

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

Институт: Энергетический

Специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электротехнические комплексы и материалы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

УДК 621.313.333.07:621.671:620.9:658

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Жакупов Ерболат Саятович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭКМ	Усачева Т.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры МЕН	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		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
электротехнические комплексы и материалы	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

Томск – 2016 г.

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

Институт: Энергетический

Специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электротехнические комплексы и материалы

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭКМ ЭНИН

(Подпись) _____ (Дата) Гарганеев А.Г.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Жакупову Ерболат Саятовичу

Тема работы:

**Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на
энергосбережение насосного агрегата**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 22.01.2016 № 273/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30 мая 2016 года

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Рассмотреть методику расчета энергосбережения при применении частотнорегулируемого электропривода в насосных станциях и центральных тепловых пунктах коммунальной сферы. Оценить влияние энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Обзор источников литературы по теме. Обоснование необходимости разработки.2. Проведение электромагнитного расчета асинхронного двигателя, с короткозамкнутым ротором на базе двигателя АИР112М4.3. Создание математической модели асинхронного двигателя в программном обеспечении MatLAB Simulink.

	<p>4. Производство оценки влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя АИР112М4 на энергосбережение насосного агрегата, в состав которого входит насос К80-50-315.</p> <p>5. Расчёт экономий электроэнергии для регулируемого электропривода насосной станции с применением законов управления.</p> <p>6. Экономическая оценка наиболее выгодных и эффективных мероприятий по энергосбережению насосного агрегата, в состав которого входит насос К80-50-315.</p> <p>7. Социальная ответственность данной работы.</p>
Перечень графического материала	<p>1. Сборочный чертеж асинхронного двигателя АИР112М4.</p> <p>2. Демонстрационные слайды для презентаций.</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент, кандидат технических наук кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Заключение	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22 января 2016 года

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭКМ	Усачева Т.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Жакупов Е.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Жакупов Ерболат Саятович

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

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

<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	<p>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</p> <ul style="list-style-type: none"> - заработная плата рабочего персонала; - сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты для производства электродвигателя; - оборудование цеха.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР) 2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР 3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР 4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП) 5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков 	<ul style="list-style-type: none"> - Предпроектный анализ; - Инициация проекта; - Планирование управления научно-техническим проектом; - Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.
---	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя 2. Оценка конкурентоспособности ИР 3. Матрица SWOT 4. ФСА диаграмма 5. Оценка перспективности нового продукта 6. График разработки и внедрения ИР 7. Инвестиционный план. Бюджет ИП 8. Основные показатели эффективности ИП 9. Риски ИП 	<ul style="list-style-type: none"> - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок); - FAST - анализ; - Функционально-стоимостная диаграмма; - Причинно-следственная диаграмма; - Иерархическая структура работ по проекту энергосберегающего асинхронного двигателя; - Календарный план-график;
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Жакупов Ерболат Саятович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Жакупов Ерболат Саятович

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	<i>Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата. К рабочей зоне относится производственный цех завода «ТЭМЗ».</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Профессиональная социальная ответственность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p><i>К вредным факторам относится:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - неблагоприятные метеорологические условия; - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенная или пониженная влажность воздуха; - повышенная или пониженная подвижность воздуха; - интенсивность теплового облучения; - отсутствие или недостаток естественного света; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации от работы асинхронного двигателя; - повышенный уровень электромагнитных излучений; <p><i>К опасным факторам относится:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - электрическая дуга; - повышенный уровень статического электричества; <p><i>Условия труда работающих характеризуются возможностью воздействия на них следующих вредных производственных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации от работы асинхронного двигателя; - отсутствие или недостаток естественного света; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - неблагоприятные условия микроклимата.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу 	<p><i>Материалы и оборудование, используемые при исследованиях, являются экологически безопасными, без отходов и выбросов.</i></p>

<p>(выбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<p><i>Возможные ЧС на объекте: короткое замыкание электропроводки, приводящее к возгоранию и к взрыву. Производственные травмы, непосредственно связанные с оборудованием.</i></p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Жакупов Ерболат Саятович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 148 с., 39 рисунок, 30 таблиц, 49 источников литературы, 34 формулы.

Ключевые слова: энергосбережение, асинхронный двигатель, насосный агрегат, частотно-регулируемый электропривод, законы регулирования.

Объектом исследования является асинхронный двигатель АИР112М4 с короткозамкнутым ротором.

Цель работы – разработать методику расчета энергосбережения при применении частотно-регулируемого электропривода в насосных станциях и центральных тепловых пунктах коммунальной сферы, оценить влияние энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата и представить математическую модель.

В процессе исследования был произведен электромагнитный расчет двигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР112М4 для законов управления, была создана математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении MatLAB Simulink, .

В результате исследования была предложена методика расчета энергосбережения насосного агрегата при частотном регулировании, в которой учтены характеристики насоса, трубопровода и энергетические характеристики асинхронного двигателя, было сделано заключение, что применение регулируемого электропривода при обоих рассмотренных законах управления обеспечивает экономию электроэнергии свыше 50 %. Однако, наиболее приемлемым для вентиляторной нагрузки является закон $U/f^2 = const$. Он обеспечивает меньшую потребляемую мощность при той же величине частоты в диапазоне регулирования вниз от номинального значения и имеет коэффициент полезного действия выше, чем при использовании закона с линейной зависимостью.

По окончании работы был произведен расчет наиболее экономичного метода обработки, а также приведена оценка социальной ответственности.

Список сокращений

АД – асинхронный двигатель;

ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство;

КПД – коэффициент полезного действия;

ММ – математическая модель;

ПЧ – преобразователь частоты;

РЭП – регулируемый электропривод;

ЧРЭП – частотно-регулируемый электропривод;

ЭМ – электрическая машина;

ЭП – электропривод.

Оглавление

Введение		
1	Энергосбережение в насосных агрегатах	17
1.1	Применение частотного-регулируемого привода	23
1.2	Асинхронные электродвигатели для частотного-регулируемого привода	26
	Выводы по главе 1	28
2.	Электромагнитный расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	29
	Выводы по главе 2	31
3.	Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении Simulink MatLAB	32
3.1	История разработки MatLAB	32
3.2	Место MatLAB среди математических программ	33
3.3	Возможности, визуализация и графические средства	33
3.4	Математическое моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	35
	Выводы по главе 3	41
4	Проектирование асинхронного двигателя серии АИР112М4 для законов управления	42
	Выводы по главе 4	46
5	Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении Simulink MatLAB для законов регулирования	47
	Выводы по главе 5	63
6	Расчет энергетической энергии потребляемым насосным агрегатом	65
	Выводы по главе 6	67
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
7.1	Потенциальные потребители результатов исследования	68
7.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	71
7.1.3	FAST-анализ	73
7.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	81
7.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	83
7.2	Планирование управления научно-техническим проектом	83
7.2.1	Иерархическая структура работ проекта	83
7.2.2	Контрольные события проекта	84
7.2.3	Календарный план проекта	85
7.2.4	Реестр рисков проекта	94
7.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,	97

	бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	
7.3.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	97
7.3.2	Оценка сравнительной эффективности исследования	99
	Выводы по главе 7	100
8	Социальная ответственность	102
8.1	Производственная безопасность	103
8.1.1	Анализ вредных и опасных факторов	103
8.1.2	Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений	104
8.1.3	Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны	108
8.1.4	Повышенный уровень шума на рабочем месте	109
8.1.5	Повышенный уровень вибрации от работы асинхронного двигателя	110
8.1.6	Повышенный уровень электромагнитных излучений	112
8.1.7	Электрическая дуга	114
8.1.8	Повышенный уровень статического электричества	117
8.2	Экологическая безопасность	119
8.2.1	Анализ влияния электромашиного производства на окружающую среду	119
8.2.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	121
8.2.3	Защита атмосферы	121
8.2.4	Защита гидросферы	123
8.2.5	Защита литосферы	124
8.2.6	Методы минимизации экологического ущерба в условиях электромашиного производства	124
8.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	128
8.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	128
8.3.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	129
8.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	131
8.5	Разработка зануления электроустановок	134
8.5.1	Расчет зануления	136
	Выводы по главе 8	140
	Заключение	141
	Список использованных источников	144
	Приложение А	149
	Приложение Б	233

Введение

Актуальность темы. Дефицит энергоресурсов – одна из реальностей современной России. От того, насколько динамично развивается и устойчиво функционирует топливно-энергетический комплекс, насколько быстро осваиваются новые и эффективно эксплуатируются действующие нефтегазовые месторождения, зависит в конечном итоге экономический рост и благополучие населения страны.

Экономика России на современном этапе характеризуется высокой энергоемкостью. Удельная энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) страны (по паритету покупательной способности) в 2,5 раза выше среднемирового показателя, в 2,8 раза выше среднего показателя по странам ОЭСР и в 3,5 раза выше энергоемкости ВВП Японии. Причинами такого положения, кроме суровых климатических условий и территориального фактора, являются сформировавшаяся в течение длительного периода времени структура промышленного производства и нарастающая технологическая отсталость энергоемких отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, а также недооценка стоимости энергоресурсов, не стимулирующая энергосбережение [1].

Жилищно-коммунальное хозяйство сегодня является крупнейшим потребителем энергии в стране, одной из самых затратных отраслей российской экономики, в которой энергоресурсы используются крайне нерационально. По официальным данным Правительства РФ, содержание ЖКХ для государственного бюджета обходится в 100-120 млрд. руб. ежегодно, причём имеется тенденция к постоянному росту этих расходов. Ежегодная потребность в расходах на жилищно-коммунальный сектор (ЖКС) составляет от 35 % до 50 % муниципальных бюджетов. Удельный расход воды на одного жителя России превышает среднеевропейские показатели в 2-3 раза, на отопление 1 м² площади тратится в 5 раз больше условного топлива, чем в Европе.

Энергосбережение является ключевым звеном реформирования жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) России [2].

Значительный потенциал экономии и рост стоимости энергоресурсов делают проблему энергосбережения в ЖКХ весьма актуальной.

Насосные агрегаты на основе асинхронных двигателей (АД) являются одними из самых массовых потребителей электроэнергии, потребляя около 25 % всей вырабатываемой электроэнергии. Один из путей повышения экономичности электропривода (ЭП) насосных агрегатов связан с использованием энергоэффективных АД. В таких машинах за счет увеличения массы активных материалов, применения высококачественной изоляции и оптимизации конструкции снижаются потери энергии, и происходит повышение их коэффициента полезного действия (КПД). Направление развития электрических машин, связанное с повышением их энергоэффективности, в первую очередь, связано с ростом цен на энергоносители. Именно это обуславливает поиск способов повысить энергоэффективность АД, разрабатываемых для ЭП насосных агрегатов [1].

Разработки по созданию энергоэффективных АД, проектируемых в соответствии с новейшими требованиями по снижению энергопотребления, ведутся большей частью зарубежными фирмами (США, Финляндия, Нидерланды, Италия, Великобритания и т.д.). Разработка новой серии АД требует огромных вложений в производство, именно с этим связаны основные сложности с созданием энергоэффективных АД в России. Поэтому решение вопросов с учетом новых подходов к проектированию энергоэффективных АД, предназначенных для регулируемого электропривода (РЭП), является актуальным, имеет научную новизну и практическую значимость.

Объектом исследования являются асинхронный двигатель АИР112М4 с короткозамкнутым ротором, частотно-регулируемый привод, насос марки К80-50-315.

Предметом исследования является способы экономии электроэнергии для регулируемого электропривода насосной станции.

Цель работы. Разработка методики расчета энергосбережения при применении частотно-регулируемого электропривода в насосных станциях и центральных тепловых пунктах коммунальной сферы, оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата.

Задачи исследования.

1. Произвести электромагнитный расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР112М4.
2. Создать математическую модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР112М4, модель с изменениями частоты регулируемого привода.
3. Сравнить результаты расчетов и математического моделирования.
4. Рассчитать энергосбережение насосного агрегата при частотном регулировании, в котором учтены характеристики насоса и энергетические характеристики асинхронного двигателя.

Научная новизна. В процессе исследования был произведен электромагнитный расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР112М4 для законов управления, была создана математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении MatLAB Simulink, была предложена методика расчета энергосбережения насосного агрегата при частотном регулировании с применением законов управления.

Содержание глав.

Во **введении** обоснована актуальность проводимого исследования, дана общая характеристика работы, определена цель, сформулированы научная новизна и задачи исследования диссертации. Описаны предмет и объект исследования, основные результаты работы выполненной по разделам.

В **первой главе** проведен обзор основных вопросов, применения и особенностей работы асинхронных двигателей в составе насосных агрегатов, способы обеспечения эффективного энергосбережения при применении

регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя, использование частотно-регулируемых приводов на объектах ЖКХ. Приведен пример расчета экономии электроэнергии для регулируемого электропривода насосной станции.

Во **второй** главе описываются особенности проектирования электрических машин. Был произведен вычислительный эксперимент по стандартной методике электромагнитного расчета [10] для наиболее выпускаемых и используемых в насосных агрегатах асинхронных двигателей серии АИР112М4 с $P_{2н}=5,5$ кВт. Электромагнитный расчет показал, что реальным ограничением для оценки энергоэффективности спроектированного асинхронного двигателя является КПД. Полный электромагнитный расчет асинхронного двигателя АИР112М4 представлен в приложении А.

В **третьей** главе рассматривается создание математической модели энергоэффективного асинхронного двигателя, приводящий в действие насосный агрегат. Производится сравнение результатов электромагнитного расчета на базе асинхронного двигателя АИР112М4 и математического моделирования асинхронного двигателя. Анализ результатов показал, что разработанная модель адекватна (разница в выходных параметрах в среднем составила до 5%).

В **четвертой** главе описывается применение двух законов управления для насосных агрегатов. Проведена оценка энергетических характеристик по этим законам и рассмотрена при проектировании регулируемого АД на базе общепромышленного АИР112М4 при частотах 50; 40; 30; 20 Гц без изменения геометрии поперечного сечения. Результаты представлены в табличном и графическом вариантах. Анализ таблицы показывает, что с уменьшением частоты тока и частоты вращения АД существенно уменьшаются потери в стали и механические потери, значительно уменьшаются потери в меди и коэффициента мощности. Величина номинального скольжения возрастает.

Также анализируя рисунки можно сделать вывод, что при законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$ величина КПД выше, чем при законе $U/f = \text{const}$.

В пятой главе предлагается математическая модель АД АИР112М4 с изменениями частоты тока, напряжения сети и числа оборотов для расчетов законов регулирования. Результаты представлены в табличном и графическом вариантах. Анализируя результаты и графики электромагнитного расчета АД для законов регулирования и разработанной математической модели АД в MatLAB Simulink с изменениями частоты и напряжения сети, можно сделать вывод что, разница в выходных параметрах в среднем составила до 5 %.

В шестой главе рассчитывается энергетическая энергия, потребляемая насосным агрегатом при регулировании частоты вращения в течение суток. Результаты расчетов показали, что экономия энергии, полученная при замене нерегулируемого электропривода регулируемым, составляет свыше 50 %.

В седьмой главе определяются потенциальные потребители результата проекта, проводится анализ конкурентных технических решений, планируется процесс управления научно-техническим проектом, производится расчет стоимости материалов и комплектующих, расчет сметной стоимости, годовых издержек, проведен сравнительный анализ по ценовым и энергетическим критериям с аналоговыми двигателями.

По результатам этих пунктов делается вывод, что данный проект полностью окупаемый. Проект имеет наилучшие энергетические и ценовые качества, по сравнению с аналоговыми, риски проекта незначительны и есть пути дальнейшего развития.

В восьмой главе анализируются опасные и вредные факторы при эксплуатации асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, рассматриваются воздействия объекта на атмосферу, литосферу и гидросферу. Также выявляются чрезвычайные ситуации при эксплуатации объекта исследования, производится расчет зануления электроустановки, по результату которого выносится вывод, что отключающая способность средств защиты от тока короткого замыкания обеспечена.

1 Энергосбережение в насосных агрегатах

Высокое энергопотребление объектов электроэнергетики придает важное народнохозяйственное значение проблеме экономии электроэнергии в насосных установках. Большая часть из них работает не самым экономическим образом. Так, например, применение неэкономических способов для регулирования режимов работы насосов в системах водоснабжения и водоотведения теряет 15 % потребляемой энергии, а в некоторых из них, потери достигают 25 % [3].

Применение современных способов регулирования, изменение частоты вращения рабочих колес насосов, позволяет увеличить единичную мощность насосных агрегатов и тем самым уменьшить их общее число на насосных станциях. Насос в совокупности с электроприводом и асинхронным двигателем образует насосный агрегат.

Для привода насосов используются преимущественно асинхронные короткозамкнутые и синхронные двигатели переменного тока. Эти двигатели служат для преобразования электрической энергии в механическую энергию с последующей транспортировкой на насос. Электродвигатели мощностью до 400 кВт, обычно, выполняются на напряжение 380 - 660 В, а выше этой мощности на 6 - 10 кВ [3].

Короткозамкнутые асинхронные электродвигатели являются наиболее подходящим электроприводом для небольших насосов. Они значительно дешевле электродвигателей всех других типов и, что очень существенно, обслуживание их гораздо проще. Пуск этих электродвигателей — прямой асинхронный, при этом не требуется каких-либо дополнительных устройств, что дает возможность значительно упростить схему автоматического управления агрегатами.

Однако при прямом включении короткозамкнутых асинхронных электродвигателей очень высока кратность пускового тока. Такой кратковременный толчок пускового тока относительно безопасен для

двигателя, но вызывает резкое снижение напряжения в сети, что может неблагоприятно сказаться на других потребителях энергии, присоединенных к той же распределительной сети. По этим причинам допустимая номинальная мощность асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, пускаемым прямым включением, зависит от мощности сети и в большинстве случаев ограничивается 100 кВт.

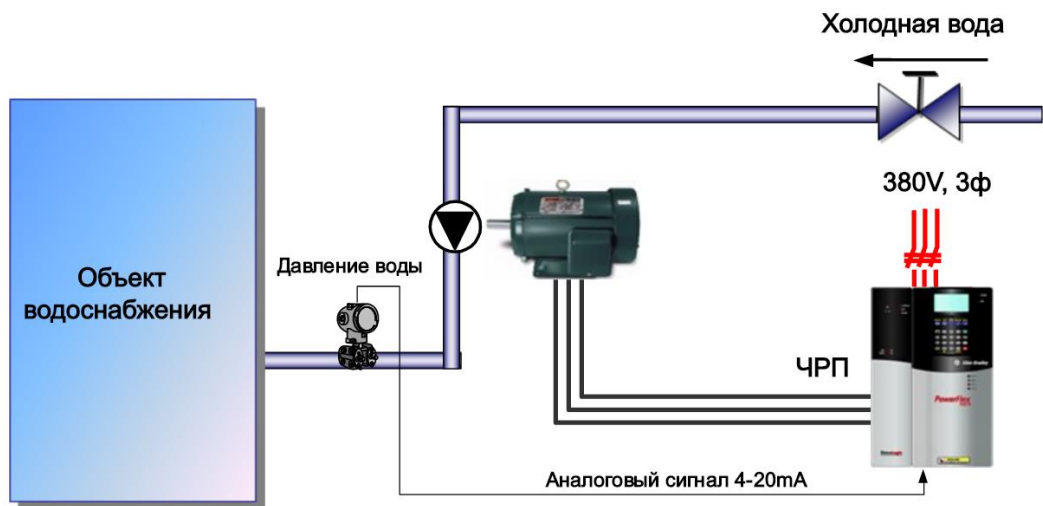


Рисунок 1 – Схема расположения асинхронного двигателя при подаче холодной воды

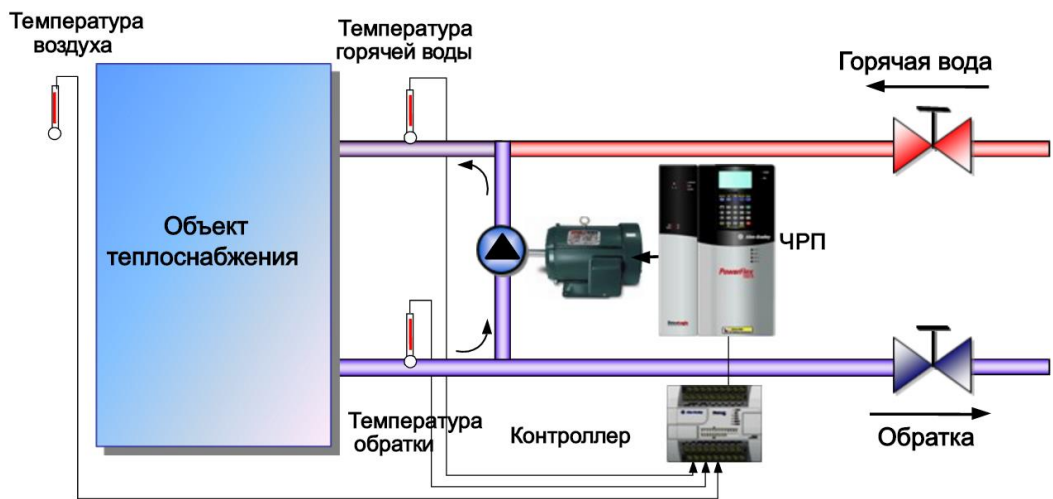


Рисунок 2 – Схема расположения асинхронного двигателя при подаче горячей воды

Электроэнергия, потребляемая насосными агрегатами, расходуется на подъем жидкости и преодоление гидродинамического сопротивления в трубопроводах. Так же, часть электроэнергии расходуется и в самих насосных агрегатах на преодоление сил трения, нагрев стали и меди в электродвигателях, но основной причиной приводящей к перерасходу электроэнергии, является нерациональный выбор режимов работы насосных агрегатов.

Для оценки энергосбережения приведем пример расчета [3] экономии электроэнергии для регулируемого электропривода насосной станции, в состав которого входит: насос К80-50-315, характеристики которого представлены на рисунке 3, асинхронный двигатель АИР112М4 и преобразователь частоты. Современные преобразователи частоты легко интегрируются в существующие системы управления и, поэтому практически все могут применяться для частотного регулирования АД насосных агрегатов.

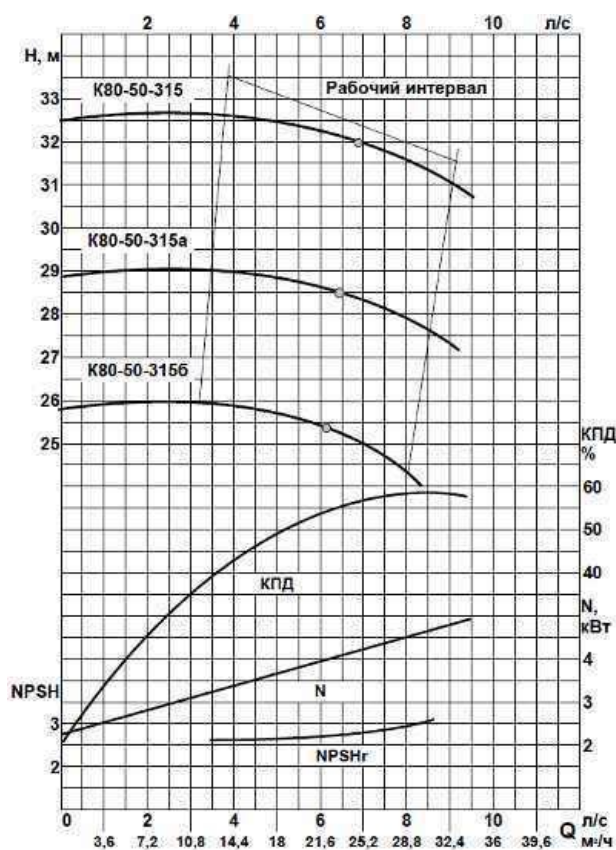


Рисунок 3 – Характеристика насоса К80-50-315 при частоте вращения 24 с^{-1} (1450 об/мин) на воде – плотность 1000 кг/м^3

Исходные данные. Номинальные: $N_n=4,19$ кВт – мощность насоса, $P_{2n}=5,5$ кВт – мощность двигателя, $H_n=32$ м – напор насоса, $Q_n=25$ м³/ч – расход насоса, $\eta_{насн}=0,52$ – КПД насоса, $\eta_{двн}=0,855$ – КПД двигателя, $\eta_{нч}=0,98=const$ – КПД преобразователя частоты; $H_n=33,5$ м – статическая составляющая напора (разница геодезических отметок насосной установки и потребителя плюс свободный напор у потребителя); $H_\phi=32,51$ м – фиктивный напор насоса при нулевой подаче; $g=9,81$ м/с² $=2,725 \cdot 10^{-3}$ м/ч², $\rho=1000$ кг/м³ – плотность жидкости. По каталогу находим рабочие характеристики насоса, зависимости $\eta_{насн}=f(Q)$, $H=f(Q)$ [4].

Средний расход измеряется $Q_{ср}$, м³/ч рассчитывается по формуле 1:

$$Q_{ср} = Q_2 - Q_1, \quad (1)$$

где Q_1 – показание расхода в начале контрольного участка, м³/ч;
 Q_2 – показание расхода в конце контрольного участка, м³/ч.

Расчет проводим по суточному графику водопотребления, рисунок 4.

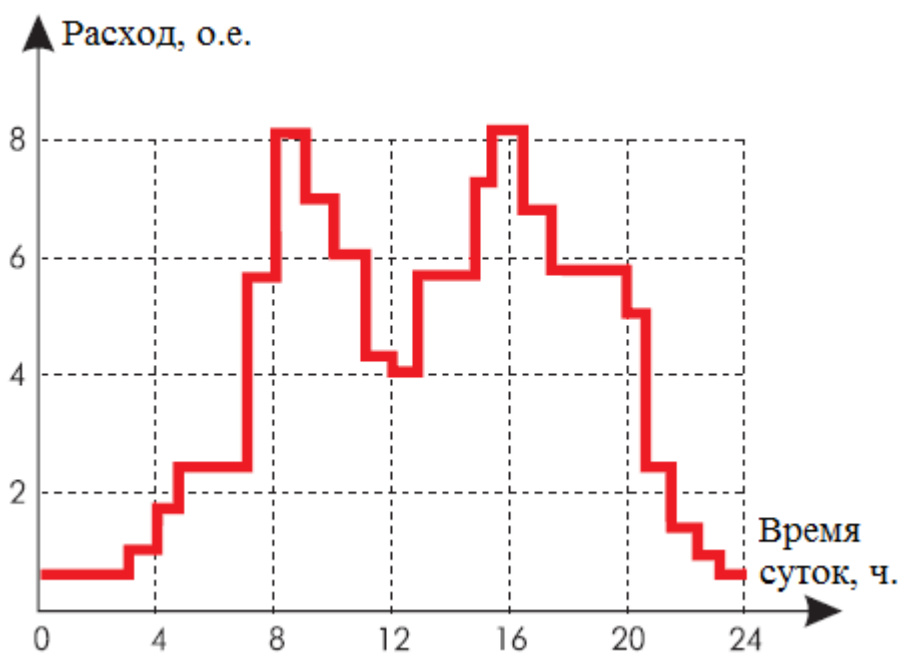


Рисунок 4 – Суточный график водопотребления

При частотном регулировании происходит изменение частоты вращения рабочего колеса насоса, что ведет к изменению всех его рабочих параметров.

При этом изменяется положение характеристик насоса. Пересчет характеристик на другую частоту осуществляется с помощью формул приведения или уравнений подобия (формула 2):

$$\frac{H_i}{H_n} = \left(\frac{n_i}{n_n}\right)^2; \frac{Q_i}{Q_n} = \frac{N_i}{N_n} \left(\frac{n_i}{n_n}\right)^3, \quad (2)$$

где H_i, Q_i, N_i - напор и расход насоса, мощность в каждой i -ой точке соответственно;

n_i, n_n - переменное и номинальное значения частот вращения, об/мин.

Формулы верны при работе одиночного насоса без статического напора. При работе с противодавлением этого делать нельзя, так как рабочие параметры насоса зависят также и от характеристики системы трубопроводов, в которой он работает. Рабочие параметры насосов должны определяться по результатам анализа реального режима работы насосной установки и сети трубопроводов с учетом крутизны их характеристик, определяемых соотношением H_n/H_ϕ . Рассмотрим изменения основных рабочих параметров насоса в зависимости от его частоты вращения при работе на систему со статическим напором. Напорная характеристика центробежного насоса, работающего с переменной частотой вращения, описывается формулой 3:

$$H = H_\phi \cdot (n_i/n_n)^2 - S_\phi \cdot Q^2, \quad (3)$$

где H_ϕ и S_ϕ - фиктивные параметры насоса (напор насоса и сечение трубопровода), м и м².

Гидравлические потери в насосе при одной и той же подаче не зависят от частоты вращения. Это значит, что при ее изменении напорные характеристики насоса остаются подобными друг другу и только изменяют свое положение по вертикали в координатах Q и H на графике совместной работы насоса и трубопровода. Таким образом, рабочие точки характеристики

насоса при изменении его частоты вращения смещаются. Совместным решением уравнений характеристик трубопровода и насоса относительно параметра Q выходит зависимость изменения подачи насоса от его частоты вращения в формуле 4:

$$Q_i = Q_n \sqrt{\frac{(n_i / n_n)^2 - (H_n / H_\phi)}{1 - (H_n / H_\phi)}}, \quad (4)$$

где Q_n – номинальный расход насоса, м³/ч;

n_i – значение частоты вращения в каждой рабочей точке при частотном регулировании характеристик насоса, об/мин;

n_n – номинальное значение частоты вращения насоса, об/мин;

H_ϕ – фиктивный напор насоса, м;

H_n – номинальный напор насоса, м.

Приведем эту зависимость к виду (формула 5):

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{(n_i / n_n)^{*2} - (H_n^* / H_\phi^*)}{1 - (H_n^* / H_\phi^*)}}, \quad (5)$$

где $Q^* = Q/Q_n$, $H_n^* = H_n/H_n$, $H_\phi^* = H_\phi/H_n$ – относительные подача; статический напор; фиктивная высота подъема жидкости соответственно;

n_i – значение частоты вращения в каждой рабочей точке при частотном регулировании характеристик насоса, об/мин;

n_n – номинальное значение частоты вращения насоса, об/мин.

Значение частоты вращения в каждой рабочей точке при частотном регулировании характеристик насоса находится по формуле 6:

$$n_i^* = n_n \sqrt{Q^{*2} (1 - H_n / H_\phi) + (H_n / H_\phi)}, \quad (6)$$

где Q_n – относительная подача, м³/ч;

n_n – номинальное значение частоты вращения насоса, об/мин;

H_ϕ – фиктивный напор насоса, м;

H_n – номинальный напор насоса, м.

Работа насоса с частотой вращения, определяемой уравнением, обеспечивает работу при минимальных значениях напора на выходе насосной установки во всем диапазоне изменения ее подачи. В результате нивелирования напора энергопотребление насоса уменьшается до минимума.

Зависимость изменения напора, развиваемого насосом от его частоты вращения в каждой рабочей точке рассчитывается по формуле 7:

$$H_i = H_n \cdot (H_n^* + (1 - H_n^*) \cdot Q^{*2}), \quad (7)$$

где Q^* – относительная подача, м³/ч;

H_n^* – статический напор насоса, м;

H_n – номинальный напор насоса, м.

По формулам (6) и (7) для каждой рабочей точки, соответствующей данному расходу Q_i^* , определяется H_i и n_i . Затем по рабочим характеристикам насоса для каждого значения Q_i находятся соответствующее значение $\eta_{насi}$.

1.1 Применение частотно-регулируемого привода

На сегодняшний день практически на всех объектах городской инфраструктуры ЖКХ (предприятиях холодного и горячего водоснабжения, отопления, водоотведения и водоочистки городов, поселков и сельских районов (водоканалы, канализационные хозяйства, тепловые сети и т.п.)) применяются асинхронные электродвигатели. Они имеют значительное преимущество перед электродвигателями постоянного тока за счет простоты конструкции и удобства обслуживания.

Однако использование нерегулируемых асинхронных электродвигателей приводит к энергетически неэффективной системе регулирования напора воды в магистралях и связанному с этим высокому потреблению электроэнергии и невозможности поддержания требуемого напора воды. Существует очевидное и самое эффективное решение – оснащение нерегулируемых электродвигателей преобразователями частоты. В последние годы они активно внедряются в

жизнь, как больших городов, так и малых населенных пунктов. При этом не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при реконструкции объектов ЖКХ, так как преобразователь частоты может быть подключен к любому асинхронному электродвигателю.

Особенностью электропривода является то, что цена электроэнергии, расходуемой ежегодно средним двигателем, в несколько раз превышает цену самого двигателя. Это является мощным стимулом для энергосбережения.

В настоящее время лишь 5 – 10 % электроприводов являются управляемыми и используются в установках со сложными технологическими процессами.

В промышленности до 60 % энергопотребления приходится на привод центробежных механизмов: насосов, компрессоров, вентиляторов.

Переход от нерегулируемого асинхронного электропривода насосов и вентиляторов в системах водо- и воздухообеспечения городских районных тепловых сетей, котельных и центральных тепловых пунктов к частотно-регулируемому позволяет экономить до 60% электроэнергии, а в системах водоснабжения – до 25% потребления холодной воды и до 15% горячей воды.

Указанная экономия достигается за счет исключения ненужных для комфортного водо-и воздухообеспечения избытков напора (давления), закладываемых при проектировании системы, а также возникающих в процессе работы изменениях расхода, при росте напора в водоснабжающих магистралях и т.п [5].

Для существующих систем водоснабжения в коммунальной сфере каждая лишняя атмосфера вызывает за счет больших утечек дополнительные 7-9% потерь воды.

Применение частотно-регулируемого привода дает ряд дополнительных преимуществ:

- экономию тепла в системах горячего водоснабжения за счет снижения потерь воды, несущей тепло;
- возможность создавать при необходимости напор выше основного;

– уменьшение износа основного оборудования за счет плавных пусков, устранения гидравлических ударов, снижения напора. По имеющемуся опыту в коммунальной сфере количество мелких ремонтов основного оборудования снижается в два раза

– снижение шума, что особенно важно при расположении насосов или вентиляторов вблизи жилых или служебных помещений;

– возможность комплексной автоматизации систем водо – и воздуховоснабжения [6].

Пример использования частотно-регулируемого привода показан на рисунке 5.

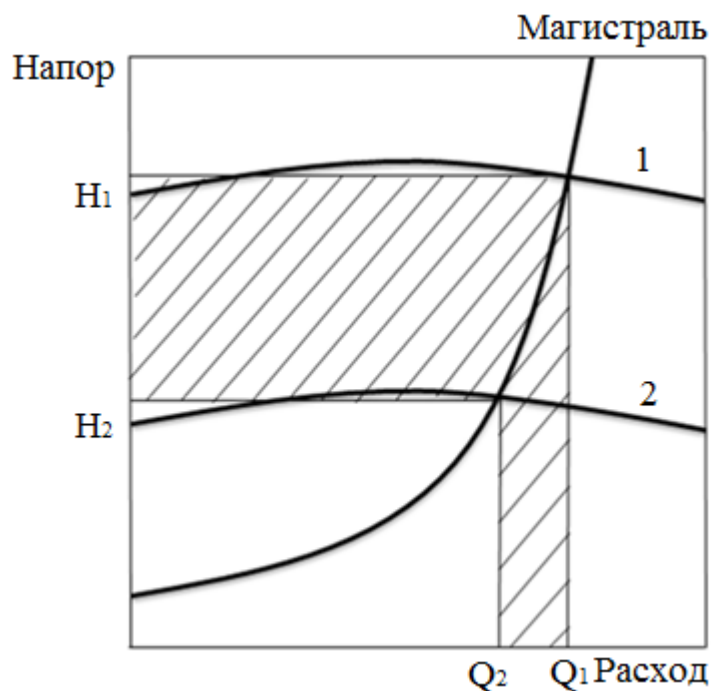


Рисунок 5 – Применение частотно-регулируемого привода на некоторой магистрали

Если при некоторой характеристике магистрали нерегулируемый насос с характеристикой 1 создает напор H_1 , которому соответствует мощность, пропорциональная $H_1 \cdot Q_1$, а для комфортного водоснабжения достаточно напора H_2 при мощности $H_2 \cdot Q_2$, то переход за счет использования частотно-регулируемого привода на характеристику насоса 2 позволит сэкономить мощность $H_1 \cdot Q_1 - H_2 \cdot Q_2$ (заштрихована на рисунке 5).

Так же для экономии энергоресурсов на практике применяются системы регулирования скорости трехфазных двигателей переменного тока на основе законов управления.

U/f – регулирование асинхронным двигателем – это изменение скорости двигателя путем воздействия на частоту напряжения на статоре при одновременном изменении модуля этого напряжения. При U/f – регулировании частота и напряжение выступают как два управляющих воздействия, которые обычно регулируются совместно. При этом частота принимается за независимое воздействие, а значение напряжения при данной частоте определяется исходя из того, как должен изменяться вид механических характеристик привода при изменении частоты, т.е., из того, как должен меняться в зависимости от частоты критический момент. Для реализации такого закона регулирования необходимо обеспечить постоянство соотношения $U/f = const$, где U – напряжение на статоре, f – частота напряжения статора.

При постоянстве перегрузочной способности номинальные коэффициент мощности и КПД двигателя на всем диапазоне регулирования частоты вращения практически не изменяются.

К законам U/f –регулирования можно отнести законы, связывающие величины и частоты питающего двигателя напряжения ($U/f = const$, $U/f^2 = const$ и другие). Их достоинством является возможность одновременного управления группой электродвигателей [7].

1.2 Асинхронные электродвигатели для частотно-регулируемого привода

Один из путей повышения экономичности частотно-регулируемого привода насосных агрегатов связан с использованием энергоэффективных АД.

В таких машинах за счет увеличения массы активных материалов, применения высококачественной изоляции и оптимизации конструкции снижаются потери энергии, и происходит повышение их КПД. Направление

развития электрических машин, связанное с повышением их энергоэффективности, в первую очередь, связано с ростом цен на энергоносители и ограничениями, связанными с глобальным потеплением. Именно эти процессы обуславливают поиск способов повысить энергоэффективность АД, разрабатываемых для ЭП насосных агрегатов.

Разработки по созданию энергоэффективных АД, проектируемых в соответствии с новейшими требованиями по снижению энергопотребления, ведутся большей частью зарубежными фирмами (США, Финляндия, Нидерланды, Италия, Великобритания и т.д.). Разработка новой серии АД требует огромных вложений в производство, именно с этим связаны основные сложности с созданием энергоэффективных АД в России. Поэтому решение вопросов с разработкой новых подходов к проектированию энергоэффективных АД, предназначенных для регулируемого электропривода (РЭП), является актуальным, имеет научную новизну и практическую значимость.

Асинхронные двигатели являются основными преобразователями электрической энергии в механическую, и в значительной степени они определяют эффективность энергосбережения. Существует три пути обеспечения эффективного энергосбережения при применении регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей:

- совершенствование АД без изменения поперечного сечения;
- совершенствование АД с изменением геометрии статора и ротора;
- выбор АД общепромышленного исполнения большей мощности.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства, недостатки и ограничения по применению и выбор одного возможен только путем экономической оценки соответствующих вариантов.

– совершенствование АД без изменения поперечного сечения позволяет существенно сэкономить затраты, так как данный способ не требует переоборудования производства лишь достаточно будет произвести замену оснастки и переоборудования.

– совершенствование и оптимизация асинхронных двигателей с изменением геометрии статора и ротора даст большой эффект, спроектированный двигатель будет иметь лучшие энергетические и динамические характеристики. Однако при этом финансовые затраты на модернизацию и переоборудование производства для его выпуска составят значительные суммы.

– выбор АД общепромышленного исполнения большей мощности не гарантирует экономию энергоресурсов, так как они преобразует энергию неэффективно, т.е. с высокими удельными потерями в самом двигателе из-за низкого КПД и в питающей сети из-за низкого коэффициента мощности [8].

Выводы по главе 1.

Проанализировав такие пути обеспечения эффективного энергосбережения как: совершенствование АД без изменения поперечного сечения, совершенствование АД с изменением геометрии статора и ротора; выбор АД общепромышленного исполнения большей мощности было решено выбрать способ совершенствование АД без изменения поперечного сечения, так как этот способ не требует больших финансовых затрат, но при этом позволит обеспечить реальное энергосбережение.

2 Электромагнитный расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Электротехническая продукция используется во всех промышленных, сельскохозяйственных, военных и бытовых установках. Поэтому качество электротехнических изделий во многом определяет технический уровень продукции других отраслей.

Электрические машины в общем объеме производства электротехнической промышленности занимают основное место, поэтому их технико-экономические показатели и эксплуатационные свойства имеют важное значение для экономики нашей страны.

При создании электрической машины рассчитывают размеры статора и ротора, выбирают типы обмоток, обмоточные провода, изоляция, материалы активных и конструктивных частей машины. Отдельные части машины должны быть так сконструированы и рассчитаны, чтобы при ее изготовлении трудоемкость и расход материалов были наименьшими, а при эксплуатации машина обладала высокой надежностью и наилучшими энергетическими показателями, при этом электрическая машина должна соответствовать условиям применения ее в электроприводе.

При проектировании электрических машин необходимо учитывать соответствие их технико-экономических показателей современному уровню при соблюдении требований государственных и отраслевых стандартов, а также назначение и условие эксплуатации, стоимость активных и конструктивных материалов, КПД, технологию производства, надежность в работе и патентную чистоту. Расчет и конструирование электрических машин неотделимы от технологии их изготовления. Поэтому при проектировании необходимо учитывать возможности электротехнических заводов, стремиться к максимальному снижению трудоемкости изготовления электрических машин. Это накладывает особые требования на проектирование базовых машин серий и их модификаций. При проектировании необходимо учитывать возможные

изменения стоимости материалов и электроэнергии, спрос на международном рынке, затраты на технологическое оборудование и другие факторы [9].

Критерий оптимизации электрических машин определяется, как правило, минимумом суммарных затрат, т.е. минимумом стоимости материалов, затрат на изготовление и эксплуатацию. Стоимость эксплуатации зависит от КПД, коэффициента мощности, качества машины, ремонтоспособности и ряда других факторов.

Выбрать вариант проектирования электрической машины можно, сопоставив многие варианты расчета, поэтому без вычислительных машин не обходится ни одной серьезный расчет электрических машин. В настоящее время ЭВМ применяют для выполнения полного оптимизационного расчета электрической машины, ведутся работы по созданию системы автоматизированного проектирования электрических машин, которая должна не только выполнять расчет машины, но и выдавать рабочие чертежи. Сопоставление программ расчетов, накопление банков данных, решение вопросов создания автоматизированной системы проектирования электрических машин — одни из трудовых и важных задач электротехнической науки. Но прежде чем заниматься этими вопросами, необходимо научиться проектировать машину. Для этого надо уметь проводить электромагнитный, тепловой, вентиляционный расчет машины [10].

Вычислительный эксперимент проведен по стандартной методике электромагнитного расчета [10] для наиболее выпускаемых и используемых в насосных агрегатах асинхронных двигателей серии АИР112М4 с $P_{2н}=5,5$ кВт. Электромагнитный расчет показал, что реальным ограничением для оценки энергоэффективности спроектированного асинхронного двигателя является КПД. Полный электромагнитный расчет асинхронного двигателя АИР112М4 представлен в приложении А.

Выводы по главе 2.

По результатам электромагнитного расчета для двигателя АИР112М4 получены следующие номинальные параметры:

$$P_{2ном} = 5500 \text{ Вт}; 2 \cdot p = 4; U_{ном} = 220/380 \text{ В}; I_{Iном} = 11.617 \text{ А}; \cos\varphi_{ном} = 0.848; \\ \eta_{ном} = 0.855; S_{ном} = 0.0423; I'_{2ном} = 9.872 \text{ А}; M'_n = 2.106; I'_n = 6.083.$$

Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям и будет являться основным объектом модернизации насосного агрегата.

3 Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении Simulink MatLAB

3.1 История разработки MatLAB

Система MATLAB разработана специалистами компании MathWork Inc. (г. Нейтик, штат Массачусетс, США). Хотя впервые эта система начала использоваться в конце 1970-х годов, широкое распространение она получила в конце 80-х, в особенности после появления на рынке версии 4.0. Последние версии MatLAB-это системы, которые содержат множество процедур и функций, необходимых инженеру и научному работнику для осуществления сложных численных расчетов, моделирования технических и физических систем и оформления результатов этих расчетов. MatLAB (сокращение от MATrix LABoratory - матричная лаборатория) представляет собой интерактивную систему, предназначенную для выполнения инженерных и научных расчетов и ориентированную на работу с массивами данных.

В последние годы в научных и инженерно-технических кругах получила широкое распространение система MatLAB. Более того, в настоящее время она принята в качестве официального средства оформления инженерной документации и научных публикаций. Система MatLAB специально создана для проведения именно инженерных расчетов: математический аппарат, который используется в ней, предельно приближен к современному математическому аппарату инженера и ученого. Функциональные зависимости здесь организованы в форме, которую требует именно инженерная документация [11].

3.2 Место MatLAB среди математических программ

У системы MatLAB есть схожие черты с программами MathCad и Electronics Workbench.

Так с MathCad её роднит то, что в обеих системах имеются широкие возможности по выполнению вычислений, производимых с матрицами, векторами и комплексными числами, а также графическое представление полученных результатов. Отличительной чертой является входной язык, максимально приближенный к обычному математическому языку.

А с Electronics Workbench общим является возможность создания моделей как отдельных объектов так и систем, путём поблочного моделирования и с помощью специальных блоков наблюдать протекающие процессы в модели [11].

3.3 Возможности, визуализация и графические средства

Основной объект системы MatLAB - прямоугольный числовой массив (матрица), в котором допускается применение комплексных элементов. Использование матриц не требует явного указания их размеров.

Система MatLAB обеспечивает выполнение операций с векторами и матрицами даже в режиме непосредственных вычислений. Ею можно пользоваться как мощнейшим калькулятором, в котором наряду с обычными арифметическими и алгебраическими действиями могут использоваться такие сложные операции, как обращение матрицы, вычисление ее собственных значений и векторов, решение систем линейных алгебраических уравнений и много других. Характерной особенностью системы является ее открытость, то есть возможность ее модификации и адаптации к конкретным задачам пользователя.

Привлекательной особенностью системы MatLAB является наличие встроенной матричной и комплексной арифметики. Система поддерживает

выполнение операций с векторами, матрицами и массивами данных, реализует сингулярное и спектральное разложение, расчет ранга и чисел обусловленности матриц, поддерживает работу с алгебраическими полиномами, решение нелинейных уравнений и задач оптимизации, интегрирование функций в квадратурах, численное интегрирование дифференциальных и разностных уравнений, построение различных графиков, трехмерных поверхностей и линий уровня.

MatLAB предоставляет широкие возможности для работы с сигналами, для расчета и проектирования аналоговых и цифровых фильтров, включая построение их частотных, импульсных и переходных характеристик. Имеются в системе и средства выполнения спектрального анализа и синтеза, в частности реализации прямого и обратного преобразования Фурье. Благодаря этому ее довольно удобно использовать при проектировании электронных устройств.

Одной из наиболее привлекательных особенностей системы MatLAB является наличие в ней наглядного и эффективного средства составления программных моделей - пакета визуального программирования Simulink.

Пакет Simulink позволяет осуществлять исследование (моделирование во времени) поведения динамических линейных и нелинейных систем, причем составление «программы» и ввод характеристик систем можно производить в диалоговом режиме, путем сборки на экране схемы соединений элементарных звеньев. В результате такой сборки получается модель системы, называемая S-моделью. В качестве «кирпичиков» при построении S-модели применяются визуальные блоки (модули), которые сохраняются в библиотеках Simulink.

S-модель может иметь иерархическую структуру, то есть состоять из моделей более низкого уровня, причем количество уровней иерархии практически не ограничено [11].

3.4 Математическое моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

В рамках данного отчета предложена математическая модель асинхронного двигателя АИР112М4, приводящий в действие насосный агрегат, смоделирован двигатель при помощи программы MatLAB R2014b, которая включает в себя пакет Simulink.

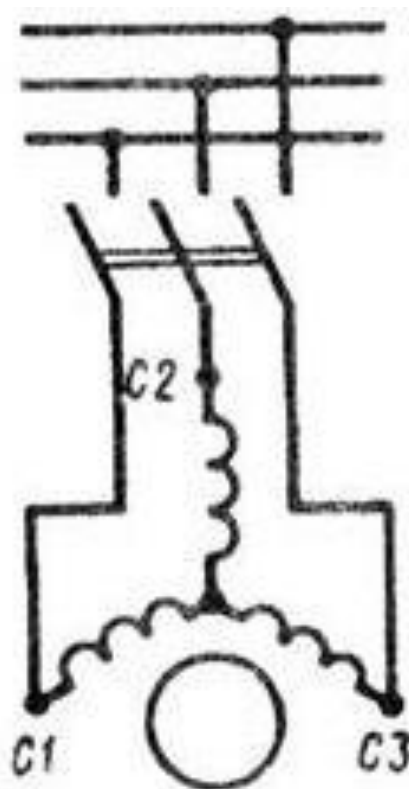


Рисунок 6 – Схема прямого пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя

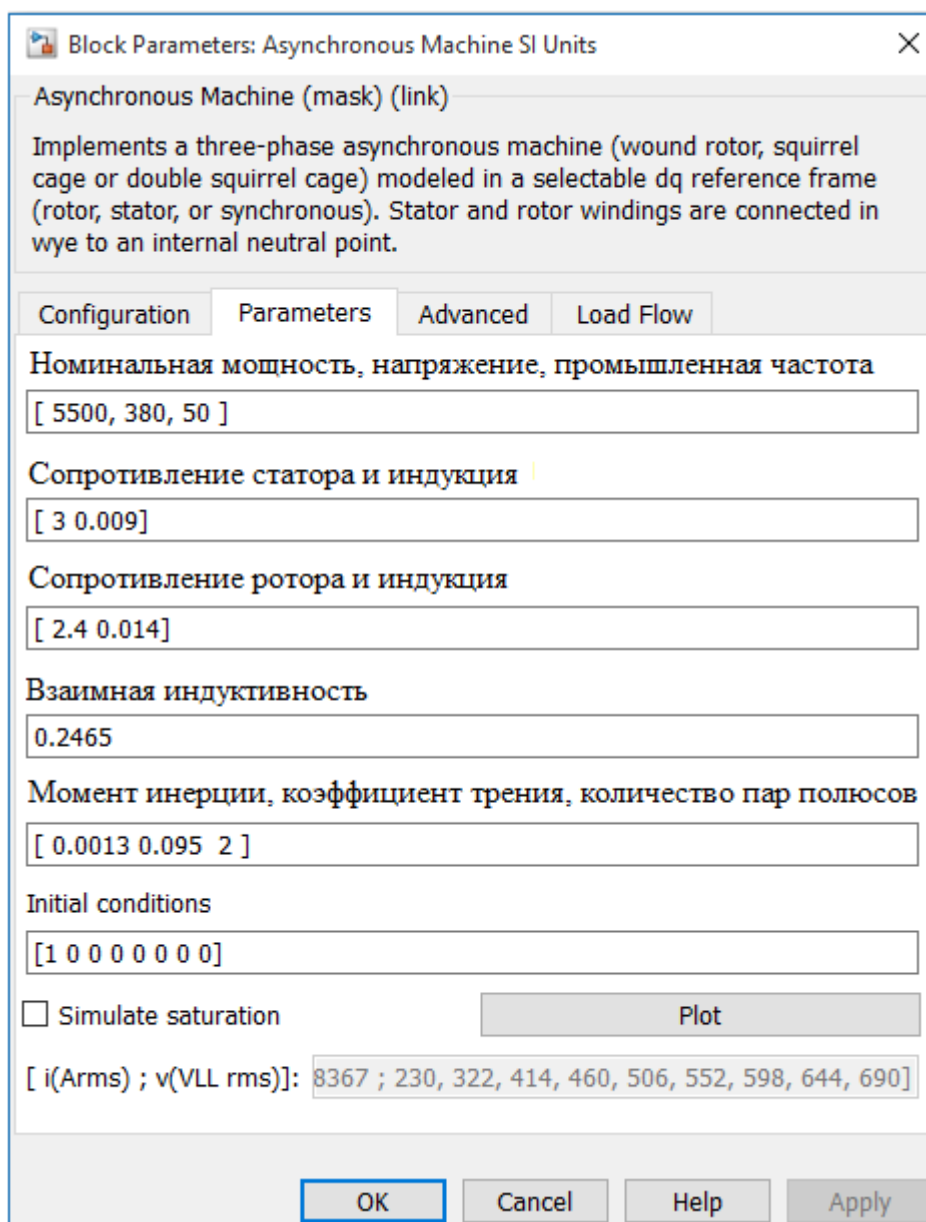


Рисунок 7 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя

Входные параметры моделируемого двигателя были взяты из электромагнитного расчета [Приложение А].

Дальнейшим действием является построение математической модели асинхронного двигателя.

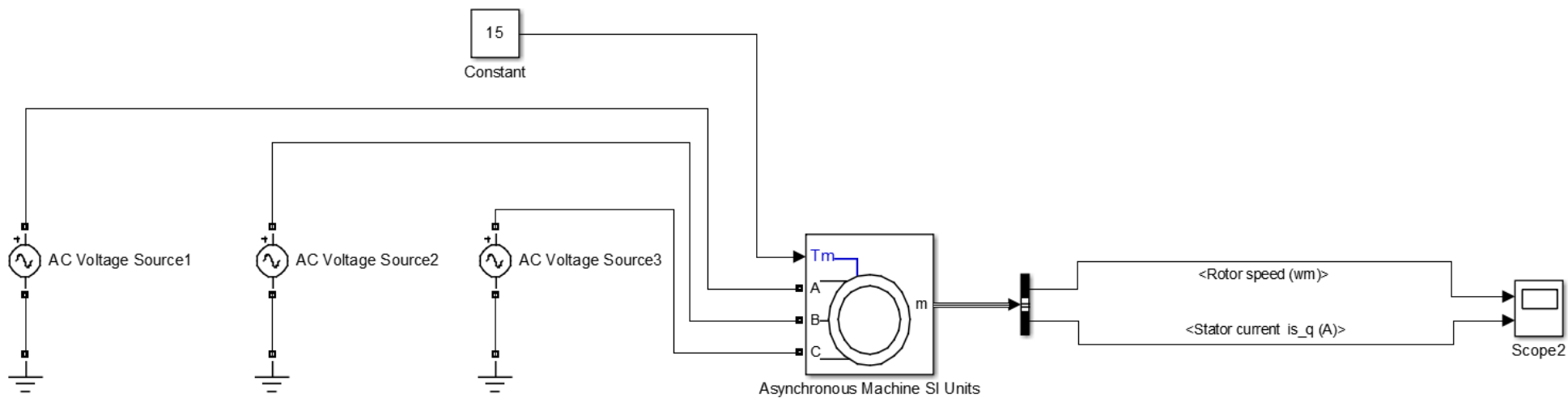


Рисунок 8 – Математическая модель проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя в Simulink
MatLAB

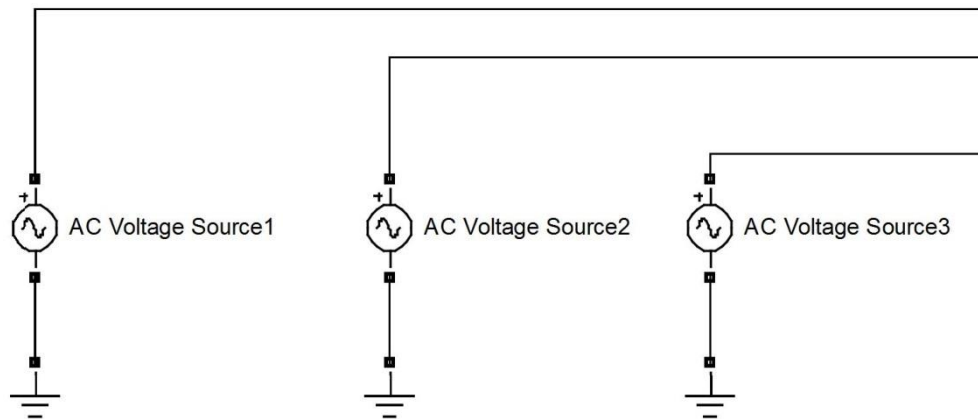


Рисунок 9 – Источники напряжения переменного тока

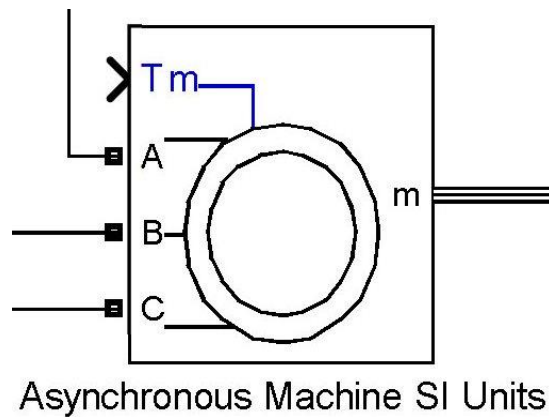


Рисунок 10 – Модель асинхронного двигателя

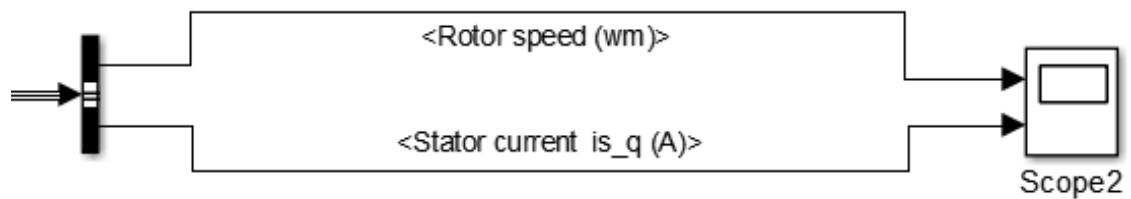


Рисунок 11 – Осциллограф с выходными данными: скорость ротора, ток статора

Последующим шагом производится пуск модулируемого двигателя со временем работы $t = 1$ сек.

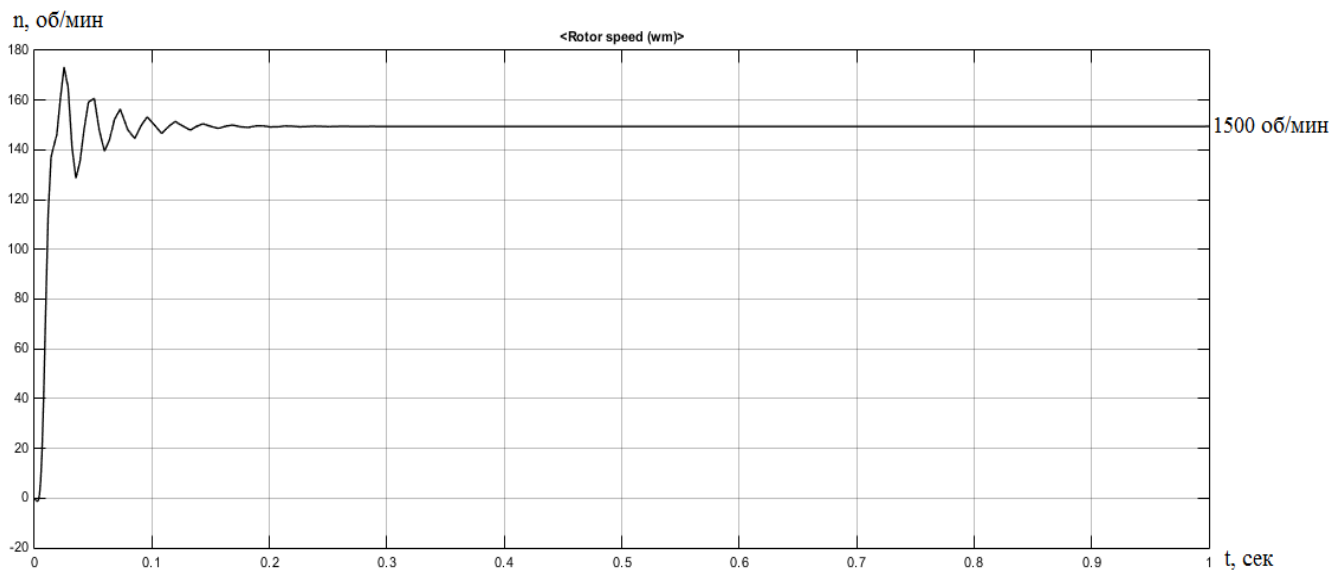


Рисунок 12 – Значение номинальной частоты на выходе осциллографа

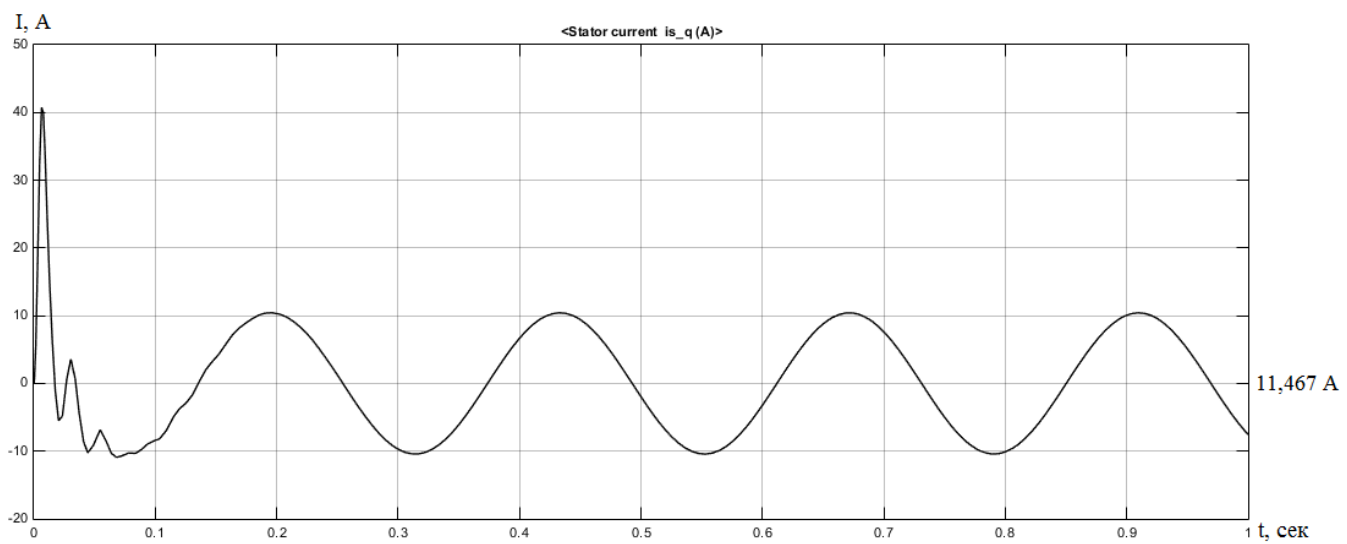


Рисунок 13 – Значение номинального тока статора на выходе осциллографа

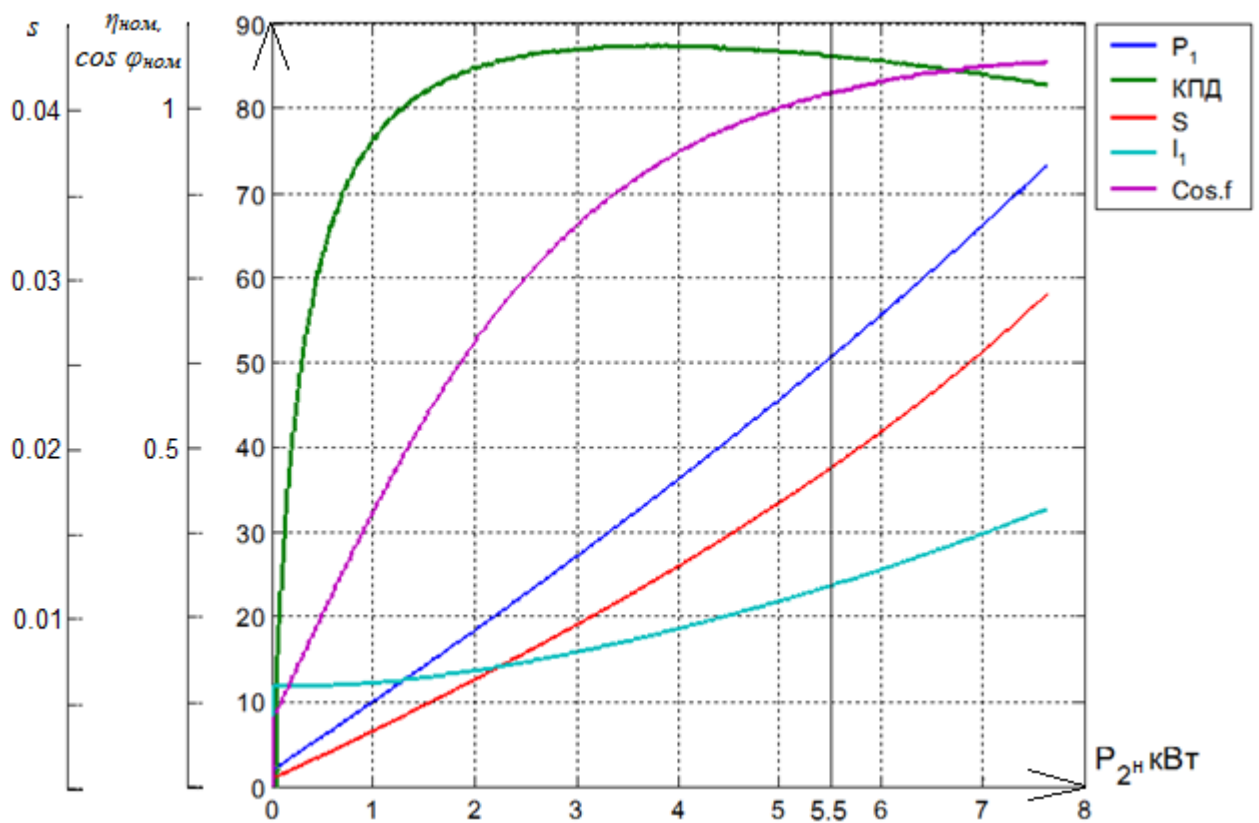


Рисунок 14 – Снятие рабочих характеристик

Сравнительные результаты электромагнитного расчета на базе асинхронного двигателя АИР112М4 и математического моделирования асинхронного двигателя представлены таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов характеристик

Тип расчета	Электромагнитный расчет	MatLAB Simulink	Погрешность
Параметры			
$\eta_{ном}$	0.855 %	0.856 %	0.12 %
$\cos \varphi_{ном}$	0.848	0.82	3.03 %
M'_n	2.096	2.2	4.76 %
I'_n	6.083	6	1.4%
$S_{ном}$	0.042 %	0.04 %	4,8%

Выводы по главе 3.

Анализируя данные на выходе осциллографа модулируемого асинхронного двигателя в программном обеспечении Simulink MatLAB и сравнивая их с результатами электромагнитного расчета, можно сделать вывод, что разработанная математическая модель адекватна (разница в выходных параметрах в среднем составила до 5 %).

4 Проектирование асинхронного двигателя серии АИР112М4 для законов управления

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором является основным типом электрических машин для регулируемого электропривода, так как он имеет определенные преимущества – приблизительно постоянная скорость при разных нагрузках, возможность кратковременных механических перегрузок, простота конструкции, простота пуска и легкость его автоматизации позволяют использовать его в широком диапазоне регулирования частоты вращения при обеспечении высокой равномерности движения для различных нагрузок [6].

Существующие методики проектирования электрических машин общего назначения применимы и для регулируемых электрических машин, но не позволяют в полной мере обеспечить адаптацию АД для энергосберегающих технологий. В отличие от машин общего назначения в процессе проектирования изменяются значения f , n и U , появляются новые ограничения, возрастает количество варьируемых величин.

Для разработки регулируемых АД на базе стандартной методики проектирования [10] необходимо задавать не номинальные значения величин – f , n , U , а приведенные расчетные значения, полностью характеризующие весь диапазон их изменения. Продолжительный режим работы такой машины характеризуется такими значениями n , f , U , при которых регулируемая электрическая машина допускает продолжительную работу при любом изменении этих величин в заданном диапазоне.

Диапазон регулирования частоты вращения обычно не превышает 1:2, более глубокое регулирование нецелесообразно, учитывая кубическую зависимость потребляемой мощности от частоты вращения. Нагрузка на валу двигателя носит вентиля торный характер, т.е. статический момент сопротивления на валу пропорционален квадрату скорости. При переменной частоте питания АД работают с различными законами регулирования,

зависящими от характера нагрузки и типа системы. В электроприводах для регулирования или стабилизации скорости используют различные соотношения между частотой и напряжением. Выбор конкретного соотношения зависит от характера момента нагрузки.

Как уже было сказано выше, в результате снижения частоты происходит снижение максимального момента. Для регулирования скорости двигателя с постоянным моментом необходимо использовать полную $I \cdot R$ – компенсацию. Для этого вводим положительную обратную связь по току, которая ведет к дополнительному увеличению напряжения в обмотке статора. На малых скоростях это опасно с точки зрения недопустимого теплового режима работы. Однако при заданном диапазоне регулирования скорости тепловое состояние обмотки статора АД не является существенным и не опасно с точки зрения недопустимого нагрева.

Для насосных агрегатов возможно применение двух законов управления $I - U/f = \text{const}$ и $II - U/f^2 = \text{const}$ [7]. Оценка энергетических характеристик по этим законам, рассмотрена при проектировании регулируемого АД на базе общепромышленного АИР112М4 при частотах 50; 40; 30; 20 Гц без изменения геометрии поперечного сечения.

В таблице 2 представлены результаты электромагнитного расчета АД для обоих законов управления.

Таблица 2 – Результаты электромагнитного расчета АД

Характеристики АД	Закон регулирования							
	I		II		I		II	
f , Гц	50		40		30		20	
U , В	220	220	176	140,8	132	79,2	88	35,2
n , об/мин	1500	1500	1200	1200	900	900	600	600
η , о.е.	0.855	0.855	0.846	0.83	0.828	0.776	0.784	0.629
$\cos \varphi$, о.е.	0.85	0.85	0.82	0.808	0.767	0.724	0.67	0.585
$S_{ном}$, о.е.	0.042	0.042	0.07	0.108	0.123	0.276	0.341	0.392
P_2 , кВт	5.5	5.5	3.56	2.248	2.021	0.7	0.91	0.133
$P_{ст.осн}$, Вт	130.1	130.1	93.1	81.7	60.5	43.3	32.9	17
$P_{эл}$, кВт	0.532	0.532	0.38	0.254	0.26	0.111	0.173	0.047
$P_{мех}$, кВт	31	31	20	20	11	11	5	5

Графически результаты расчетов представлены на рисунках 15-17 в виде зависимостей $\eta_{дв}=f(P_2)$ и $\eta=f(P_2)$.

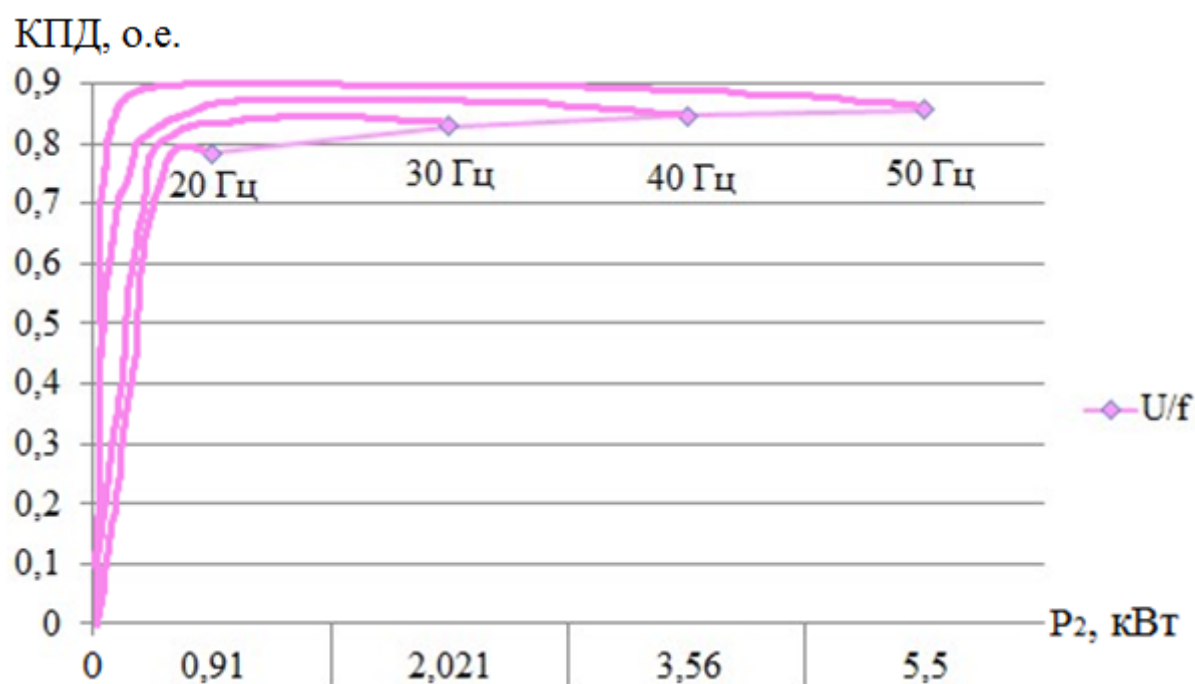


Рисунок 15 – Зависимости $\eta_{дв}=f(P_2)$ АД при $U/f=\text{const}$

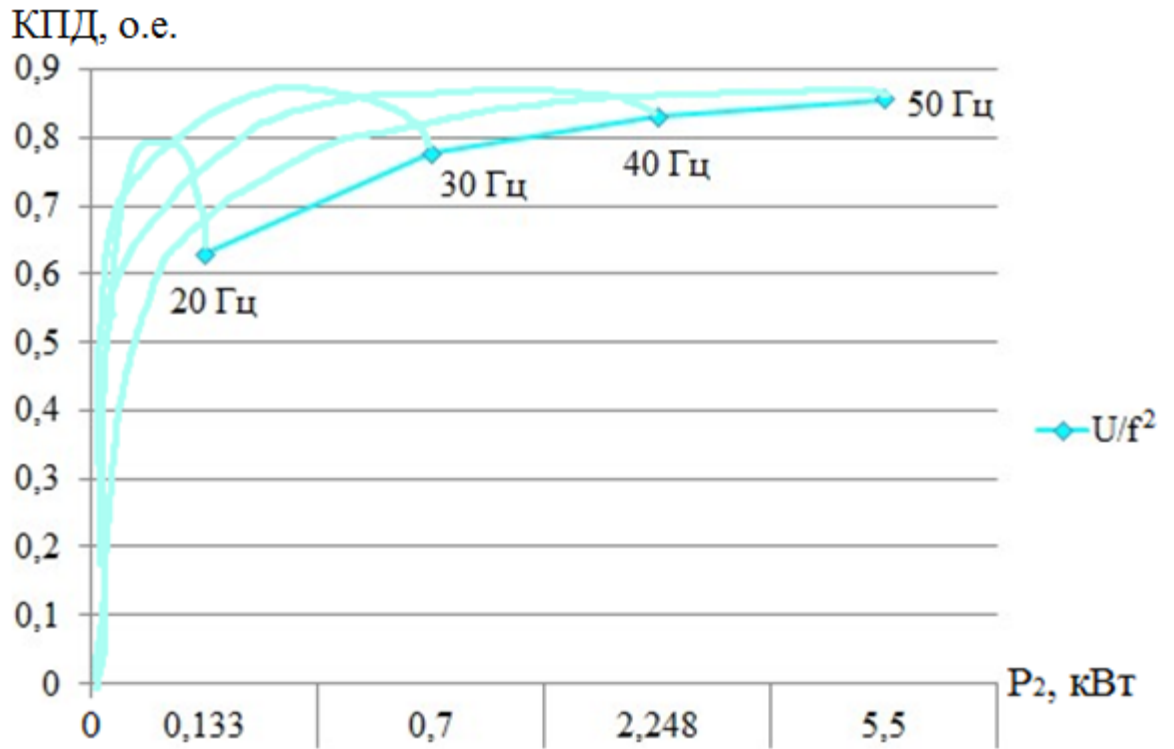


Рисунок 16 – Зависимости $\eta_{об}=f(P_2)$ АД при $U/f^2=const$

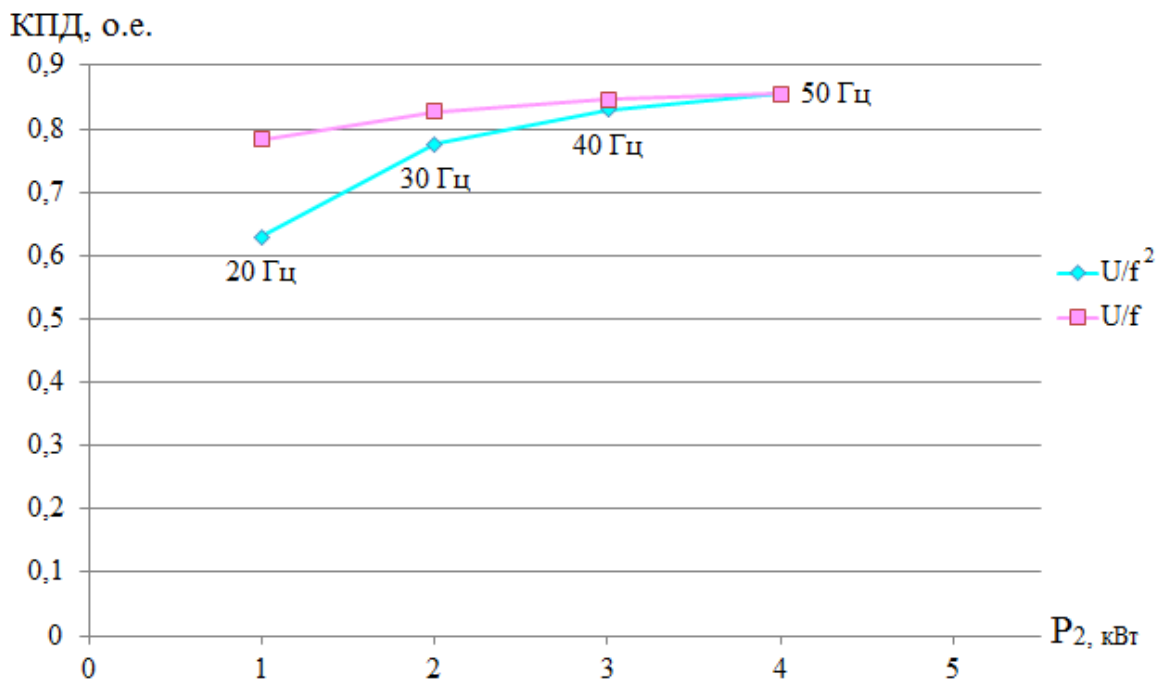


Рисунок 17 – Зависимости $\eta_{об}=f(P_2)$ АД при законах $U/f=const$ и $U/f^2=const$

Выводы по главе 4.

Анализ таблицы 2 показывает, что с уменьшением частоты тока и частоты вращения АД существенно уменьшаются потери в стали и механические потери, значительно уменьшаются потери в меди и коэффициента мощности. Величина номинального скольжения возрастает.

Также анализируя рисунки 15 и 16 можно сделать вывод, что при законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$ (рисунок 16) величина КПД выше, чем при законе $U/f = \text{const}$ (рисунок 15).

5 Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программном обеспечении Simulink MatLAB для законов регулирования

В рамках данного отчета предложена математическая модель асинхронного двигателя АИР112М4 с изменениями частоты тока, напряжения сети и числа оборотов для расчетов законов управления.

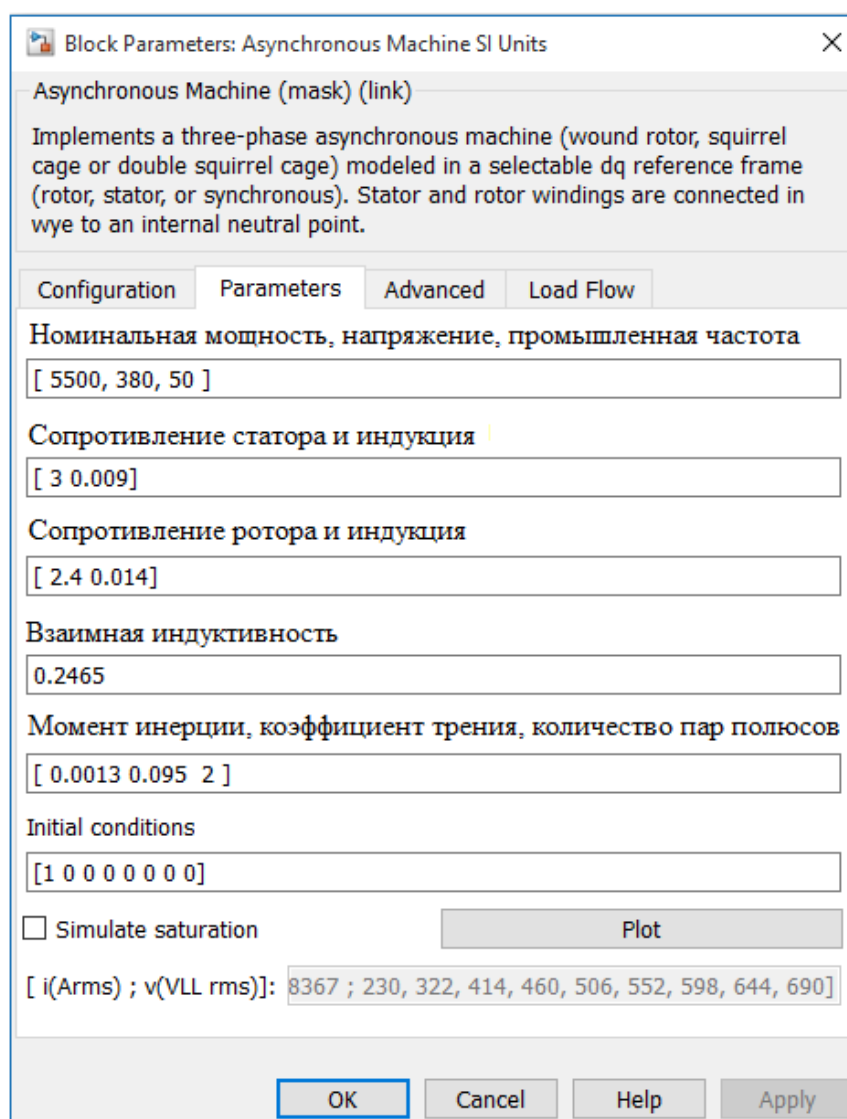


Рисунок 18 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 50 Гц, напряжения 220 В и числом оборотов 1500 об/мин

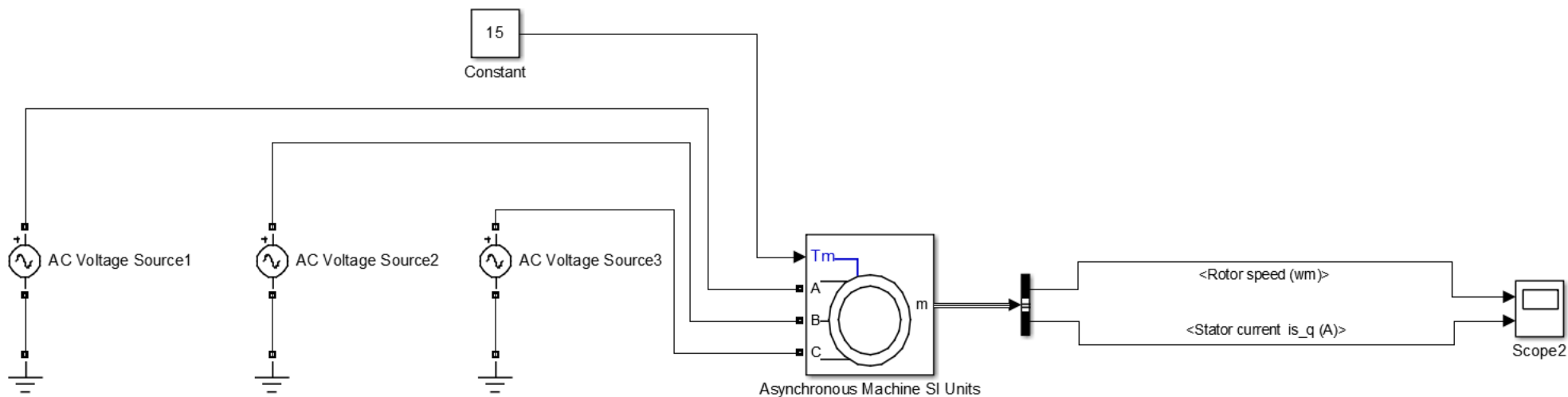


Рисунок 19 – Математическая модель проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя в Simulink MatLAB с изменениями частоты регулирования

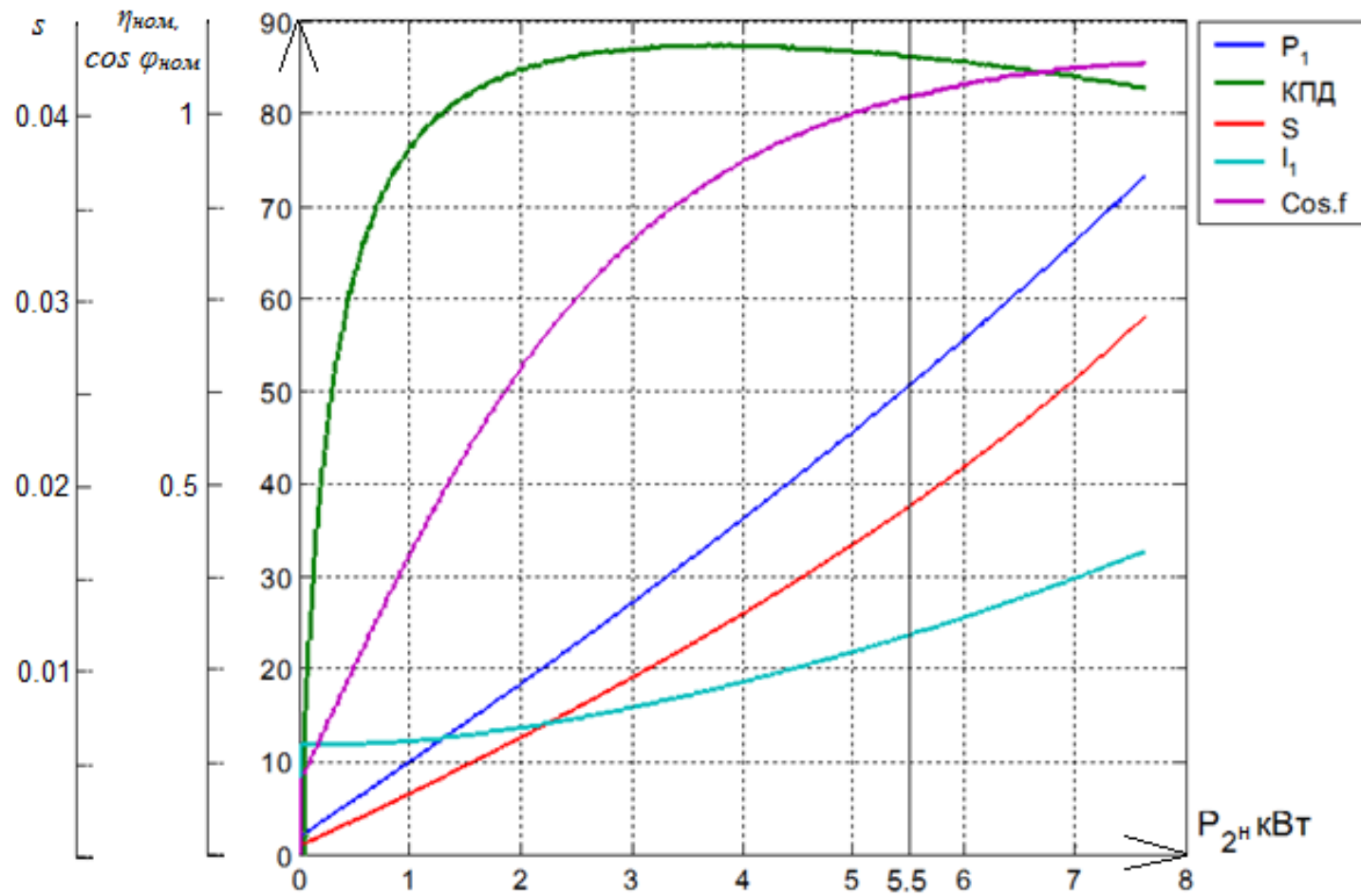


Рисунок 20 – Снятие рабочих характеристик для законов I и II на 50 Гц

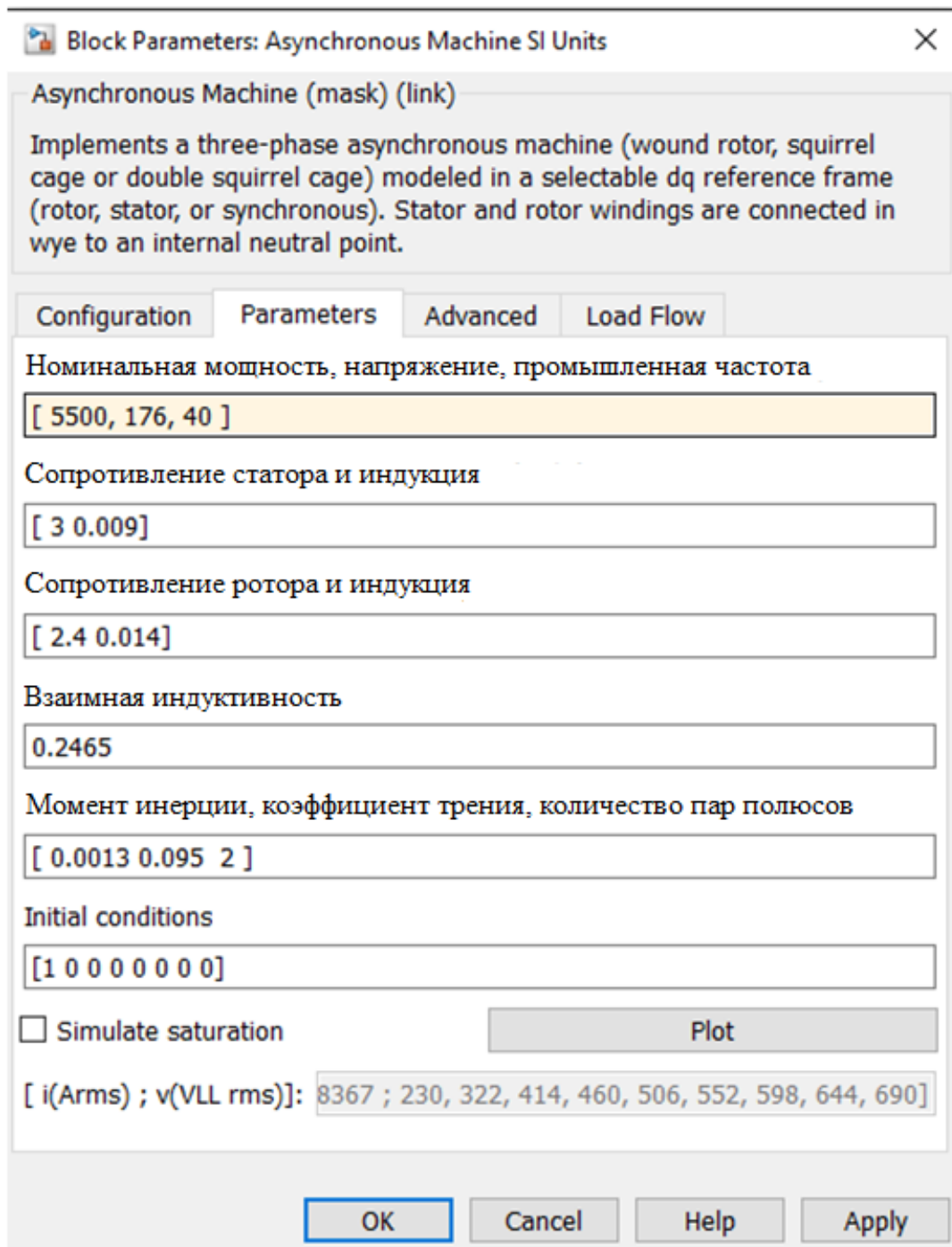


Рисунок 21 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 40 Гц, напряжения 176 В и числом оборотов 1200 об/мин (I закон)

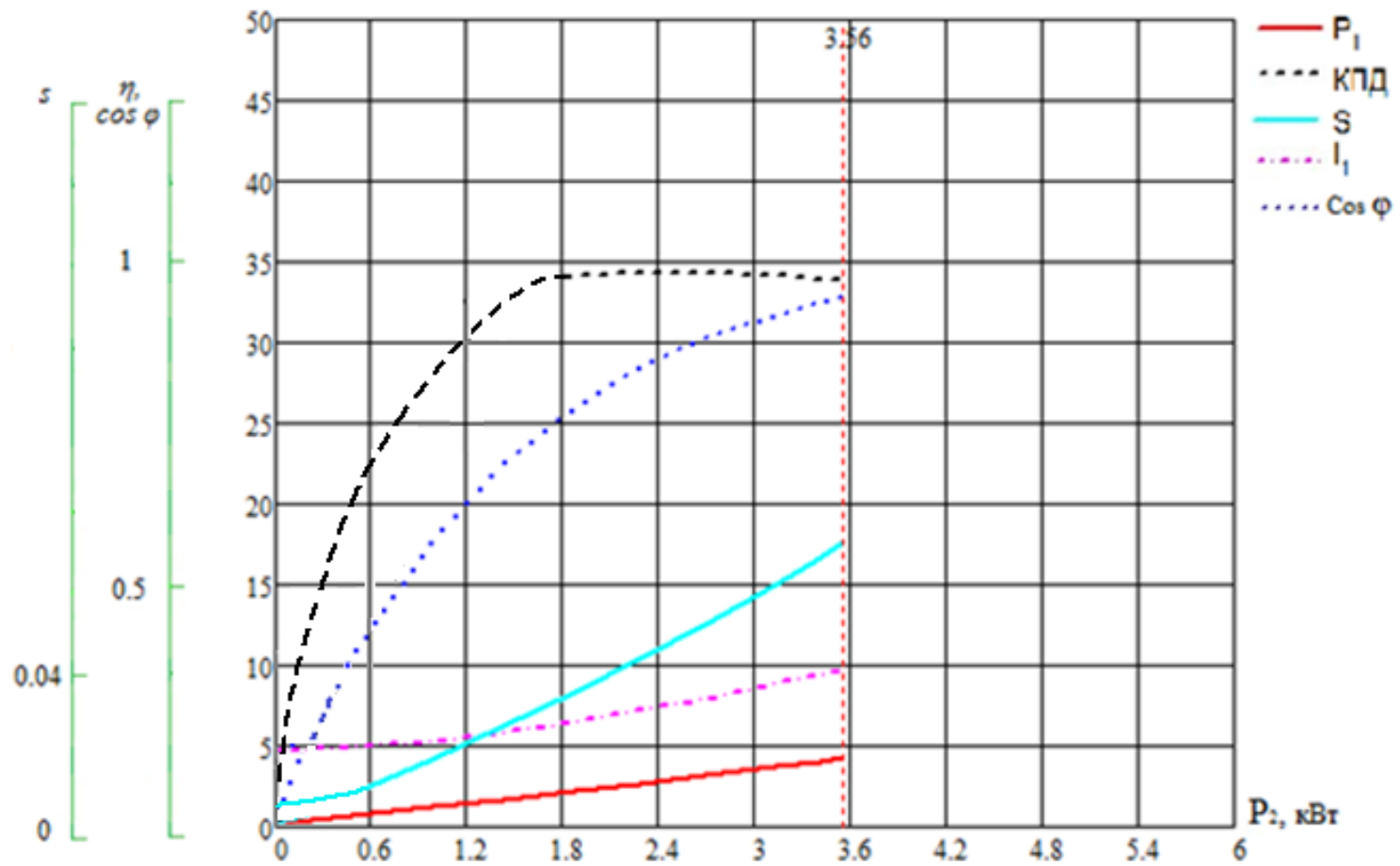


Рисунок 22 – Снятие рабочих характеристик для закона I на 40 Гц

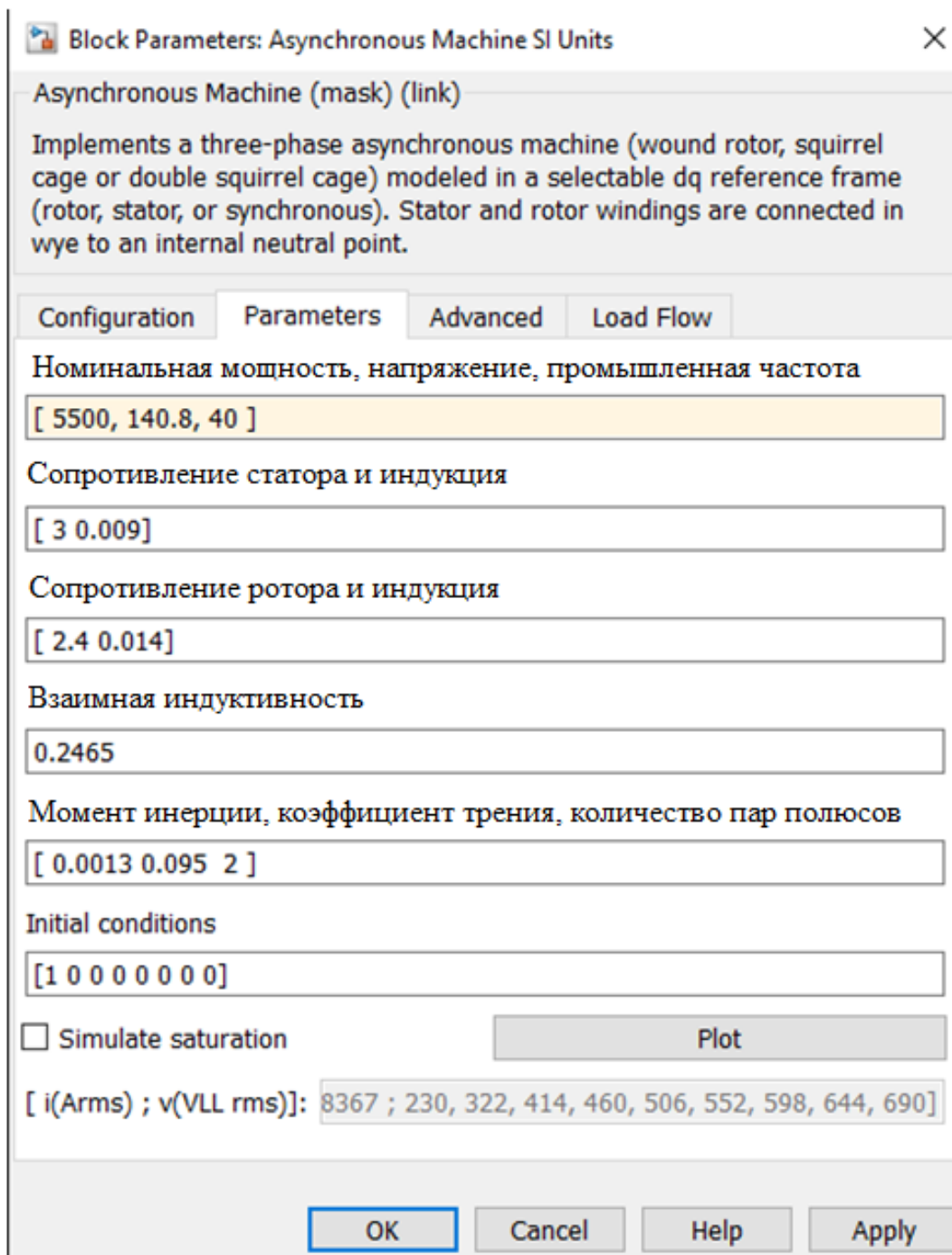


Рисунок 23 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 40 Гц, напряжения 140.8 В и числом оборотов 1200 об/мин (II закон)

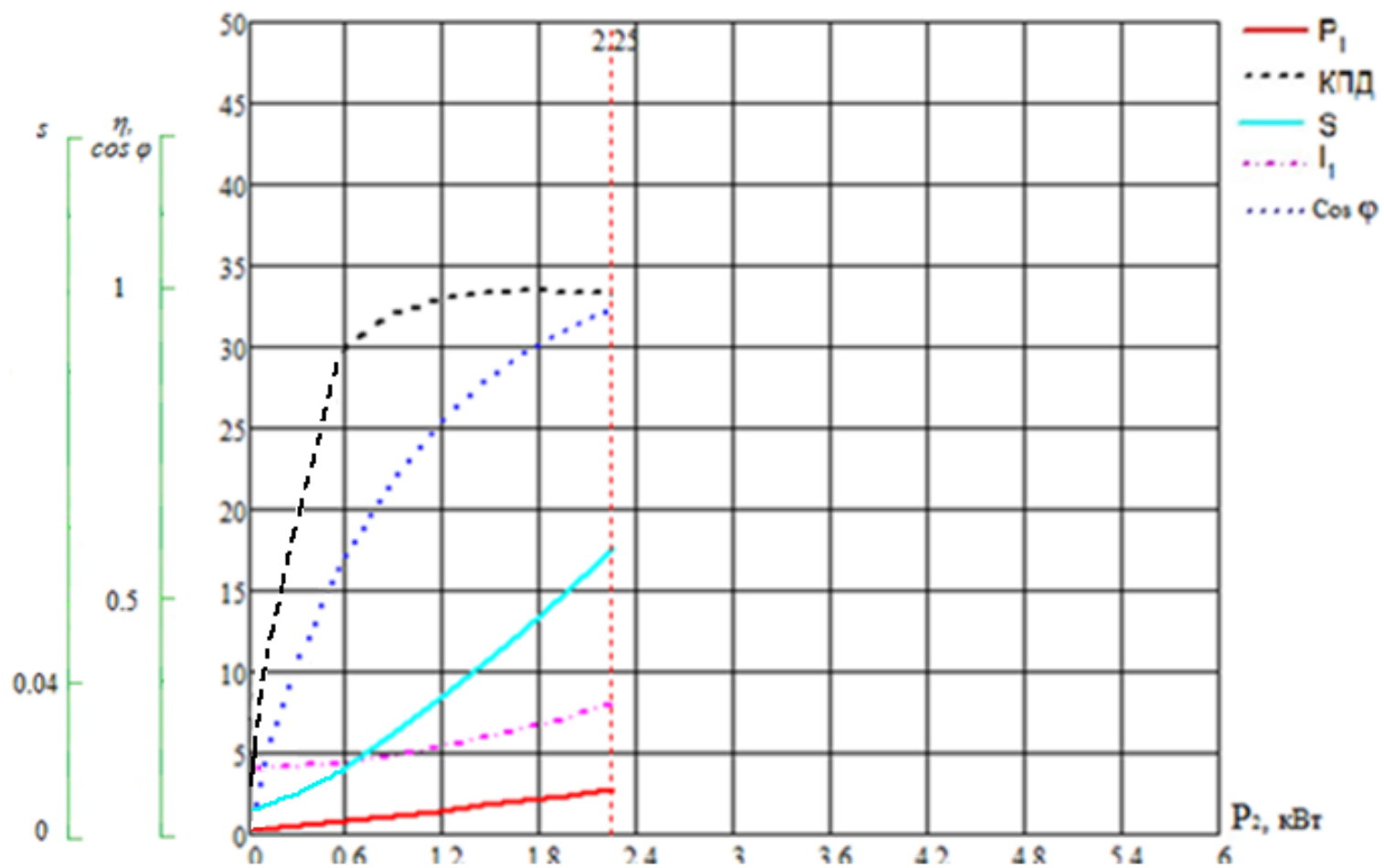


Рисунок 24 – Снятие рабочих характеристик для II закона на 40 Гц

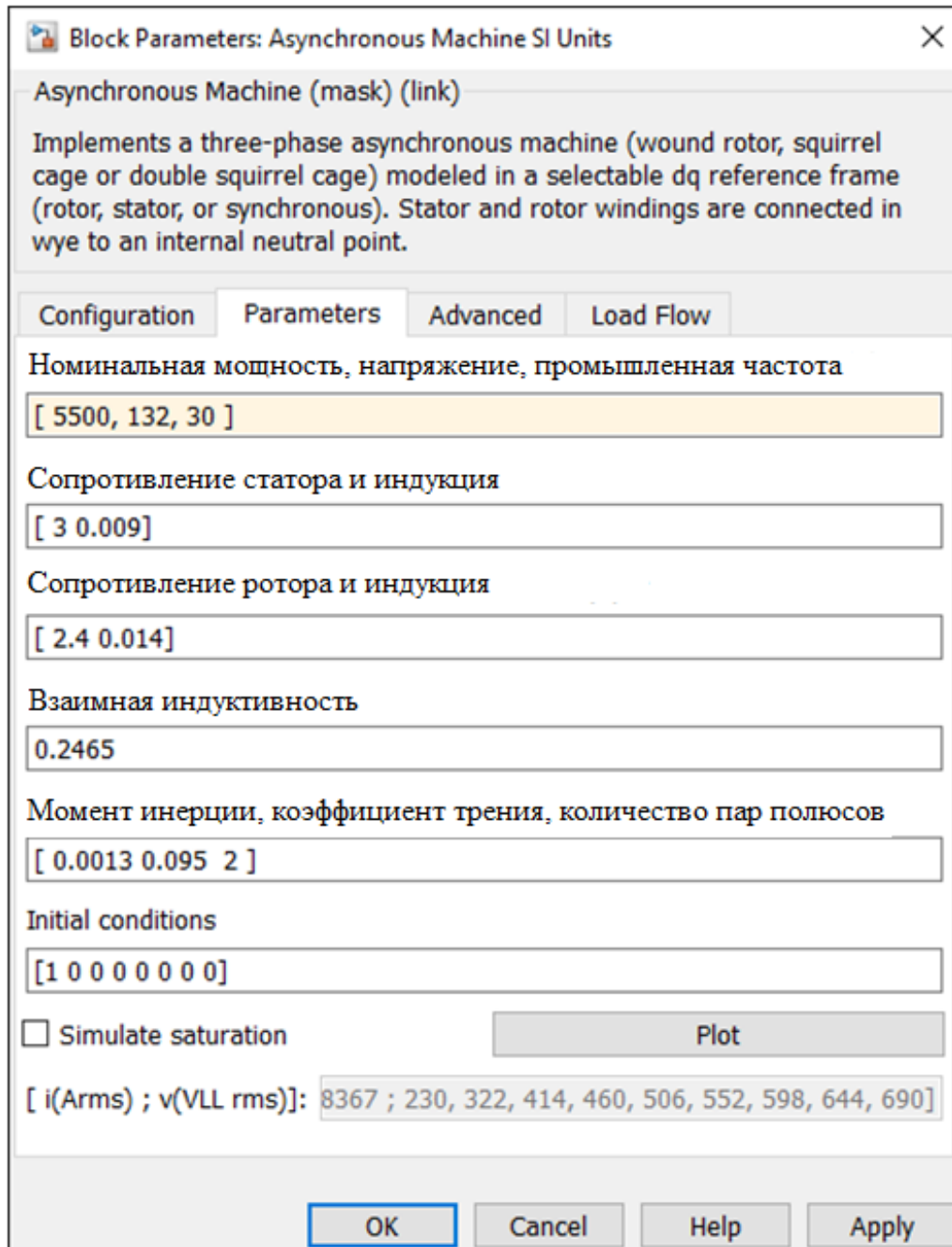


Рисунок 25 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 30 Гц, напряжения 132 В и числом оборотов 900 об/мин (I закон)

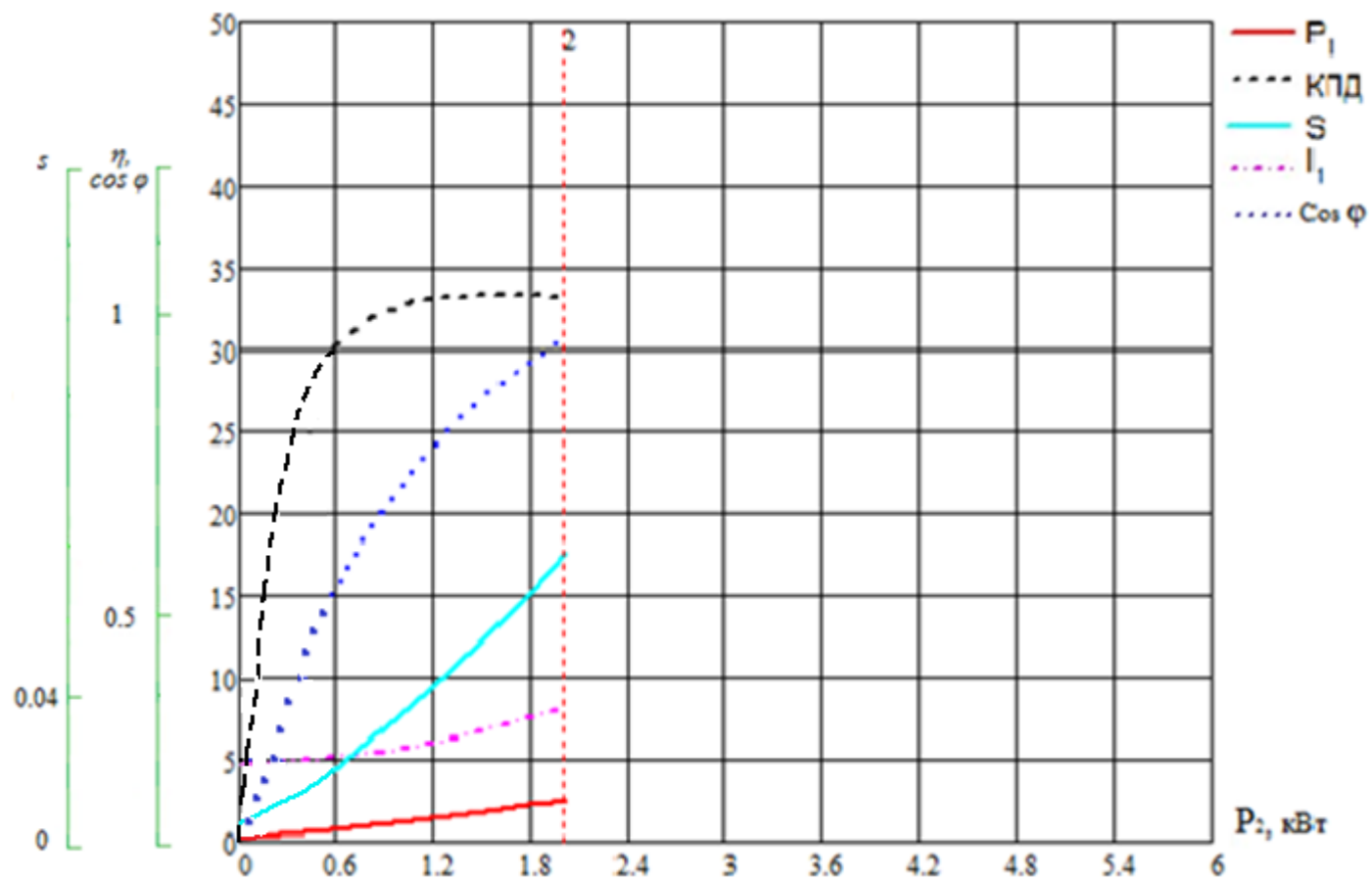


Рисунок 26 – Снятие рабочих характеристик для I закона на 30 Гц

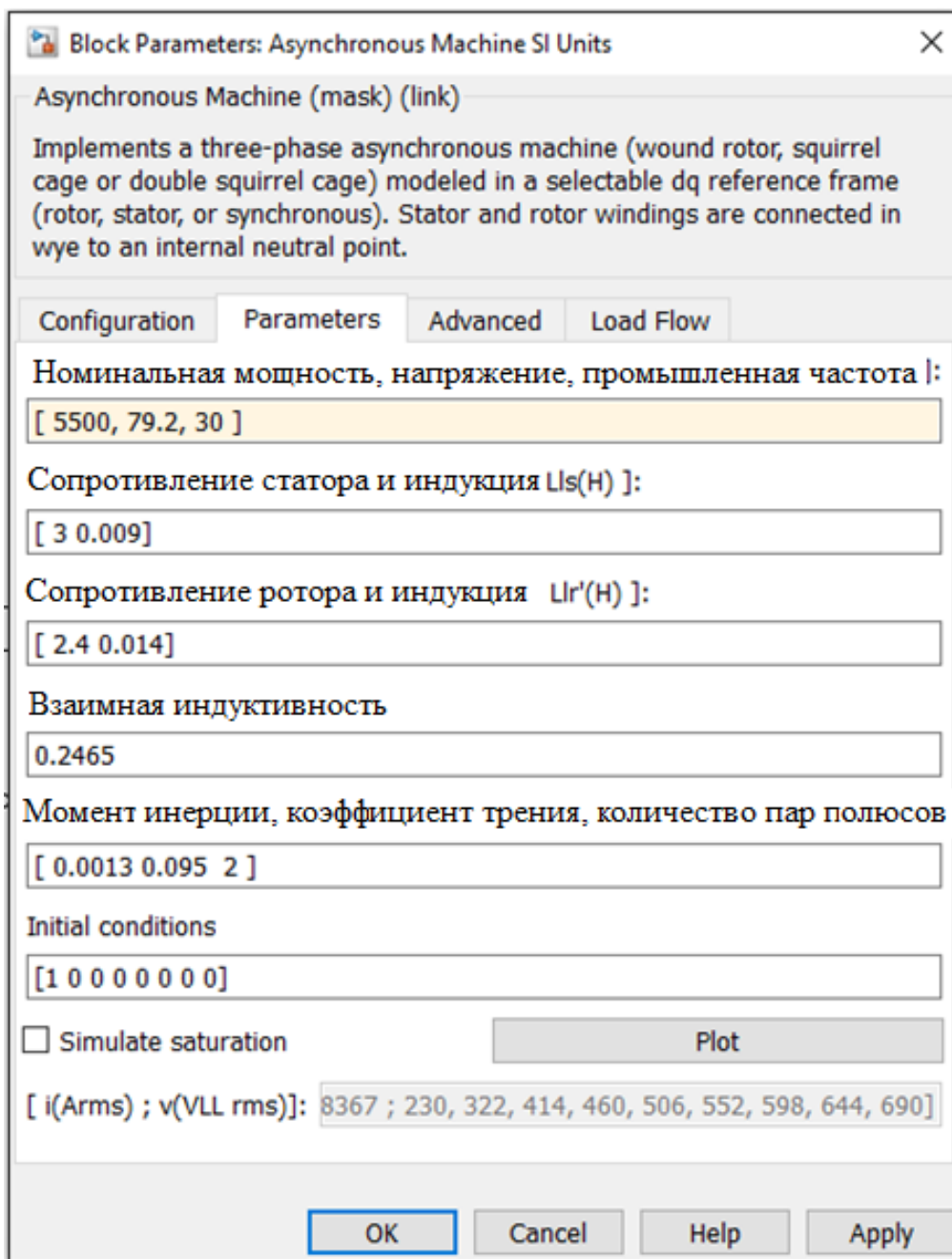


Рисунок 27 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 30 Гц, напряжения 79,2 В и числом оборотов 900 об/мин (II закон)

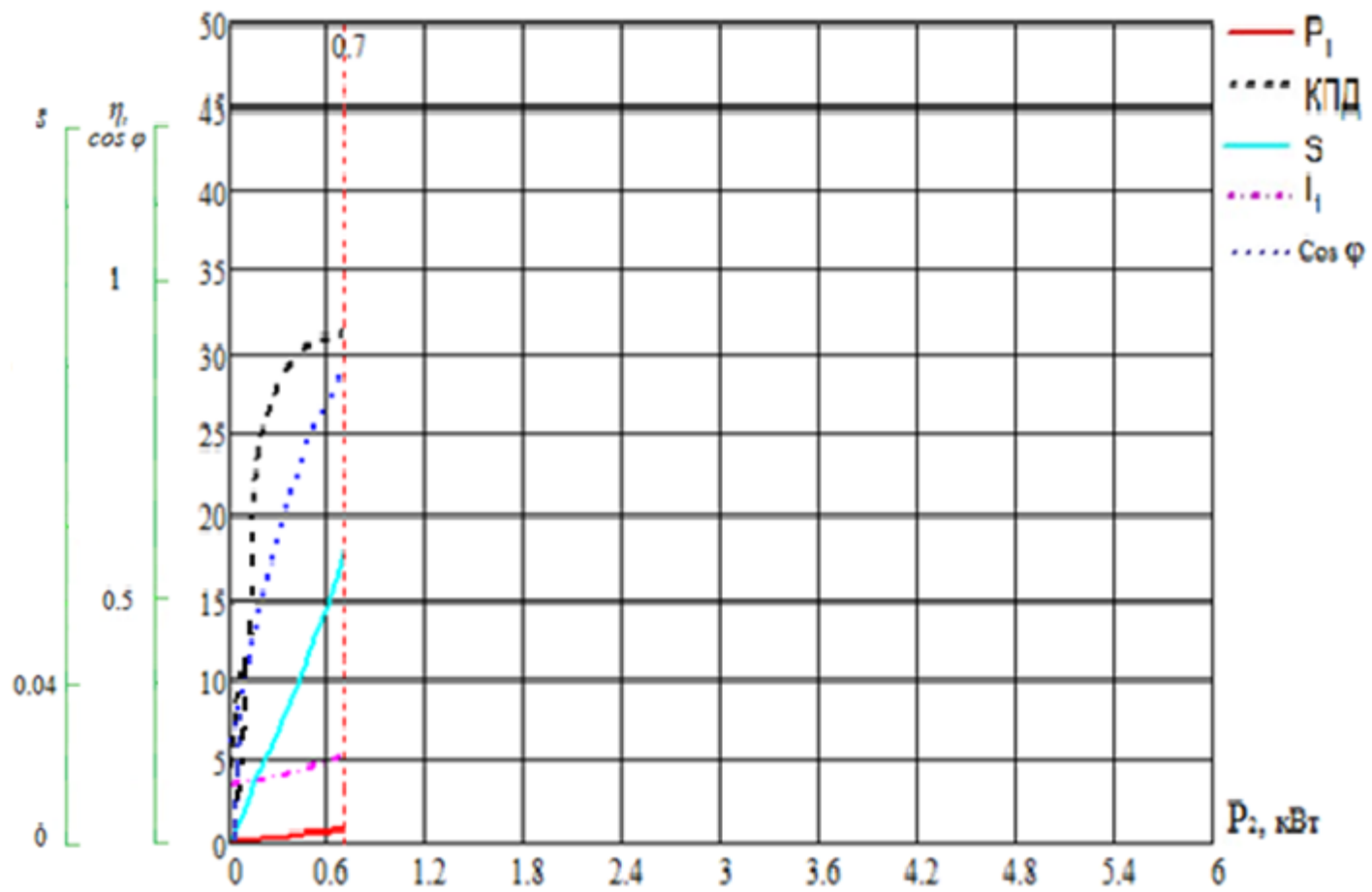


Рисунок 28 – Снятие рабочих характеристик для II закона на 30 Гц

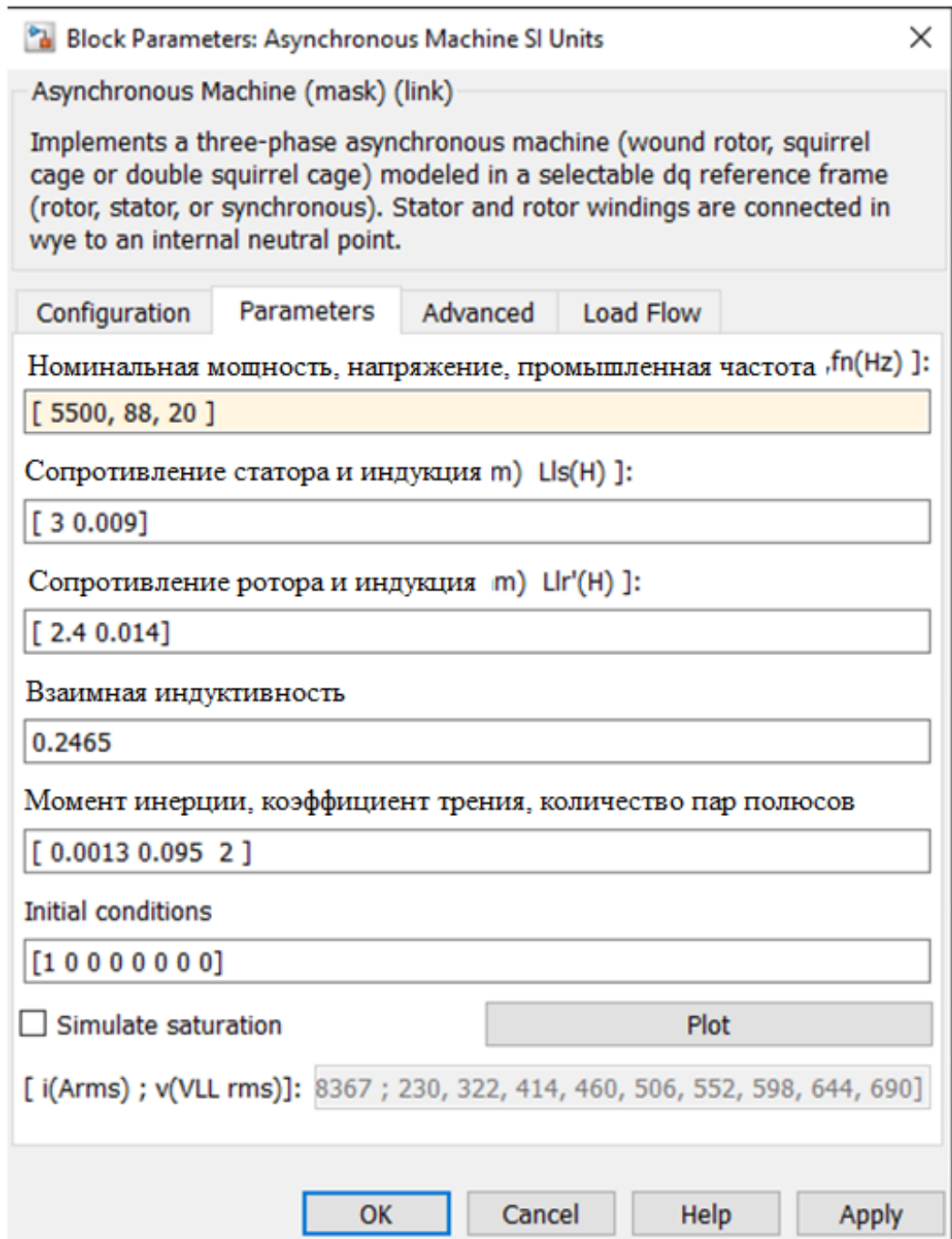


Рисунок 29 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 20 Гц, напряжения 88 В и числом оборотов 600 об/мин (I закон)

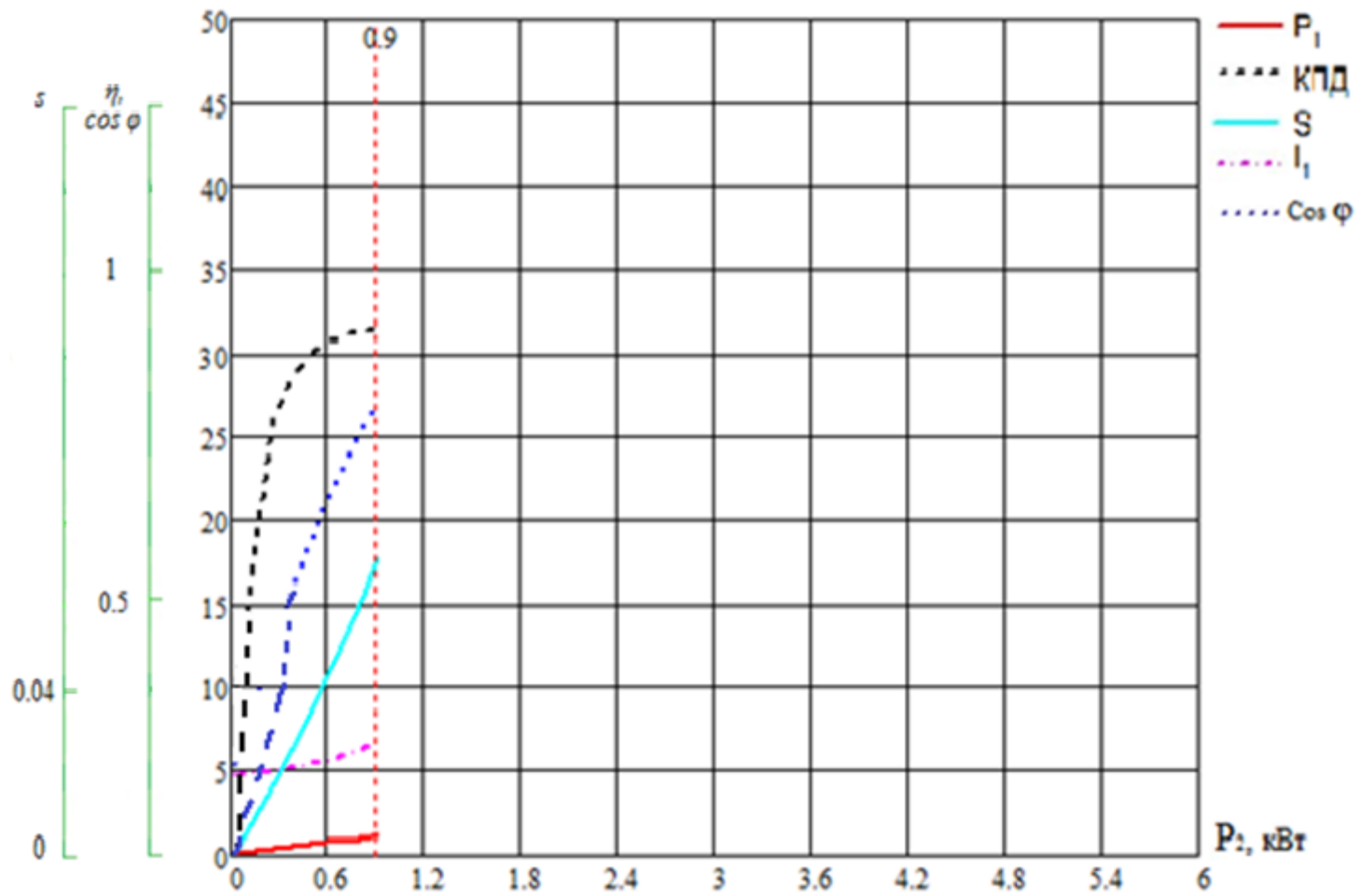


Рисунок 30 – Снятие рабочих характеристик для I закона на 20 Гц

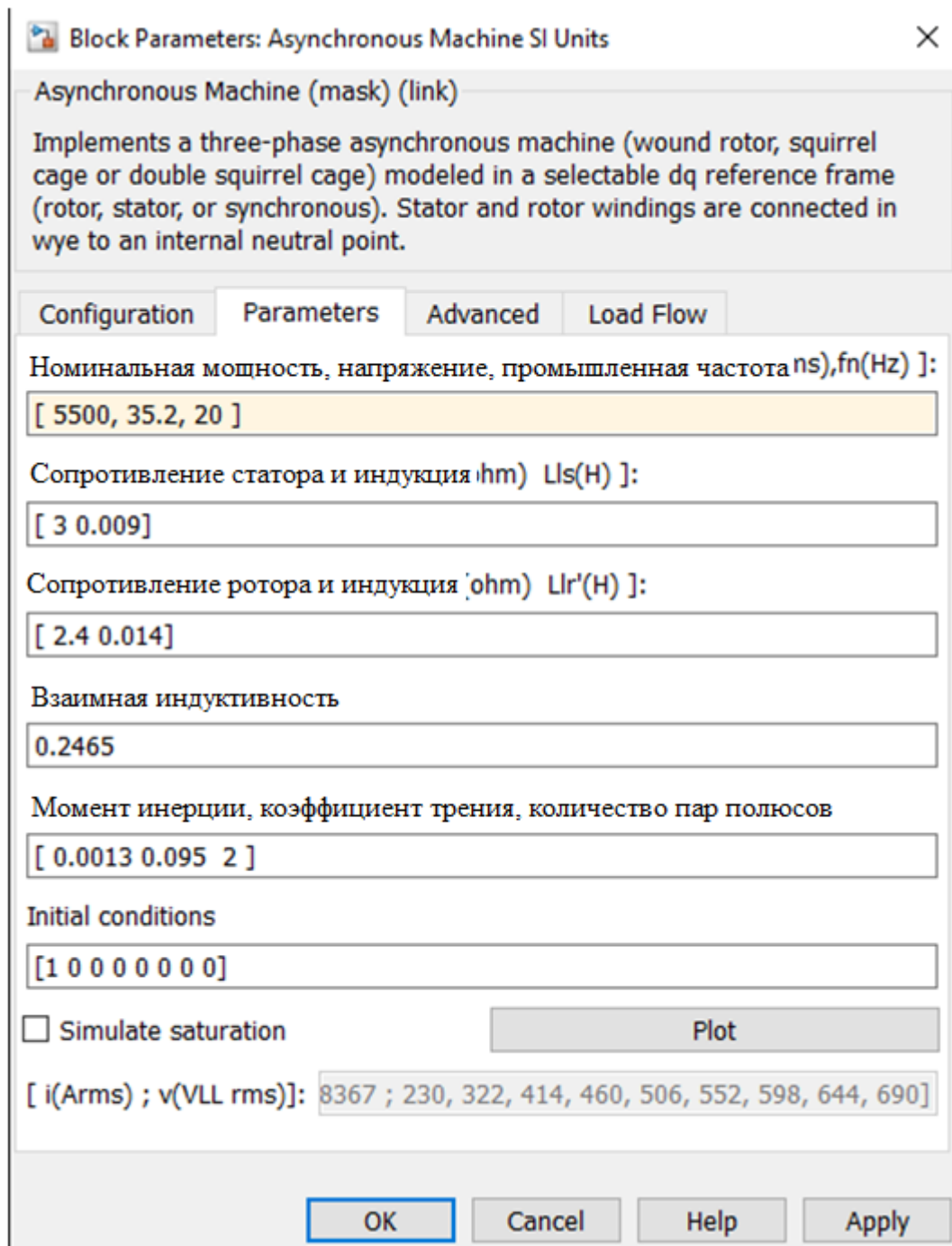


Рисунок 31 – Блок параметров проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя со значениями частоты 20 Гц, напряжения 35,2 В и числом оборотов 600 об/мин (II закон)

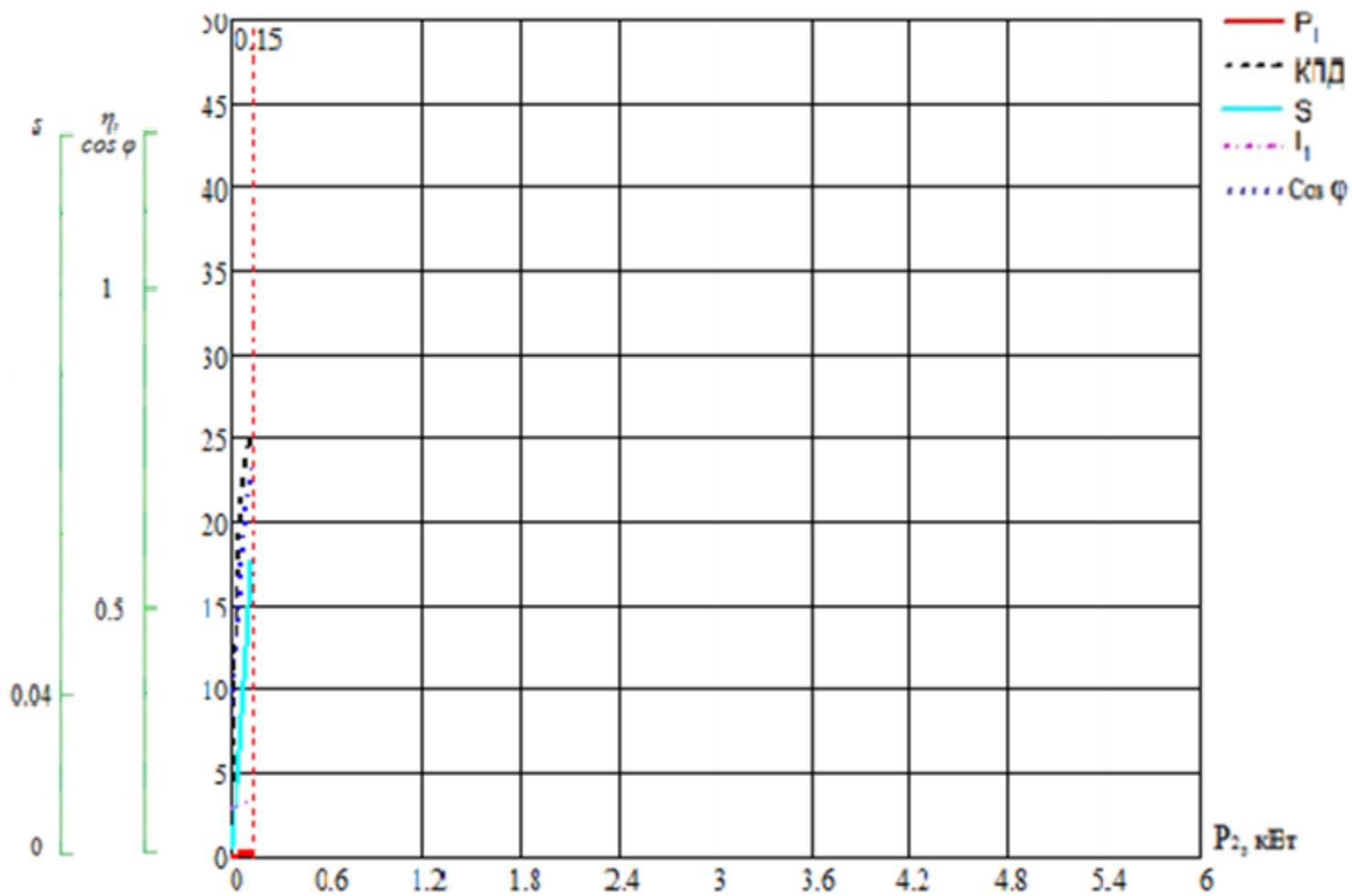


Рисунок 32 – Снятие рабочих характеристик для II закона на 20 Гц

В таблице 3 представлены результаты математического расчета АД АИР112М4 в MatLAB Simulink для обоих законов управления.

Таблица 3 – Результаты математического моделирования АД АИР112М4

Характеристики АД	Закон регулирования							
	I	II	I	II	I	II	I	II
f , Гц	50		40		30		20	
U , В	220	220	176	140,8	132	79,2	88	35,2
n , об/мин	1500	1500	1200	1200	900	900	600	600
η , о.е.	0.855	0.855	0.85	0.84	0.83	0.78	0.785	0.632
$\cos \varphi$, о.е.	0.85	0.85	0.83	0.81	0.77	0.73	0.7	0.6
P_2 , кВт	5.5	5.5	3.6	2.25	2	0.7	0.9	0.15

Графически результаты математического моделирования АД АИР112М4 представлены на рисунках 33–35 в виде зависимостей $\eta_{\text{дв}}=f(P_2)$ и $\eta=f(P_2)$.

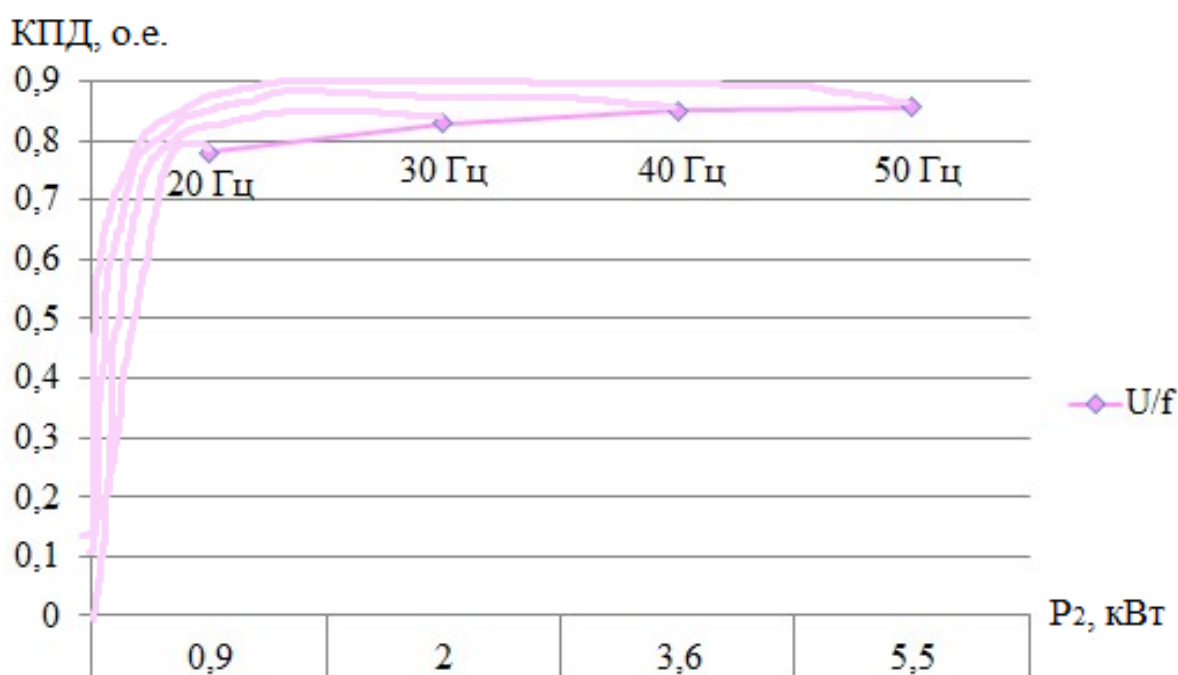


Рисунок 33 – Зависимости $\eta_{\text{дв}}=f(P_2)$ АД при $U/f=\text{const}$

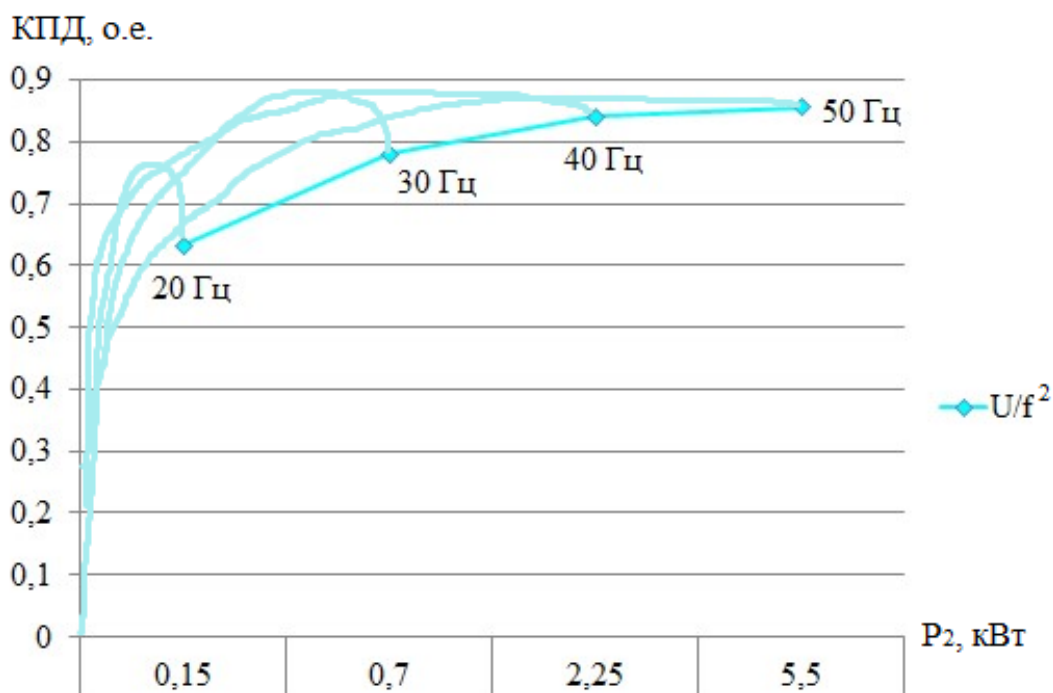


Рисунок 34 – Зависимости $\eta_{\text{дв}}=f(P_2)$ АД при $U/f^2=\text{const}$

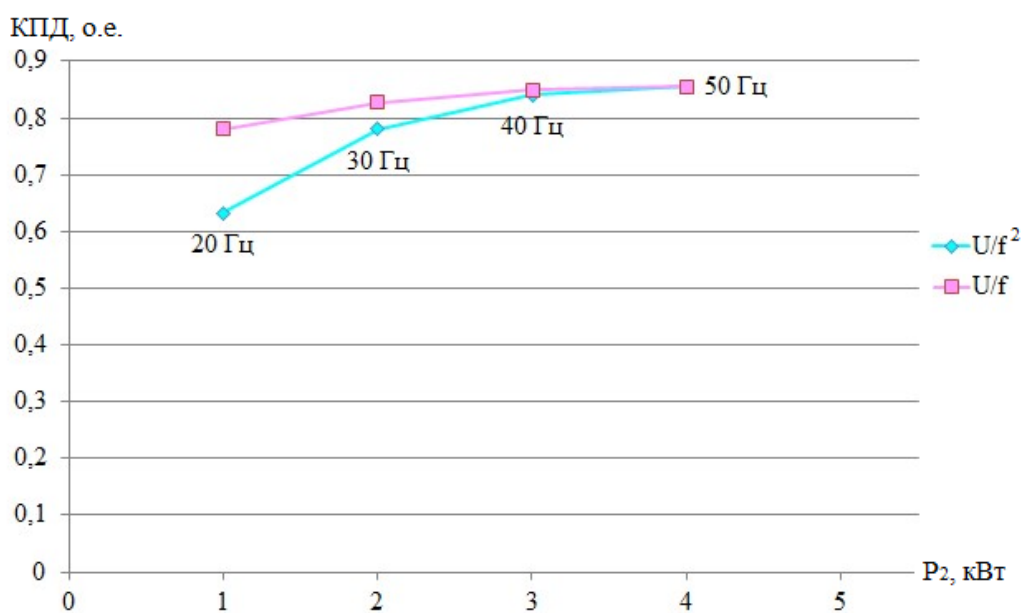


Рисунок 35 – Зависимости $\eta_{\text{дв}}=f(P_2)$ АД при законах $U/f=\text{const}$ и $U/f^2=\text{const}$

Выводы по главе 5.

Анализируя результаты и графики электромагнитного расчета АД для законов регулирования и разработанной математической модели АД в MatLAB Simulink с изменениями частоты и напряжения сети, можно сделать вывод что, разница в выходных параметрах в среднем составила до 5 % (таблица 4).

Таблица 4 – Сравнительная таблица результатов математического моделирования и электромагнитного расчета для законов регулирования

Характеристики АД	Закон регулирования															
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
	Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель	
f , Гц	50		50		40		40		30		30		20		20	
U , В	220	220	220	220	176	140,8	176	140,8	132	79,2	132	79,2	88	35,2	88	35,2
n , об/мин	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	900	900	900	900	600	600	600	600
η , о.е.	0.855	0.855	0.855	0.855	0.846	0.83	0.85	0.84	0.828	0.776	0.83	0.78	0.784	0.629	0.785	0.632
$\cos \varphi$, о.е.	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.808	0.83	0.81	0.767	0.724	0.77	0.73	0.67	0.585	0.7	0.6
P_2 , кВт	5.5	5.5	5.5	5.5	3.56	2.248	3.6	2.25	2.021	0.7	2	0.7	0.91	0.143	0.9	0.15
Погрешность	0 %				1.11 %		0.09 %		1.04 %		0 %		1.1 %		4.67 %	

6. Расчет энергетической энергии потребляемым насосным агрегатом

Для каждого найденного по формуле (7) n_i , в данной рабочей точке находим соответствующую мощность АД по графикам зависимости $n=f(P_2)$ и соответствующий данной мощности КПД АД по графикам $\eta_{обс}=f(P_2)$ (рисунки 33 и 34) для обоих законов. Полученные энергетические характеристики АД при регулировании частоты вращения используем для расчета электрической энергии, потребляемым насосным агрегатом.

Для нерегулируемого электропривода рассчитываем по формуле (8) мощность, потребляемую насосным агрегатом, не учитывая при этом КПД преобразователя частоты,

$$P_{нас.агрп} = \rho \cdot g \cdot H_i \cdot Q_i / (1000 \cdot \eta_{наси} \cdot \eta_{двви} \cdot \eta_{пчи}) = 1000 \cdot 2.725 \cdot 25 \cdot 32 / 1000 \cdot 0.52 \cdot 0.855 = 4.9 \text{ кВт} \quad (8)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H_i – значение напора насоса в рабочей точке, м;

Q_i – значение расхода насоса в рабочей точке, м³/ч;

$\eta_{наси}$ – КПД насоса в рабочей точке, о. е.;

$\eta_{двви}$ – КПД двигателя в рабочей точке, о. е.;

$\eta_{пчи}$ – КПД преобразователя частоты в рабочей точке, о.е..

Энергия, потребляемая насосным агрегатом за сутки без использования регулируемого электропривода, рассчитывается по формуле 9:

$$\Sigma W = \Sigma t \cdot P_{нас.агрп} = 24 \cdot 4.9 = 118 \quad (9)$$

где Σt – часов в сутках, ч;

$P_{нас.агрп}$ – мощность потребляемую насосным агрегатом, кВт.

Таблица 5 – Расчет потребляемой электроэнергии при регулировании частоты вращения насосного агрегата в течение суток

Q_i / Q_H	$Q_i, \text{ м}^3/\text{ч}$	$H_i, \text{ м}$	$n_i, \text{ об/мин}$	$n_{\text{нас} \cdot i}, \text{ о.е.}$	$P_{\text{дв}i}, \text{ кВт}$	$\eta_{\text{дв} \cdot i}, \text{ о.е.}$	$P_{\text{нас.агр} \cdot i}, \text{ кВт}$	$t_i, \text{ ч}$	$W_i, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$
0,1	7	2,51	792,636	0,134	0,43	0,808	0,451	5	2,255
0,15	8,8	3,96	848,12	0,16	0,61	0,811	0,747	1	0,747
0,2	9,7	4,82	907,5	0,2	0,78	0,815	0,798	1	0,798
0,3	11,5	6,77	989,165	0,26	1,13	0,818	1,018	2,5	2,545
0,5	15,1	11,67	1049,5	0,373	1,45	0,822	1,598	1	1,598
0,6	16,9	14,62	1117,72	0,41	1,72	0,835	1,99	1	1,99
0,65	18,7	17,9	1184,78	0,447	2,18	0,842	2,473	1	2,473
0,7	19,6	19,67	1255,872	0,454	2,88	0,844	2,798	4,5	12,591
0,8	21,4	23,45	1332,48	0,498	3,74	0,848	3,767	3	11,301
0,9	23,2	27,56	1412,1	0,505	4,56	0,852	4,132	1,5	6,198
1,00	25	32	1500	0,52	5,5	0,855	5,003	2,5	12,5075
								Итого:	55,0035

Для нерегулируемого электропривода получаем по формуле (8) мощность, потребляемую насосным агрегатом, не учитывая при этом КПД преобразователя частоты, что составит 4,903 кВт. Энергию, потребляемую за сутки, рассчитываем по формуле (9) в соответствии с графиком суточного водопотребления (рисунок 4).

Выводы по главе 6.

Энергия, использованная без регулирования частоты вращения насоса составляет 118 кВт·ч, результаты расчетов для регулируемого электропривода при законе $U/f^2 = const$ сведены в таблицу 5. При заданной мощности насосного агрегата и характеристиках трубопровода экономия электроэнергии составляет при законе $U/f^2 = const$ – 63 кВт·ч – за сутки, или 53%. Результаты расчетов показали, что экономия электроэнергии, полученная при замене нерегулируемого электропривода регулируемый, составляет свыше 50 %.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Асинхронные двигатели - наиболее распространенный вид электрических машин, потребляющих в настоящее время около 40% всей вырабатываемой электроэнергии. Их установленная мощность постоянно возрастает.

Асинхронные двигатели широко применяются в приводах металлообрабатывающих, деревообрабатывающих и других видов станков, кузнечно-прессовых, ткацких, швейных, грузоподъемных, землеройных машин, вентиляторов, насосов, компрессоров, центрифуг, в лифтах, в ручном электроинструменте, в бытовых приборах и т.д. Практически нет отрасли техники и быта, где не использовались бы асинхронные двигатели.

Потребности народного хозяйства удовлетворяются главным образом двигателями основного исполнения единых серий общего назначения, т.е. применяемых для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению, энергетическим показателям, шуму и т.п. Вместе с тем в единых сериях предусматривают также электрические и конструктивные модификации двигателей, модификации для разных условий окружающей среды, предназначенные для удовлетворения дополнительных специфических требований отдельных видов приводов и условий их эксплуатации. Модификации создаются на базе основного исполнения серий с максимально возможным использованием узлов и деталей этого исполнения.

В некоторых приводах возникают требования, которые не могут быть удовлетворены двигателями единых серий. Для таких приводов созданы специализированные двигатели, например электробуровые, краново-металлургические и др.

Низковольтные асинхронные электродвигатели общего назначения мощностью 0,25...400 кВт, именуемые во всем мире стандартные асинхронные двигатели, составляют основу силового электропривода, применяемого во всех областях человеческой деятельности. Их совершенствованию в промышленно развитых странах придают большое значение.

В настоящее время рынок, призванный отражать интересы потребителей, не формулирует сколько-нибудь определенных требований к стандартным асинхронным двигателям, кроме ценовых. В связи с этим для выявления тенденций их совершенствования необходимо исходить из требований внешнего рынка и из достижений основных производителей стандартных асинхронных двигателей.

Ведущие фирмы-производители выпускают энергосберегающие стандартные асинхронные двигатели мощностью 5-30 кВт и более. В этих двигателях потери электроэнергии снижены не менее чем на 10 % по сравнению с ранее производимыми двигателями с "нормальным" КПД.

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 [13].

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 %.

Рынок электродвигателей в России, СНГ и Восточной Европе представлен двигателями постоянного и переменного тока, а также сервоприводами.

Начиная с 2006 г. снижается спрос на двигатели постоянного тока из-за устаревания технологии, этот сегмент рынка занимают сервоприводы и двигатели переменного тока. Они делают производство более экономичным и позволяют сократить текущие расходы, а также подходят для применения в различных областях промышленности [14].

В ряде стран вопросы энергосбережения в стандартных асинхронных двигателях связывают не столько со снижением эксплуатационных затрат, сколько с экологическими проблемами, обусловленными производством электроэнергии. В Российской Федерации Владимирский электромоторный завод начиная с 1998 г. выпускает энергосберегающие двигатели 5A280 и с 1999 г. 5A315 мощностью от 110 до 200 кВт, с 2000 г. энергосберегающие двигатели 5A355 мощностью 315 кВт, а с 2003 г. готовится к выпуску асинхронных двигателей серии 6A [13].

Вопросам повышения энергоэффективности электроприводов промышленных предприятий посвящены работы многих отечественных научных школ, а также известных ученых в области электромашиностроения, электроэнергетики и энергопотребления. Наиболее значимые результаты в решении обозначенной проблемы достигнуты в Московском энергетическом институте (техническом университете) при активном участии Ильинского Н.Ф., Копылова И.П., Беспалова В.Я., Ключева В.И., Микитченко А.Я., Федорова А.А., Веникова В.А. и др. Большой вклад внесли ученые отраслевых промышленных институтов ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», ОАО «Электропривод», ОАО «НИПТИЭМ» научные школы Уральского федерального округа при участии Шубенко В.А., Браславского И.Я., Пластуна А.Т., Шрейнера А.Т., Зюзева А.М., Гафиятуллина Р.Х.,

Хохлова Ю.И., Усынина Ю.С., Селиванова И.А., Карандаева А.С., Сарварова А.С., Корнилова Г.П. и др.

Наиболее эффективным техническим мероприятием, обеспечивающим повышение энергетического КПД потребителей электрической энергии переменного тока, является компенсация реактивной мощности. На практике это реализуется путем применения различных компенсаторов реактивной мощности (КРМ).

Директивные материалы правительства РФ регламентируют нормативное значение коэффициента мощности $\cos\varphi=0,9$. Однако эта величина достигается преимущественно в электросетях среднего и высокого напряжений (35-110 кВ). В низковольтных сетях напряжением 0,4 кВ, от которых питается до 60% традиционных асинхронных двигателей (ТАД), повышение $\cos\varphi$ до приемлемого уровня известными способами экономически не всегда оправдано, поэтому, зачастую, не применяется.

В этой связи актуальным и практически значимым для развития экономики страны является решение задач, направленных на повышение энергоэффективности асинхронных электроприводов промышленных установок напряжением до 1000 В [15].

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Энергосберегающие электродвигатели применяются почти во всех областях. За счет постоянного роста цен на электроэнергию – энергосберегающие электродвигатели могут стать отличной заменой.

По сравнению с традиционными асинхронными двигателями энергосберегающие электродвигатели имеет ряд преимуществ. Значительно меньшие расходы на эксплуатацию, до 42% меньше потери, повышенный срок службы. При той же мощности, что и стандартный двигатель, с каждым

оборотом энергосберегающие двигатели экономят электрическую энергию и, следовательно, расходы на эксплуатацию.

При этом в первую очередь выгоду получает клиент - а также природа, так как энергосберегающие двигатели позволяют работать с меньшим количеством электроэнергии и таким образом улучшают экологию, предотвращая выбросы CO₂ в атмосферу при ее избыточном производстве [16].

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 1. Для анализа был взят проектируемый двигатель и двигатели серий АИР (АИР112М4, АИР132S6) группы компаний «Электромотор» [18].

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Мощность, кВт	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Оборотов в минуту	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,2
3. Ток при 380В, А	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
4. КПД, %	0,15	5	4	3	0,5	0,4	0,3
5. Коэф. мощности	0,15	5	4	3	0,5	0,4	0,3
6. Масса, кг	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
7.Номинальный момент, Н·м	0,05	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
8.Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	0,5	0,4	0,3

Продолжение таблицы 6.

12.Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	5	0,4	0,4	0,5
13. Цена	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
14.Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Итого	1				5,05	4,35	3,5

Анализ конкурентных технических решений рассчитывается по формуле 10.

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (10)$$

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, проектируемый двигатель, при стандартных конструктивных частях, превосходит своих конкурентов по таким показателям как номинальная мощность, КПД, коэффициент мощности, масса и цена которые являются определяющими при проектировании асинхронных двигателей.

7.1.3 FAST-анализ

Стадия 1.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает проектируемый асинхронный двигатель.

Стадия 2.

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

В асинхронных двигателях вращающееся магнитное поле создаётся трёхфазной системой при включении её в сеть переменного тока. Вращающееся магнитное поле статора пересекает проводники обмотки ротора и индуцирует в них электродвижущую силу (ЭДС). Если обмотка ротора замкнута на какое-либо сопротивление или накоротко, то в ней под действием индуцируемой э.д.с. проходит ток. В результате взаимодействия тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем обмотки статора создаётся вращающий момент, под действием которого ротор начинает вращаться по направлению вращения магнитного поля. Для изменения направления вращения ротора необходимо поменять местами по отношению к зажимам сети любые два из трёх проводов, соединяющих обмотку статора с сетью [16].

Таблица 7 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Статор	1	Корпус двигателя, она неподвижна, внутри неё имеются специальные пазы (магнитопровод), куда пофазно уложены витки (секции) обмоток (статорная обмотка)	×		
Ротор	1	Вращается и несет на себе обмотку	×		
Обмотки статора	1	Образуют магнитную цепь асинхронного двигателя	×		
Магнитопровод ротора	1	Образуют магнитную цепь асинхронного двигателя	×		

Продолжение таблицы 7.

Вал	1	Служит для передачи крутящего момента от двигателя на механическую нагрузку		×	
Коробка выводов	1	К ней подводятся выводы обмоток, также для подключения электропитания двигателя			×
Вентилятор	1	Для создания охлаждения двигателя, так как при своей работе асинхронный двигатель выделяет тепло			×

Стадия 3.

Таблица 8 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Функция 7
Функция 1	=	=	>	>	>	>	>
Функция 2	=	=	>	>	>	>	>
Функция 3	<	<	=	=	>	>	>
Функция 4	<	<	=	=	>	>	>
Функция 5	<	<	<	<	=	>	>

Продолжение таблицы 8.

Функция 6	<	<	<	<	<	=	<
Функция 7	<	<	<	<	<	>	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая.

Таблица 9 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	Функция 7	Итого
Функция 1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	9,5
Функция 2	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	9,5
Функция 3	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5	7,5
Функция 4	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5	7,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	6
Функция 6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	4
Функция 7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1	5
								$\Sigma=49$

Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»

Стадия 4.

Таблица 10 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталий на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Статор	1	Корпус двигателя, она неподвижна, внутри неё имеются специальные пазы (магнитопровод), куда пофазно уложены витки (секции) обмоток (статорная обмотка)	54	1,8	23	1219	1242
Ротор	1	Вращается и несет на себе обмотку	36	1,8	7	245	252
Обмотки статора	1	Образуют магнитную цепь асинхронного двигателя	16	1,8	341,5	5122,5	5464

Продолжение таблицы 10.

Магнитопр овод ротора	1	Образуют магнитную цепь асинхронного двигателя	175	1,6	65	11310	11375
Вал	1	Служит для передачи крутящего момента от двигателя на механическую нагрузку	54	3,2	23	1219	1242
Коробка выводов	1	К ней подводятся вывода обмоток, также для подключения электропитания двигателя	0,5	2,8	180	180	360
Венти- лятор	1	Для создания охлаждения двигателя, так как при своей работе асинхронный двигатель выделяет тепло	0,5	1,2	200	180	380

Стадия 5.

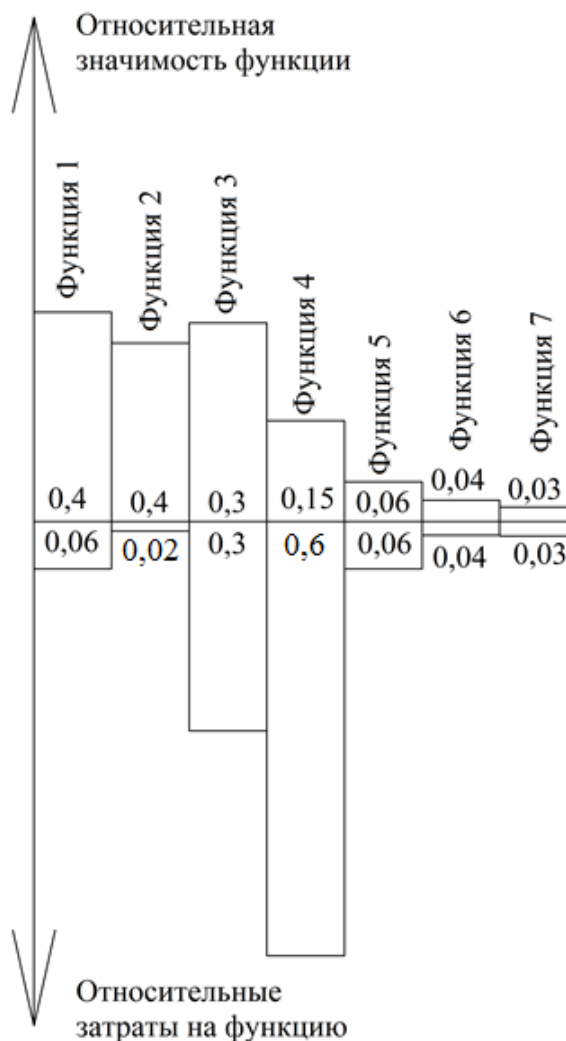


Рисунок 36 – Функционально-стоимостная диаграмма

Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом

Для оптимизации функции 1, 2, 4, следует совместить укладку обмоток статора и магнитопровода ротора, также использовать механическую укладку, вместо ручной, для уменьшения затрачиваемого времени. Применять готовые заготовки вентилятора и коробки выводов.

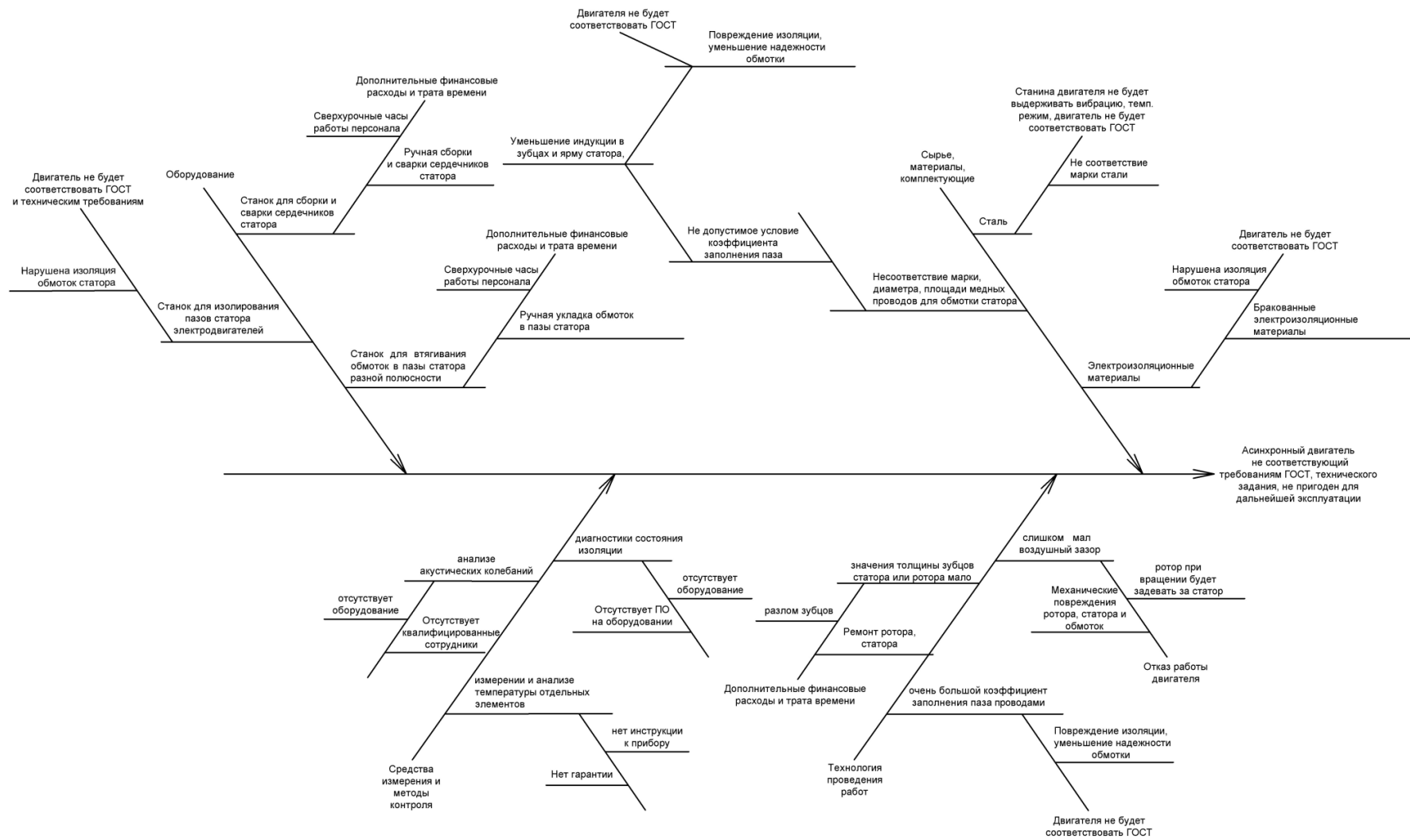


Рисунок 37 – Причинно-следственная диаграмма

7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1

Продолжение таблицы 11.

12.	Проработаны вопросы использования инфраструктуры получения льгот	вопросы услуг поддержки,	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации разработки	вопросы научной	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации разработки	научной	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта		3	3
Итого баллов:			46	47

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (11)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ для степени проработанности научного проекта составило 46, для уровня имеющихся знаний у разработчика – 47, значит перспективность разработки и знания разработчика выше среднего.

По результатам оценки можно сделать вывод, что, нужна разработка бизнес-плана научной разработки, финансирования в области проработки вопросов международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок и привлечение специалистов в команду для коммерциализации научного проекта.

7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В ходе выполнения работы был выбран метод коммерциализации научных операций – организация совместного предприятия. Для разделения труда между партнерами следующим образом:

- продвижение, маркетинг, согласование контрактных соглашений;
- комплекс или отдельные виды инженерно-технических услуг, связанных с проектированием;
- строительство и ввод объекта в эксплуатацию, разработка новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствование имеющихся производственных процессов, внедрения изделия в производство;
- сбыт продукции.

7.2 Планирование управления научно-техническим проектом

7.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 38 – Иерархическая структура работ по проекту энергосберегающего асинхронного двигателя

7.2.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 12 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (детали двигателя)
1	Получения заготовок деталей машины	10.05.2016	Станины, подшипниковые щиты, детали якоря, вентиляторы, короткозамкнутые роторы
2	Механической обработки деталей	11.05.2016	Обработанные от стружек детали: станины, подшипниковые щиты, валы, крышки подшипников, детали якорной группы (втулки и конусы коллектора, обмоткодержатели, нажимные шайбы)
3	Штамповки деталей из тонколистовой стали, цветных металлов и изоляционных материалов	14.05.2016	Листы сердечников магнитопроводов, кожухи, различные крышки, медные пластины и миканитовые прокладки коллектора, кабельные наконечники, прокладки, шайбы
4	Изготовления и укладки обмоток	17.05.2016	Статор с обмотками в пазах и магнитопровод ротор
5	Сборки сборочных единиц и машины в целом	20.05.2016	Сборочные единицы (сердечник, коллектор, контактные кольца, якорь и др.) и сборка машины в целом
6	Контроля и испытания обмоток		Спроектированный асинхронный двигатель удовлетворяющий требованиям ГОСТ как по энергетическим показателям, так и по пусковым характеристикам

7.2.3 Календарный план проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 13 – Календарный план проекта

Код работ ы (из ИСР)	Название	Длитель ность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Управление разработкой	60	15.05.2016	16.06.2016	Руководитель, конструкторы, технологи
2	Требования к разработке	10	17.06.2016	25.06.2016	Руководитель, конструкторы, Технологи
3	Подробное проектирование	15	26.06.2016	9.07.2016	Конструкторы, технологи, технические чертежники
4	Разработка	15	10.07.2016	11.07.2016	Технологи
5	Измерения и методы контроля	2	12.07.2016	14.07.2016	Технологи
Итого:		102			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 14 – Календарный план-график

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Тк, кал, дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Май			Июнь			Июль				
				2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Управление разработкой	Руководители, конструкторы, технологи	60	■	■	■								
2	Требования к разработке	Руководители, конструкторы, технологи	10				■	■						
3	Подробное проектирование	Конструкторы, технологи	15							■	■			
4	Разработка	Технологи	15									■	■	
5	Измерения и методы контроля	Технологи	2											■

■ - руководители ■ - конструкторы, технологи

Таблица 15 – Расчет стоимости материалов, покупных изделий и полуфабрикатов

Наименование материалов, покупных изделий и полуфабрикатов	Цена за единицу, р	Кол-во	Сумма, р
1	2	3	4
Сталь 45	7	36	252
Чугун	23	54	1242
Провод ПЭВТЛ-2 1,6	341,5	16	5464
Стержень медный	311	14	4354
Контактные кольца	113	1	113
Щетки графитовые	75	3	225
Шарикоподшипник	170	2	340
Электроизоляционные материалы	156	1	156
Электротехническая сталь 2013	65	175	11375
Пластмассы	360	0,5	180
Лакокрасочная продукция	187	1	187
Нефтепродукты	28	0,5	14
Итого			23902
Транспортно-заготовительные расходы (10%)			2390,2
Всего с учетом транспортно- заготовительных расходов			26292,2

Основная заработная плата определяется, исходя из нормативной трудоемкости выполнения ОКР по каждой группе исполнителей и усредненной часовой ставке одного работника в группе

$$Z_0 = \sum_{i=1}^m C_q \cdot T_j, \quad (12)$$

где $i=1, 2 \dots$ – число профессиональных групп;

C_i – часовая усредненная ставка зарплаты, р;

T_j – нормативное время каждой профессиональной группы на выполнение ОКР, нормо-ч.

Усредненная часовая ставка одного работника, в каждой группе представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет стоимости материалов, покупных изделий и полуфабрикатов

Должность	Месячный оклад, р	Месячный фонд времени, ч	Трудоемкость, чел-ч	Заработная плата, р
Конструктор 2 категории	6393,16	171,6	1244,9	21474,3
Конструктор 3 категории	2737,48	171,6		
Технолог 2 категории	3196,58	171,6	802,6	13844,8
Технолог 2 категории	3196,58	171,6		
Чертежник	1887,67	171,6	981,4	10795,4
Чертежник	1887,67	171,6		
Итого:			3028,9	46114,5

Сметная стоимость темы, расчёт приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет сметной стоимости темы

Наименование затрат	Сумма, р	Примечание
1	2	3
1 Материалы и комплектующие изделия	26292,2	Таблица 13
2 Основная заработная плата	46114,5	Таблица 14
3 Дополнительная заработная плата	6917,2	15 % от П.2
4 Страховые выплаты во внебюджетные социальные фонды	18030,8	34 % от (П.2 + П.3)
5 Накладные расходы	14481,3	20 % от (П.1 + П.2)
6 Сметная стоимость	111836	П.1+П.2+...+П.5

Цену разработки (C) рассчитаем на основе нормативной рентабельности по формуле 13.

$$C = S + P_n, \quad (13)$$

$$C = 111836 + 11183.6 = 123019.6 \text{ руб.}$$

где S – сметная стоимость разработки, руб;

P_n – нормативная прибыль, руб. (10% от сметной стоимости).

$$P_n = S \cdot 0.1, \quad (14)$$

$$P_n = 111836 \cdot 0.1 = 11183.6 \text{ руб.}$$

Для оценки технического уровня необходимо сопоставить конструктивные параметры анализируемого изделия и товара-конкурента с уровнем, заданным потребностью покупателя, что представлено в таблице 18.

Таблица 18 – Значения параметров сравниваемых машин

Значение	Двигатель – аналог АИР112М4 ЗАО «Сибэлектромотор»	Проектируемый двигатель	Двигатель - эталон
Масса, кг	45	40	42
Момент, Н.м	236	212	243
Мощность, кВт	5.5	5.5	5.5

Расчет годовых эксплуатационных издержек потребителя

Принимаем цену базовой конструкции: $C_б = 127354$ руб. Проведем расчет годовых эксплуатационных издержек потребителя.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле 15.

$$I_{эн} = I_{эн} \cdot P_n \cdot T_{Г}, \quad (15)$$

где $C_б = 3,5$ руб. – цена электроэнергии за кВт·ч;

$P_{1н} = 45,8$ кВт, $P_{1б} = 50,9$ кВт – потребляемые мощности соответственно нового и базового электродвигателей;

$T_{бг} = 1500$ ч – время работы базового изделия в год;

$T_{нг} = 1500$ ч – время работы нового изделия в год.

$$I_{энб} = 3,5 \cdot 50,9 \cdot 1500 = 267225 \text{ руб.},$$

$$I_{энн} = 3,5 \cdot 45,8 \cdot 1500 = 240450 \text{ руб.}$$

Рассчитаем амортизационные отчисления нового двигателя

$$A_{гн} = \frac{C_{ны} \cdot H_a}{100}, \quad (16)$$

$$A_{\text{гн}} = \frac{48331,25 \cdot 12,6}{100} = 6089,7 \text{ руб.},$$

где $H_a = 12,6 \%$ – норма амортизации;

$C_{\text{ны}} = 48331,25$ руб. – значение нижнего уровня цены.

Расчёт амортизационных отчисления двигателя – аналога по формуле 16.

$$A_{\text{гб}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot H_a}{100}, \quad (16)$$

$$A_{\text{гб}} = \frac{127354 \cdot 12,6}{100} = 16046,6 \text{ руб.},$$

Расчет годовых издержек потребителя сводится в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчет годовых издержек потребителя

Наименование расходов	Сумма, р	
	Двигатель – аналог МТН 511-6 ЗАО «Сибэлектромотор»	Новая конструкция
Затраты на электроэнергию, р	267225	240450
Заработная плата обслуживающего персонала, р	5397,7	5397,7
Материалы, покупные изделия используемые при эксплуатации изделия	10648,9	692
Всего	283271,6	246539,7

Дальнейшим действием производится расчет полезного эффекта товара в эксплуатации.

Согласно паспортным данным нормативный срок службы базового изделия составляет $T_{\text{сб}} = 10$ лет.

Нормативный срок службы нового изделия, ввиду отсутствия кардинальных изменений элементов конструкции, принимаем равным сроку службы базового – $T_{зб} = 10$ лет.

Полезный эффект нового изделия в эксплуатации представляет стоимостную оценку изменения его потребительских свойств, оказывающих влияние на долговечности применяемых изделий, экологические и социальные показатели. Полезный эффект считается по формуле 17.

$$\mathcal{E}_n = C_{\sigma} \cdot (K_{mn} \cdot K_{\delta} - 1) + \Delta I, \quad (17)$$

где $K_{mn} = 1,01$ - коэффициент технического прогресса,

K_{δ} – коэффициент учета изменения срока службы нового изделия по сравнению с базовым, рассчитывается согласно выражению.

$$K_{\delta} = \frac{\frac{1}{T_{гб}} + E_n}{\frac{1}{T_{гн}} + E_n}, \quad (18)$$

$$K_{\delta} = \frac{\frac{1}{10} + 0,15}{\frac{1}{10} + 0,15} = 1$$

где $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент экономической эффективности,
 ΔI – изменение текущих издержек эксплуатации у потребителя при использовании им нового оборудования взамен базовой конструкции

$$\Delta I = \frac{\Gamma_{иб} - \Gamma_{ин}}{\frac{1}{T_{гн}} + E_n}, \quad (19)$$

$$\Delta I = \frac{283271,6 - 246539,7}{\frac{1}{10} + 0,15} = 146927, \text{ руб}$$

где $\Gamma_{иб}$ – годовые издержки товара конкурента ,

$\Gamma_{ин}$ – годовые издержки новой конструкции,

$$\mathcal{E}_n = 127354 \cdot (1,01 \cdot 1 - 1) + 146927 = 148200 \text{ руб.}$$

Для установления цены на новую конструкцию изделия необходимо определить ее верхний уровень, образуемый спросом, и нижний уровень, образуемый издержками. Окончательная цена будет лежать в интервале нижнего и верхнего уровня с ориентацией на цену конкурентов.

Определим нижний уровень цены по формуле 20.

$$\mathcal{E}_{ny} = \mathcal{C}_{ny} + \Pi_n, \quad (20)$$

где \mathcal{C}_{ny} – сумма полной себестоимости, р;

Π_n – нормативная прибыль.

$$S_n = \frac{S_m}{Y_m}, \quad (21)$$

где $S_m=26292.2$ руб. – стоимость основных материалов и покупных полуфабрикатов;

$Y_m=0,68$ – доля основных материалов и покупных полуфабрикатов в общих затратах.

$$S_n = \frac{26292,2}{0,68} = 38665 \text{ руб,}$$

$$\Pi_n = 0,25 \cdot S_n, \quad (22)$$

$$\Pi_n = 0,25 \cdot 38665 = 9666,25 \text{ руб,}$$

$$\mathcal{C}_{ny} = 38665 + 9666,25 = 48331,25 \text{ руб.}$$

Верхний уровень цены определяется на основе стоимостной оценки улучшения потребительских свойств товара, при которой обеспечивается относительное его удешевление в эксплуатации по формуле 23:

$$\mathcal{C}_{ey} = \mathcal{C}_b \cdot \mathcal{E}_n \cdot K_9, \quad (23)$$

$$\mathcal{C}_{ey} = 127354 + 148200,5 \cdot 0,7 = 231094 \text{ руб,}$$

где $K_9 = 0,7$ – коэффициент учета полезного эффекта в цене нового изделия.

Верхний уровень цены превосходит нижний уровень почти в 4 раза:

$$\Delta Ц = \left(\frac{Ц_{\text{п}}}{Ц_{\text{н}}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad , \quad (24)$$

$$\Delta Ц = \left(\frac{231094}{48331,25} - 1 \right) \cdot 100 \% = 378 \%$$

Верхний уровень цены выше нижнего на 378 %, что свидетельствует о целесообразности вывода изделия на рынок.

Показатели, определяющие цену нового изделия, сведем в таблицу 20.

Таблица 20 – Показатели, определяющие цену нового изделия

Показатели	Значения
1. Полная себестоимость нового изделия, р	26292,2
2. Нижний уровень цены нового изделия, р	48331,25
3. Верхний уровень цены нового изделия, р	231094
4. Цена товара-конкурента, р	127354
5. Коэффициент технической прогрессивности	1,01
6. Коэффициент изменения функциональных возможностей	1
7. Окончательная цена нового изделия, р	125000

7.2.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Для промышленного производства наиболее тяжелым проявлением риска является возникновение аварийной ситуации. Это может произойти на промышленных объектах в результате событий различного характера:

– природного — землетрясение, наводнение, оползни, ураган, смерч, удар молнии, шторм (на море), извержение вулкана и т. д;

– техногенного — износ зданий, сооружений, машин и оборудования, ошибки при проектировании или монтаже, злоумышленные действия, ошибки персонала, повреждение оборудования при строительных и ремонтных работах и др.;

– смешанного — нарушение природного равновесия в результате техногенной деятельности человека, например возникновение нефтегазового фонтана при разведочном бурении скважин или оползня при строительных работах.

Эти события вызывают несколько групп неблагоприятных последствий:

- взрыв;
- пожар;
- поломка механизмов и оборудования;
- нанесение ущерба окружающей среде;
- нанесение ущерба персоналу;
- экономический ущерб, связанный с вынужденной безработицей в результате остановки производства;
- нанесение ущерба третьим лицам,
- снижение производства продукции и остановка производства.

Общие принципы организации и проведения на промышленном предприятии мероприятий по снижению риска и ограничению размеров ущерба при чрезвычайных ситуациях.

Законодательные и нормативные требования по управлению риском на промышленном объекте сводятся к следующим положениям.

1. Осуществление предупредительных мер, направленных на снижение рисков и повышение безопасности производства.
2. Проведение мероприятий по ограничению масштабов возможных последствий аварий и других неблагоприятных событий.

3. Создание необходимых резервов материальных и финансовых ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

4. Страхование ответственности за причинение вреда третьим лицам и окружающей среде.

Как легко заметить, основной упор в государственной политике по управлению риском делается на осуществление различных предупредительных организационно-технических мероприятий, а также мер, позволяющих ограничить меры ущерба при наступлении чрезвычайных ситуаций.

Меры по снижению риска должны включать:

- соблюдение требований безопасности при разработке проектной документации и строительстве объекта;
- использование безопасных материалов и технологий при эксплуатации производственного объекта;
- использование эффективных систем контроля за технологическими процессами на объекте;
- соблюдение правил эксплуатации;
- специальное обучение и переподготовка персонала производственного объекта и др.

К мероприятиям по ограничению размеров ущерба относятся:

- создание систем оповещения персонала и населения о чрезвычайных ситуациях;
- разработка различных технических средств, ограничивающих действия поражающих факторов (системы пожаротушения, аварийной вентиляции, заградительных устройств и т. д.);
- подготовка средств и мероприятий по защите людей;
- организация оперативного медицинского обеспечения [18].

7.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

7.3.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Таблица 21 – План денежных потоков

Показатели	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Результаты:						
1. Годовой выпуск, шт	0	6720	6720	6720	6720	6720
2. Цена 1 двигателя, тыс.руб	0	481,25	481,25	481,25	481,25	481,25
3. Стоимость производимой продукции, млн. руб.	0	3234	3234	3234	3234	3234
4. Коэффициент дисконтирования	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
5.Стоимостная оценка с учетом коэф.дисконтир. млн. руб.	0	2587,2	1940,4	1617	1293,6	970,2
Затраты:						
3.Затраты на под-ку производства млн. руб.	0	0	0	0	0	0
2.Себестоимость 1 ЭД, тыс. руб.	786,5	385	385	385	385	385

Продолжение таблицы 21.

3. Себестоимость партии ЭД, млн. руб.	0	2587,2	2587,2	2587,2	2587,2	2587,2
4. Затраты с учетом коэф. дис континирования млн. руб.	786,5	2069,8	1552,3	1293,6	1034,9	776,2
Экономический эффект 1. Превышение результат. над затратами (с учетом налога), млн. руб.	-786,5	336,31	352,3	210,21	168,2	126,1
2. То же нарастающим итогом, млн. руб.	-786,5	-450,19	-197,89	12,32	180,52	306,62

Для оценки социальной эффективности научного проекта магистранту необходимо выявить критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация научного проекта, и оценить степень их влияния.

Таблица 22 – Критерии социальной эффективности применения энергосберегающего асинхронного двигателя в сфере ЖКХ

ДО	ПОСЛЕ
Неуправляемый напор и подача воды	Экономия воды 10-15 %
Неоправданная трата электроэнергии	Экономия электроэнергии до 50 %
Неравномерное распределение теплоснабжения	Экономия тепла 8-10%
Износ объектов ЖКХ	Повышение надежности и долговечности работы оборудования

Продолжение таблицы 22.

Увеличения стоимости услуг поставщиков тепло, водо и энергоснабжения	Снижение тарифов для потребителей
Дополнительная нагрузка на оборудование ЖКХ за счет увеличения потребления	Высвобождение дополнительной мощности

7.3.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Критерии				
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	4	3

Продолжение таблицы 23.

Помехоустойчивость	0,15	5	5	4
Энергосбережение	0,25	5	4	3
Надежность	0,15	4	4	3
Материалоемкость	0,15	5	4	4
Итого:	1	4,65	4,5	3,25

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Таблица 24 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1.	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,89
2.	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,65
3.	Интегральный показатель эффективности	4,95	5,22
4.	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,055	

Выводы по главе 7.

В ходе выполнения главы финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, были определены потенциальные потребители результата проекта, проведен анализ конкурентных технических решений, спланирован процесс управления научно-техническим проектом, произведен расчет стоимости материалов и комплектующих, расчет сметной стоимости, годовых издержек, проведен сравнительный анализ по ценовым и энергетическим критериям с аналоговыми двигателями.

По результатам этих пунктов можно сделать вывод, что данный проект полностью окупаемый. Проект имеет наилучшие энергетические и ценовые качества, по сравнению с аналоговыми, риски проекта незначительны и есть пути дальнейшего развития.

