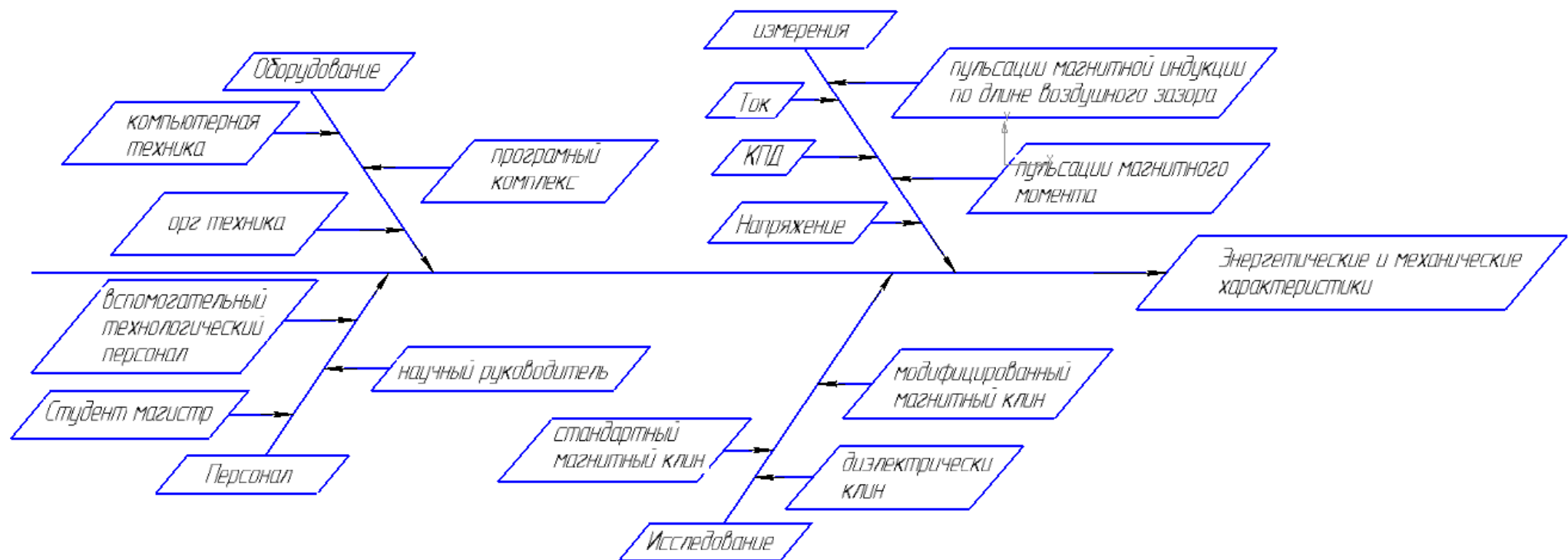


Рисунок 26 – Диаграмма Исикава

5.5. SWOT анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения комплексного анализа проводимого исследования выделим несколько этапов:

Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта.

Таблица 5 - Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Применение современных программно-технических комплексов 2. Практическая применимость 3. Наличие опытного научного-руководителя 4. Актуальность проводимого исследования 5. Обширная сфера применения	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1. Ограниченность исходных данных 2. Невозможность экспериментального исследования полученных результатов на реальных объектах 3. Незаинтересованность компаний в модернизациях целью экономии электроэнергии
Возможности: 1. Возможность создания партнерских отношений с различными компаниями 2. Большой потенциал применения метода математического моделирования 3. Относительная дешевизна и быстрая окупаемость предлагаемых технических решений 4. Возможность выхода на внешний рынок	Угрозы: 1. Малый рынок сбыта 2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования 3. Невозможность выхода на международный рынок 4. Малые скорости внедрения разрабатываемых технологий

5.6. Экономия, окупаемость и прибыль

Модифицированные электродвигатели помогут сократить потери на преобразование электрической энергии в механическую и повысить энергетические показатели привода. При широкомасштабном внедрении дают широкие возможности вплоть до создания новых технологий.

По данным сайта федеральной службы государственной статистики (<http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/>) потребление электроэнергии в 2014 г. в целом по России составило 1 021,1 млрд кВт·ч.

Согласно приказу Федеральной службы по тарифам от 06.10.2015 г. № 239-э/4 минимальный уровень тарифа на электрическую энергию (мощность), поставляемую покупателям на розничных рынках в 2015 году, составит 164,23 коп/кВт·ч (без НДС).

Замена стандартных асинхронных двигателей позволит экономить от 30 до 50% энергии при той же полезной работе. Экономический эффект от повсеместной замены составит минимум:

$$1021,1 \cdot 0,47 \cdot 0,3 \cdot 1,6423 = 236,4503 \text{ млрд руб. в год.}$$

Учитывая предельные уровни тарифов на электрическую энергию на периферийных и других проблемных территориях, максимальный эффект и минимальный период окупаемости достигается в регионах с максимальными тарифами - Иркутская область, Ханты-Мансийский автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ и др.

Максимальный эффект и минимальный период окупаемости может быть достигнут при замене двигателей с непрерывным режимом работы, например - насосные агрегаты водоснабжения, вентиляторные установки, прокатные станы, а также высоконагруженных двигателей, например - лифты, эскалаторы, транспортеры.

Для расчета периода окупаемости за основу приняты цены ОАО «УралЭлектро». Полагаем, что с предприятием заключен энергосервисный контракт по замене электродвигателя насосного агрегата на условиях лизинга.

Цена двигателя 11 641 руб. Стоимость работ по его замене (30% стоимости) 3 492,3 руб. Дополнительные расходы (10% стоимости) 1 164,1 руб.

Всего затрат:

$$11\,641 + 3\,492,3 + 1\,164,1 = 16\,297,4 \text{ руб.}$$

Экономический эффект составит:

$$11 \text{ кВт} \cdot 0,3 \cdot 1,6423 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} \cdot 1,18 \cdot 24 = 153,48278 \text{ руб. в сутки (с НДС).}$$

Период окупаемости:

$$16\,297,4 / 153,48278 = 106,18 \text{ суток или } 0,291 \text{ года.}$$

Для остальных мощностей расчет дает аналогичные результаты. Учитывая, что время работы двигателей на промышленных предприятиях может не превышать 12 часов, период окупаемости может составлять не более 0,7-0,8 года.

Предполагается, что по условиям лизингового контракта предприятие, заменившее двигатели на новые, после уплаты лизинговых платежей выплачивает в течение трех лет 30% от экономии электроэнергии. В этом случае доход составит: $153,48278 \cdot 365 \cdot 3 = 168\,063,64$ руб. Следовательно, замена одного двигателя позволяет получить доход от 84 до 168 тыс. руб. В среднем от замены двигателей с одного небольшого коммунального предприятия можно получить доход не менее 4,8 млн руб. Внедрение новых двигателей при модернизации стандартных позволит отказаться от дотаций на электроэнергию без роста тарифов.

5.7. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.8. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = \frac{365}{299} = 1,48,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (пятидневная рабочая неделя);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 6

Таблица 6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{\min}$, чел-дни		$t_{\max}$, чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни							
	Науч. рук.	Инженер	Науч. рук.	Инженер	Науч. рук.	Инженер	Науч. рук.	Инженер	Науч. рук.	Инженер	Науч. рук.	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	14	-	21	-	16,8	-	1	-	16,8	-	25
Выбор направления исследований	2	4	3	5	2,4	4,4	1	1	2,4	4,4	4	7

Продолжение таблицы 6

Календарное планирование работ по теме	3	-	7	-	4,6	-	1	-	4,6	-	7	-
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	21	-	28	-	23,8	-	1	-	23,8	-	35
Оценка эффективности полученных результатов	3	7	5	14	3,8	9,8	1	1	3,8	9,8	6	15
Составление пояснительной записки	-	5	-	10	-	5	-	1	-	5	-	7
Публикация полученных результатов	2	-	4	-	2,8	-	1	-	2,8	-	4	-

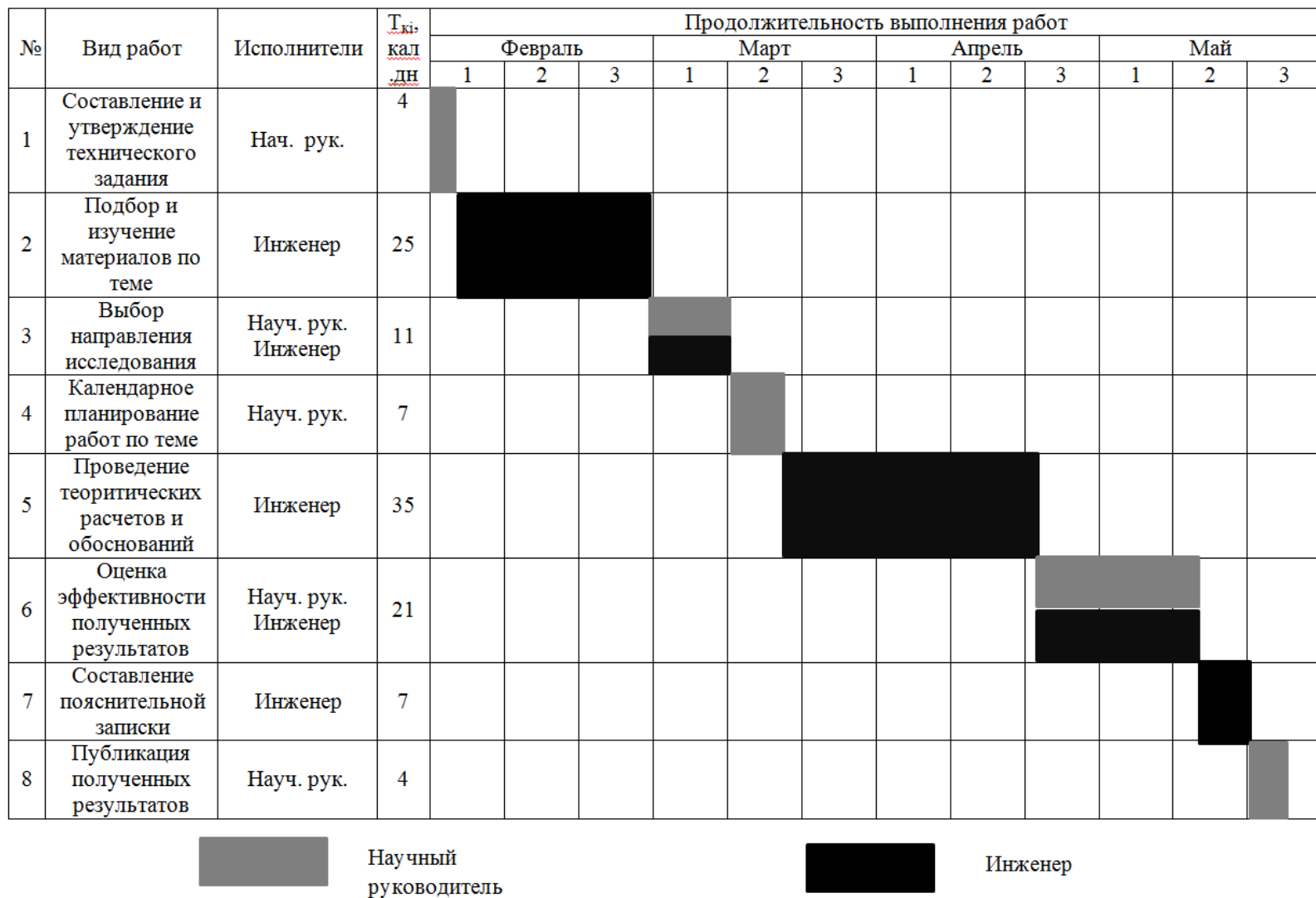
Итого длительность работ – 114 календарных дней.

На основе таблицы 6 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 7:

Вывод: общее число работ составило 8. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

Таблица 7 - Календарный план-график проведения НИР (Диаграмма Ганта)



5.9. Расчет бюджета для научно-технического исследования

5.9.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 8.

Таблица 8 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (Зм), руб	
		Науч. Рук.	Инж.	Науч. Рук.	Инж.	Науч. Рук.	Инж.
Компьютер	Штука	1	1	20000	25000	23000	28750
Принтер	Штука	1	1	6000	6000	6900	6900

Продолжение таблицы 8

Ansys Maxwell	Штука	1	1	7000	7000	8050	8050
Microsoft Word	Штука	1	1	2000	2000	2300	2300
Специализированное ПО	Штука	3	3	8000	8000	9200	9200
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	2000	4000
Итого						51450	57200

5.9.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 9:

Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям		Трудоемкость, чел.-дн.		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук.	-	2,8	-	3060	-	8568	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	Инж.	-	16,8	-	1515	-	25452

Продолжение таблицы 9

3	Выбор направления исследований	Науч. рук.	Инж.	2,4	4,4	3060	1515	7344	6666
4	Календарное планирование работ по теме	Науч. рук.	-	4,6	-	3060	-	14076	-
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	Инж.	-	23,8	-	1515	-	36057
6	Оценка эффективности и полученных результатов	Науч. Рук.	Инж.	3,8	9,8	3060	1515	11628	14847
7	Составление пояснительной записки	-	Инж.	-	5	-	1515	-	7575
8	Публикация полученных результатов	Науч. рук.	-	2,8	-	3060	-	8568	-
Итого:								50184	90597

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}},$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 10

Таблица 10 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	114	114
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	12	12
- праздничные дни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	100	100

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 11:

Таблица 11- Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Научный руководитель	27484	0,3	0,15	1,3	48096	2186	100	218600
Инженер	15000	0,3	0,5	1,3	35100	1514,689	100	151469
Итого								370069

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

5.9.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

5.9.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представен в таблице 12.

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	218600	26232
Инженер	151469	18176
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Отчисления, руб		
Научный руководитель	59240	
Инженер	41048	

5.9.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 13.

Таблица 13– Накладные расходы

	$z_{\text{накл}}$, руб.
Научный руководитель	13266
Инженер	6567

5.9.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 14

Таблица 14- Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Научный руководитель	Инженер	
1. Материальные затраты НИ	51450	57200	Пункт 5.9.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	218600	151469	Пункт 5.9.2.
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	26232	18176	Пункт 5.9.3.
4. Отчисления во внебюджетные фонды	59240	41048	Пункт 5.9.4.
5. Накладные расходы	13266	6567	16 % от суммы
Бюджет затрат НИ	368788	274460	Сумма

5.10. Сравнение исследований

Предложено 2 варианта исследования:

1. Исследование с помощью моделирования математической модели.
2. Экспериментальное создание и проведение экспериментов с опытным образцом.

Первый вариант исследования затраты на него, исполнители был описан выше, по этому необходимо проанализировать второй вариант исследования.

Экспериментальное создание опытного образца начинается с проектирования, для этого необходим персонал с высоким уровнем образования(инженер конструктор). Следующим этапом является разработка технологии изготовления, как и с проектированием необходим персонал высокого уровня. Далее следует изготовление детали, для этого необходим персонал среднего уровня, потом монтаж детали на место(рабочий) и проведение испытаний(испытатель). В итоге необходимо 5 человек, заработная плата которых не менее 30 т.р./мес. Что касается затрат на оборудование, инженеру конструктору и технологу необходимы компьютеры, специальное программное обеспечение, это 50 т.р. Так, как электродвигатели для данной модификации используются с полуоткрытыми пазами это преимущественно электродвигатели большой мощности цена которых превышает 70 т.р., следовательно используется много материала, это дополнительные значительные затраты(20 т.р.). Так же оборудование для создания магнитного клина. Ниже описан принцип создания магнитного клина.

Технология создания магнитного клина: для получения магнитодиэлектрического материала в виде листов или плит для изготовления магнитного клина электрических машин. Осуществляют смешивание ферромагнитного компонента, эпоксидной смолы и отвердителя, заливку полученной массы в пресс-форму, в которой размещен армирующий элемент в

виде стекловолоконистой ткани, и последующую обработку магнитным полем при прессовании. Ферромагнитный компонент вводят в виде наночастиц магнетита размером до 100 нм и воздействуют магнитным полем с напряженностью не менее 800 эрстед на магнитодиэлектрическую массу с предварительно определенной степенью отверждения не более 30%. Обеспечивается получение материала для изготовления магнитного клина, позволяющего уменьшить добавочные потери двигателя и обладающего требуемой магнитной проницаемостью.

Для изготовления клина необходимо следующее оборудование: электромешалка, пресс, оборудование для создания магнитного поля. Стоимость данного оборудования около 200 т.р. Так же испытательный стенд, его цена 100 т.р. и вспомогательное оборудование 20 т.р. Итого материальные затраты составляют 460 т.р. Основная заработная плата 150 т.р. дополнительная заработная плата 41 т.р., отчисления 22,5 т.р. Итого ежемесячные затраты составляют 213 т.р. Расчитаем ежедневные затраты, а затем умножим на количество дней которое заняло исследование при создании математической модели (100 дней). Ежедневные затраты 7,1 т.р., за 100 дней работы 710 т.р. К этим затратам добавим материальные и получим общую сумму затрат на экспериментальное исследование. Итого получается 1170 т.р.

6. Социальная ответственность

Социальная ответственность представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности, пожарной профилактики и экологическая безопасность во время технологического процесса общей сборки взрывозащищенного асинхронного двигателя для привода вентилятора главного проветривания.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления: верстак, нагреватель SKF TИH100m, кран-балка Q-3 т.с., пневмопресс МХ-145, шпильковерт, молоток 7805-0103 ГОСТ 2310-77. Технологический процесс сборки включает в себя работу со сварочным оборудованием, с механизированным ручным инструментом с устройством продувки деталей и транспортными приспособлениями.

6.1. Производственная безопасность

На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы (вызывающие травмы и заболевания).

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Рассмотрены следующие вредные факторы:

- Повышенный уровень шума;
- Недостаточность освещения;
- Неблагоприятные условия микроклимата;
- Вибрация;
- Воздействие химических веществ.

6.1.1. Шум

Так же к вредным факторам на производстве относятся шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха; для измерения громкости (в децибелах дБ) используется двушкальный шумомер. В цехах допускается громкость около 75-85 дБ [11]. Шум на исследовательском рабочем месте создаётся вентиляционной системой ПЭВМ и печатающим устройством. Уровень шума, создаваемый вентиляционной системой, составляет примерно 40 дБ. В процессе рабочего дня принтер включается по мере необходимости, поэтому шум следует квалифицировать как непостоянный, прерывистый.

Существует доказанное вредное воздействие инфра- и ультразвука на человеческий организм (ниже 20 Гц и выше 20 кГц частоты соответственно). Хотя колебания не вызывают болевых ощущений, они производят специфическое физиологическое воздействие на организм человека.

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

Всё оборудование, применяемое на участке, для снижения вибрации устанавливать на виброопорах.

6.1.2.Расчет искусственного освещения

Производственное освещение. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Задачей расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света.

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением.

Осветительные приборы:

- Люминесцентные лампы - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности
- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2×40 Вт.
- Плафоны потолочные - для общего освещения закрытых, сухих помещений:
 1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10×30 Вт;
 2. Л71В84 - мощность лампы 8×40 Вт.

Полученная величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается.

Таблица 15 – Значения коэффициентов запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2,0	1,7
Помещения со средним выделением пыли	1,8	1,5
Помещения с малым выделением пыли	1,5	1,3

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и
необходимой направленности света на рабочие места;
2. наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Расчет искусственного освещения:

Система освещения производственных помещений:

- Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника:

- Универсальный без затемнителя.

$$E_n = 100 \text{ Лк}$$

Размеры производственного помещения:

- высота $h = 6$ м;
- длина $l = 48$ м;
- ширина $b = 9$ м.

Площадь помещения:

$$S = l \cdot b = 48 \cdot 9 = 432 \text{ м}^2$$

По условию слепящего действия высота подвеса светильника над полом: 5 м.

Свес светильника: $h_c = 1$ м.

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h_p = h - h_c - h_g,$$

где h_c – высота свеса светильника;

h_g – высота рабочей поверхности;

$h_g = 0,8$ м.

$$h_p = 6 - 1 - 0,8 = 4,2 \text{ м.}$$

Произведем предварительную разметку светильников.

Расстояние между светильниками L определяется, как выгоднейшее:

$$\frac{L}{h} = 1,1$$

$$L = 1,1 \cdot 4,2 = 4,64 \text{ м}$$

Устанавливаем светильники:

- по длине (отступив от стен 2 м) на расстоянии 4,4 м.
- по ширине (отступив от стен 2 м) на расстоянии 5 м.

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (l + b)} = \frac{432}{4,2 \cdot (48 + 9)} = 1,8.$$

Коэффициент использования: $\eta = 0,43$.

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где k - коэффициент запаса, $k = 1,3$;

Z - коэффициент учитывающий отклонение от средней величины,
 $Z = 1,1$.

$$F = \frac{100 \cdot 1,3 \cdot 432 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 7183 \text{ Лм.}$$

По полученному потоку подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220В. Наиболее подходящей лампой является лампа мощностью 500 Вт со световым потоком 8100 Лм.

Чтобы сохранить световой поток неизменным, применяем коэффициент постоянства освещенности:

$$K_n = \frac{F_p}{F_m} = \frac{7183}{8100} = 0,88.$$

Уточняем количество светильников с учетом коэффициента:

$$C = 20 \cdot 0,88 = 17,7 \text{ шт.}$$

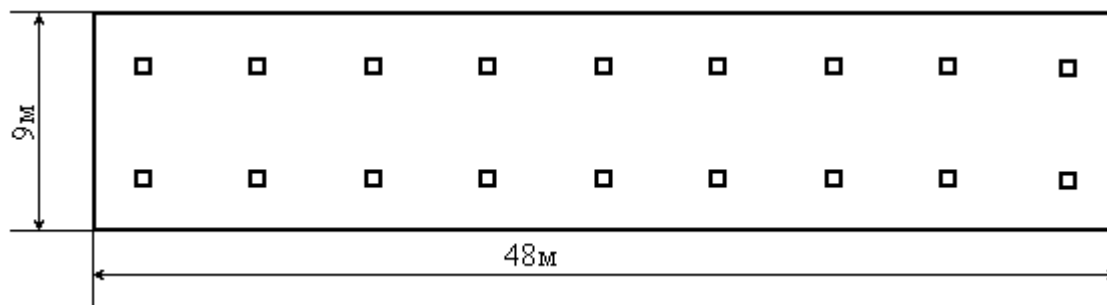


Рисунок 27 – План помещения в масштабе

Окончательно принимаем 18 светильников. Проводим окончательную разметку светильников с учетом уточнения:

Рассчитав искусственное освещение можно с уверенностью сказать, что оно обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности и высокого качества освещения, ограничивает ослеплённость и необходимую направленность света на рабочие места.

6.1.3. Микроклимат

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

Очищение воздуха предлагается осуществлять при помощи пылеуловителей, воздухоочистителей, фильтров, пылесадительных камер, центробежных пылеотделителей - циклонов.

По степени физической тяжести работа относится к категории средней тяжести IIб (СанПиН 2.2.4.548-96).

Таблица 16 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптим альное	Допус тимое	Оптим альное	Допус тимое	Оптим альное	Допусти мое
Холодный	Средней тяжести, IIб	17 – 19	15 – 22	40 – 60	15 – 75	0,2	0,2 – 0,5
Тёплый	Средней тяжести, IIб	19 – 21	16 – 27	40 – 60	15 – 75	0,3	0,2 – 0,5

Нормализация микроклимата производственных помещений осуществляется путем проведения следующих мероприятий:

1. Оборудование зданий и помещений системами обогрева.
2. Установка и ремонт систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Системы кондиционирования воздуха в производственных помещениях осуществляют в основном с применением одного из двух типов сплит-систем: обычных (*настенных, напольных, кассетных*), которые размещаются непосредственно в каждом помещении, и канальных, требующих для подачи охлажденного воздуха в помещения наличия системы воздуховодов.

3. Рациональное размещение оборудования. Основные источники тепла располагают непосредственно под аэрационным фонарем, у наружных стен здания и в один ряд, чтобы тепловые потоки от них не перекрещивались на рабочих местах.

4. Внедрение рациональных технологических процессов и оборудования (замена горячего способа обработки металла холодным, пламенного нагрева - индукционным и т.п.).

5. использование тепловой изоляции оборудования различными видами теплоизоляционных материалов.

6.1.4. Тепловое излучение

В горячих цехах промышленных предприятий нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии. При температуре до 500 °С, с нагретой поверхности излучаются тепловые (инфракрасные) лучи с длиной волны 740....0,75мкм. Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Инфракрасные лучи, проходя через воздух, его не нагревают, но, поглотившись твердыми телами, лучистая энергия переходит в тепловую, вызывая их нагревание.

По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи делятся на коротковолновые лучи с длиной волны 0,76.... 1,5 мкм и длинноволновые с длиной волны более 1,5 мкм.

Для характеристики теплового излучения принята величина, называемая интенсивностью теплового облучения - это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности (Вт/м²).

Колебания интенсивности теплового облучения человека на рабочих местах зависят от многих причин: характера технологического процесса, температуры источника излучения, расстояния рабочего места от источника излучения, степени теплоизоляции, наличия индивидуальных и коллективных средств защиты.

В производственных помещениях с большими тепловыделениями (горячие цехи) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемого тепла. К горячим цехам относятся цехи, в которых тепловыделения превышают 23 Дж/м³, на данном производстве таким цехом является цех с доменными печами.

6.1.5.Химические вещества

Химические вещества делятся на твердые яды (свинец Pb, мышьяк Sn, некоторые виды красок) и жидкие и газообразные яды (оксид углерода, бензин, бензол, сероводород, ацетилен, спирты, эфир и др.). По характеру токсичности их можно подразделить на:

- 1) едкие (серная кислота H₂SO₄, соляная кислота HCl, оксид хрома CrO₃ и др.);
- 2) действующие на органы дыхания (двуокись серы SO₂, кремниевый оксид SiO₂, аммиак NH₃ и др.);
- 3) действующие на кровь (CO, мышьяковистый водород и др.);
- 4) действующие на нервную систему (спирты, эфир, углеводороды).

ГОСТ 12.1.007-76 устанавливает 4 класса опасности:

- чрезвычайно опасные (предельно допустимая концентрация ПДК<0.1мг/м³);
- высокоопасные (0.1<ПДК<1.0 мг/м³);
- умеренно опасный (1.0<ПДК<10.0 мг/м³);
- малоопасный (ПДК>10.0мг/м³).

Все эти вещества отравляют местную среду на производстве. Так, например, повышается канцерогенное воздействие, а газообразные вещества могут привести к летальному исходу рабочих(метилловый спирт – к слепоте). Контроль над концентрацией вредных веществ осуществляется санэпидемстанциями, а также при помощи экспрессных и автоматических методов (газоанализаторы, хроматографы). Снижения влияния ядовитых веществ можно добиться при максимальной механизации и автоматизации

производства, модернизации технического оборудования, эффективной вентиляции (как местной, так и общеобменной).

Что касается непосредственно рабочих, то среди них должны проводиться частые медосмотры, они должны быть обеспечены чистыми столовыми и душевыми, необходима также выдача и своевременная очистка современной спецодежды; не стоит забывать и о дегазации помещений. В конкретных случаях нужно выдавать трудящимся спецперчатки, маски, защитные щитки, очки; иногда противогазы, иногда предупреждающие заболевания мази.

6.2. Опасные факторы

К опасным на данном производстве относятся следующие факторы:

- Возможность поражение человека вращающимися частями электрооборудования (работа с верстаком, использование пневмопресса, электрического инструмента);
- Возможность поражения электричеством (работа со сварочным аппаратом).

Для защиты от опасных факторов используются коллективные и индивидуальные средства защиты.

К коллективным средствам защиты относятся установка оградительных устройств, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов, защитное отключение, защитное заземление.

К индивидуальным средствам защиты относятся изолирующие электрозащитные средства, способные длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок, поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей под напряжением – это диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками.

Индивидуальные дополнительные электрозащитные средства обладают недостаточной электрической прочностью и не могут самостоятельно защитить человека от поражения током. Их назначение – усилить защитное

действие основных изолирующих средств, с которыми они должны применяться – диэлектрические боты, диэлектрические резиновые коврики, изолирующие подставки. Данные индивидуальные средства защиты используются для предотвращения поражения электрическим током.

6.2.1. Движущиеся части электрооборудования

Все части машины, которые движутся в процессе выполнения работы, могут стать причиной аварий, связанных с телесными повреждениями и материальным ущербом. Опасность могут представлять как вращающиеся, так и линейные движения машины, а также источники энергии.

Даже гладкие вращающиеся валы могут захватить предмет одежды или, например, руку человека, что очень опасно. Опасность увеличивается, если у вращающегося вала есть выступающие части или неровные, острые поверхности, такие как регулировочные винты, болты, щели, канавки или режущие кромки. Вращающиеся части машин и механизмов создают условия для образования “зон зажима” тремя различными путями:

1. Существуют точки между двумя вращающимися в разные стороны частями на параллельных осях. Это могут быть шестеренки или зубчатые колеса, несущие ролики или каландры.

2. Существуют точки соприкосновения между вращающимися частями и частями с линейным движением, которые можно обнаружить между трансмиссионной лентой и ее шкивом, цепью и звездочкой или зубчатой рейкой и шестеренкой.

3. Вращающиеся движения машины вызывают риск телесных повреждений типа порезов и мелких переломов, когда вращение происходит в непосредственной близости от стационарных объектов. Данное условие создается между червячным конвейером и его кожухом, между спицами колеса и машинной рамой или между шлифовальным кругом и зажимом.

Вертикальное, горизонтальное и возвратно-поступательное движение может вызвать телесные повреждения различными путями: человек может получить тычок или удар от какой-нибудь части машины, он может попасть между частью машины и каким-либо другим объектом, он может получить порез от острой кромки или оказаться зажатым между движущейся частью и другим объектом.

Меры безопасности:

1. Во избежание попадания одежды или рук во вращающиеся части перед началом работы застегнуть обшлаг рукавов и проверить, чтобы не было свисающих концов одежды, заправить волосы под головной убор.
2. При проверках электрооборудования на контрольно-испытательных стендах необходимо правильно центрировать и надежно закреплять агрегаты в зажимных устройствах во избежании травм работающих и поломки механизмов.
3. Рабочие места слесарей должны быть оборудованы специальными верстаками, надежно закрепленными на полу.
4. Выпресовка втулок, подшипников и других деталей должна производиться с помощью съемника и прессов.

6.2.2.Возможность поражения электрическим током

В последние годы существенно возросла актуальность проблемы электробезопасности. По статистике 3 % от общего числа травм приходится на электротравмы, в среднем по всем отраслям промышленности и хозяйства - 12% смертельных электротравм от числа смертельных случаев.

Проходя через организм, электрический ток оказывает следующие воздействия: термическое (нагревает ткани, кровеносные сосуды, нервные волокна и внутренние органы вплоть до ожогов отдельных участков тела); электролитическое (разлагает кровь, плазму); биологическое (раздражает и возбуждает живые ткани организма, нарушает внутренние биологические процессы).

Характерными причинами несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током, являются:

- случайные прикосновения людей к оголенным проводам и оборванным концам воздушной сети, находящейся под напряжением;
- появление напряжения там, где его в нормальных условиях не должно быть;
- выполнение работ на распределительных устройствах и транспортных подстанциях без отключения напряжения и без соблюдения необходимых мер безопасности;
- неудовлетворительное ограждение токоведущих частей установок от случайного прикосновения;
- устройство электропроводки и осуществление ремонтных работ на воздушных сетях, находящихся под напряжением;
- неудовлетворительное заземление электропроводок при их эксплуатации;
- производство электросварочных работ без соблюдения правил безопасности;
- несогласование и ошибочное действие обслуживающего персонала, например, подача напряжения, где работают люди;
- оставление электроустановок без надзора;
- несоблюдение элементарных требований безопасности;
- шаговое напряжение;
- освобождение человека, находящегося под напряжением;
- действие электрической дуги;
- воздействие атмосферного электричества во время грозových разрядов.

В соответствии с ГОСТ 12.1.009—76 ССБТ «Электробезопасность. Термины и определения» в качестве средств и методов защиты от поражения электрическим током применяют:

- изоляцию токоведущих частей (нанесение на них диэлектрического материала — пластмасс, резины, лаков, красок, эмалей и т.п.);

- двойную изоляцию — на случай повреждения рабочей;
- воздушные линии, кабели в земле и т.п.;
- ограждение электроустановок;
- блокировочные устройства, автоматически отключающие напряжение электроустановок, при снятии с них защитных кожухов и ограждений;

- малое напряжение (не более 42 В) для освещения в условиях повышенной опасности;

- изоляцию рабочего места (пола, настила);
- заземление или зануление корпусов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляций;

- выравнивание электрических потенциалов;
- автоматическое отключение электроустановок;
- предупреждающую сигнализацию (звуковую, световую) при появлении напряжения на корпусе установки, надписи, плакаты, знаки;

- средства индивидуальной защиты и другие.

К работе с электрооборудованием допускаются люди прошедшие теоретический курс. Осуществлять работу необходимо в спецодежде. Токоведущие части оборудования должны быть закрыты от общего доступа защитными кожухами, независимыми корпусами от токоведущей части. При ремонтных и монтажных работах устанавливаются защитные ограждения и вывешиваются предупреждающие плакаты. Все электроустановки должны быть заземлены.

Во время работы не допускается загромождать рабочее место деталями.

Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током определяют в отношении опасности поражения людей электрическим током следующие классы помещений:

Данное рассматриваемое помещение относится особо опасным, так как имеются следующие пункты:

1. Токопроводящие полы;
2. Возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам.

6.3. Экологическая безопасность

Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

Утилизация люминесцентных ламп (ртутных ламп) и ртутьсодержащих приборов: ртуть применяется при изготовлении люминесцентных ламп (ртутных ламп), которые повсеместно используются на производстве и в быту. Содержащаяся в люминесцентных лампах ртуть при их бое является потенциальным источником загрязнения различных помещений. Ртуть относится к веществам первого класса опасности и применительно к здоровью (патологии) человека обладает широким спектром клинических проявлений токсического действия. Накопление и хранение таких отходов на территории предприятий допускается временно до отправки на утилизацию в установленном порядке.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им

присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

Вентиляция цехов, прежде всего, организовывается с учетом повышенной загазованности, запыленности и загрязнения воздуха. Вентиляция цехов сочетает в себе системы подачи и отвода воздуха по воздуховодам с крышными вентиляторами и точечными – автономными – системами вентиляции. Такие автономные системы применяются для вентиляции цехов на участках повышенной загрязненности воздуха: гальванических участках, печах, в покрасочных камерах.

6.4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации по происхождению бывают: техногенного, природного и экологического характеров.

Для данного производства чрезвычайные ситуации техногенного характера:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Аварии на электроэнергетических системах.

Чрезвычайные ситуации природного характера:

1. Геофизические опасные явления(землетрясение);
2. Метеорологические опасные явления(бури, ураганы, крупный град).

Для повышения устойчивости работы объекта в ЧС выполняются следующие мероприятия:

По повышению устойчивости зданий и сооружений

- использование для несущих конструкций высокопрочных, легких и огнестойких материалов (сталей и алюминиевых сплавов повышенной прочности);
- применение у каркасных зданий облегченных конструкций стенового заполнения, межэтажных перекрытий и легких огнеустойчивых кровельных материалов;
- усиление при реконструкции объектов цеховых зданий или отдельных их участков дополнительными опорами и колоннами, уменьшение расчетных пролетов.

Район расположения объекта определяет величину, а также вероятность воздействия поражающих факторов природного происхождения (землетрясения, ураганы). Важное значение имеет дублирование транспортных путей и систем энергоснабжения.

Следует подробно изучить специфику технологического процесса, оценить возможность взрыва оборудования, основные причины возникновения пожаров, количество используемых в процессе сильнодействующих и ядовитых веществ. Для повышения устойчивости

объекта в чрезвычайной ситуации необходимо рассмотреть возможность изменения технологии, снижения мощности производства, а также его переключения на производство другой продукции. Необходимо разработать также способ быстрой и безаварийной остановки производства в чрезвычайных ситуациях.

Участок общей сборки взрывозащищенного асинхронного двигателя согласно НПБ 105-03 относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией на данном производстве является пожар.

Пожары наносят громадный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. Поэтому защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на объединении, независимо от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут привести к пожару или возгоранию.

Причины пожара:

- 1) Нарушение технологического режима;
- 2) Неисправность электрооборудования;
- 3) Плохая подготовка к ремонту оборудования;

4) Самовозгорание промасленной ветоши и других материалов.

Источниками воспламенения могут быть открытый огонь технологических установок, раскаленные или нагретые стенки аппаратов и оборудования, искры электрооборудования, статическое электричество, искры удара и трения деталей машин и оборудования и др.

А также нарушение норм и правил хранения пожароопасных материалов, неосторожное обращение с огнем, использование открытого огня факелов, паяльных ламп, курение в запрещенных местах, невыполнение противопожарных мероприятий по оборудованию пожарного водоснабжения, пожарной сигнализации, обеспечение первичными средствами пожаротушения и др.

Производственные, административные, вспомогательные и складские здания, сооружения и помещения, а также открытые производственные площадки или участки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами, устанавливаемыми отраслевыми правилами пожарной безопасности.

К первичным средствам пожаротушения относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами (песок, перлит и т.п.), а также огнестойкие ткани (асбестовое полотно, кошма, войлок и т.п.).

Первичные средства пожаротушения должны размещаться в легкодоступных местах и не должны быть помехой и препятствием при эвакуации персонала из помещений.

На производстве применяются углекислотные огнетушители (ОУ-3) предназначенные, для тушения загорания различных веществ и материалов, а также электроустановок, кабелей и проводов, находящихся под напряжением до 1 кВ (1000 В). Огнетушители рекомендовано устанавливать в специальных шкафах или на подвесных кронштейнах.

Допускается установка огнетушителей в тумбах или шкафах, конструкция которых должна позволять визуально определить тип огнетушителя и осуществить быстрый доступ к нему для использования при пожаре.

Каждый работающий на объединении должен знать пути эвакуации из помещения и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

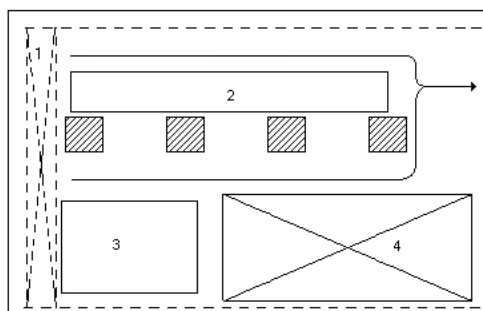


Рисунок 28 – План эвакуации

1 – кран-балка, 2 – верстак для сборки двигателей, 3 – испытательный стенд, 4 – места складирования

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.5.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, прошедшие обучение, инструктаж на рабочем месте и проверку знаний требований безопасности в комиссии на допуск к работе:

- по электробезопасности;
- работа с электрооборудованием.

6.5.2. Организационные мероприятия при компановке рабочей

зоны

При приёме на работу, работник должен пройти инструктажи для своей же безопасности: вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый, текущий.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится непосредственным руководителем работ перед допуском к работе, и должен сопровождаться показом безопасных приемов работ.

Повторный инструктаж на рабочем месте проводят с работниками независимо от их квалификации, стажа и оплаты работы не реже чем раз в шесть месяцев. Цель этого инструктажа - восстановить в памяти рабочего инструкции по охране труда, а также разобрать конкретные нарушения из практики предприятия.

Внеплановый инструктаж на рабочем месте проводится при изменении правил по охране труда, технологического процесса, нарушении работниками правил техники безопасности, перерывах в работах, к которым предъявляются дополнительные требования безопасности труда, - более чем на 30 календарных дней, для остальных работ - 60 дней.

Текущий инструктаж проводится для работников, которым оформляется наряд-допуск на определенные виды работ.

При компоновке рабочего места должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

Заключение

Использование в конструкции асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором магнитных клиньев, позволяющие сформировать магнитное поле определенной конфигурации, снизить амплитуды зубцовых гармоник магнитной индукции в воздушном зазоре между ротором и статором. При использовании модифицированных магнитных клиньев в пазах статора амплитуда пульсаций магнитной индукции по длине воздушного зазора снизилась в 4 раза. Так же ферромагнитные клинья позволяют эффективно уменьшить потери в стали. Потери снизились в 4 раза, также снизились моменты от высших гармоник магнитного поля, шумы и вибрации магнитного происхождения. Пульсации момента снизились на 28%. При исследовании установлено, что наличие магнитного клина модифицированной конструкции приводит к росту КПД на 1%, снижается температура нагрева обмоток и стали сердечника, существенно улучшаются виброакустические характеристики.

Таблица 17 – Результаты проведенных исследований

Наименование	Значение
Пульсации магнитной индукции	Уменьшились в 4 раза
Пульсации вращающего момента	Уменьшились на 28%
Постоянные потери (в стали)	Уменьшились в 4 раза
КПД	Увеличился на 1%

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения методики, а так же возможность быстрого выхода на внутренний рынок обеспечены актуальностью данного исследования.

2. Определен полный перечень работ, проводимых при исследовании влияния автоматического включения резерва на возможность самозапуска мощных синхронных двигателей. Общее число работ составило 8. Определена

трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 16 чел-дней, для студента-исполнителя составила 60 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 114 календарных дней.

3. Суммарный бюджет затрат НТИ составил – 643248 рубль. Расчет бюджета осуществлялся на основе следующих пунктов:

- расчет материальных затрат НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);-

накладные расходы.

4. Суммарный бюджет затрат на исследование экспериментальным путем составил 1170000 рублей. Отсюда можно сделать вывод, что исследование с помощью создания математической модели является на порядок дешевле.

Список использованных источников

1. Elcut. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. Санкт-Петербург. ООО «Тор», 2013.
2. Официальный сайт Elcut. Магнитостатика. http://elcut.ru/dcmag_r.htm.
3. Ситников Н. А. Асинхронные электродвигатели [Текст]. Реферат. // 2012 г. — Киров: Кировский авиационный техникум, 2003. — С. 75.
4. Конструктор. Машиностроитель. Журнал. ООО «Авитайм». М: Санкт-Петербург 2016. – 45с.
5. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat. URL: <http://www.dissercat.com/content/energoberegayushchii-elektroprivod-na-osnove-asinkhronnogo-dvigatelya-s-individualnoi-kompe#ixzz497jHEc00>. (дата обращения: 19.05.2016).
6. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Брайт, 2015. – 767 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.
7. Сайт Компания ПО Электромотор URL: <http://electronpo.ru/production>. (дата обращения: 19.05.2016).
8. Афанасьев А.С. К проблеме измерения хозяйственного риска предприятий реального сектора экономики // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2008. № 3. С. 87-90.
- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
9. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
10. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

11. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
 12. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
 13. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
 14. ГОСТ 12.3.002–75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
 15. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
 16. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты .
 17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
 18. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
 19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
 20. СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
 21. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
 22. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- О.Б.Назаренко. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2008.

Приложение А

Introduction

Powerful induction motors are used in many areas of production, because they are reliable and efficient. They are characterized by smooth start, the maximum voltage step protection and ease of use. It is worth paying attention to the efficiency of the powerful motors – it is more than 95% and is important for large-scale production. Depending on the conditions in which induction motors used, there are the following types:

1. General use devices. For example, a standard 55 kW electric motor has an affordable price and is used under normal operating conditions.
2. Explosion-proof. They are used in production with a potentially explosiveness. Usually, it is a motor power of 132 or 160 kW. [4]
3. High-voltage. In high voltage conditions applied electric motor of 200 kW, and in conditions of increased danger voltage required power increases to 250 kW. [2]
4. Motors for the mechanisms. These devices are used for cranes, which are machines mechanisms. They include a 90 kW motor, in some cases - the power is 110 kW [2].

In industry mainly used large power induction electric motors type. They are characterized by a simple construction, a good overload capacity and reliability. Of course, depending on the qualitative characteristics of the device can change the price.

In Russia, the AC electric motors consume over 40% of produced electricity. In connection with this problem the urgent task is to increase current efficiency AC induction motors. However, large power induction motors have half-open grooves, and observed pulsation magnetic flux, which in turn leads to loss of pulsation and lower energy characteristics, besides pulsation magnetic flux leads to torque ripple. Therefore, there is a need for reducing the magnetic flux pulsation.

For this purpose, in the induction motor constructions use magnetic coil braces allowing to form a magnetic field of a certain configuration in grooves of motor, to

reduce the amplitude of the tooth harmonics of the magnetic induction in the air gap between the rotor and the stator, effectively reduce the supplementary losses, the moments of higher harmonic of magnetic field, noise and vibration of magnetic origin. During the operation of high-power electrical machines was found, that during installation of the magnetic coil braces (for example, using iron powder, steel plates or steel mesh, etc.) increases the efficiency, reduced the heating temperature of coils and core steel, vibroacoustic characteristics are significantly improved.

The aim of this work is to investigate the influence of the ferromagnetic stator coil braces in half-open grooves on the energy indices of the large power induction motor with a squirrel-cage rotor.

The objectives of the work are:

- to investigate the influence of the magnetic coil brace on the magnetic induction ripples along the entire length of the air gap;
- to investigate the influence of the magnetic coil brace on the cogging torque;
- to analyze the effect of the magnetic coil brace on the energy indicators of the motor.

The research subject: the coil braces of various materials and different constructions, which are located in stator slots.

The research object: induction motor with squirrel-cage rotor.

Table 1 - Standard motor parameters

Load power, kW	55
Industrial frequency, Hz	50
Number of pole-pairs	4
Efficiency, r.u.	0,89
Power coefficient	0,87
Idle current, A	16,77
Stator current, A	63,94
In-rush starting current, A	248,21
Number of parallel path	1
Stator core outer diameter, mm	529
Stator core inner diameter, mm	365
Air gap depth, mm	0,9
Rotor shaft diameter, mm	120

Length of stator pack, mm	280
Length of rotor pack, mm	285
Number of stator slots	72
Stator slot height, mm	37,6
Height of the spline of the stator slot, mm	1,25
Width of the spline of the stator slot, mm	5,5
Diameter of the stator slot at the base, mm	9,7
Diameter of the stator slot at the bore, mm	11,35
Number of rotor slots	86
Height of the rotor slot, mm	36,5
Height of slot bridge of the rotor, mm	1
Larger diameter of the rotor slot, mm	5,5
Diameter of the rotor slot at the base, mm	5,5
Stator slot area in the stamp, mm^2	354

Rotor bars are made of copper, the slots in the rotor are closed, and grooves in the stator are semi-open.

The research methods are: analytical, comparative methods of mathematical modeling and graphic visualization techniques for study materials.

The scientific novelty of the work consists in the fact that the proposed new types of magnetic coil braces increase the efficiency of induction motors with squirrel-cage rotor.

The practical value of the work is in the development and justification of the project, which can be introduced into production for more effective results.

Structure and volume of the work

The work consists of 22 pages, including appendix. It consists of an introduction, 3 basic units, conclusion, reference and appendices. Each unit has sections that display the progress and results of the study. Conclusions and suggestions are reflected in the conclusion of the study. References consist of 7 sources, represented by Russian and foreign authors.

1. Selection the coil brace construction and its research

The windings are fixed in the grooves by dielectric coil braces in stator with semi-open grooves. By using such coil braces are observed pulsations of the magnetic induction along the length of the air gap and the cogging torque. Also for fixing the stator winding are used the coil braces of ferromagnetic materials (magnetic coil braces).

Magnetic coil braces located directly from the air gap, in a place as much as possible to influencing the formation of the magnetic field. They partially aligned curve of magnetic field in the gap in grooves locations and simultaneously influence the magnetic field in the teeth of the stator core. Effect of magnetic coil braces is equivalent to a reduction of the groove width.

Reducing the temperature of active parts of the motor with the use of magnetic wedges occurs due to decrease losses (except the motor). iron losses reduced by decreasing surface and pulsation losses, which depend on the uneven distribution curve of the magnetic induction in the air gap. Uneven distribution of the magnetic induction occurs due to the fact that the air gap is uneven over the entire length, or it can be said that the coefficient of the air gap (Carter's coefficient) different from one. In order to reduce the magnetic induction pulsation need to strive to ensure that the Carter coefficient equal to one.

Supplementary losses are reduced by decreasing pulsation of curve of the field. The magnetizing current is reduced due to the increase of magnetic conductivity of the air gap. The basic losses in the stator windings are also reduced.

Initially, I will consider a dielectric coil braces with calculation induction motor with squirrel-cage rotor in the program Elcut 5.1. and construct a graph of the magnetic induction at the air gap length. For this are performed the following actions:

1. Create a sketch of the stator sheet

Drawing is made by Compass 3D program in real size and the motor is shown in Figure 1, input data for the stator construction drawing sheet are shown in Table 1.

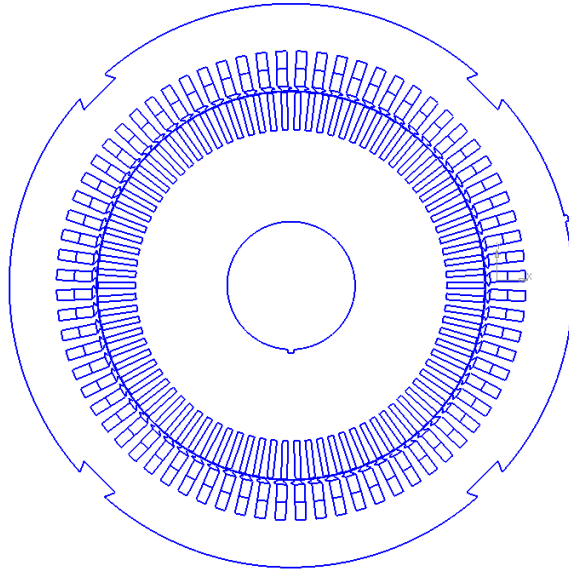


Figure 1 - Sketch of the stator and rotor sheets

2. Construction of the winding and determining the direction of current.

For the construction of windings in Table 2 presented required data and some of the calculations are given below.

Table 2 - The initial data for the construction of the winding

Number of stator teeth	Z_1	72
Number of pole	$2p$	8
Number of phase	m	3

The number of slots per pole and phase:

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{72}{8 \cdot 3} = 3;$$

Pole pitch:

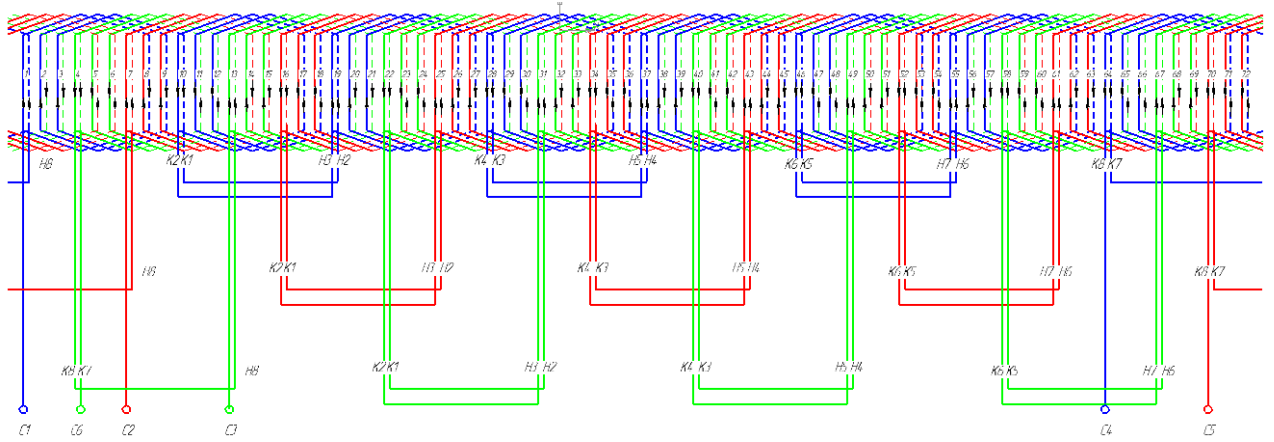
$$\tau = \frac{Z_1}{2p} = \frac{72}{8} = 9;$$

Phase pitch:

$$2q = 2 \cdot 3 = 6.$$

According to obtained calculations we build scheme circuit of the stator winding, considering that there is a shortening of the winding pitch by 1 slot.

We arrange the current direction in each slot; this is performed so that the direction of the current start and end of the coil groups of one phase matched direction. The current direction is necessary to create a mathematical model.



The current density is required to create a mathematical model.

4. Creation of a mathematical model

The next step is to move the drawing from 3D Compas in Elcut 5.1. Next, physical properties of materials are specified, namely a coil braces, magnetic cores, airs. It sets the value of the current density and direction of the current in a conductor. Superimposed calculation grid and calculation is performed.

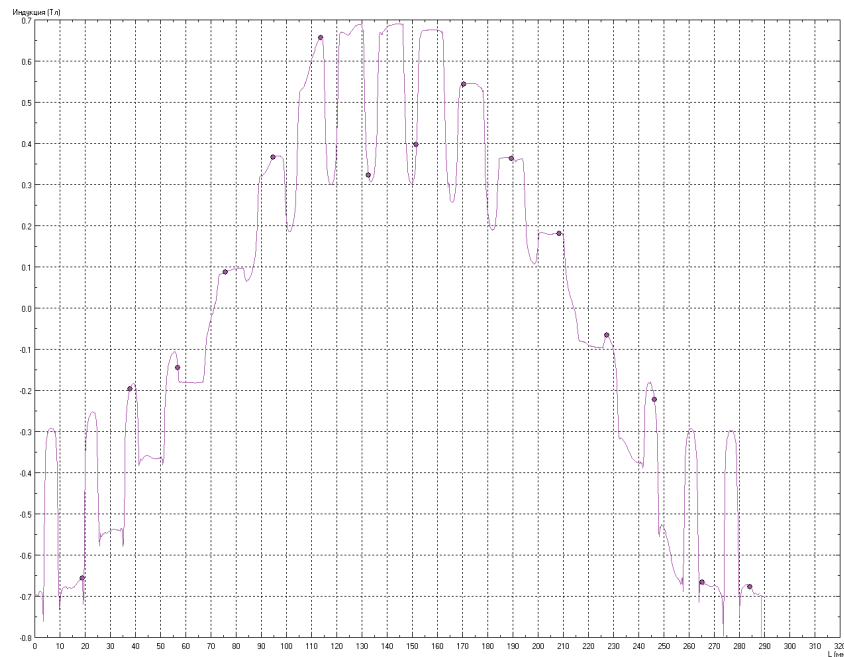


Figure 5 - Magnetic induction on the length of the air gap with the dielectric coil brace

The graph shows the pulsation of magnetic induction, as previously was stipulated. These pulsations average by 0.4 Tesla. Therefore, for fixing the coil brace is suitable, but it will take place cogging torque. For solution of this problem try to use the standard form of ferromagnetic coil brace shown in Figure 5.

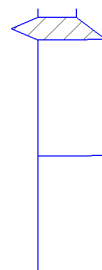


Figure 5 - The slot of the stator with a standard ferromagnetic coil brace

We perform the same calculations in the program Elcut 5.1. We get a graph of the magnetic induction on the length of the air gap and analyze it.

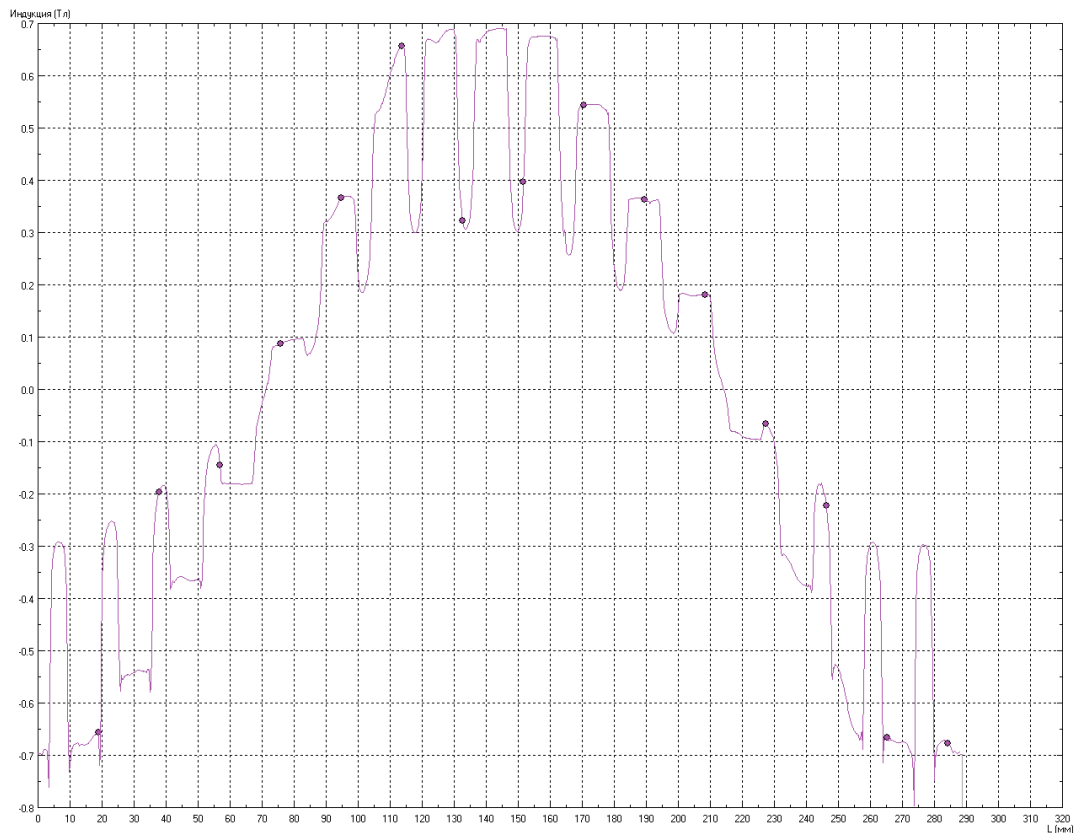


Figure 6 - Distribution of magnetic flux density along the length of the air gap using a ferromagnetic coil brace

After analyzing the graph, it can be said that this form of the magnetic coil brace does not give the required improvements; pulsation of magnetic flux density along the length of the air gap remains unchanged at 0.4 Tesla. The reason for this is the percentage of the coil brace gap to the air gap. It follows that the flux closure provides longitudinal magnetic induction pulsation, as a magnetic coil brace or without it.

For the decision of this problem, try to use a magnetic coil brace as shown in Figure 7, a coil brace has an equal value of the air gap along the entire length.

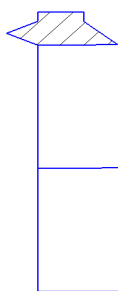


Figure 7 - The slot of the stator with a modified ferromagnetic coil brace
Similarly, as for the standard ferromagnetic coil braces and for the dielectric coil braces will make calculations in the program Elcut 5.1. and obtain the graph of distribution of magnetic flux density along the length of the air gap.

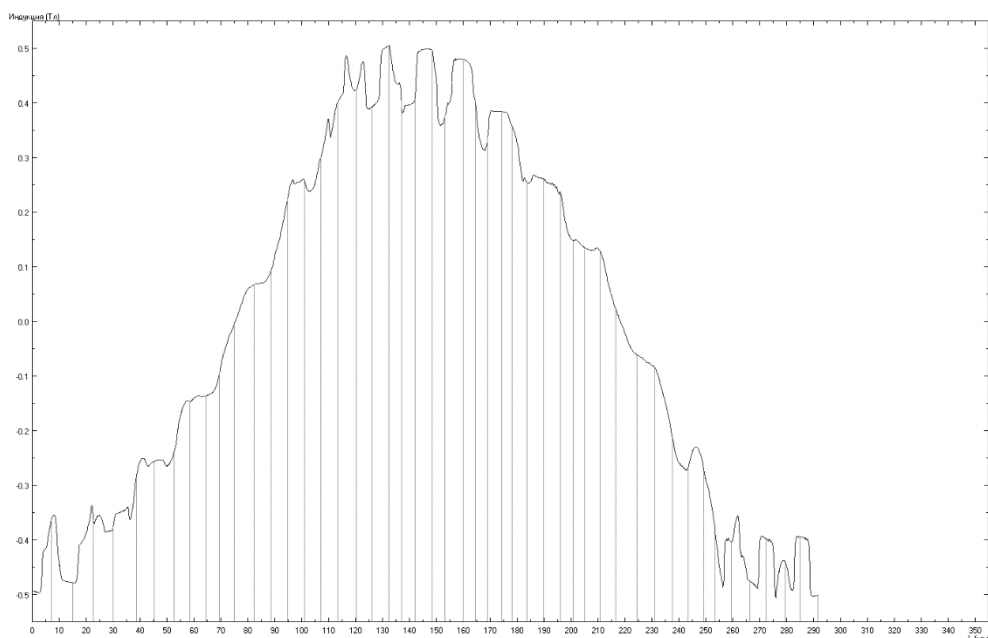


Figure 8 - Graph of the distribution of magnetic induction on the length of the air gap without the coil brace.

The graph shows that the magnetic flux density pulsations are reduced. With standard ferromagnetic coil brace the pulsation value is 0.4 Tesla, while a modified magnetic coil brace is 0.1 Tesla. Consequently, shape of the magnetic coil brace of the proposed form (Figure 7) reduces pulsation magnetic flux density along the length of the air gap. And further more profound study will be conducted with a modified ferromagnetic coil brace in the program ANSYS Maxwell.

1. The choice of research method

Many of the tasks that are currently faced by the researchers are not amenable to analytical decision or require the huge costs of experimental realization. Progress in the development of numerical methods and computer modeling has allowed to significantly expanding the range of tasks that are available to analysis. The results which obtained on the basis of these methods are used in almost all fields of science and technology.

ANSYS Maxwell - is modern, high-performance software for the simulation of two-dimensional and three-dimensional electromagnetic fields, which used for the analysis of models of motors, sensors, transformers and many other electrical and electromechanical devices for various applications.

The mathematical basis of ANSYS Maxwell is finite element method, whose task is to find the only possible distribution of the electromagnetic field in a given computational domain under these boundary conditions and energization.

The finite element method is a powerful, reliable and modern tool for studying constructions behavior in a variety of influences. ANSYS program is widely known and popular among researchers as a program using the finite element method. Means of ANSYS finite element method allows to carry out calculations of static and dynamic character. This allows to solve a wide range of tasks.

We need to solve the following tasks in the present work:

1. Make a sketch of the sheet of magnetic stator and rotor according to the size of the real motor. Characteristics are taken from 3AHГ model.
2. To make a mathematical model of the induction motor in the program ANSYS Maxwell with and without magnetic coil brace.
3. According to the data obtained by the mathematical model to make conclusions about the necessity of using a magnetic coil brace of the stator half-open grooves.

2. Work in the program ANSYS Maxwell

The first step for creating mathematical model in the ANSYS Maxwell program is the creation of 3D-model of the stator core and the rotor in the Compas 3D program, this model is shown in Figure 9.

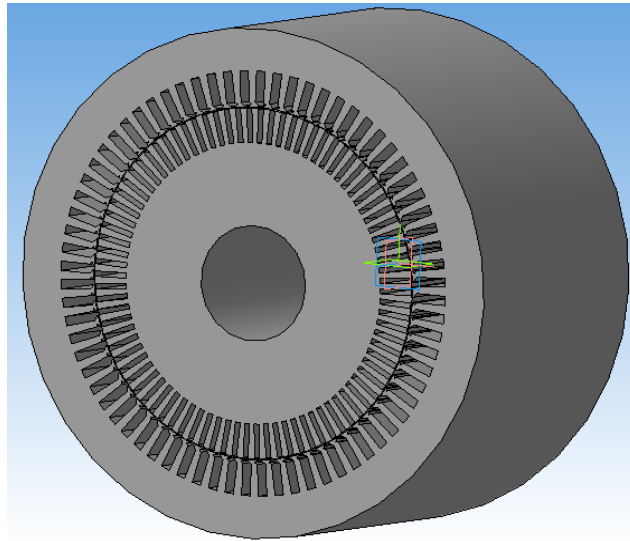


Figure 9 - 3D-model

The next step is the transfer of sketch from 3D Compas in ANSYS Maxwell, and the creation of 3D-models from 2D-model, and filling of the slots of the stator and rotor by windings. 2D-model with filling of the slots by windings is shown in Figure 10.

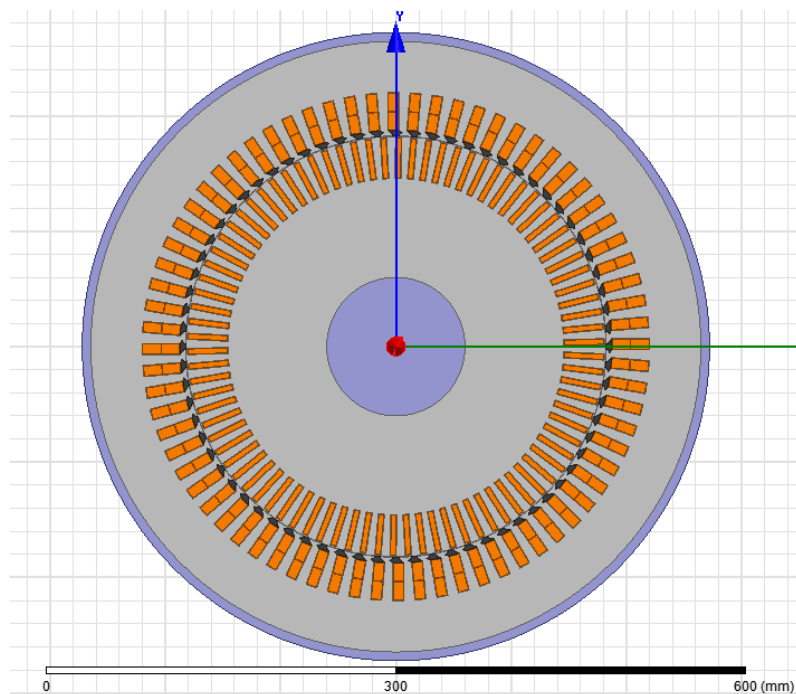


Figure 10 - Sketch in 2D of magnetic rotor and stator with filling of the slots by winding

Then it is defined the material for the rotor and stator magnetic core, it is steel (electrical steel), for the rotor and stator windings it is cooper. Material characteristics are set automatically.

According to the winding shown in Figure 2, it is defined the location of the windings in the slots, the direction of current flow on the stator winding and determined which phase is located in a corresponding groove. Voltage source is defined for each phase, the source is given by considering that all phases must be offset by 120 electrical degrees.

The formula for the phase A: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time + 0,01)$;

The formula for the phase B: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time - \frac{2 \cdot \pi}{3})$;

The formula for the phase C: $310 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot time - \frac{4 \cdot \pi}{3})$.

The rotor winding is short-circuited; the stator windings are connected in star.

The resistance of the stator and rotor winding and the inductance is defined in the same time, and it filled moment of inertia of the rotor.

Next, the grid settings are performed and the calculation parameters are set, the model is checked for errors and the calculation is performed. Time calculation we set at the rate that the motor will come to a steady state. We can keep track this by the graph of depending of the rotation speed of time, obtained in the calculations.

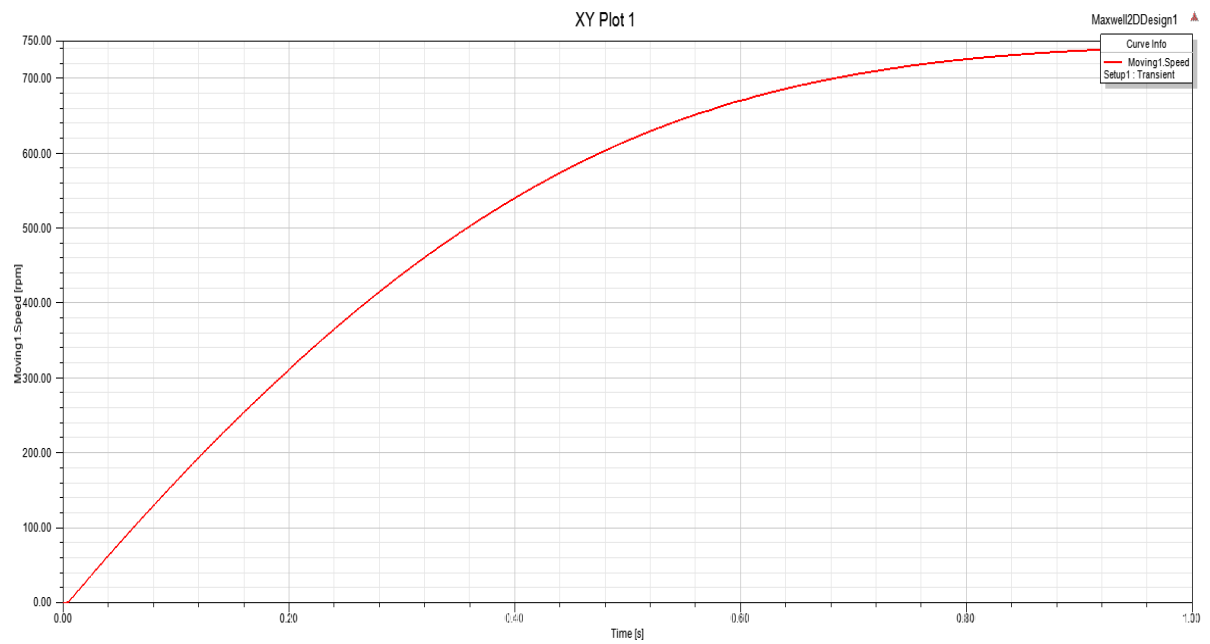


Figure 11 - Graph of the rotation speed of the time

As can be seen from the graph the induction motor left on a constant speed of about 750 rev / min per second, therefore this time will be sufficient to conduct the study.

The first experiment is conducted for the model with the absence of coil brace in the stator winding.

In order to solve the problem, it is necessary in the calculation to obtain the following graphs:

1. The dependence of the current in the stator winding in time.
2. The dependence of rotation moment in time.

Figure 11 shows a graph of the current obtained by the calculation program.

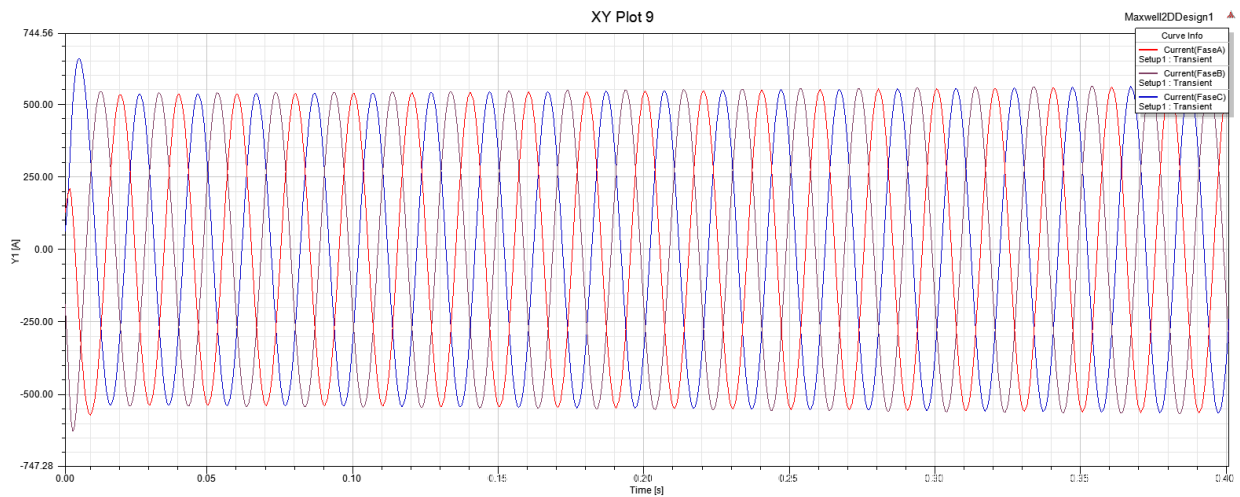


Figure 11 - Graph of current in phases in time

By analyzing the graph, it can be said the following:

The starting current approximately 65 A, the current in the steady state ranges between 53 to 55 A. Currents are offset relative to each other by 120 electrical degrees.

Next obtained graph is rotation moment at the time; it is shown in Figure 12.

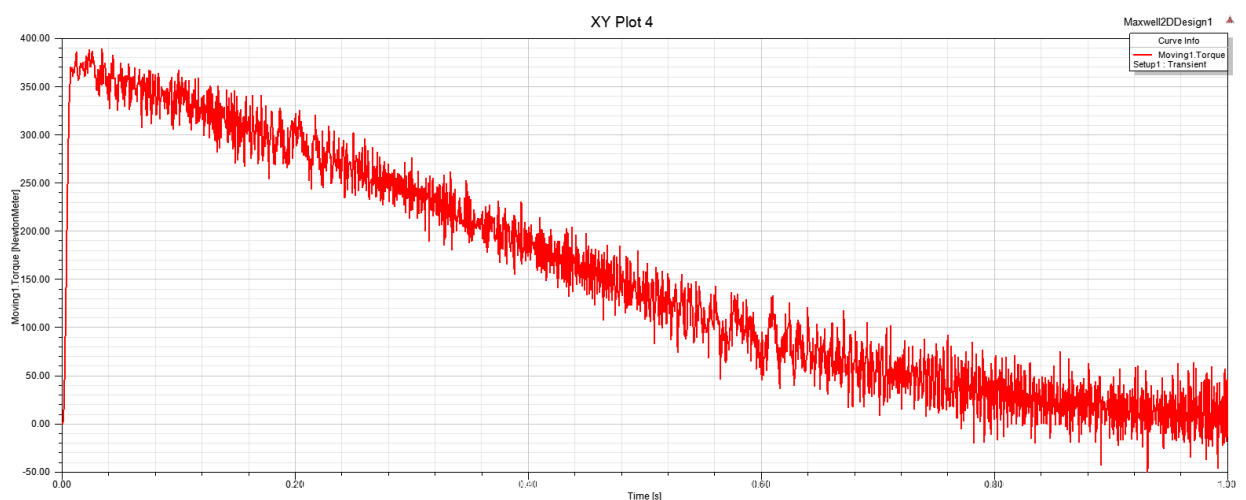


Figure 12 - Graph of the dependence of rotation moment in time

As the graph of the moment shows, there are fluctuations, which have a negative effect to the mechanical characteristics of the motor. To determine the average pulsations, we find the average value of the oscillation at the time when the motor went out on steady state. It is necessary to draw a middle line, and to find the

maximum and minimum value of the oscillation. To do this need to draw a middle line, and from this middle to measure the maximum and minimum deviation.

Figure 13 shows a graph with the middle line.

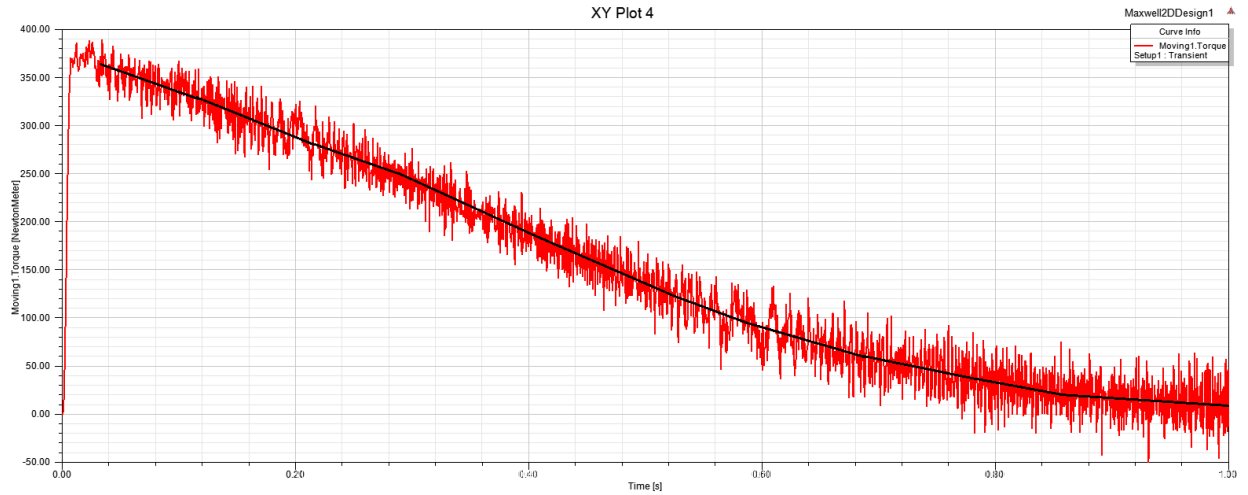


Figure 13 - Graph of the rotational moment in time with the middle line

The maximum deviation of the rotational moment is 37,5 N·m, minimum is 87,5 N·m, therefore the amplitude of the average deviation is equal:

$$A_m = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} = \frac{37,5 + 87,5}{2} = 62,5.$$

The following experiment is performed for the mathematical model with the presence of the magnetic coil brace in the stator winding.

This calculation is performed in a similar manner as described above with a condition that coil braces are present in the magnetic slot of the stator.

Figure 14 shows a graph of the current obtained by the calculations of program.

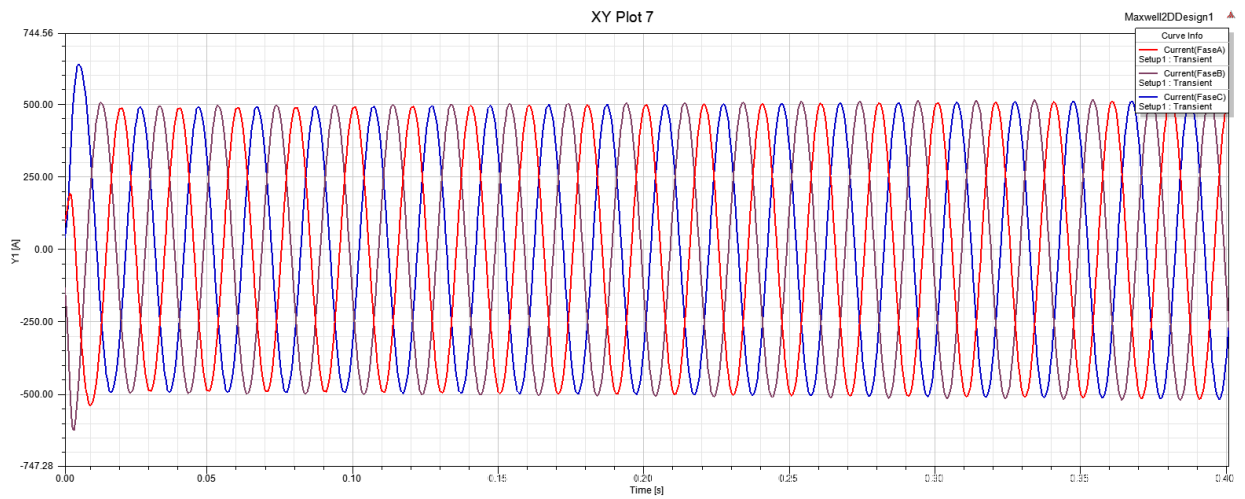


Figure 14 - Graph of the dependence of current in phases in time

The in-rush starting current is approximately 63 A, the current in the steady state ranges between 49 to 52 A. Currents are offset relative to each other by 120 electrical degrees.

Next obtained graph is rotational moment in the time, it is shown in Figure 15.

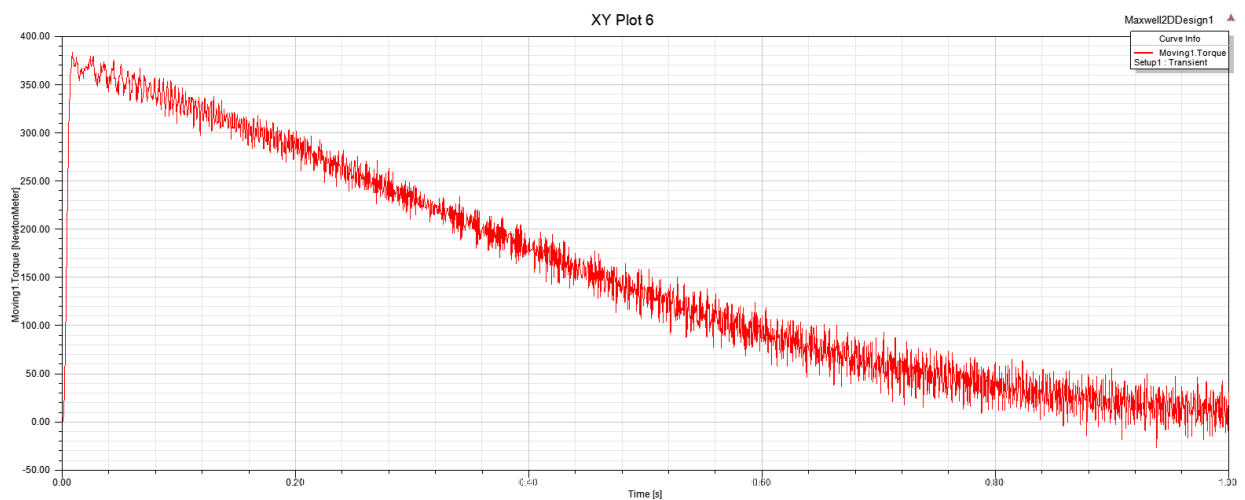


Figure 15 - Graph of the dependence of rotation moment in time

Figure 16 shows a graph with the middle line.

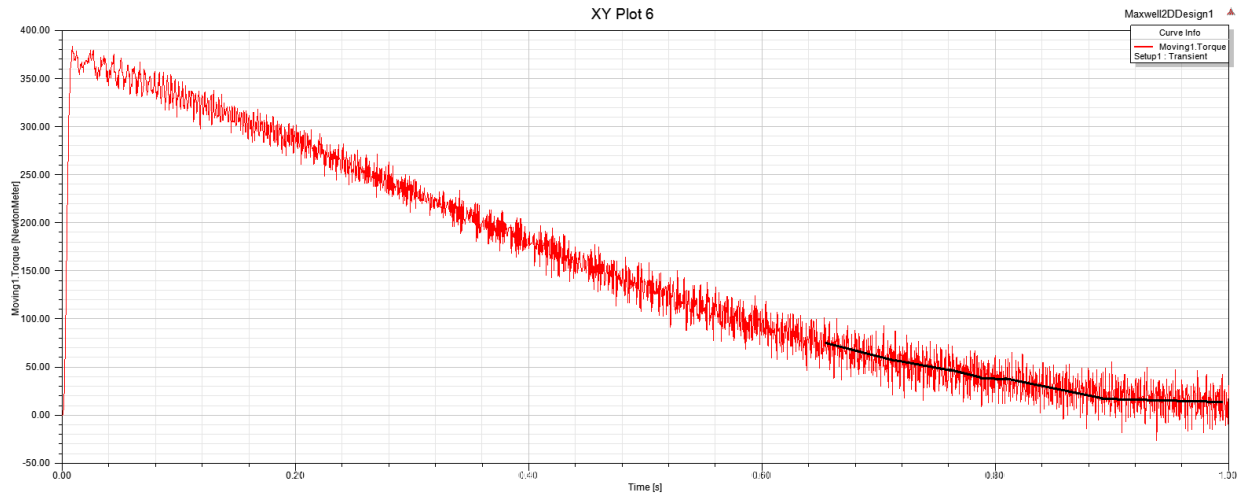


Figure 16 - Graph of the dependence of rotational moment in time with the middle line

The maximum deviation of the rotational moment is 32,5 N·m, minimum is 57,5 N·m, therefore the amplitude of the average deviation is equal:

$$A_m = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} = \frac{32,5 + 57,5}{2} = 45.$$

Conclusion

Having received the required results, we compare the calculations obtained in the absence and presence of the magnetic coil brace in the stator winding.

We combine the graphics into the same scale. The current has approximately the same value in all phases. Therefore, we depict the same phase in both cases on the graph.

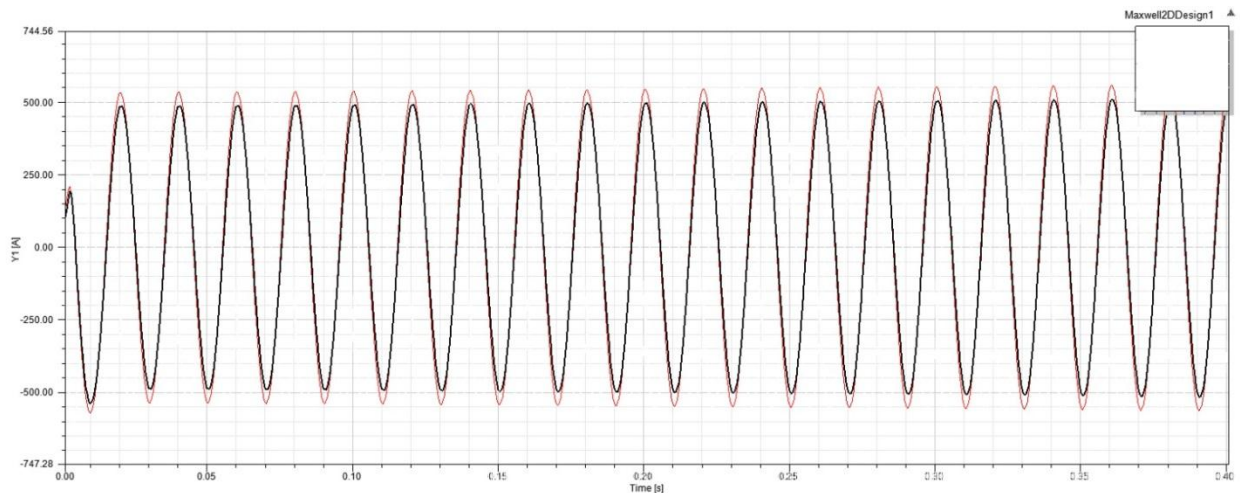


Figure 17 - The graphs of the currents in phase A

The graph shows that the current in phase A in the presence of the magnetic coil brace is less than the current in the same phase in the absence of the coil brace. Because the current has become smaller, therefore core losses are decreased, and thus the efficiency is increased. The decrease of current in the stator winding can be verified by presenting them in a numerical value. The in-rush starting current in the absence of the coil brace is 65 A, with the coil brace he was 63 A, therefore it dropped by 2 A. The current in the steady state in the absence of a wedge on the average amounts to 54 A, and with the coil brace is 50 A, the average current is reduced to 4A.

The next graph we consider the rotational moment shown in Figure 18 and 19.

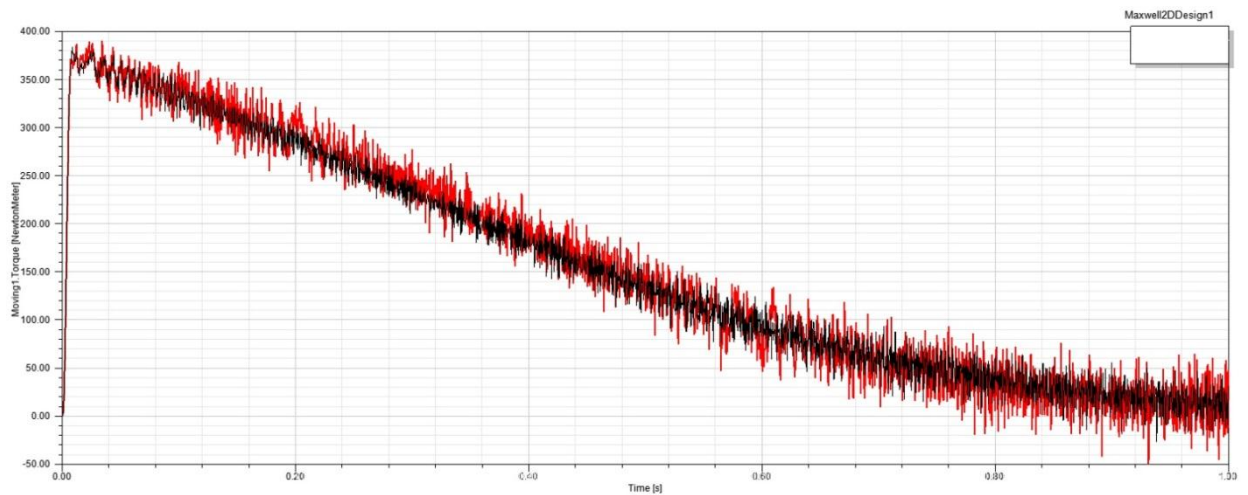


Figure 18 - Graphs of the dependence of rotational moment in time

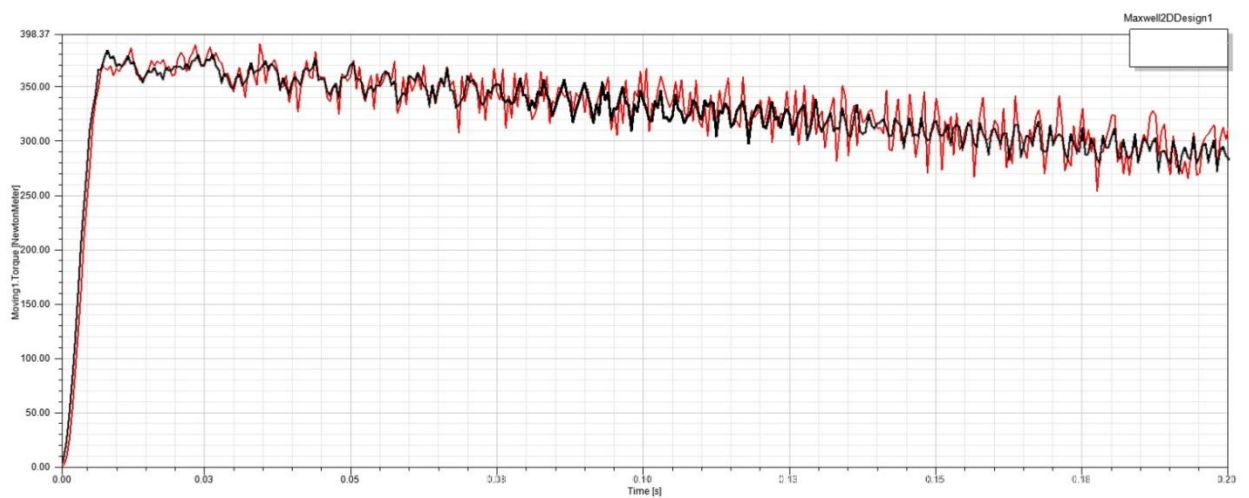


Figure 19 - Graphs of the dependence of rotational moment in time

(0,2 sec)

The red color shows the moment in the absence of coil brace, the black color shows the moment in the presence of coil brace.

The graph shows that the cogging torque in the absence of the coil brace has higher amplitude throughout the work of the induction motor. So is it possible to trace numerically, in the presence of a magnetic coil brace average deviation of amplitude equal to 45, and in the absence of the coil brace is 62.5. It can be concluded that the use of ferromagnetic coil brace reduces cogging torque.