

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

Институт Энергетический институт (ЭНИН)
Направление подготовки 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривода и электрооборудования

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом нефтеперекачивающего насосного агрегата

УДК 62-83-523:621.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Чупрова Алёна Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Ланграф С.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ЭБЖ	Романцов И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Задание

Задание финанс

Зад социальная ответ

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная 160 страниц, 64 рисунка, 34 таблицы, 13 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, СКАЛЯРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ.

Объектом исследования является система векторного управления асинхронным электродвигателем нефтеперекачивающего насоса.

Цель работы – исследование системы бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом нефтеперекачивающего насосного агрегата

В процессе исследования проводилось изучение и анализ режимов работы насосного агрегата, выполнена разработка имитационной модели АД в неподвижной и вращающейся системах координат на основании которой была создана система векторного управления.

В результате исследования для асинхронного электропривода насосного агрегата была разработана система векторного управления, удовлетворяющая всем предъявляемым требованиям.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработанная система векторного управления электроприводом позволяет получить плавное регулирование скорости насосного агрегата с исключением колебательных процессов в переходных режимах. В условиях воздействия внешних возмущений, в виде момента нагрузки, разработанная система векторного управления позволяет получить нулевую статическую ошибку.

Степень внедрения: основываясь на результатах, полученных по итогам проделанной работы допустима реализация проектов по модернизации и разработке насосных систем.

Область применения: системы нефтеперекачивания, нефтедобычи, обслуживание нефтяных парков.

Экономическая значимость работы определяется эксплуатационными и инвестиционными затратами.

В будущем планируется реализовать возможность на основе данной работы выполнить реализацию системы оценки насосного агрегата для технологического процесса в добыче нефти.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
АКТУАЛЬНОСТЬ	12
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....	13
1.1. Краткая характеристика объекта и применяемого оборудования.....	13
1.2. Разработка функциональной схемы питания объекта	14
2. ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ НАГРУЗОК	16
2.1. Выбор погружных насосов[1]	16
2.2. Расчет мощности и выбор погружного электродвигателя	18
2.3. Расчет электрических нагрузок.....	19
2.4. Обоснование и выбор источника бесперебойного питания [3]	20
2.5. Выбор аккумуляторных батарей [4]	23
2.6. Выбор дизельной электростанции	25
2.7. Компенсация реактивной мощности	26
3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО УСТРОЙСТВА	29
3.1. Выбор перекачивающего насоса.....	29
3.2. Выбор электродвигателя для перекачивающего насоса.....	30
3.3. Обоснование и выбор метода регулирования насосным устройством.....	31
3.4. Функциональная схема электропривода	36
3.5. Определение дополнительных параметров электрического двигателя и параметров схемы замещения	38
3.6. Определение параметров АД	39
3.7. Выбор преобразователя частоты. Расчет параметров	43
3.8. Выбор способа управления скоростью двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД)	43
3.9. Расчет параметров - элементов структурной схемы силового канала электропривода	45
3.10. Расчет предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ – АД... ..	46
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ.....	49
4.1. Модель АД в неподвижной системе координат[8]	49
5. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	55
5.2. Рассмотрение принципа скалярного управления.....	59
5.3. Структурная схема силового канала ЭП.....	60
5.4. Оптимизация контуров регулирования[9]	63
5.4.1. Разработка системы векторного управления.....	63

6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗДАТЧИКОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	85
6.1. Косвенное определение переменных АД, недоступных для прямого измерения (угол поворота и потокосцепление) [11]	85
6.2. Косвенное определение переменных АД, недоступных для прямого измерения (скорость вращения ротора АД) [11]	92
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	98
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования является система векторного управления асинхронным электродвигателем нефтеперекачивающего насоса.

Технические средства, используемые для добычи полезных ископаемых, всегда совершенствовались и улучшались в ходе научно-технического прогресса. Так, нефтяные насосы и подобное им насосное оборудование активно применяется на насосных станциях сельского и городского назначения. Это неудивительно, ведь, если перечислить функции нефтяных насосов, то видно, что основной их функцией является объемное и напорное дозирование нейтральных и агрессивных жидкостей.

Для выполнения перекачивающей, а также добывающей функции, нефтяные насосы подключаются к специальным двигателям. Примечательно, что в случае поломки для ремонта нефтяного насоса не требуется демонтировать двигатель. Разъем для подключения располагается в горизонтальной плоскости насоса. Благодаря столь удачной компоновке разъемов нефтяные насосы легко не только ремонтировать, но и приспособлять под любые условия работы. По валу нефтяные насосы, как правило, имеют специальные торцовые уплотнения, они применяются специально для того, чтобы полностью исключить возможность протекания нагнетаемой и перекачиваемой жидкости.

Нефтяная промышленность занимает огромное место в экономике нашей страны. Добыча и транспортировка нефти обладает очень большой энергоемкостью, и она постоянно нуждается в модернизации энергосистем, потому что огромное количество оборудования и энергосистем в целом морально устарели.

Целью выпускной работы является исследование системы бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом нефтеперекачивающего насосного агрегата.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Развитие нефтяной отрасли неразрывно связано с постоянным совершенствованием систем электропривода, задействованным в процессе добычи, транспортировки и переработки углеводородов. Качественная и надёжная работа электроприводов определяет безопасность, стабильность и бесперебойную работу технологических процессов данного типа.

Системы векторного управления асинхронными электроприводами продолжают непрерывно развиваться и совершенствоваться. Большинство свойств и показателей качества асинхронных электроприводов с векторным управлением определяются возможностями применяемых систем управления.

Таким образом, задача разработки и исследований систем векторного управления асинхронными электроприводами насосного агрегата для перекачки нефти является актуальной и перспективной.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.

1.1. Краткая характеристика объекта и применяемого оборудования

В данной работе рассмотрим куст скважины, принадлежащий компании, которая занимается добычей и транспортировкой нефти. Куст располагается на участке земли размером 2.6 га обведенным обваловкой. На нем располагаются 4 скважины с дебитом каждой скважины равной 160 м³/сут. Кустовое питание приходит по одной ЛЭП напряжением 10 кВ. Напряжение 10кВ экономически целесообразно, так расположение куста значительно, удалено от главной распределительной подстанции, с применением напряжения менее 10кВ будут увеличиваться потери в ЛЭП. В качестве разъединителей на концевых опорах установлены РЛНДЗ-10/400 У1.

Погружная часть оборудования определяется параметрами скважины, к основному оборудованию относят погружные двигатели ПЭД и центробежные насосы ЭЦН. Газосепаратор используется, если в скважине имеется большое количество газа, если это значение не велико, тогда возможно использование модуля.

Не далеко от скважины, на поверхности земли устанавливается кабельная эстакада, по которой соединяются погружной кабель и кабельная линия. К наземному оборудованию относятся:

1. Трансформаторы питания погружными насосами;
2. Станцию управления установкой;
3. Трансформаторная подстанция
4. Соединительные кабели, между станцией управления и трансформаторами, а так же питающие кабели.

В трансформаторную подстанцию входят: понижающий трансформатор; установлены предохранители и разрядники типа ОПН-КР/400 У1 с высокой стороны; автоматы защиты ВА 51Г-31 на отходящие

линии из ТП; трансформаторы тока для подключения средств измерения электрической энергии и защиты.

Источник бесперебойного питания и дизельная электростанция располагаются на площадке рядом с трансформаторной подстанцией.

Площадка механизированной добычи установлена не далеко от ТП. На ней располагается наземное оборудование куста, т.е. 4 комплекта оборудования:

- 4 повышающих трансформатора ТМП 100/1170 для погружных электродвигателей.

- 4 станции управления.

- нефтеперекачивающий насос, располагается на площадке механизированной добычи, который обеспечивает транспортировку всех нефтепродуктов из поступающих со скважин, на расстояние 10 км, до главной насосной станции. Питание происходит кабелями марки КБПП положенных в несколько ниток, из-за повышенного тока вследствие напряжения 0.4 кВ.

1.2. Разработка функциональной схемы питания объекта

Нефтедобыча является электроприемником первой категории, т.к. в этой сфере промышленности малейшие простои могут привести к большим убыткам.

Нефтяной куст находится на достаточном большом расстоянии от ГПП, поэтому питание приходит от одной ЛЭП 10кВ. Поэтому систему питания нужно спроектировать так, чтобы при аварии на линии электропередач оборудование продолжало работать без перебоя.

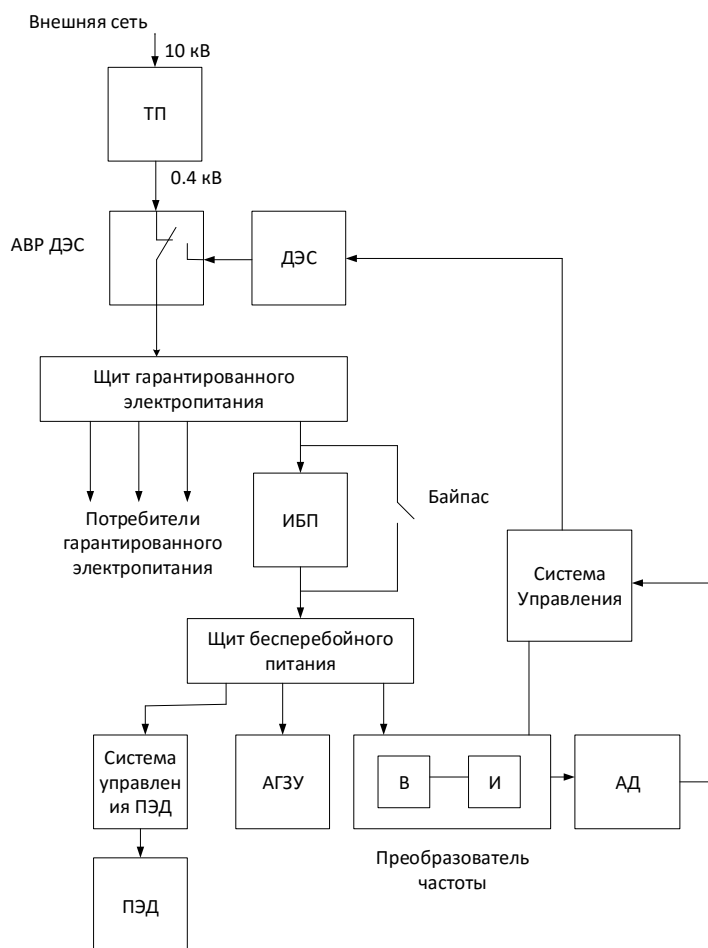


Рисунок 1.1 – Функциональная схема бесперебойного питания объекта

Функциональная схема питания представлена на (рисунок 1), построена следующим образом, на вход системы приходит линия электропередач с напряжением 10 кВ, далее на трансформаторной подстанции понижается до напряжения 0.4 кВ. И этим напряжением питаются все основные электроприемники, т.е. электропривод перекачивающего насоса (АД), погружные электродвигатели (ПЭД) и их система управления, автоматизированная групповая замерная установка (АГЗУ).

В случае аварии на линии, щит гарантированного электропитания отключается, на время включения ДЭС (дизельной электростанции). Щит бесперебойного питания, от которого питаются все насосное оборудование и его система управления, питается за счет ИБП (источника бесперебойного питания). ИБП должен питать нагрузку 15 минут. В это время система управления запускает ДЭС и через АВР (автоматический ввод резерва) питает всю сеть до устранения аварии на ЛЭП.

2. ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ НАГРУЗОК

2.1. Выбор погружных насосов[1]

Исходя из параметров скважин, выберем погружные насосы.

$$\begin{cases} Q_{ск} = Q_n; \\ H_{ск} \leq H_n. \end{cases} \quad (2.1)$$

где $Q_{ск}$ - дебит скважины, $м^3/сут$;

H_n -номинальный напор насоса, м.

Q_n -номинальная подача насоса, $м^3/сут$;

$H_{н\kappa}$ - необходимый напор для подъема жидкости из скважины, м;

Определяем депрессию ΔH_d , м:

$$\Delta H_d = \frac{10 \cdot Q_{ск}}{K}, \quad (2.2)$$

где K - коэффициент, который учитывает продуктивность скважин.

$$\Delta H_d = \frac{10 \cdot 160}{9} = 177,7 м$$

Динамический уровень жидкости в скважине H_d , м:

$$H_d = H_{ст} + \Delta H_d, \quad (2.3)$$

где $H_{ст}$ - статический уровень жидкости в скважине, м.

$$H_d = 600 + 177,7 = 777,7 м$$

Глубина погружения насоса L , м:

$$L = H_d + (250 \div 300) \quad (2.4)$$

$$L = 777,7 + 26,3 = 800 м$$

Потери напора жидкости из-за трения стенки труб., м:

$$h_{тр} = 1,08 \cdot 10^{-11} \frac{\lambda \cdot (L + l) \cdot Q_{ск}^2}{d^5}, \quad (2.5)$$

где l - расстояние от устья скважины до сепаратора, м;

λ - коэффициент трения жидкости;

d - диаметр насосных труб, м.

L - глубина погружения насосного оборудования, м;

$$h_{mp} = 1,08 \cdot 10^{-11} \frac{0,035 \cdot (600 + 15) \cdot 160^2}{0,055^5} = 19,96 \text{ м}$$

Напор, необходимый для поднятия жидкости из скважины $H_{ск}$, м:

$$H_{ск} = H_{ст} + \Delta H_o + h_{mp} + h_m + h_z, \quad (2.6)$$

где H_t - потеря напора в трубе, м.

H_r - разность геодезических уровней сепаратора и скважины, м;

$$H_{ск} = 600 + 177,7 + 19,96 + 2,5 + 10 = 809,96 \text{ м}$$

Для выбора насоса необходимо соблюдение изначального условия.

$$\begin{cases} Q_{ск} = Q_n; \\ H_{ск} \leq H_n, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 160 \text{ м}^3/\text{сут} = 160 \text{ м}^3/\text{сут}; \\ 809,96 \text{ м} < 1225 \text{ м}. \end{cases}$$

По полученным данным выберем насос ЭЦН-160-100, его технические данные приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 - Технические данные насоса ЭЦН-160-100

Тип насоса	Подача жидкости, м ³ /сут	Напор, м	Диаметр обсадной колонны, мм	$T_{ж}^o$	К.П.Д, %	Количество ступеней
ЭЦН5-160-1100	160	49,8	117	45	58,7	224

Путем уменьшения числа ступеней насоса можно приблизить характеристику насоса и условную характеристику скважины.

Для получения необходимого напора необходимо снять некоторое количество ступеней Z_1 , шт:

$$\Delta Z = Z_n \left(1 - \frac{H_{ск}}{H_n} \right) \quad (2.7)$$

где H_n - номинальный напор насоса, м.

Z_n – полное число ступеней по паспорту, шт;

$$\Delta Z = 224 \left(1 - \frac{809,96}{1225} \right) = 76,16 \text{ шт} \approx 76 \text{ шт}.$$

Число оставшихся ступеней насоса после снятия Z_1 , шт:

$$Z_1 = Z_n - \Delta Z, \quad (2.8)$$

$$Z_1 = Z_n - \Delta Z = 224 - 76 = 148 \text{ шт.}$$

Насос должен иметь 158 ступеней, вместо снятых, ставятся 37 проставок.

2.2. Расчет мощности и выбор погружного электродвигателя

Для погружных насосов применяются специальные погружные электродвигатели. Их диаметры меньше, чем нормальные диаметры обсадных колонн.

Двигатели защищены от попадания внутрь жидкости, это достигается за счет закачки трансформаторного масла, находящегося под давлением 0,2 МПа относительно внешнего давления в скважине.

Активная мощность двигателя насосного агрегата:

$$P = \frac{k_3 \cdot Q \cdot \rho \cdot H_c}{86400 \cdot 102 \cdot \eta_n}, \quad (2.9)$$

где η_n - КПД насоса.

ρ - плотность жидкости в нефтяной скважине, кг/м^3 ; k_3 - коэффициент запаса $k_3 = 1,1 - 1,35$;

$$P = \frac{1,35 \cdot 160 \cdot 940 \cdot 809}{86400 \cdot 102 \cdot 0,587} = 25,8 \text{ кВт} \quad (2.10)$$

Выбираем двигатель ПЭД32- 117ЛВ5, его технические данные приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Технические данные двигателя ПЭД32- 117ЛВ5.

Параметры	ПЭД32- 117ЛВ5
Мощность, Р кВт	32
Напряжение, U В	1000
Рабочий ток, I А	25,5
$\cos\varphi$	0,86
КПД, %	84

2.3. Расчет электрических нагрузок

Электрическая нагрузка характеризует потребление электрической энергии отдельными приемниками и объектом в целом.

Значения электрических нагрузок помогают сделать выбор всех элементов проектируемой системы электроснабжения и ее технико-экономические показатели. От верной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты в системе электроснабжения, потери электрической энергии, а также эксплуатационные расходы.

Основные потребители электрической энергии - это погружные насосы ЭЦН, АГЗУ (автоматизированная групповая замерная установка), перекачивающий насос серии ТКА, к прочим потребителям относится мощность, потребляемая на нужды обслуживающего персонала, а также связь. Электрические нагрузки объекта сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Электрические нагрузки объекта.

№	Основные потребители	Кол-во, шт	Мощность потр, кВт	P_{Σ} , кВт	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	K_c
1	ЭЦН	4	32	128	0,86	0,59	0,65
2	АГЗУ	1	10	10	0,8	0,75	0,7
3	ТКА	1	22	22	0,9	0,48	0,7

4	Прочие потребители		15	15	0,6	1,3	0,9
---	-----------------------	--	----	----	-----	-----	-----

Определим расчетную активную мощность от ТП [2].

$$P_p = \Sigma P_n \cdot n \cdot K_c, \quad (2.11)$$

Где P_n - номинальная мощность;

K_c - коэффициент спроса;

$$P_p = 32 \cdot 4 \cdot 0,65 + 10 \cdot 1 \cdot 0,7 + 22 \cdot 1 \cdot 0,7 + 15 \cdot 0,9 = 119,1 \text{ кВт}$$

Реактивная нагрузка за смену :

$$Q_p = \Sigma P_p \cdot \tan \varphi, \quad (2.12)$$

$$Q_p = 83,2 \cdot 0,59 + 7 \cdot 0,75 + 15,4 \cdot 0,48 + 13,5 \cdot 1,3 = 78,69 \text{ кВАр}$$

Полная расчетная мощность :

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.13)$$

$$S_p = \sqrt{119,1^2 + 78,69^2} = 142,7 \text{ кВАр}$$

Максимальная полная мощность:

$$S_m = k_m \cdot S_p \quad (2.14)$$

$$S_m = 1,1 \cdot 142,7 = 157 \text{ кВА}$$

2.4. Обоснование и выбор источника бесперебойного питания [3]

Для бесперебойного питания оборудования потребуется источник бесперебойного питания, который будет питать нагрузку без малейшего перерыва электропитания, рассмотрим некоторые типы ИБП и их достоинства и недостатки.

На сегодняшний момент большим спросом пользуются источники бесперебойного питания (ИБП) трех разных типов. К достаточно дешевым источникам относятся резервные источники бесперебойного питания (*off* –

line), которые при любых неисправностях в электрической сети переходят на питание от батарей. Источники *off – line* типа редко встречаются в коммуникационных системах, так как обладают достаточно большим временем переключения.



Рисунок 2.1 – схема ИБП *off – line* типа.

Такой же недостаток характерен и для источников бесперебойного питания, созданных по линейно-интерактивной схеме (*line – interactive*). В таких ИБП инвертор всегда соединен с выходом и работает параллельно со стабилизатором входного напряжения, который построен на основе автотрансформатора. Благодаря такому свойству переключение на питание от батареи не происходит, даже если есть значительные колебания входного напряжения. При исчезновении входного напряжения инвертор обеспечивает «подстройку» выходного напряжения и подзарядку аккумуляторов, включаясь на полную мощность.

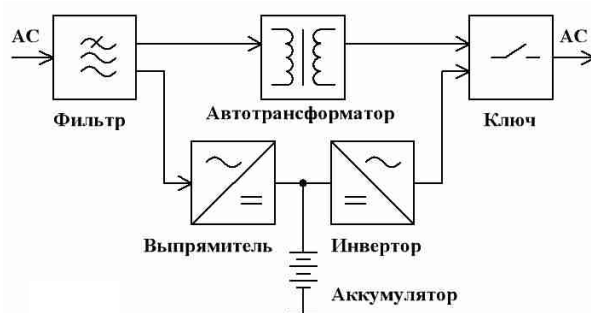


Рисунок 2.2- схема линейно-интерактивного ИБП.

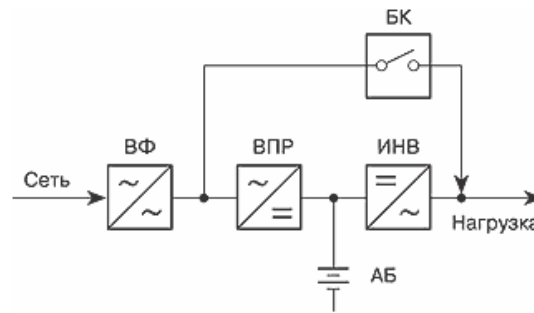


Рисунок 2.3 – схема ИБП с двойным преобразованием

Для коммуникационных комплексов наиболее подходящие ИБП с поддержкой двойного преобразования. Подобный тип источников бесперебойного питания называется *on – line*. На рис.2.3 показана его блок-схема с двойным преобразованием. Входное переменное напряжение с помощью выпрямителя преобразуется в постоянное, величина которого намного ниже 220 В, именно это необходимо для зарядки аккумуляторных батарей. После этого, постоянное напряжение подается на инвертор, который преобразует его в переменное и снова доводит до 220 В. Благодаря непрерывному подключению батарей ко входу инвертора, при пропадании входного напряжения, провалов на выходе не будет. Блок-схема ИБП с двойным преобразованием позволяет компенсировать все основные сбои в системах электропитания с помощью формирования эталонного напряжения. Довольно часто в схеме ИБП с двойным преобразованием предусматривается решение об обходе для питания нагрузки при выходе из строя источника или в период демонтажных работ.

Рассмотрев три типа построения схем ИБП, выбираем схему *on – line* типа, т.к. аккумуляторные батареи всегда подключены к нагрузке и время его переключения равно нулю.

Определим полную мощность сети, требующую бесперебойного питания:

$$P_p = \Sigma P_n \cdot n \cdot K_c, \quad (2.15)$$

где P_n - номинальная мощность потребителя, кВт.;

K_c - коэффициент спроса;

$$P_p = 32 \cdot 4 \cdot 0,65 + 10 \cdot 1 \cdot 0,7 + 22 \cdot 1 \cdot 0,7 = 105,6 \text{ кВт}$$

Реактивная нагрузка за смену:

$$Q_p = \Sigma P_p \cdot \tan \varphi, \quad (2.16)$$

$$Q_p = 83,2 \cdot 0,59 + 7 \cdot 0,75 + 15,4 \cdot 0,48 = 61,73 \text{ кВАр}$$

Полная расчетная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.17)$$

$$S_p = \sqrt{105,6^2 + 61,73^2} = 122,3 \text{ кВАр}$$

Максимальная полная мощность:

$$S_m = k_m \cdot S_p \quad (2.18)$$

$$S_m = 1,1 \cdot 122,3 = 134,5 \text{ кВА}$$

Выбираем ИБП онлайн типа N-Power Evo мощностью 160 кВА

Технические характеристики представлены в приложении Б.

2.5. Выбор аккумуляторных батарей [4]

Для того чтобы ИБП поддерживал работу оборудования в течение 15 минут, произведем расчет и выбор аккумуляторных батарей.

Номинальное напряжение сети $U_{сн\text{ом}} = 380 \text{ В}$, диапазон входного напряжения $\Delta U_{сн\text{ом}} = \pm 20\%$.

1) Максимальное и минимальное напряжения сети (на входе выпрямителя) с учетом $\Delta U_{сн\text{ом}} = \pm 20\%$:

$$U_{с\text{ма}x} = 1,2 \cdot U_{сн\text{ом}} = 1,2 \cdot 380 = 456 \text{ В}; \quad (2.19)$$

$$U_{с\text{ми}n} = 0,8 \cdot U_{сн\text{ом}} = 0,8 \cdot 380 = 304 \text{ В}.$$

2) Максимальное и минимальное напряжение на выходе выпрямителя:

$$\begin{aligned} U_{\text{вых.вып. max}} &= 2,34 \cdot U_{c \text{ max}} = 2,34 \cdot 456 = 1067 \text{ В}; \\ U_{\text{вых.вып. min}} &= 2,34 \cdot U_{c \text{ min}} = 2,34 \cdot 304 = 711,3 \text{ В}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

3) Выходное напряжение ИБП $U_{\text{вых.ном}} = 380 \text{ В}$, отклонение выходного напряжения $\Delta U_{\text{вых.ном}} = \pm 5\%$.

Максимальное и минимальное напряжения на выходе ИБП с учетом

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{вых.ном}} &= \pm 5\% \\ U_{\text{вых. max}} &= 1,05 \cdot U_{\text{вых.ном}} = 1,05 \cdot 380 = 399 \text{ В}; \\ U_{\text{вых. min}} &= 0,95 \cdot U_{\text{вых.ном}} = 0,95 \cdot 380 = 361 \text{ В}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

4) Максимальный ток нагрузки

$$I_{n \text{ max}} = \frac{P_n}{U_{\text{вых. min}}} = \frac{105600}{361} = 292,5 \text{ А}. \quad (2.22)$$

5) Амплитудное напряжение на нагрузке

$$U_{ам} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}. \quad (2.23)$$

-максимальный коэффициент модуляции инвертора $M_{\text{max}} = 0,95$,

-падение напряжения на ключе $\Delta U_{VT} = 2,2 \text{ В}$,

-падение напряжения на выходном дросселе $\Delta U_L = 2,2 \text{ В}$.

Максимальное напряжение на входе инвертора:

$$U_{\text{вх.инв}} = U_{\text{бразр}} = \frac{U_{ам} + \Delta U_{VT} + \Delta U_L}{M_{\text{max}}} = \frac{537,4 + 2,2 + 2,2}{0,95} = 570,3 \text{ В}. \quad (2.24)$$

6) Напряжение на батарее примем $U_{AB} = 11 \text{ В}$.

Определяем число батарей:

$$N = \frac{U_{\text{бразр}}}{U_{сАБ}} = \frac{570,3}{11} \approx 52 \quad (2.25)$$

7) Мощность батареи разряда:

$$P_{Бразр} = \frac{P_H}{\eta_{инв}} = \frac{105600}{0,95} = 111,158 \text{ кВт} \quad (2.26)$$

8) Максимальный ток разряда батареи:

$$I_{Б \max \text{ разр}} = \frac{P_{Бразр}}{U_{Бразр} \cdot \eta_{ин}} = \frac{111158}{570,3 \cdot 0,95} = 205,1 \text{ А} \quad (2.27)$$

9) Емкость батареи:

$$Q_B = I_{Б \max \text{ разр}} \cdot t = 205,1 \cdot 0,25 = 51,2 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (2.28)$$

Выбираем свинцово-кислотную аккумуляторную батарею фирмы FIAMM типа 12FLB200 с параметрами [приложение В]:

$$\begin{aligned} U_H &= 12 \text{ В}, Q_B = 55 \text{ А} \cdot \text{ч}, P_{\text{разр.пост}} = 185 \text{ Вт}, \\ I_{\text{разр.пост.}} &= 98 \text{ А}, I_{\text{зар.}} = 0,25 \cdot Q_B = 0,25 \cdot 55 = 13,75 \text{ А}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Напряжение разряда батареи $U_{сАБ} = 10,5 \text{ В}$.

Уточняем число батарей:

$$N = \frac{U_{Бразр}}{U_{сАБ}} = \frac{570,3}{10,5} \approx 54,3 = 55 \quad (2.30)$$

2.6. Выбор дизельной электростанции

При использовании ДЭС в режиме резерва следует учитывать, что мощность нагрузки должна лежать в пределах 70 -90% от мощности станции, поэтому ДЭС должна иметь мощность:

$$S_{ДЭС} = S_P \cdot 1,25 = 122,3 \cdot 1,25 = 152,8 \text{ кВА} \quad (2.31)$$

Исходя из этой мощности, выбираем ДЭС фирмы Generent

ED160/400IV на номинальную мощность 160 кВА. [13]

Технические характеристики ДЭС представлены в приложении Г.



Рисунок 2.4 – ДЭС фирмы Generent ED160/400IV.

2.7. Компенсация реактивной мощности

Коэффициент мощности в электроустановках - это косинус угла сдвига фаз. В сети, имеющую чисто активный характер нагрузки, ток и напряжение совпадают по фазе, но если в сети присутствует электроприемник с активно - индуктивным характером нагрузки (трансформаторы, электропечи) тогда ток будет отставать от напряжения по фазе[2].

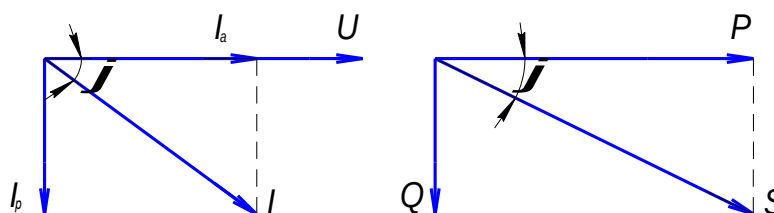


Рисунок 2.5. - Векторные диаграммы токов и напряжений

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S_{\text{ном}}}, \quad (2.32)$$

где P - активная мощность потребителя, кВт.;

$S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность источника, кВА.

Если увеличивается активная составляющая тока, это так же соответствует увеличению активной составляющей мощности, а реактивная мощность или реактивная составляющая тока остается неизменной, то угол сдвига фаз будет уменьшаться, значит, коэффициент мощности будет возрастать. Повышение коэффициента мощности на промышленных

предприятиях является частью общей проблемы повышения КПД работы энергосистем и улучшения качества электроэнергии в целом.

Существуют общепринятые мероприятия по увеличению коэффициента мощности [2].

Мероприятия, не требующие применения компенсирующих устройств:

- оптимизация технологического процесса;
- при нагрузке 40% переключение статорных обмоток с треугольника на звезду.
- устранять режим холостого хода двигателей;
- заменять или отключать трансформаторы, загружаемые менее чем на 30% от их мощности;
- для уменьшения общих потерь в энергосистеме, заменять мало загруженные двигатели двигателями меньшей мощности;
- замена асинхронного двигателя на синхронный;
- дальнейшее введение синхронных двигателей.

В выпускной работе применяются статические батареи конденсаторов.

Достоинства:

- маленькие потери активной энергии в конденсаторных установках;
- легкость в монтаже и эксплуатации, а также низкая цена;
- возможность добавления мощности установки путем добавления дополнительных конденсаторов;
- возможность быстрого монтажа неисправного конденсатора.

Недостатками являются:

- неустойчивость к динамическим усилиям;
- большие пусковые токи;
- чувствительность к повышению напряжения.
- не работоспособность после пробоя диэлектриков.

Найдем общий коэффициент мощности до внедрения мероприятия по компенсации реактивной мощности [2].

$$\cos \varphi_p = \frac{P_p}{S_{\max}}, \quad (2.33)$$

$$\cos \varphi_p = \frac{119,1}{157} = 0,75$$

Для снижения бесполезной реактивной мощности, а также увеличения энергоэффективности установки, применим батареи конденсаторов.

Определим мощность батарей:

$$Q_{\kappa} = P_p (tg \phi_p - tg \phi_s) \quad (2.34)$$

$$tg \varphi_p = \frac{\sqrt{1 - \cos \varphi_p^2}}{\cos \varphi_p}, \quad (2.35)$$

$$tg \varphi_p = \frac{\sqrt{1 - 0,75^2}}{0,75} = 0,88$$

$$tg \varphi_s = \frac{\sqrt{1 - \cos \varphi_s^2}}{\cos \varphi_s}, \quad (2.36)$$

$$tg \varphi_s = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,32$$

$$Q_{\kappa} = 119,1 \cdot (0,88 - 0,32) = 66,7 \text{ кВАр}$$

Выбираем батарею конденсаторов КС-0,38-50 мощностью равной 50 кВАр.

Вычислим полную мощность после компенсации по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_1 - Q_{\kappa})^2}, \quad (2.37)$$

$$S_p = \sqrt{119,1^2 + (78,69 - 50)^2} = 124,7 \text{ кВА}$$

Коэффициент мощности после компенсации реактивной мощности:

$$\cos \phi = \frac{P_p}{S'_1} = \frac{119,1}{124,7} = 0,955, \quad (2.38)$$

После расчетов получили коэффициент мощности $\cos \phi = 0,955$, это значение удовлетворительно для работы установки. Следовательно, компенсация реактивной мощности произведена верно.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО УСТРОЙСТВА

Главным объектом исследования является электропривод нефтеперекачивающего устройства, который должен обеспечивать перекачивание нефтепродуктов с плотностью $\rho = 940 \text{ кг/м}^3$; скоростью вращения вала насоса $\omega = 3000 \text{ об/мин}$; подача насоса должна быть $640 \text{ м}^3/\text{сут}$.

3.1. Выбор перекачивающего насоса

Количество скважин 4 с подачей $160 \text{ м}^3/\text{сут}$

$$Q_{\text{СУМ}} = 160 \cdot 4 = 640 \text{ м}^3 / \text{сут} \quad (3.1)$$

Найдем потерю напора по длине трубопровода [10];

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}; \quad (3.2)$$

h -потеря напора здесь она измеряется в метрах.
 λ - коэффициент гидравлического трения, находится дополнительными формулами о которых описано ниже.
 L -длина трубопровода измеряется в метрах.
 D -внутренний диаметр трубы, то есть диаметр потока жидкости в метрах.
 V -скорость потока жидкости. Измеряется [Метр/секунда].
 g -ускорение свободного падения равен $9,81 \text{ м/с}^2$

Скорость потока по трубе:

$$V = Q/\omega \quad (3.3)$$

Где ω - площадь сечения потока находится по формуле:

$$\omega = \pi R^2 = \pi(D^2/4) = 3.14 \cdot (0,55^2/4) = 0,24 \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

$$V = Q/\omega = 0,007/0,24 = 0,03 \text{ м/с} \quad (3.5)$$

Далее находим число Рейнольдса по формуле:

$$Re=(V*D)/\nu=(0,03*0,55)/0,000055=300 \quad (3.6)$$

$\nu=5,5*10^{-6}=0,000055$. Взято из таблицы. Для нефти по томской области при температуре 16°C.

$\Delta_3=0,25\text{мм}=0,00025\text{м}$. Взято из таблицы, для новой чугунной трубы.

Далее сверяемся по таблице, где находим формулу по нахождению коэффициента гидравлического трения.

$$\lambda=64/ Re=0,21 \quad (3.7)$$

Находим потери в трубопроводе.

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,21 \cdot \frac{10000}{0,55} \cdot \frac{0,03^2}{2 \cdot 9,81} = 0,17\text{м} \quad (3.8)$$

Выбираем насос ТКА 32/80, основные технические данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технические данные насоса ТКА 32/80.

Типоисполнение агрегата	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Электродвигатель		Частота вращения, мин ⁻¹	КПД, %
			Напряжение, В	Мощность, кВт		
ТКА 32/80	32	80	380	22	2950	56

3.2. Выбор электродвигателя для перекачивающего насоса

Расчет мощности электропривода насоса:

$$P = K_3 \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta} = 1,35 \cdot \frac{940 \cdot 9,8 \cdot 640 \cdot 60}{86400 \cdot 102 \cdot 0,56} = 18,43\text{кВт} \quad (3.9)$$

Q- подача насоса, м³/ч; H- напор насоса, м; η - КПД насоса; ρ - плотность жидкости в скважине, кг/м³; плотность перекачиваемой жидкости; $K_3=1,1-1,35$.

Для того чтобы выбрать двигатель, необходимо выполнить условие:

$$P_H \geq P_{расч} = 22 \text{ кВт}$$

Выбираем электродвигатель серии ВА 180 S2.

Электродвигатели, взрывозащищенные асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором серии ВА, он предназначен для привода механизмов в химической, газовой, нефтедобывающей и других отраслях промышленности, где могут образовываться взрывоопасные смеси газов и паров.

Технические данные двигателя приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 Технические данные двигателя ВА 180 S2.

Электродвигатель	Мощность	Об/мин	Ток статора	КПД %	Козф. мощн .	Ip/In	Mп/Mн	Mmax/Mн	Момент инерции кг*м ²
ВА 180 S2	22 кВт	2940	41 А	90	0,9	7,5	2	2,3	0,062

3.3. Обоснование и выбор метода регулирования насосным устройством

Существует несколько методов регулирования насосным оборудованием. Основная задача состоит в выборе современной и экономичной системы регулирования насосом. Рассмотрим достоинства и недостатки некоторых из них:

а) Регулирование устройством при постоянной скорости вращения рабочего колеса насоса включает:

- регулирование задвижкой на стороне всасывания;
- впуск во всасывающую трубу воздуха;
- регулирование поворотом направляющих лопаток;
- дросселирование напорной задвижкой;

б) Регулирование устройством при переменной скорости вращения рабочего колеса:

- с использованием электромагнитных муфт скольжения (без изменения скорости вращения двигателя);

- с использованием асинхронного электропривода с питанием от источника переменной частоты;

- с использованием каскадных схем асинхронного электропривода;

Дроссельное регулирование. Дросселирование осуществляется задвижкой, расположенной на напорной линии насоса. Задвижка необходима для отсоединения насоса от сети в период остановки или ремонта. Поэтому дроссельное регулирование не требует внесения в систему установки насоса никаких новых элементов, что является основным достоинством этого способа.

Недостаток заключается в том, что КПД насосной установки ввиду дополнительных потерь напора в прикрытой задвижке понижается. Регулировать подачу насоса задвижкой на всасывающем трубопроводе не рекомендуется, так как к указанному выше недостатку такого регулирования в этом случае добавляется еще большее снижение КПД вследствие ухудшения всасывающей способности.

Изменение частоты вращения. Изменением частоты вращения насоса, так как при этом КПД выше и резко снижается потребляемая мощность. Чаще всего центробежные насосы устанавливаются на одном валу с электродвигателем. Поэтому изменение частоты вращения насоса связано с изменением частоты вращения электродвигателя. Существует несколько видов регулирования скорости вращения электропривода:

А) реостатное регулирование[5];

Введение резисторов в цепь ротора дает возможность регулировать угловую скорость двигателя. Плавность регулирования зависит от количества ступеней включаемых резисторов. Регулирование осуществляется вниз от основной угловой скорости. Реостатные характеристики асинхронного двигателя, как и в приводе постоянного тока, отличаются

малой жесткостью, уменьшающейся с ростом сопротивления резисторов в роторной цепи.

Недостатки реостатного регулирования скорости:

1) необходимость дискретного изменения сопротивления в роторной цепи с помощью силовых аппаратов, управляемых дистанционно или вручную, что дает ступенчатое регулирование скорости и исключает возможность использования замкнутых систем автоматического управления;

2) невысокое быстродействие;

3) большие потери электрической энергии.

Б) Регулирование изменением напряжения.

При регулировании напряжения на статоре асинхронного двигателя применяют тиристорный регулятор (ТРН). Этот тип управления в основном применяется для управления асинхронных двигателей с фазным ротором. Регулирование частоты вращения двигателя происходит за счет уменьшения модуля жесткости механических характеристик. Плавность регулирования определяется плавностью изменения напряжения.

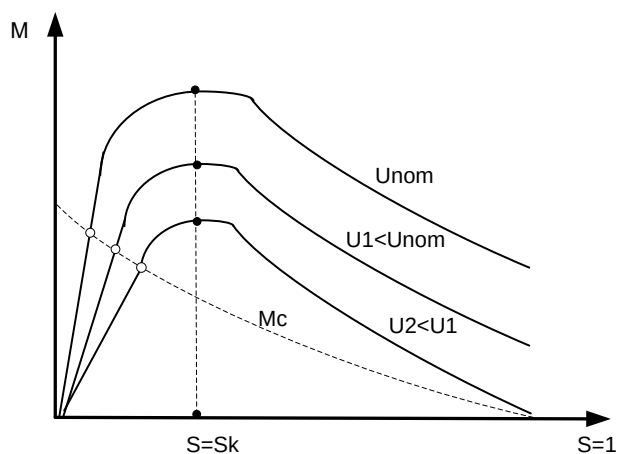


Рисунок 3.1 — Механические характеристики при регулировании напряжения.

Из характеристик видно, что рамки регулирования ограничены критическим скольжением. Этот способ обладает примерно такими же потерями, как в реостатном регулировании, потери мощности на скольжение выносятся из двигателя и выделяются в дополнительном резисторе.

В) Регулирование переключением числа полюсов. Регулирование происходит за счет изменения числа пар полюсов в обмотке статора. За счет этого регулирование скорости оказывается ступенчатым. Также, обладает низким диапазоном регулирования, в основном не превышает 6:1.

Г) Регулирование с помощью силовых полупроводниковых преобразователей, которые в системах электропривода выполняют функцию регулирования скорости и момента электрического двигателя. Преобразователи включены между двигателем и основным источником питания.[5]

Наиболее широко применимы в частотно регулируемых двигателях переменного тока это ПЧ со звеном постоянного тока. ПЧ позволяет регулировать частоту, как вниз, так и вверх от частоты питающей сети. Преобразователь частоты обладает высоким КПД (около 0,96), высоким быстродействием и надежностью, и малыми габаритами. Принципиальная схема приведена на рисунке 3.2.

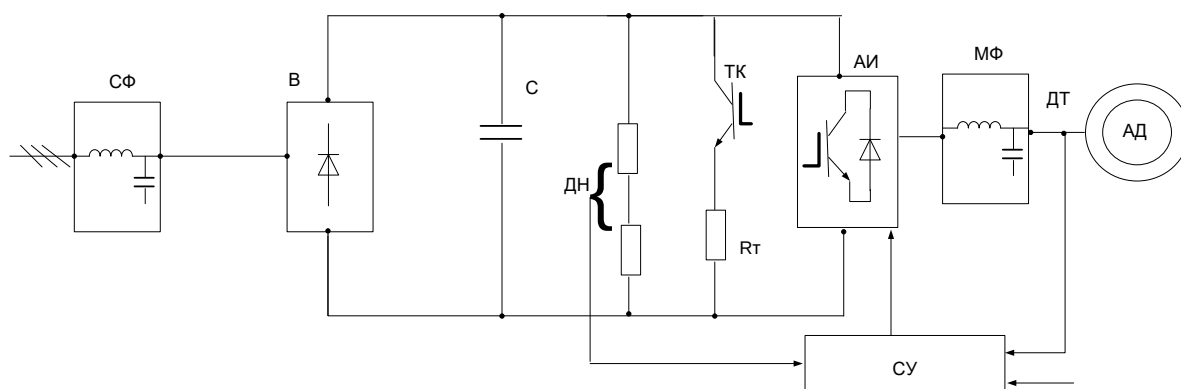


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема преобразователя частоты со звеном постоянного тока.

СФ. – сетевой фильтр для отсекающих высших гармоник; В. – выпрямитель; ДН. и ДТ. – датчики напряжения и тока; ТК – тормозной ключ; АИ – автономный инвертор, обычно ШИМ; СУ – система управления; МФ – выходной фильтр, уменьшение высших гармоник на двигатель.

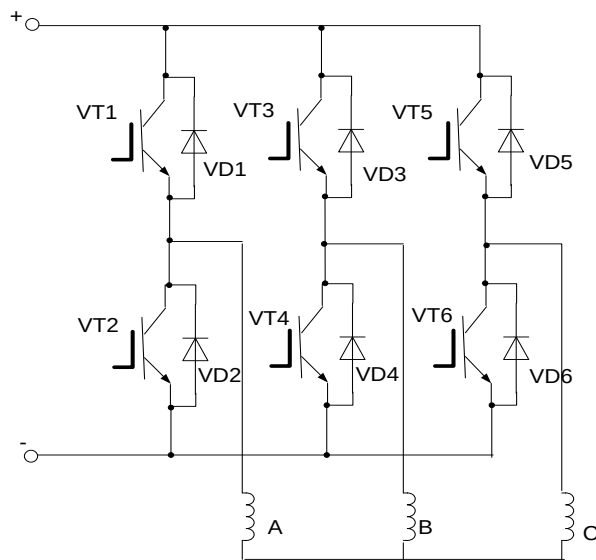


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема силового АИ

В качестве силовых ключей используются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), их отличают от тиристоров полная управляемость, неэнергоёмкая система управления, самая высокая рабочая частота.

Для работы двигателя необходимо с изменением частоты изменять и напряжение. Для этого его изменяют в звене постоянного тока либо используют ШИМ.

Условия для выбора преобразователя частоты:

$$I_{\text{вых.пч}} \geq I_{1H}; \quad (3.10)$$

$$U_{\text{вых.пч}} \geq U_{1H}; \quad (3.11)$$

3.4. Функциональная схема электропривода

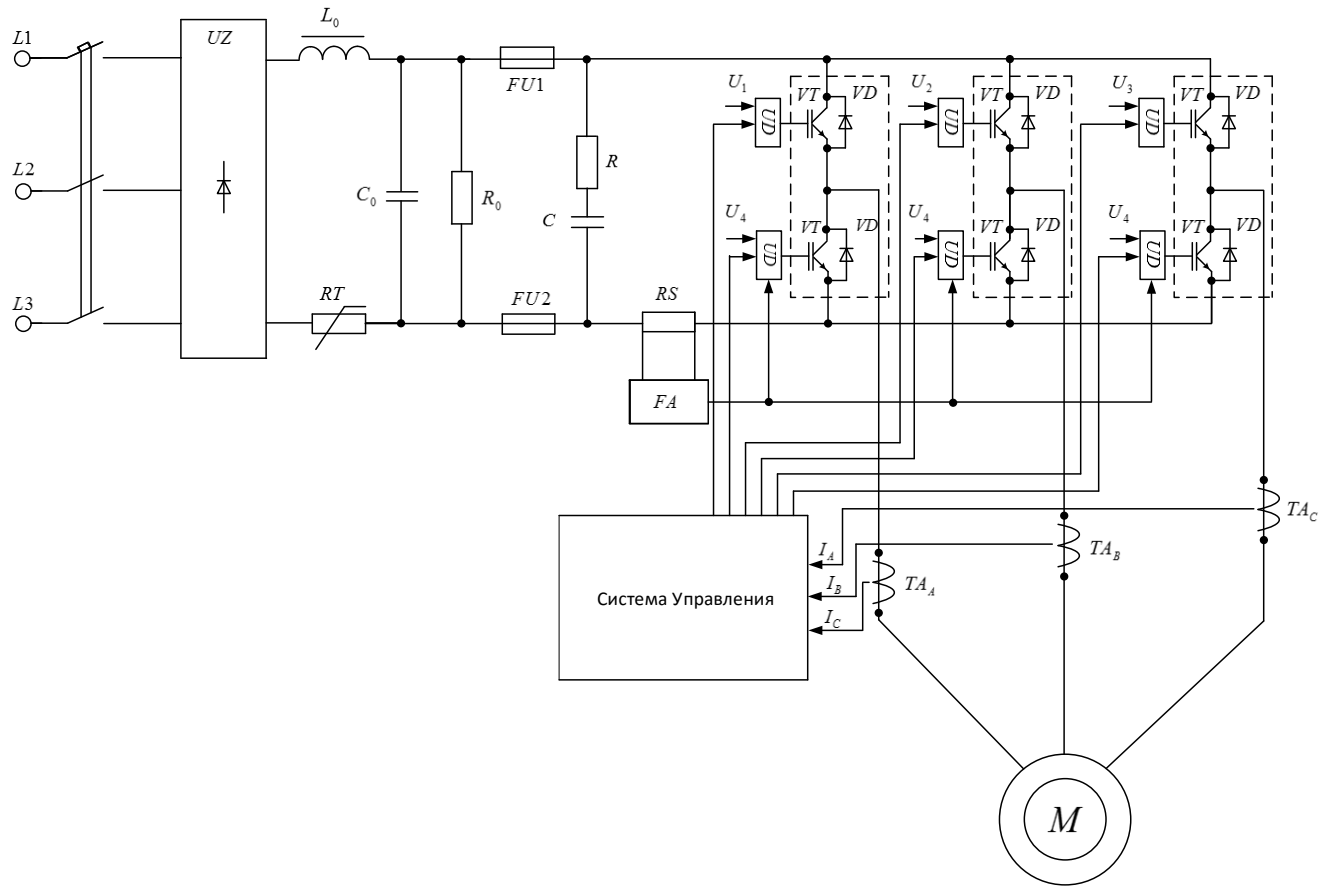


Рисунок 3.4 – Функциональная схема регулируемого электропривода по системе ПЧ-АД.

В преобразователе частоты применяется наиболее распространенная для управления короткозамкнутым АД схема ПЧ с АИН и ШИМ напряжения на выходе, неуправляемым выпрямителем на входе силовой части схемы, и микропроцессорным управлением.

Основные элементы, входящие в функциональную схему:

UZ – неуправляемый выпрямитель;

L_0, C_0 - фильтр;

RT – термистор, ограничивающий ток заряда конденсатора, C_0 ;

R_0 - разрядное сопротивление для конденсатора, C_0 ;

FU1, FU2 – предохранители;

R, C – снаббер: цепь защиты от перенапряжений на транзисторах IGBT;

RS – датчик тока для организации защиты (FA) от сквозных и недопустимых токов перегрузки через IGBT ;

$VT - VD$ – трехфазный инвертор на IGBT с обратным диодным мостом.

Основные блоки в системе управления:

Согласующие усилители UD – драйверы IGBT.

Работа электропривода описана ниже.

Система управления на базе микропроцессора TMS 320 2812, который позволяет при подаче напряжения 380 В на силовой вход преобразователя частоты в звене постоянного тока происходит процесс заряда конденсатора фильтра C_o , который определяется значениями RT, L_o, C_o . Одновременно с этим в информационную часть схемы подается питание (напряжения $U_1 - U_8$). В процессе выдержки времени на установление напряжений стабилизированных источников питания $U_1 - U_4$ аппаратная защита FA блокирует открывание ключей инвертора и происходит запуск программы управления процессором по аппаратно формируемой команде «Рестарт».

Для управления двигателем процессор формирует систему трехфазных синусоидальных напряжений, изменяемых по частоте и амплитуде, и передает их в модулятор, в котором синусоидальные сигналы управления фазами – «стойками» инвертора, состоящими из последовательно включенных ключей IGBT, преобразуются в дискретные команды включения и отключения транзисторов. Несущая частота ШИМ составляет от 5 до 15 кГц. Одновременное замыкание двух ключей в «стойке» инвертора блокируется, для учета реального времени запираания транзисторов в процесс переключения вводится «мертвое» время, составляющее единицы микросекунд, в течение которого оба ключа разомкнуты.

Технические данные электрического двигателя

Технические данные выбранного электродвигателя сведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические данные электродвигателя

Типоразмер	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{1H}, [\text{В}]$	$P_{\text{дв.н}}, [\text{кВт}]$	$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta_H, \%$	$s_K, \%$	$J_{\text{дв}}, [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$
BA180 S2	3000	380	22	1,9	0,9	0.9	12,5	0,062

Продолжение таблицы 3.3

$k_{\Pi} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_H}$	$k_M = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H}$	$k_{\text{МИН}} = \frac{M_{\text{МИН}}}{M_H}$	$k_{\text{ИДВ}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_H}$	Степень Защиты
1,4	2,5	1,1	7,5	IP54

3.5. Определение дополнительных параметров электрического двигателя и параметров схемы замещения

Методика расчета взята из [6].

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с} . \quad (3.12)$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,02) \cdot 3000 = 2940 \text{ об/мин} . \quad (3.13)$$

или

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,02) \cdot 314 = 308 \text{ рад/с} . \quad (3.14)$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{308} = 71,4 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.15)$$

Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Если соединение обмоток неизвестно, то при расчете следует принять соединение Y.

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В} \quad (3.16)$$

Принимаем $U_{1\text{фн}} = 220 \text{ В}$.

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,39 \text{ А} . \quad (3.17)$$

Примечания:

$I_{1\text{лн}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{\text{идв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 41,39 = 310,425 \text{ А} . \quad (3.18)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = k_{\text{м}} \cdot M_{\text{двн}} = 2,5 \cdot 71,4 = 178,5 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.19)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{двпуск}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{двн}} = 1,4 \cdot 71,4 = 99,96 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.20)$$

Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 3.5.

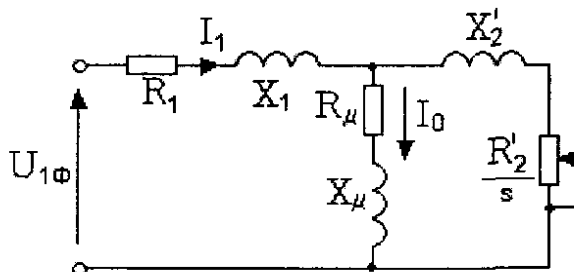


Рисунок 3.5 – Схема замещения асинхронного двигателя

3.6. Определение параметров АД

При создании электропривода с двигателем переменного тока сталкиваются с проблемой определения параметров асинхронного двигателя,

которые необходимы для проектирования и настройки системы управления электроприводом, а так же для моделирования переходных процессов в асинхронном электроприводе с ПЧ. Наиболее приемлемым для большинства практических случаев является метод определения параметров АД на основании его справочных данных. Далее в работе будем использовать этот метод.

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_{1H} = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - (I_{1H} \cdot k_{чз} \cdot \frac{1-s_H}{1-k_{чз} \cdot s_H})^2}{1 - (k_{чз} \cdot \frac{1-s_H}{1-k_{чз} \cdot s_H})^2}} = \sqrt{\frac{39,542^2 - (41,152 \cdot 0,95 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,95 \cdot 0,02})^2}{1 - (0,95 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,95 \cdot 0,02})^2}} = 19,625 \text{ A} \quad (3.21)$$

$$\text{принимаяем} \quad k_{чз} = \frac{P}{P_H} = 0,95 \text{ o.e.}$$

Ток двигателя в номинальном режиме:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H} = \frac{220000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,152 \text{ A} \quad (3.22)$$

Номинальное скольжение двигателя:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{3000 - 2940}{3000} = 0,02 \text{ o.e.} \quad (3.23)$$

Ток двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{чз} = \frac{\kappa_{чз} \cdot P_H}{3 \cdot U_H \cdot \cos \varphi_{чз} \cdot \eta_{чз}} = \frac{0,95 \cdot 220000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 39,542 \text{ A} \quad (3.24)$$

Критическое скольжение:

$$s_{kp} = s_H \cdot \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)} = 0,102 \text{ o.e.} \quad (3.25)$$

где β - вспомогательный коэффициент.

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) + 1 = \left(\frac{19,625}{2 \cdot 7,5 \cdot 41,152} \right) + 1 = 1,032 \quad (3.26)$$

$$A_1 = 3 \cdot U_{\phi H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_M \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,02}{2 \cdot 1,032 \cdot 2,5 \cdot 22000} = 1,254 \quad (3.27)$$

$$A_0 = \frac{I_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_0 \cdot \cos \varphi_0}{U_{\phi H}} = \frac{41,152 \cdot 0,9 - 19,625 \cdot 0,89}{220} = 0,088 \quad (3.28)$$

$$B = \frac{1}{s_H} + \frac{1}{s_{kp}} - A_0 \cdot 2 \cdot \frac{A_1}{s_H} = \frac{1}{0,02} + \frac{1}{0,102} - 0,088 \cdot 2 \cdot \frac{1,254}{0,02} = 48,77 \quad (3.29)$$

Далее перейдем к непосредственному определению асинхронной машины:

R'_2 – активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_{kp}} \right) \cdot C_1} = \frac{1,254}{\left(1 + \frac{1}{0,102} \right) \cdot 1,032} = 0,113 \text{ Ом} \quad (3.30)$$

Активное сопротивление статора обмотки рассчитываем по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,032 \cdot 0,113 \cdot 1 = 0,116 \text{ Ом} \quad (3.31)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{kp}^2} \cdot \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,102^2} \cdot 1^2} = 9,732 \quad (3.32)$$

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 9,732 \cdot 1,032 \cdot 0,113 = 1,132 \text{ Ом} \quad (3.33)$$

Находим индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{1,132}{1,032} = 0,636 \text{ Ом} \quad (3.34)$$

Найдем ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\phi H} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{\phi H} \cdot \sin \varphi_H - X_1 \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 0,116 \cdot 41,152)^2 + (220 \cdot 0,436 - 0,475 \cdot 41,152)^2} = 207,749 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3.35)$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания найдем:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{207,749}{19,625} = 10,586 \text{ Ом} \quad (3.36)$$

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	X_{1H} , Ом	L_1 , Гн	$X_{\mu H}$, Ом	L_μ , Гн	R_2' , Ом	X_{2H}' , Ом	L_2' , Гн	X_{KH} , Ом
0,116	0,475	$1,513 \cdot 10^{-3}$	10,586	0,0337	0,113	0,636	$2,026 \cdot 10^{-3}$	1,132

Эквивалентная индуктивность обмоток ротора и статора:

$$L_2' = \frac{X_{2H}'}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,636}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,026 \times 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.37)$$

$$L_1 = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,475}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,513 \times 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.38)$$

$$L_\mu = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{10,586}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0337 \text{ Гн} \quad (3.39)$$

3.7. Выбор преобразователя частоты. Расчет параметров

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц.

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

- 3 фазы;
- максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;
- максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{\text{П МАКС}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{ЭПМАКС}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_K)} = 50 \cdot \frac{308}{314 \cdot (1 - 0,102)} = 54 \text{ Гц} . \quad (3.40)$$

минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{\text{П МИН}} < 50 \cdot \frac{\omega_{\text{ЭПМИН}}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{6,8}{314} = 2,165 \text{ Гц} . \quad (3.41)$$

3. Преобразователь частоты определяется по номинальному (длительно допустимому) току $I_{\text{ИН}}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{\text{И МАКС}} = I_{\text{ИН}} \cdot k_{\text{И}}$, где $k_{\text{И}}$ – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

- в однозонном электроприводе

$$I_{\text{ИН}} \geq I_{\text{ЛН}} \cdot \frac{M_{\text{СМАКС}}}{M_{\text{ДВН}}} \geq 41,31 \cdot \frac{30}{71,4} = 17,35 \text{ А} ; \quad (3.42)$$

$$I_{\text{И МАКС}} \geq I_{\text{ЛН}} \cdot \frac{M_{\text{ЭПМАКС}}}{M_{\text{ДВН}}} \geq 41,31 \cdot \frac{60}{71,4} = 34,4 \text{ А} . \quad (3.43)$$

4. Преобразователь должен обеспечивать требуемый диапазон регулирования выходной частоты:

$$f_{\text{И МИН}} < f_{\text{П МИН}} ; \quad f_{\text{И МАКС}} > f_{\text{П МАКС}} .$$

3.8. Выбор способа управления скоростью двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД)

Основные способы управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом и их показатели приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Способы управления в системе ПЧ-АД и их показатели

Способ управления	Диапазон регулирования скорости
Скалярное управление , закон управления $U_1 / f_1 = const$: - разомкнутая система, в том числе с коррекцией вольт-частотной характеристики;	менее 10
- замкнутая система с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора (IR-компенсация или компенсация нагрузки);	10
- замкнутая система с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора и повышением жесткости статических характеристик (IR-компенсация и компенсация скольжения); - замкнутая система с обратной связью по скорости;	более 10 до 120
Векторное управление: - без датчика скорости (с внутренней моделью) - с датчиком скорости	100–120 1000

Принимаем способ управления – векторное управление без датчика скорости. Согласно выбранному способу управления выбираем преобразователь с возможностью векторного управления.

Параметры преобразователя частоты

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение U_H , В	Выходная частота f_H , Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность P_2 , Вт
	$U_{1Л}$, В	f_c , Гц			$I_{VLT.H}$, А	$I_{VFD.макс}$, А	
VFD220C43A “VFD”	3×400	50	380	(0-200)	45	433	22

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{ШИМ} = 8$ кГц.

3.9. Расчет параметров - элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя частоты

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi}}{U_{\text{уп макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113, \quad (3.44)$$

где $U_{\text{уп макс}} = 10 \text{ В}$, – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя равна:

$$T_{\text{и}} = \frac{2}{f_{\text{и}}} = \frac{2}{5 \cdot 10^3} = 0,0004 \text{ с}, \quad (3.45)$$

где $f_{\text{и}}$ – несущая частота инвертора, Гц.

Расчет параметров электродвигателя

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,116 + 0,113 \cdot \frac{0,0337^2}{0,00202^2} = 0,2166 \text{ Ом}. \quad (3.46)$$

Электромагнитная постоянная времени:

$$T_{\text{э}} = \frac{L_e}{R_{\text{э}}} = \frac{0,0034}{0,2166} = 0,00156 \text{ с}; \quad (3.47)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{L_2' + L_{\mu}}{R_2'} = \frac{0,00202 + 0,0337}{0,113} = 0,3161 \text{ с}. \quad (3.48)$$

Расчет параметров механической системы

Момент инерции механизма:

$$J_{\text{м}} = 0,5 \cdot J_{\text{дв}} = 0,5 \cdot 0,062 = 0,031 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.49)$$

Эквивалентный момент инерции привода:

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} = 0,062 + 0,031 = 0,093 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.50)$$

3.10. Расчет предельных характеристик разомкнутой системы ПЧ – АД

Векторное управление

При векторном управлении магнитный поток поддерживается: в первой зоне постоянным $\psi_{2X} = \psi_{2XH} = const$, а во второй зоне ослабляется в соответствии с зависимостью $\psi_{2X} = \psi_{2XH} \cdot \frac{\omega}{\omega_{НАЧ}}$, где $\omega_{НАЧ}$ - начальная скорость ослабления поля.

Расчет механических характеристик

Механическая характеристика $M=f(\omega)$ системы ПЧ – АД рассчитывается для частоты $f_H=f_{IH}=50$ Гц по выражению из [7].

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1ФН}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{кН})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}. \quad (3.51)$$

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем характеристику $M=f(s)$ рисунок 3.6, где $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$

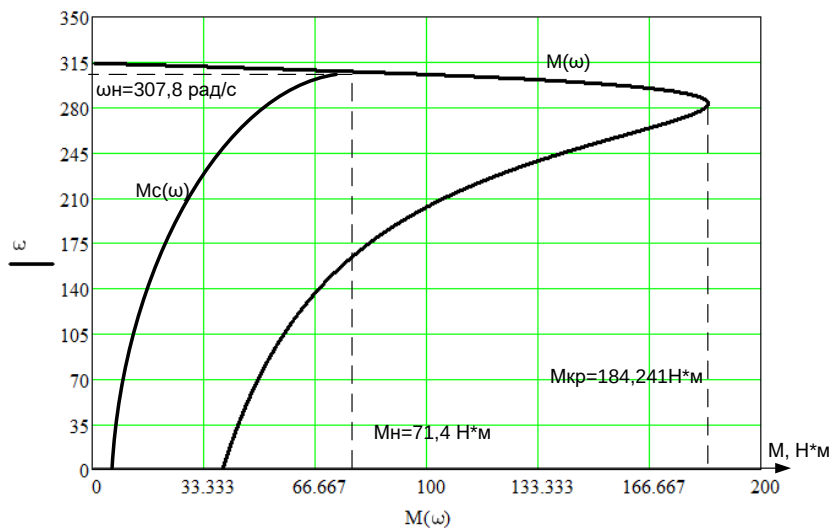


Рисунок 3.6 – Механическая характеристика системы ПЧ – АД

Номинальный электромагнитный момент двигателя:

$$M_{\text{ЭМ Н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{Н}} \cdot \left[(X_{\text{КН}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{Н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{Н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,113}{314 \cdot 0,02 \cdot \left[(1,132)^2 + \left(0,116 + \frac{0,113}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,116 \cdot 0,113}{0,02 \cdot 10,586} \right)^2 \right]} = 75,532 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.52)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{308} = 71,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критический момент равен:

$$M_{\text{К}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{К}} \cdot \left[(X_{\text{КН}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{К}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,113}{314 \cdot 0,102 \cdot \left[(1,132)^2 + \left(0,116 + \frac{0,113}{0,02} \right)^2 \right]} = 184,241 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.53)$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M_{\text{с дв}} = M_{\text{ЭМ Н}} - M_{\text{дв н}} = 75,532 - 71,4 = 4,132 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.54)$$

Расчет электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика $I_1(s)$ разомкнутой системы ПЧ–

АД рассчитывается для значения частоты $f_{\text{и}} = f_{1\text{Н}} = 50 \text{ Гц}$ по выражению:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(\omega) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2} \cdot \frac{X_{1\text{Н}} + X_{2\text{Н}}'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{Н}}} \right)^2 + (X_{1\text{Н}} + X_{2\text{Н}}')^2}} =$$

$$= \sqrt{19,625^2 + 34,059^2 + 2 \cdot 19,625 \cdot 34,059 \cdot 0,188} = 42,384 \text{ А}, \quad (3.55)$$

Где $I_2'(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{(0,116 + \frac{0,113}{0,02})^2 + (0,475 + 0,636)^2}} = 34,059 \text{ A};$$

(3.56)

По результатам расчета строится электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$ (рисунок 3.7).

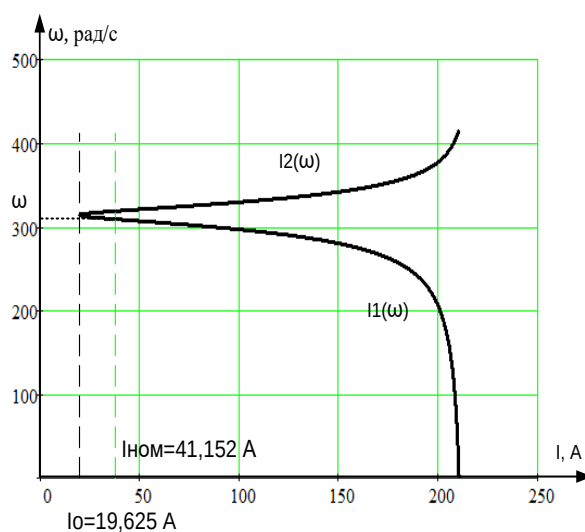


Рисунок 3.7 – Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ПЧ–АД

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

4.1. Модель АД в неподвижной системе координат[8]

В диссертационной работе смоделирована модель асинхронного двигателя (АД) в неподвижной системе координат, на основании которой будет разработана система управления. Для построения имитационной модели необходимо принять определенный уровень свойств АД и ПЧ. В теории электропривода переменного тока общепринятыми допущениями принято считать следующее:

- 1) Не учитывать потери в стали.
- 2) Рассматриваем трехфазный симметричный режим работы.
- 3) Насыщение магнитной цепи АД не учитывается.
- 4) Принимаем напряжение на выходе ПЧ строго синусоидальной формы.
- 5) Пренебрегаем влиянием силового канала между АД и ПЧ.

Взяв за основу классическую «Т-образную» схему замещения АД, можно рассмотреть процессы, описывающие модель АД, используя систему векторных дифференциальных уравнений, представленную ниже:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_s = R_s I_s + \frac{d\Psi_s}{dt} \\ U_r = R_r I_r + \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega_r z_p \Psi_r \\ \Psi_s = L_s I_s + L_m I_r \\ \Psi_r = L_r I_r + L_m I_s \\ M = \frac{3}{2} z_p (\Psi_s \times I_s) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{array} \right. \quad (4.1)$$

$U_s, U_r, I_s, I_r, \Psi_s, \Psi_r$ - двухэлементные векторы напряжений, токов и потокосцепления, представленные в двухфазной системе координат в виде

составляющих по координатным осям. Механические параметры системы представлены следующими переменными: J - момент инерции, ω_r - частота вращения ротора, z_p - число пар полюсов АД, M и M_c электромагнитный момент и момент нагрузки. Вспомогательная матричная константа j служит для «переворота» компонентов векторных переменных и позволяет упростить форму записи системы уравнений.

Выражаясь языком математических формул, утверждается следующее:

$$U_s = \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{bmatrix}, U_r = \begin{bmatrix} u_{r\alpha} \\ u_{r\beta} \end{bmatrix}, I_s = \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix}, I_r = \begin{bmatrix} i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$\Psi_s = \begin{bmatrix} \psi_{s\alpha} \\ \psi_{s\beta} \end{bmatrix}, \Psi_r = \begin{bmatrix} \psi_{r\alpha} \\ \psi_{r\beta} \end{bmatrix}, j = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Таким образом, индексы « α и β » будут соответствовать компонентам вектора в неподвижной системе координат. Как будет показано дальше, компонентам вектора во вращающейся системе координат соответствуют индексы « x » и « y ».

Несмотря на использование эквивалентной двухфазной модели, не забываем о том, что в реальной жизни стандартный асинхронный двигатель, как правило, имеет 3 фазы. Для перехода между составляющим вектора в двухфазных координатах и трехфазной координатной системы используются формулы преобразования Кларка. На примере преобразования вектора тока статора I_s , рассмотрена связь между составляющими в двухфазных координатах и трехфазной системой. На рисунке 4.1 показано преобразование графически. Для остальных переменных преобразования идентичны.

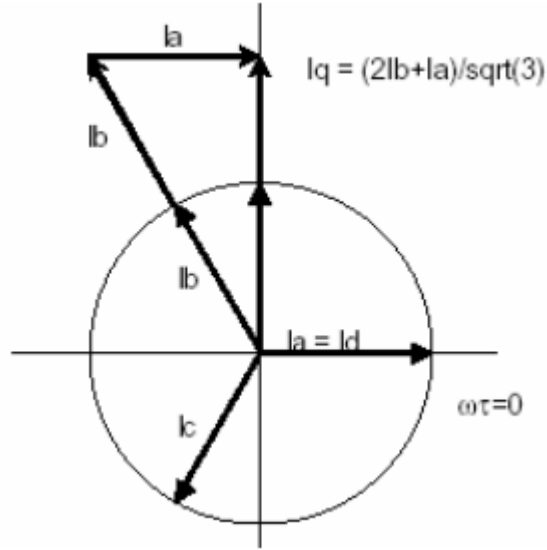


Рисунок 4.1 - Преобразование Кларка (из трехфазной системы координат в двухфазную) [8]

$$i_{sa} = i_{s\alpha}, \quad i_{s\beta} = \frac{(2i_{sb} + i_{sa})}{\sqrt{3}} \quad (4.4)$$

где $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ - составляющие вектора тока статора I_s представленные в двухфазной неподвижной системе координат;

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} - фазные токи статора АД представленные в симметричной трехфазной системе.

Формула для обратного преобразования образуется из (4.4) после выполнения соответствующих преобразований.

Система уравнений (4.4) обладает избыточным числом неизвестных и для уменьшения их числа выполняется подстановка. Существует цель исключить из системы уравнений переменные Ψ_s и I_r , оставив Ψ_r и I_s . Для этого из третьего и четвертого уравнений системы выразим I_r :

$$I_r = \frac{\Psi_s - L_s I_s}{L_m}, \quad I_r = \frac{\Psi_s - L_m I_s}{L_r} \quad (4.5)$$

Приравняв обе части, получается выражение:

$$\Psi_s - L_s I_s = \frac{L_m}{L_r} (\Psi_r - L_m I_s), \text{ из которого теперь выделяется } \Psi_s,$$

$$\Psi_s = \frac{L_m}{L_r} \Psi_r + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) I_s \quad (4.6)$$

В первое уравнение системы (4.4) подставляем выражение для Ψ_s ,
(4.6):

$$U_s = R_s I_s + \frac{d\Psi_s}{dt} = R_s I_s + \frac{L_m d\Psi_r}{L_r dt} + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \frac{dI_s}{dt} \quad (4.7)$$

Во второе уравнение системы (4.4) подставляем I_r , (4.5) (правую часть):

$$\begin{aligned} U_r &= R_r I_r + \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega_r z_p \Psi_r = \\ &= R_r \left(\frac{\Psi_r - L_m I_s}{L_r} \right) + \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega_r z_p \Psi_r = \\ &= \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega_r z_p \Psi_r + R_r \frac{\Psi_r}{L_r} - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s = \\ &= \frac{d\Psi_r}{dt} - (j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r}) \Psi_r - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Из (4.8) получается выражение для $\frac{d\Psi_r}{dt}$ и подставляем в (4.7):

$$\begin{aligned} U_s &= R_s I_s + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\Psi_r}{dt} + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \cdot \frac{dI_s}{dt} = \\ &= R_s I_s + \frac{L_m}{L_r} U_r + \frac{L_m}{L_r} (j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r}) \Psi_r + R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 \cdot I_s + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \cdot \frac{dI_s}{dt} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Окончательно приводим уравнение (4.9) к следующему виду:

$$U_s - \frac{L_m}{L_r} U_r = (R_s + R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2) I_s + \frac{L_m}{L_r} (j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r}) \Psi_r + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \cdot \frac{dI_s}{dt} \quad (4.10)$$

Теперь комбинируя вместе (4.10) и (4.8), получаем систему эквивалентную (4.4), но состоящую только из двух уравнений с двумя неизвестными Ψ_r и I_s . Кроме этого, для АД с короткозамкнутым ротором справедливо $U_r = 0$. Выражение для электромагнитного момента переписано с использованием (4.6):

$$\begin{cases} U_s = (R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r}) I_s + \frac{L_m}{L_r} (j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r}) \Psi_r + (L_s - \frac{L_m^2}{L_r}) \cdot \frac{dI_s}{dt} \\ 0 = \frac{d\Psi_r}{dt} - (j\omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r}) \Psi_r - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s \\ M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_r \times I_s) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{cases} \quad (4.11)$$

Для упрощения записи системы уравнений вводятся дополнительные коэффициенты и перейдем к операторной форме.

$$\begin{cases} U_s = R_e I_s + K_r j\omega_r z_p \Psi_r - K_r A_r \Psi_r + L_e \cdot p I_s \\ 0 = p \Psi_r - j\omega_r z_p \Psi_r + A_r \Psi_r - R_r K_r I_s \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\Psi_r \times I_s) \\ p\omega_r = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{cases} \quad (4.12)$$

$$\text{где } K_r = \frac{L_m}{L_r}, R_e = R_s + R_r \cdot K_r^2, L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}, A_r = \frac{R_r}{L_r} \quad (4.13)$$

Систему (4.12) перепишем, выразив производные вектора тока и потокосцепления:

$$\begin{cases} pI_s = \frac{1}{L_e} (U_s - R_e I_s - K_r \omega_r z_p j \Psi_r + K_r A_r \Psi_r) \\ p\Psi_r = R_r K_r I_s - A_r \Psi_r + \omega_r z_p j \Psi_r \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\Psi_r \times I_s) \\ p\omega_r = \frac{1}{J} (M - M_c) \end{cases} \quad (4.14)$$

Далее необходимо систему векторных уравнений (4.14) представить в скалярном виде, подставив вместо векторов Ψ_r и I_s составляющие по координатам. Векторное произведение в выражении для электромагнитного момента раскрыто в соответствии с правилами векторной алгебры. С учетом (4.5), получена (4.15) новая система скалярных уравнений, имеющая следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} pI_{s\alpha} = \frac{1}{L_e}(u_{s\alpha} - R_e i_{s\alpha} - K_r \omega_r z_p \psi_{r\beta} + K_r A_r \psi_{r\alpha}) \\ pi_{s\beta} = \frac{1}{L_e}(u_{s\beta} - R_e i_{s\beta} - K_r \omega_r z_p \psi_{r\alpha} + K_r A_r \psi_{r\beta}) \\ p\psi_{r\alpha} = R_r K_r i_{s\alpha} - A_r \psi_{r\alpha} - \omega_r z_p \psi_{r\beta} \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}) \\ p\omega_r = \frac{1}{J}(M - M_c) \end{array} \right. \quad (4.15)$$

Общий вид системы уравнений (4.15) является наиболее подходящим для моделирования динамических режимов работы АД. Выбирая способ для решения системы дифференциальных уравнений, следует отдавать предпочтение численному методу высших порядков. Задача решения системы уравнений может быть также успешно решена с использованием средств структурного моделирования (*Simulink*). [8]

5. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В данной главе рассмотрены две системы управления: векторная и вращающаяся. Векторная модель в неподвижной системе координат наиболее адекватно описывает параметры настоящего двигателя. Настоящий двигатель работает в неподвижной системе координат, т.е. токи протекают в статоре, поэтому эта модель будет наиболее близко описывать все процессы, происходящие в двигателе. Созданная вторая имитационная модель – вращающаяся, она удобна для разработки системы управления. В конце расчетов и построения моделей и графиков можно сделать вывод, что при использовании одного и того же двигателя в разных моделях (подвижной и неподвижной), можно осуществить подмену неподвижной системы на вращающуюся и двигатель не должен заметить этого, он должен работать также исправно. Произведем замену, используя координатные преобразователи.

5.1. Разработка имитационной модели САУ РЭП асинхронного электропривода с векторным управлением

На рисунке 5.1 представлена структурная схема имитационной модели АД, созданная на базе системы дифференциальных уравнений

Имитационная модель нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением на рисунке 5.2 составлена на основании имитационных моделей настроенных регуляторов ранее, учитывая следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода:

- насыщение регулятора тока, потокосцепления и скорости

$$U_{\text{PTMAKC}} = \pm 10B, \quad U_{\text{P}\psi\text{MAKC}} = \pm 10B, \quad U_{\text{PCMAKC}} = \pm 10B;$$

- постоянное по величине ограничение максимального тока электропривода в переходных режимах и кратковременных нагрузках,

которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{\text{РСДОП}}(\omega) = \pm k_T \cdot I_{\text{ЭПМАКС}}(\omega),$$

ограничение выходного напряжения инвертора $E_{\text{и}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{1Н}}$;

нелинейная зависимость задания потокосцепления $U_{\text{с}\psi}$ во второй зоне регулирования скорости от величины задания скорости $U_{\text{зс}}$.

Исследование на имитационной модели нелинейной САУ электропривода проводятся с целью анализа двигателя.

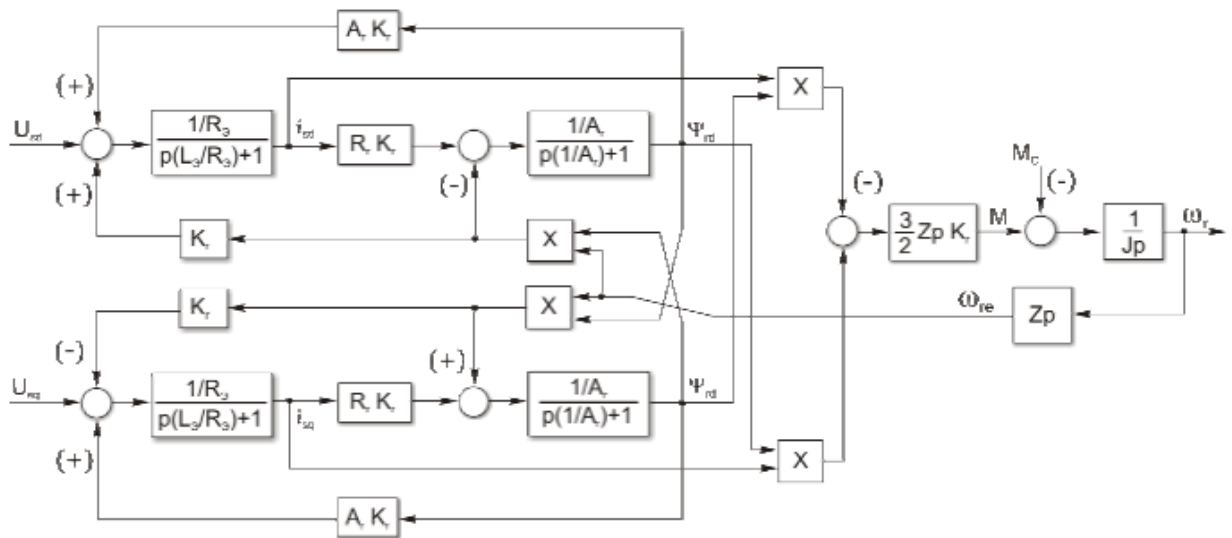


Рисунок 5.1 – Структурная схема имитационной модели АД при использовании неподвижной системы координат

На рисунке 5.2 собрана имитационная модель АД, созданная в среде Simulink MATLAB. Перед началом работы были посчитаны все параметры и занесены в главное окно MATLAB, где происходит запуск программного М-файла. Расчеты параметров представлены ниже (Приложение Д):

$$K_r = \frac{L\mu}{L_r} = \frac{L\mu}{L_2 + L\mu} = \frac{0,0337}{0,00202 + 0,0337} = 0,9434 \quad (5.1)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,116 + 0,113 \cdot \frac{0,0337^2}{0,00202^2} = 0,2166 \text{ Ом} \quad (5.2)$$

$$L_e = L_s - \frac{L_{\mu}^2}{L_r} = 0,0352 - \frac{0,0337^2}{0,0357} = 0,0034 \text{ Гн} \quad (5.3)$$

Где,

$$L_s = L_1 + L_{\mu} = 0,00151 + 0,0337 = 0,0352 \text{ Гн} \quad (5.4)$$

$$L_r = L_2' + L_{\mu} = 0,00202 + 0,0337 = 0,0357 \text{ Гн} \quad (5.5)$$

$$Ar = \frac{R_2'}{L_r} = \frac{0,113}{0,0357} = 3,1635 \quad (5.6)$$

$$K_m = \frac{3}{2} \cdot zp = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{2} = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \quad (5.7)$$

Амплитудное напряжение:

$$U_{amp} = 220 \cdot \sqrt{2} = 311,12 \text{ В} \quad (5.8)$$

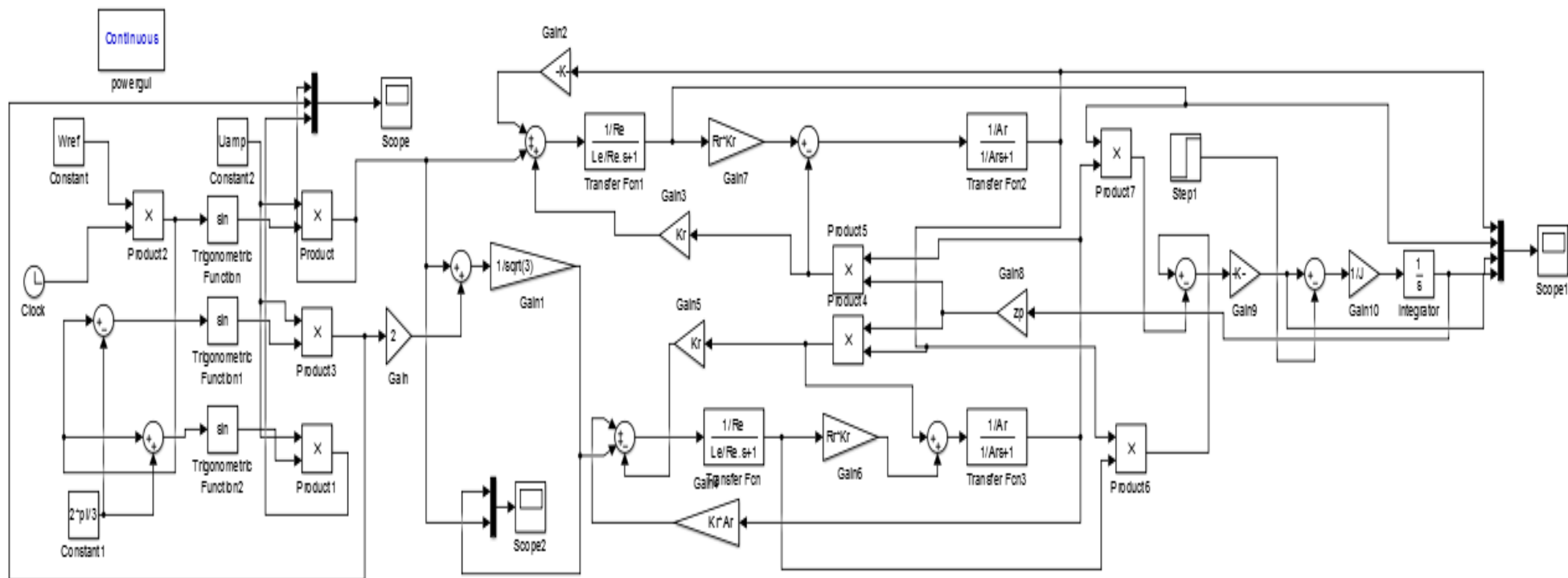


Рисунок 5.2 – Имитационная модель АД в неподвижной системе координат в среде MATLAB Simulink

На рисунке 5.3 получен график переходных процессов в неподвижной системе координат.

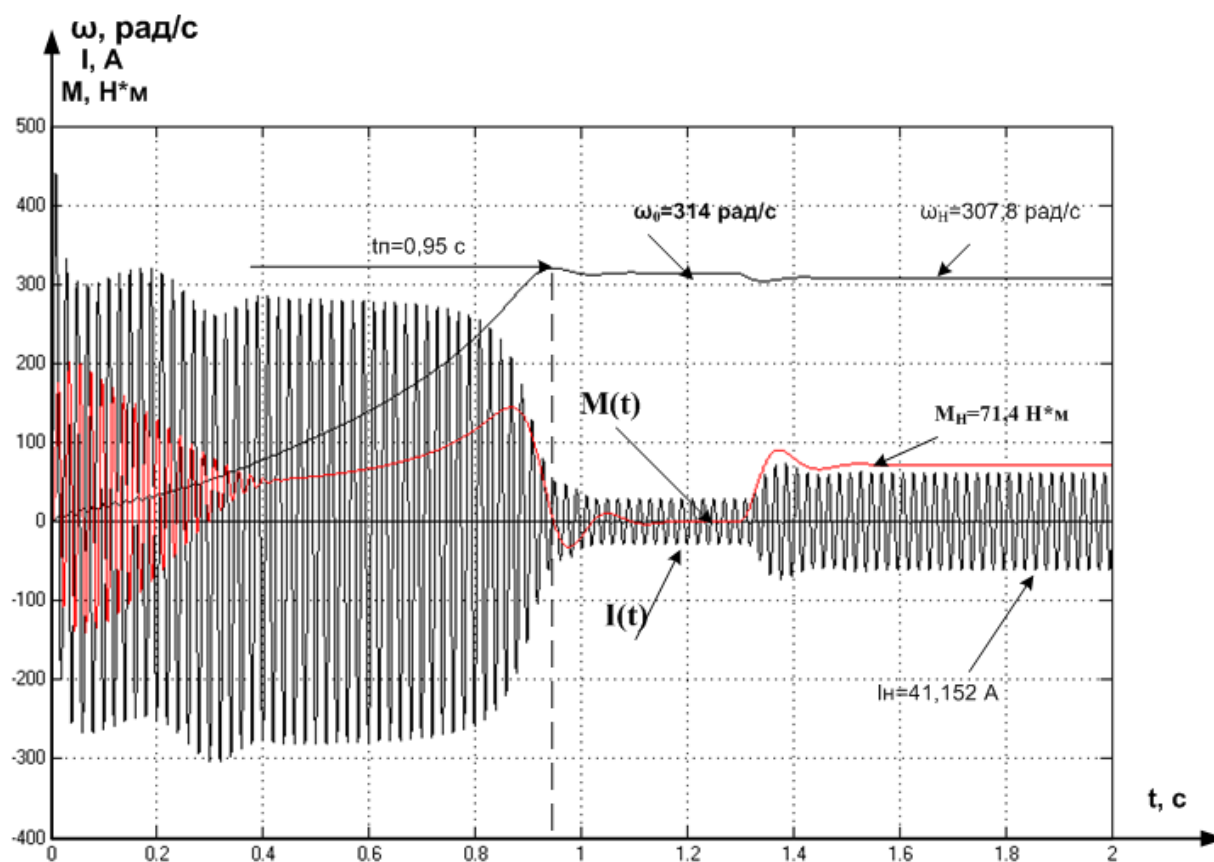


Рисунок 5.3 – График переходных процессов в неподвижной системе координат

На рисунке 5.3 видно, что характеристика переходного процесса совпадает с расчетными значениями.

5.2. Рассмотрение принципа скалярного управления

В данной работе будет применяться скалярный метод управления асинхронным двигателем.

Принцип скалярного управления основан на законе М.П. Костенко.

Рассмотрим суть данного закона: для того чтобы обеспечивать оптимальный режим работы АД при всех значениях частоты и нагрузки. Относительное напряжение двигателя необходимо изменять

пропорционально произведению относительной частоты на корень квадратный из относительного момента двигателя.

$$\frac{U_1}{U_{НОМ}} = \frac{f_i}{f_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{M_i}{M_{НОМ}}}, \quad (5.9)$$

$$U_1 = U_{НОМ} \cdot \frac{f_i}{f_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{M_i}{M_{НОМ}}} \quad (5.10)$$

5.3. Структурная схема силового канала ЭП

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат (х, у). На рисунке 5.4 приведена структурная схема АД во вращающейся системе координат с ориентацией по направлению вектора потокосцепления ротора.

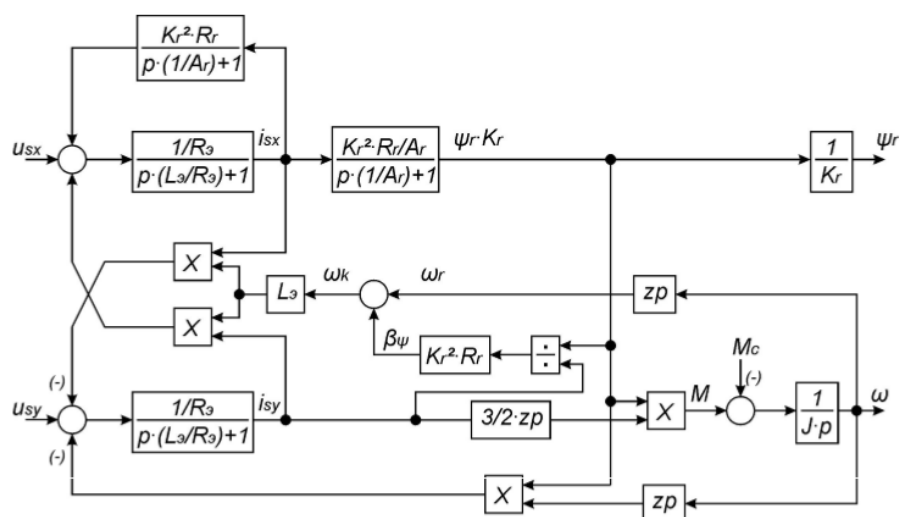


Рисунок 5.4 - Структурная схема АД во вращающейся системе координат с ориентацией по направлению вектора потокосцепления ротора

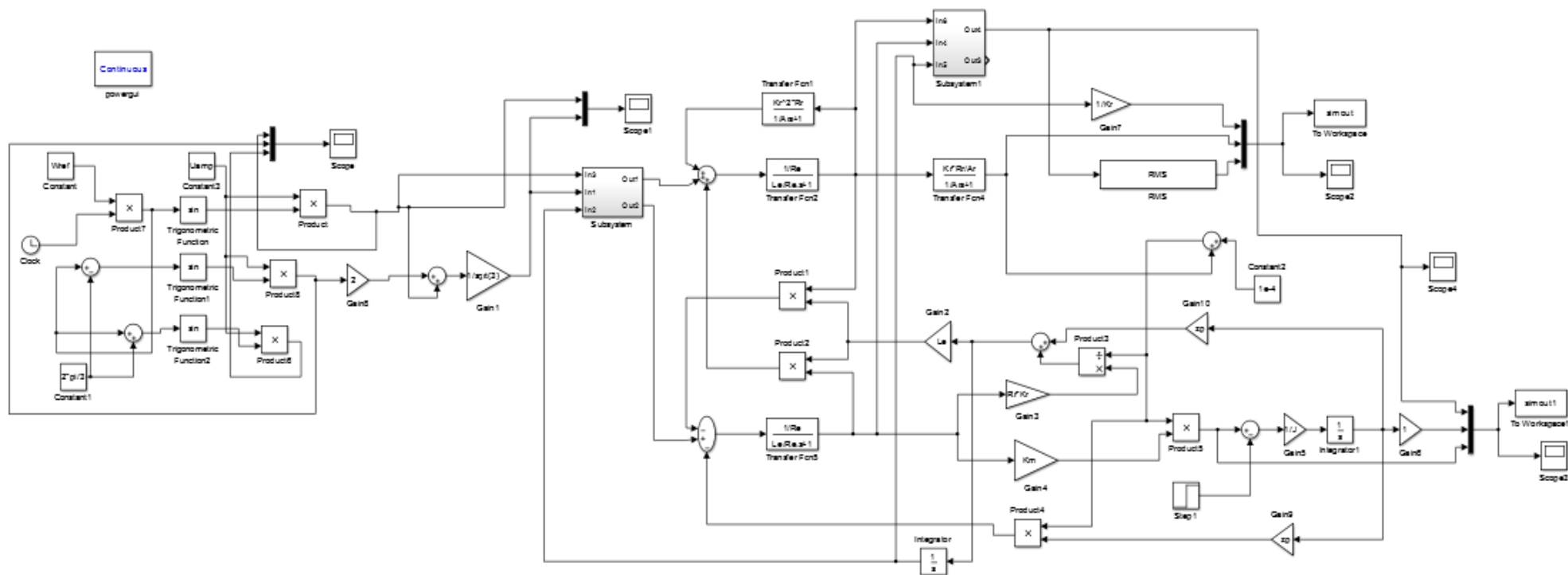


Рисунок 5.5 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат в среде MATLAB Simulink

На рисунке 5.6 получен график переходных процессов во вращающейся системе координат.

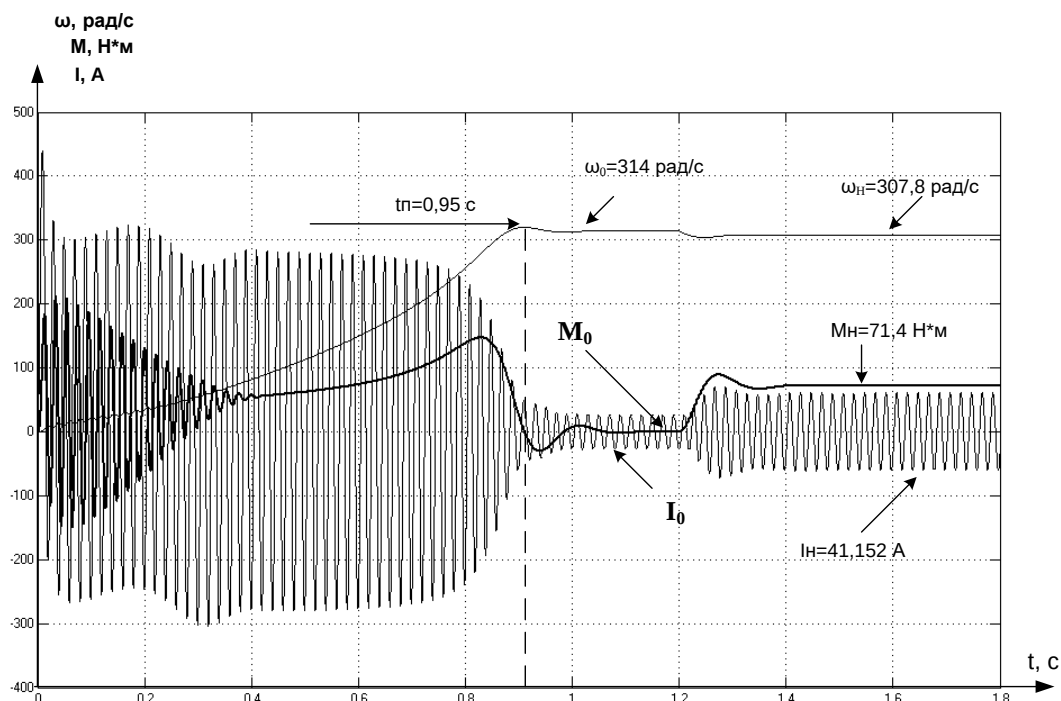


Рисунок 5.6 – График переходных процессов во вращающейся системе координат

Графики (рисунок 5.3 и 5.6) и работа моделей совпадают, соответственно имеем полное право использовать обе модели, т.к. они равноценны и обе правильны. Модель в неподвижной системе используем как анализ двигателя, а во вращающейся системе координат будем использовать, как основа для разработки системы управления.[8]

5.4. Оптимизация контуров регулирования[9]

5.4.1. Разработка системы векторного управления

Векторное управление частотно-регулируемого асинхронного электропривода связано как с изменением частоты и текущих значений переменных АД, так и со взаимной ориентацией их векторов в полярной или

декартовой системе координат. За счет регулирования амплитудных значений переменных и углов между их векторами обеспечивается полное управление АД как в статике, так и в динамике, что дает заметное улучшение качества переходных процессов по сравнению со скалярным управлением. Именно этот факт и является определяющим при выборе систем с векторным управлением.

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного двухзонного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 5.7.

Данная схема состоит из 4 контуров управления:

- 1) Контур управления составляющей вектора тока I_{sx}
- 2) Контур управления составляющей вектора тока I_{sy}
- 3) Контур управления потокосцепления ротора
- 4) Контур управления скоростью вращения ротора

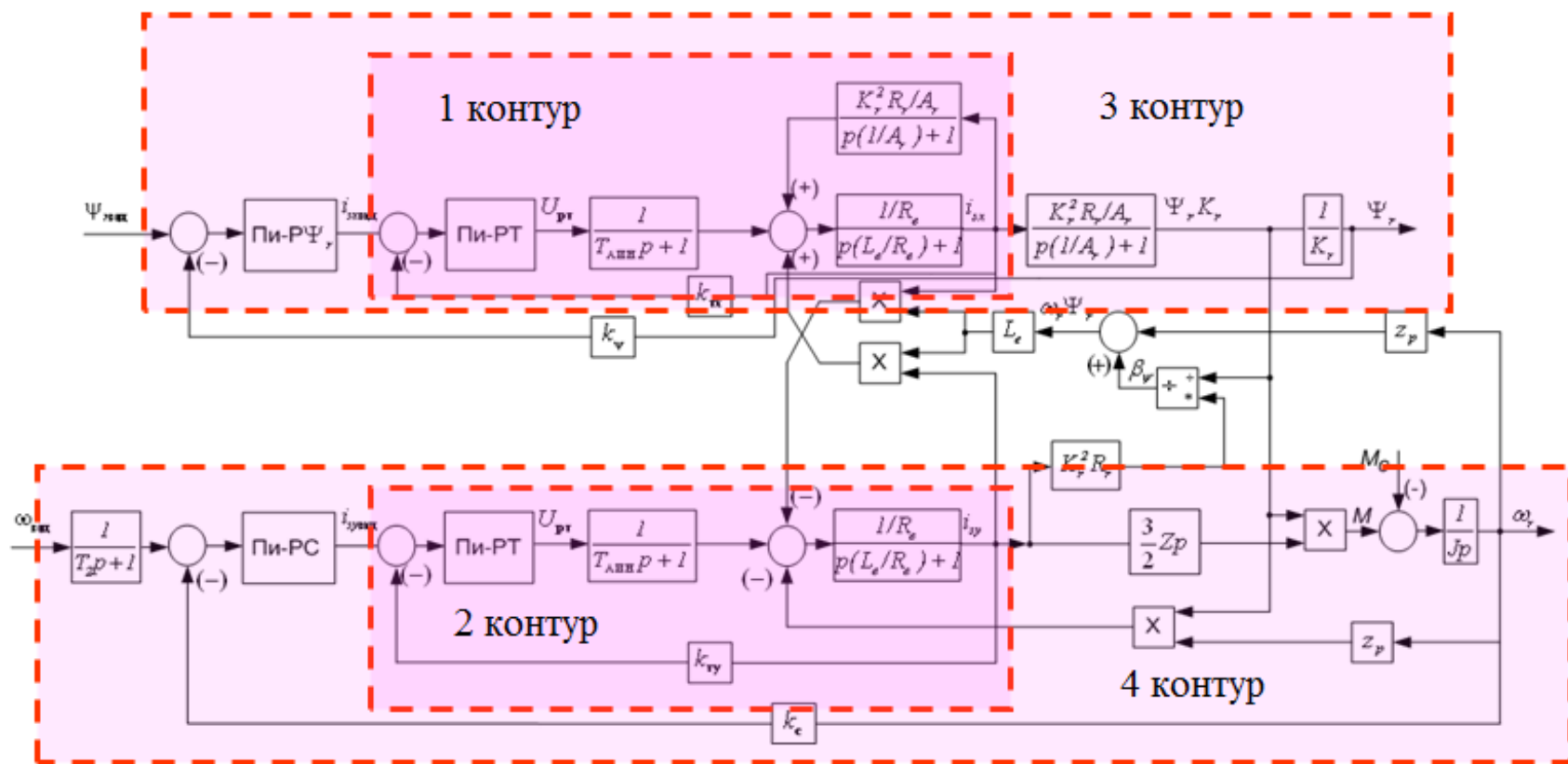


Рисунок 5.7 - Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно- регулируемого асинхронного двухзонного электропривода с векторным управлением

Контур управления составляющей вектора тока I_{sx}

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью приведена на рисунке 5.8. [10]

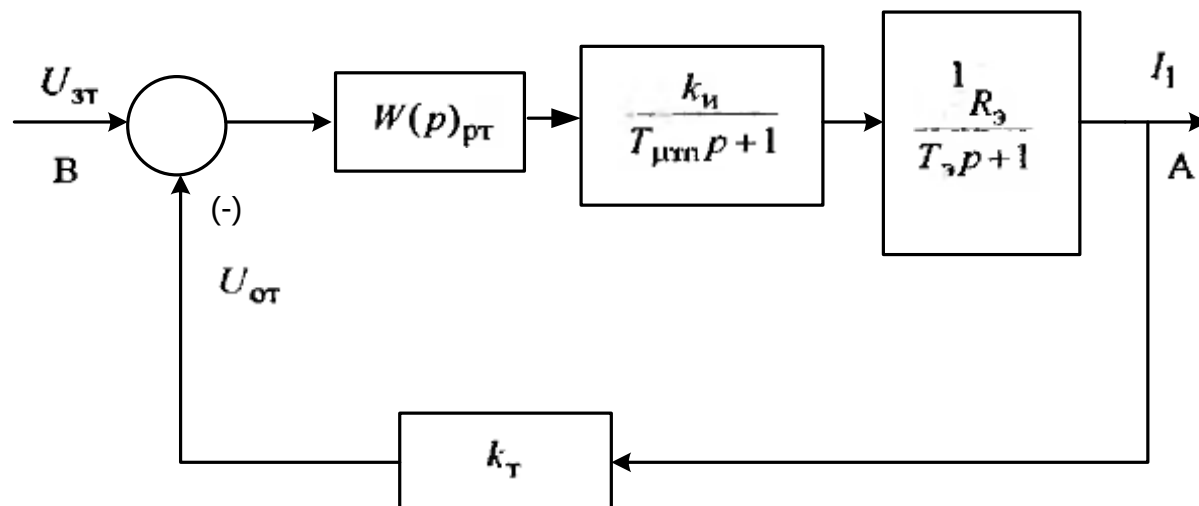


Рисунок 5.8. Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью.

Где:

$U_{зт}$ - напряжение задания на ток, В.

$T_{\mu TP}$ -малая постоянная времени в прямом канале, с.

$W(p)_{pT}$ -передаточная функция ПИ регулятора тока.

k_T -коэффициент обратной связи по току В/А.

T_{γ} -электромагнитная постоянная времени, с.

R_{γ} -эквивалентное сопротивление, Ом.

k_u -максимальное значение коэффициента усиления преобразователя.

Произведем расчет составляющих контура управления составляющей вектора тока I_{sx} :

Передаточная функция ПИ-регулятора тока:

$$W(p)_{pT} = k_{pT} \cdot \frac{T_{pT} \cdot p + 1}{T_{pT} \cdot p} \quad (5.11)$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{pT} = \frac{T_{\vartheta} \cdot R_{\vartheta}}{k_{II} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\mu T \vartheta}} = \frac{0.00587 \cdot 0.2166}{31.113 \cdot 0.0805 \cdot 2 \cdot 0.0004} = 1.70805 \quad (5.12)$$

$a_T = 2$ -коэффициент оптимизации.

Электромагнитная постоянная времени:

$$T_{\vartheta} = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0.0034}{0.2166} = 0.0158 \text{ с} \quad (5.13)$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{II} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi H}}{U_{уп. макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31.113 \quad (5.14)$$

Принимаем $U_{уп. макс} = 10 \text{ В}$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя:

$$T_{II} = T_{\mu TP} = \frac{2}{f_{шум}} = \frac{2}{5000} = 0.0004 \text{ с} \quad (5.15)$$

где $f_{шум}$ -несущая частота инвертора, Гц. Принимаем равную 5000 Гц.

Малая постоянная времени в прямом канале:

$$T_{\mu TP} \text{ принять } T_{\mu TP} = T_{II} = 0.0004 \text{ с}$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура:

$$T_{\mu T \vartheta} = T_{\mu TP} = 0.0004 \text{ с}. \quad (5.16)$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{pT} = T_{\vartheta} = 0.0158 \text{ с} \quad (5.17)$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_T = \frac{U_{зТ. макс}}{I_{1у макс}} = \frac{10}{124.17} = 0.0805 \quad (5.18)$$

принимаем $U_{зТ. макс} = 10 \text{ В}$, $I_{1у макс} = 3 \cdot I_H = 3 \cdot 41.39 = 124.17 \text{ А}$.

На основании выше приведенных расчетов и структурной схемы производим сбор контура управления составляющей вектора тока I_{sx} в среде *Matlab Simulink* (рисунок 5.9).

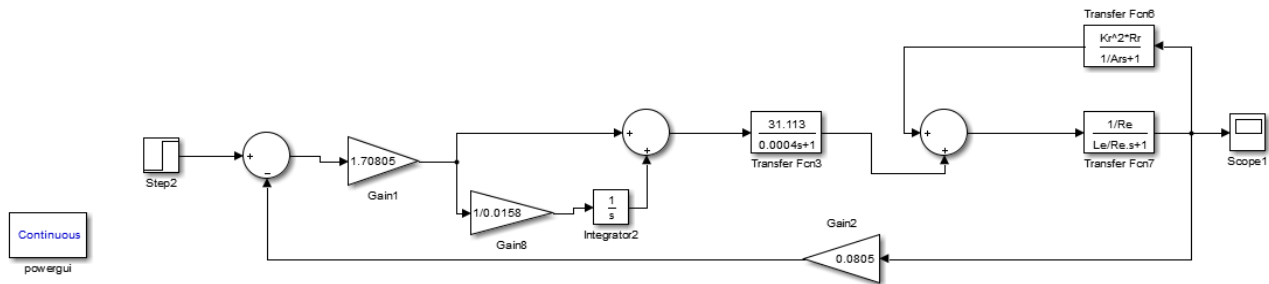


Рисунок 5.9 - Имитационная модель управления составляющей контура тока I_{sx} .

Чтобы оценить правильность всех расчетов, нужно провести сравнение ожидаемых показателей качества замкнутого контура тока по управлению без фильтра на входе с действительными. Ожидаемые показатели для контура будут:

1. Установившаяся ошибка $\square I_{уст} = 0$;
2. Полоса пропускания по фазе $\omega_{\Pi}^{(\phi)} \approx \frac{0.9}{T_{\mu\Pi\Pi}} = \frac{0.9}{0.0004} = 2250 \frac{рад}{с}$
3. Полоса пропускания по модулю $\omega_{\Pi}^{(м)} = \omega_{\Pi}^{(\phi)} = 2250 \frac{рад}{с}$
4. Перерегулирование $\sigma \approx 6.7\%$
5. Время первого и окончательного вхождения в 5% зону при отработке ступенчатого задания $t_{py1}^{(5)} \approx 2.75 \cdot T_{\mu\Pi\Pi} = 2.75 \cdot 0.0004 = 0.0011, с$

Действительные показатели качества будут получены из характеристики переходного процесса (рисунок 5.4) и характеристик ЛАЧХ и ЛФЧХ (рисунок 5.10).

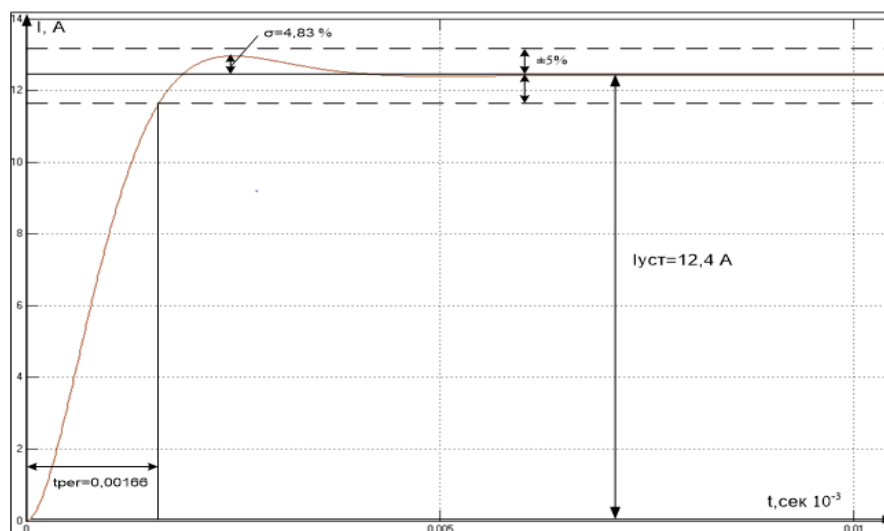


Рисунок 5.10. Характеристика переходного процесса контура тока I_{sx} полученная в среде *Matlab Simulink*.

Таблица 5.1 - Показатели переходных процессов по управлению оптимизированного контура с ПИ-регулятором [10]

$t_{пу1}$, с	σ %	$\Delta I_{уст}$, А
Ожидаемые показатели		
0,0011	6,7	0
Результаты моделирования		
0,00166	4,83	0

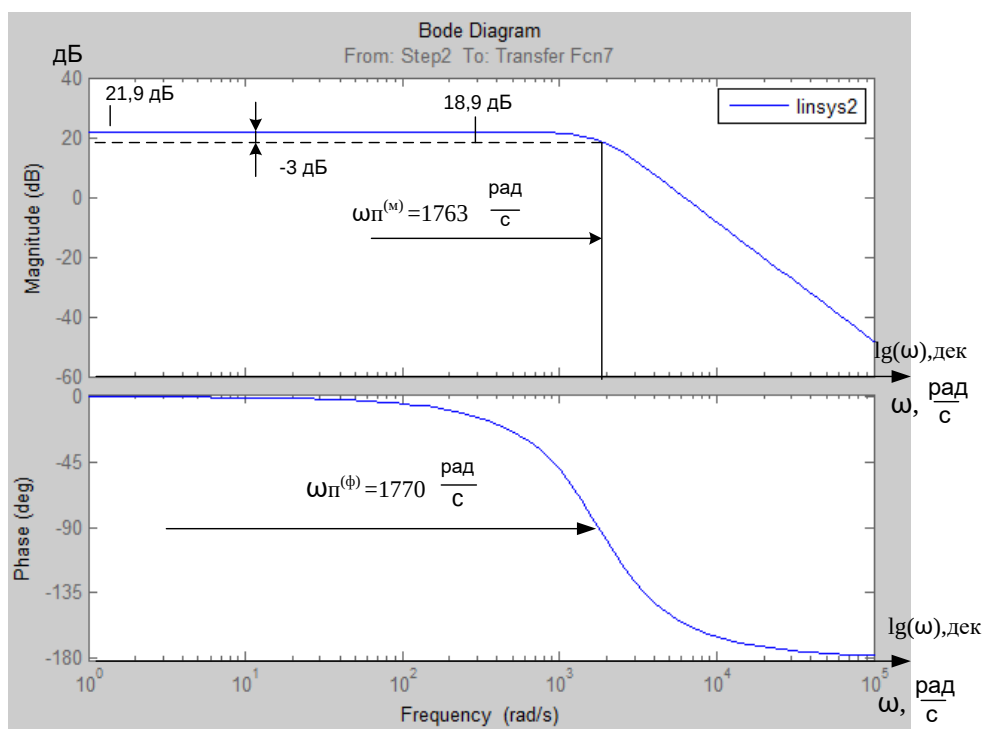


Рисунок 5.11 - ЛАЧХ и ЛФЧХ характеристики контура тока тока I_{sx} полученные в среде *Matlab Simulink*.

Таблица 5.2 – Полученные и расчетные данные показателей качества

$\omega_n^{(м)}$	$\omega_n^{(ф)}$	$\sigma \%$
Ожидаемые показатели		
2250	2250	6,7%
Результаты моделирования		
1763	1770	4,83

Контур управления составляющей вектора тока I_{sy} [10]

Для контура управления составляющей вектора тока I_{sy} структурная блок схема и расчетные показатели качества останутся все те же ,что для контура с оставляющей вектора тока I_{sx} . Поэтому сразу же перейдем к определению показателей качества полученных опытным путем. Имитационная модель представлена на рисунке 5.12.

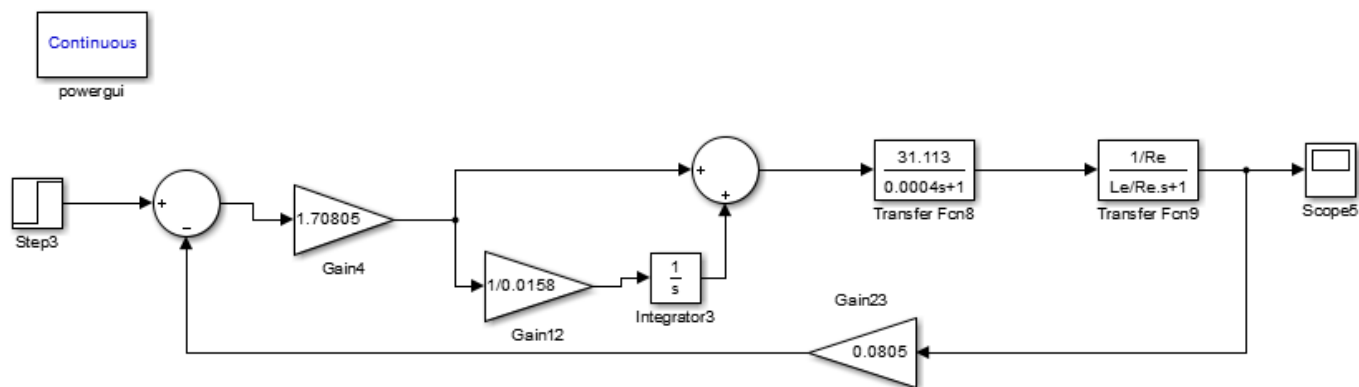


Рисунок 5.12 - Характеристика переходного процесса контура тока I_{sy} полученная в среде *Matlab Simulink*.

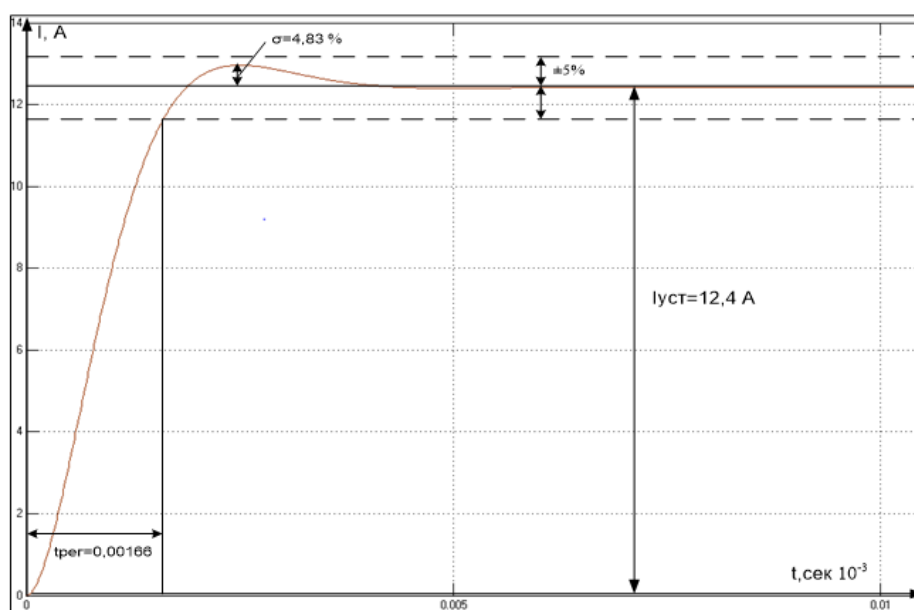


Рисунок 5.13 - Характеристика переходного процесса контура тока I_{sy}

Таблица 5.3 - Показатели переходных процессов по управлению оптимизированного контура с ПИ-регулятором

т _{рег} , с	σ %	Δ I _{уст} , А
Ожидаемые показатели		
0,0011	6,7	0
Результаты моделирования		
0,00166	4,83	0

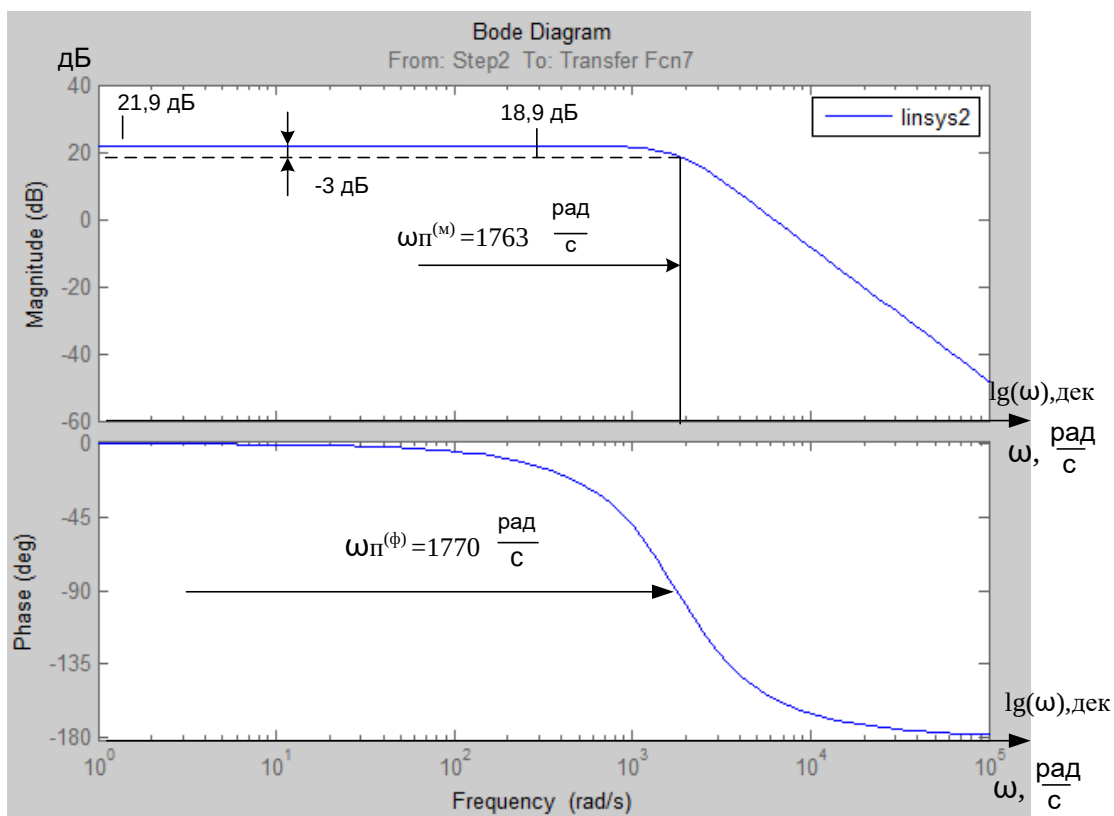


Рисунок 5.14 - ЛАЧХ и ЛФЧХ характеристики контура тока тока I_{sy} полученные в среде *Matlab Simulink*.

Таблица 5.4 - Полученные расчетные и действительные данные показателей качества.

$\omega_{п}^{(м)}$	$\omega_{п}^{(ф)}$	$\sigma \%$
Ожидаемые показатели		
2250	2250	6,7%
Результаты моделирования		
1763	1770	4,83

Показатели ЛАЧХ и ЛФЧХ в двух предыдущих контурах оказались идентичными.

Контур потокосцепления

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка. [10]

$$W(p)_{\text{замТ}} \approx \frac{\frac{1}{k_T}}{T_T \cdot p + 1}$$

Где $T_T = a_T \cdot T_{\mu T\Delta} = a_T \cdot T_{\mu\Pi\Pi} = 2 \cdot 0.0004 = 0.0008 \text{ с}$ – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 5.15.

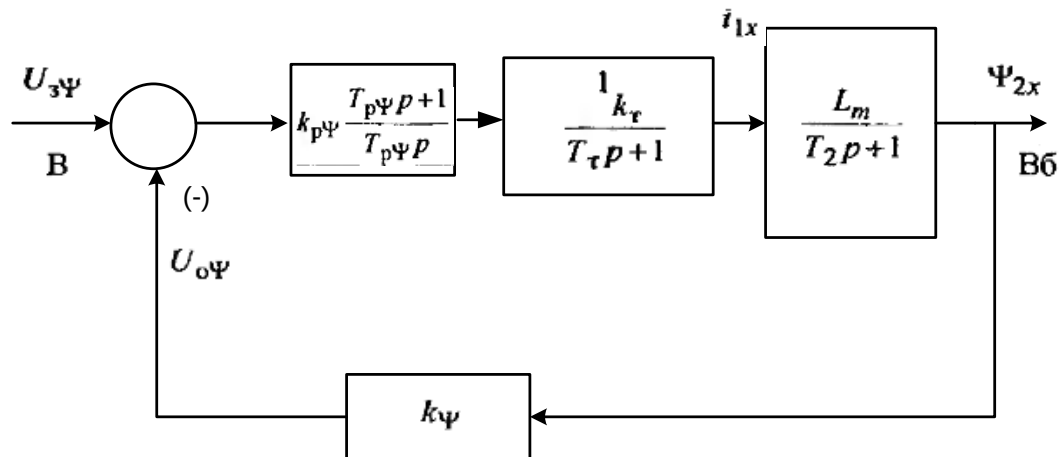


Рисунок 5.15 - Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором.

Где:

$U_{3\Psi}$ - напряжение задания на потокосцепление, В.

$T_{\mu\Pi\Pi}$ - малая постоянная времени в прямом канале, с.

$W(p)_{p\Psi}$ - передаточная функция ПИ регулятора потокосцепления.

k_Ψ - коэффициент обратной связи по потокосцеплению В/Вб.

$T_{p\Psi}$ - постоянная времени регулятора потокосцепления

Произведем расчет составляющих контура управления потокосцеплением:

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления:

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p} \quad (5.19)$$

Коэффициент усиления регулятора потокосцепления:

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi} \cdot \frac{1}{a_T \cdot T_T} = \frac{0.3161 \cdot 0.0805}{0.0337 \cdot 10.91 \cdot 2 \cdot 0.0016} = 40,238 \quad (5.20)$$

$a_T = 2$ - коэффициент оптимизации.

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению:

$$k_\Psi = \frac{U_{\Psi_{max}}}{\Psi_{2\kappa n}} = \frac{10}{0.917} = 10.91 \quad (5.21)$$

Где $U_{\Psi_{max}}$ принять = 10 В, Вб

$$M_{\Sigma M.H} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[x_{\kappa n}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s_n \cdot x_{\mu}} \right)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.77}{314 \cdot 0.02 \left[1.132^2 + \left(0.116 + \frac{0.113}{0.02} \right)^2 + \left(\frac{0.116 \cdot 0.113}{0.02 \cdot 10.586} \right)^2 \right]} = 75.532 H \cdot m \quad (5.22)$$

Постоянная времени регулятора потокосцепления:

$$T_{p\Psi} = T_2 = \frac{1}{A_r} = \frac{1}{3.1635} = 0.3161 \text{ с} \quad (5.23)$$

$$\text{Где } A_r = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.113}{0.0357} = 3.1635 \text{ Ом/Гн}$$

На основании выше приведенных расчетов и структурной схемы производим сбор контура управления составляющей потокосцепления в среде *Matlab Simulink* (рисунок 5.16)

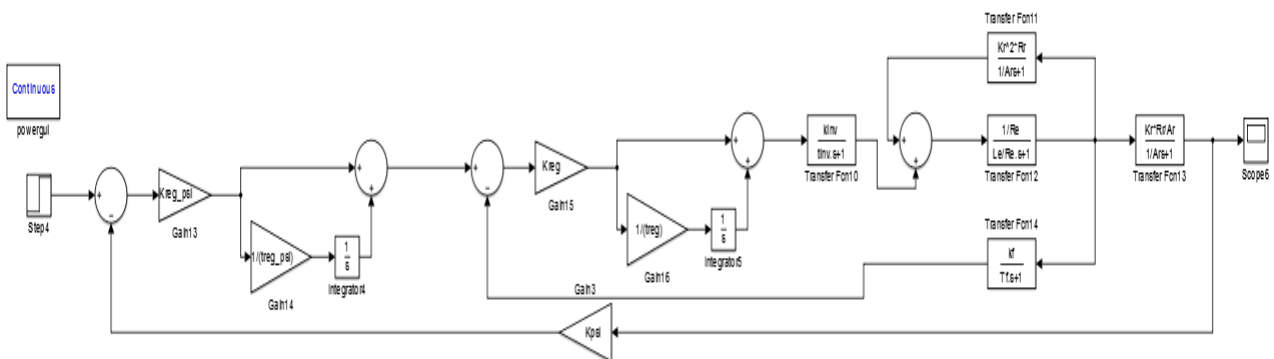


Рисунок 5.16 - Имитационная модель управления составляющей контура
потокосцепления

Произведем расчет ожидаемых показателей качества для контура регулирования потокосцепления.

Ожидаемые показатели качества для контура потокосцепления будут:

1) Установившаяся ошибка $\Delta \Psi_{r,уст} = 0$;

2) Полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(м)} \approx \frac{(0.71 \div 0.9)}{T_T} = \frac{(0.71 \div 0.9)}{0.0008} = 887.5 \div 1125 \frac{рад}{с};$$

3) Полоса пропускания по фазе $\omega_{\Pi}^{(ф)} \approx \omega_{\Pi}^{(м)}$;

4) Время первого и окончательного вхождения в пятипроцентную зону

$$t_{py1}^{(5)} = t_{py2}^{(5)} \approx (4.1 \div 2.75) \cdot T_T = (4.1 \div 2.75) \cdot 0.0008 = 0.00328 \div 0.0022, с;$$

5) Перерегулирование $\sigma = (4.3 \div 6.7)\%$;

Определяем действительные показатели качества из характеристик переходного процесса контура потокосцепления (рисунок 5.16) и его ЛАЧХ и ЛФЧХ (рисунок 5.17).

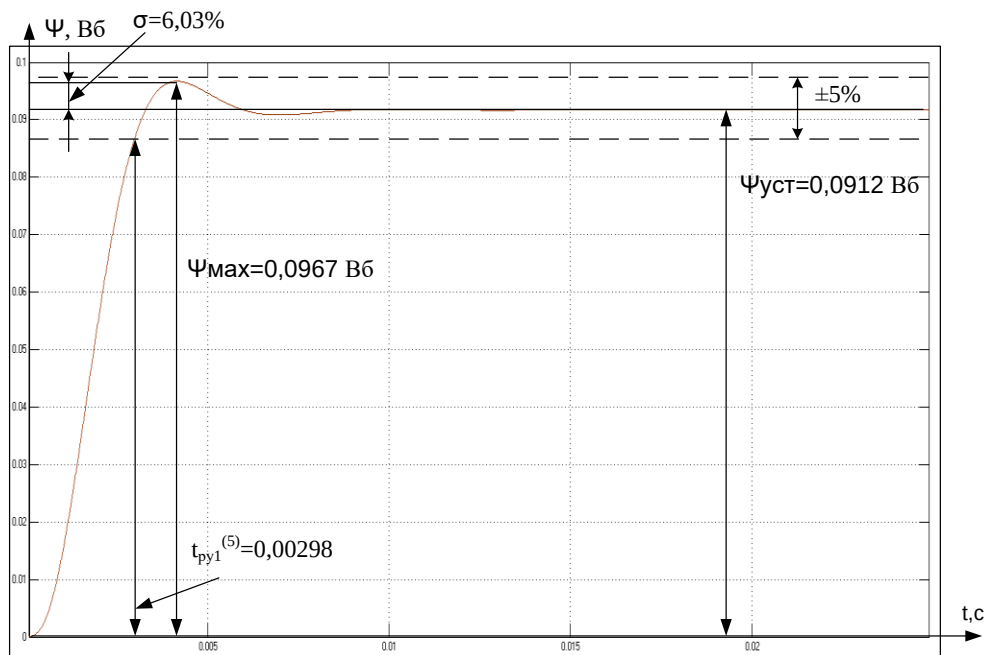


Рисунок 5.17 - Характеристика переходного процесса контура потокосцепления полученная в среде Matlab Simulink.

Таблица 5.5 - Полученные расчетные и действительные данные показателей качества

$t_{рег}, c$	$\sigma \%$	$\Delta \Psi_{уст}, Bб$
Ожидаемые показатели		
0,00328	6,7	0
Результаты моделирования		
0,00298	6,03	0

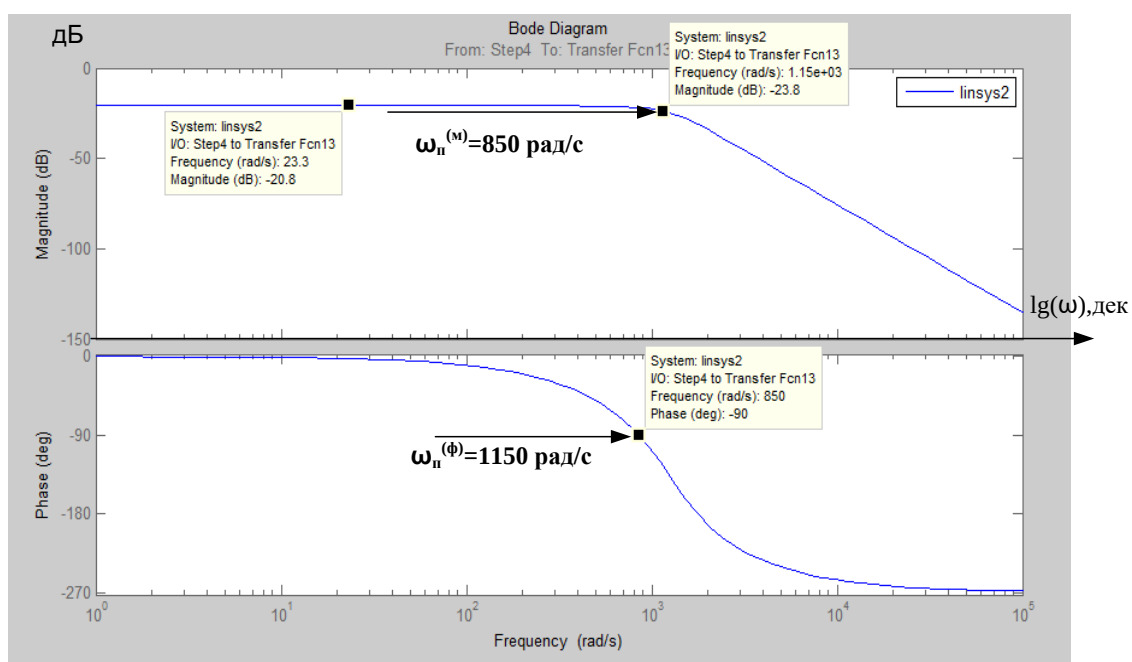


Рисунок 5.18 - ЛАЧХ и ЛФЧХ характеристики контура потокосцепления

Таблица 5.6 - Полученные расчетные и действительные данные показателей качества

$\omega_n^{(M)}, \text{рад/с}$	$\omega_n^{(\Phi)}, \text{рад/с}$	$\sigma \%$
Ожидаемые показатели		
1125	1125	6,7
Результаты моделирования		
850	1150	4,83

Контур скорости

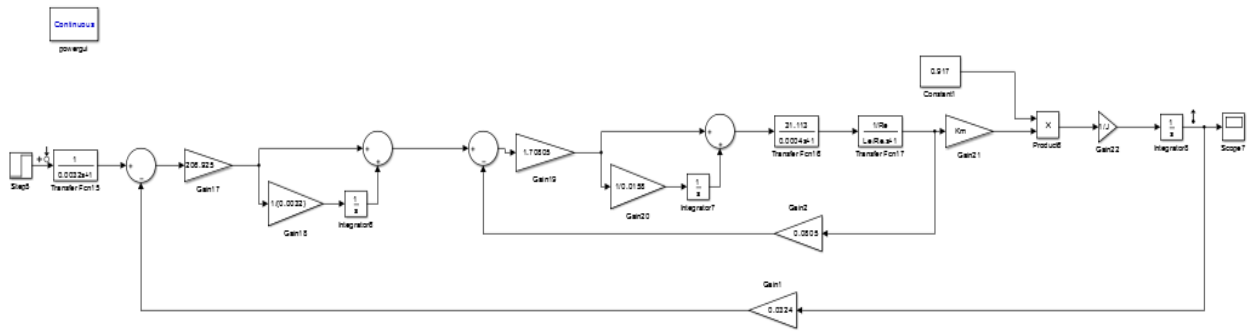


Рисунок 5.19 - Имитационная модель контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором в среде *Matlab Simulink*.

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией первого порядка. [10]

$$W(p)_{\text{зам.Т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1}$$

Где эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu\text{Тэ}} = a_T \cdot T_{\mu\text{ПП}} = 2 \cdot 0.0004 = 0.0008 \text{ с}$$

Структурная схема для исследования контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 5.20.

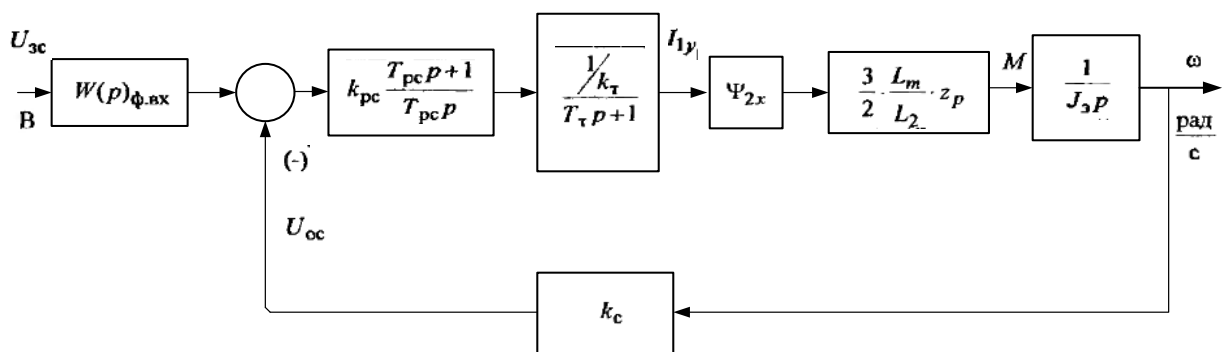


Рисунок 5.20 - Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости:

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяется по выражению:

$$k_{pc} = \frac{J_{\varepsilon} \cdot k_T}{\Psi_{2x} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_T} = \frac{3 \cdot 0.062 \cdot 0.0805}{0.917 \cdot 1.5 \cdot \frac{0.0337}{0.0357} \cdot 1 \cdot 0.0324} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.0008} = 206,925$$

$$T_{pc} = a_c \cdot b_c \cdot T_T = 2 \cdot 2 \cdot 0.0008 = 0.0032 \text{ с}$$

Где $a_c = b_c = 2$ -коэффициенты оптимизации.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_c = \frac{U_{\varepsilon \cdot \text{макс}}}{\omega_{\varepsilon \cdot \text{макс}}} = \frac{10}{307.52} = 0.0324 \text{ В*с/рад}$$

На входе контура достаточно установить один сглаживающий фильтр типа:

$$W(p)_{\phi.вх} = \frac{1}{T_{\phi.вх2} \cdot p + 1};$$

$$T_{\phi.вх2} = b_c \cdot a_c \cdot T_T = 2 \cdot 2 \cdot 0.0008 = 0.0032 \text{ с}$$

На основании вышеприведенных расчетов и структурной схемы собирается имитационная модель контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором (рисунок 5.19).

Определяем ожидаемые показатели качества для контура скорости:

- 1) Установившаяся ошибка $\Delta\omega_{уст}=0$;
- 2) Полоса пропускания по модулю $\omega_{п}^{(м)} = \frac{(0.5 \div 0.54)}{T_T} = 625 \div 675 \text{ рад/с}$
- 3) Полоса пропускания по фазе $\omega_{п}^{(ф)} = \frac{(0.36 \div 0.42)}{T_T} = 450 \div 525 \text{ рад/с}$
- 4) Перерегулирование $\sigma = (8.1 \div 10)\%$
- 5) Время первого и окончательного вхождения в пятипроцентную зону
 $t_{py1}^{(5)} \approx (7 \div 5.8) \cdot T_T = (7 \div 5.5) \cdot 0.0008 = 0.0056 \div 0.00464, \text{ с}$
 $t_{py2}^{(5)} \approx (12 \div 9.5) \cdot T_T = (12 \div 9.5) \cdot 0.0008 = 0.0096 \div 0.0076, \text{ с}$

Определяем действительные показатели качества из характеристик переходного процесса контура скорости (рисунок 5.21) и его ЛАЧХ и ЛФЧХ (рисунок 5.22).

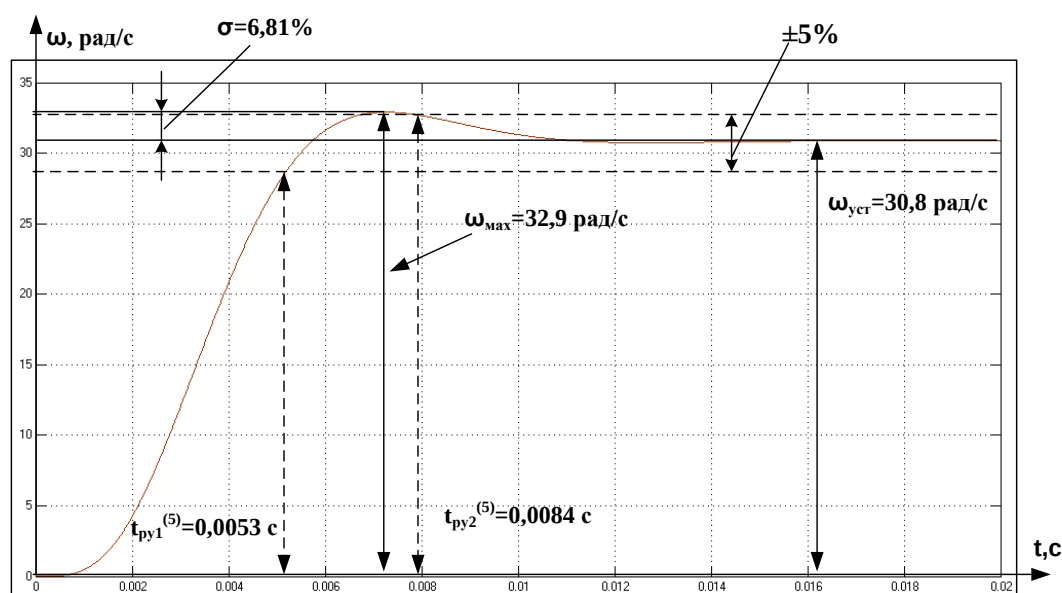


Рисунок 5.21 - Характеристика переходного процесса контура скорости

Таблица 5.7 - Полученные расчетные и действительные данные показателей качества

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma \%$	$\Delta \omega_{уст},$ рад/с
Ожидаемые показатели			
0,0056	0,0096	8,1	0
Результаты моделирования			
0,0053	0,0084	6,81	0

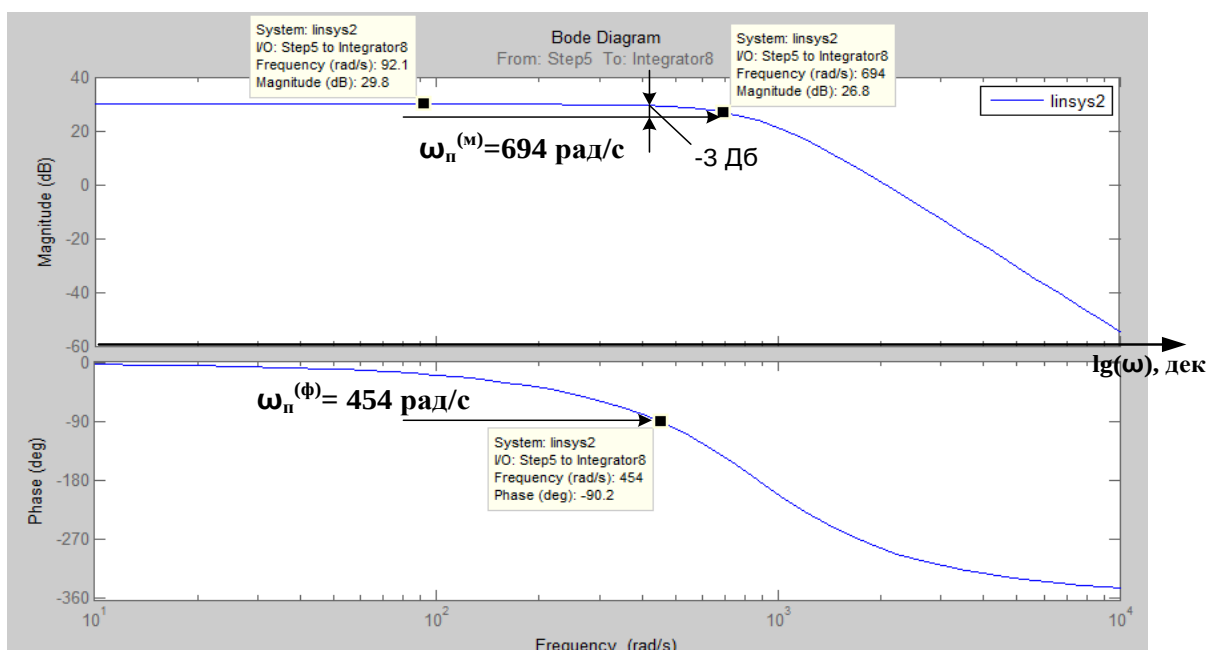


Рисунок 5.22 - ЛАЧХ и ЛФЧХ характеристики контура скорости

Таблица 5.8 - Полученные расчетные и действительные данные показателей качества

$\omega_n^{(M)}$, рад/с	$\omega_n^{(\Phi)}$, рад/с	σ %
Ожидаемые показатели		
625,5	450	8,1
Результаты моделирования		
694	454	6,81

После того как мы получили требуемые результаты оптимизации, произвели совместную сборку контуров. Общий вид модели двигателя в стационарной системе координат с оптимизированными контурами представлен в среде *Matlab Simulink* (рисунок 5.23). С помощью этой модели получаем переходные процессы по скорости и потокосцеплению.

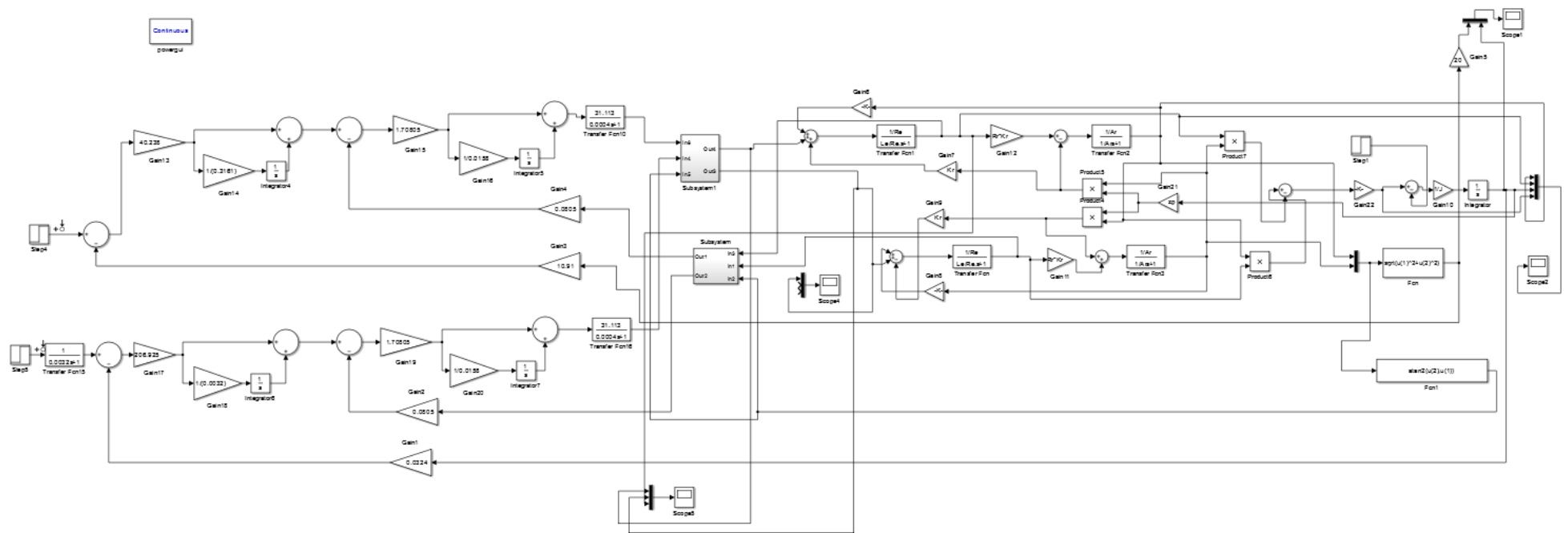


Рисунок 5.23- Общий вид модели двигателя в стационарной системе координат с оптимизированными контурами
в среде *Matlab Simulink*

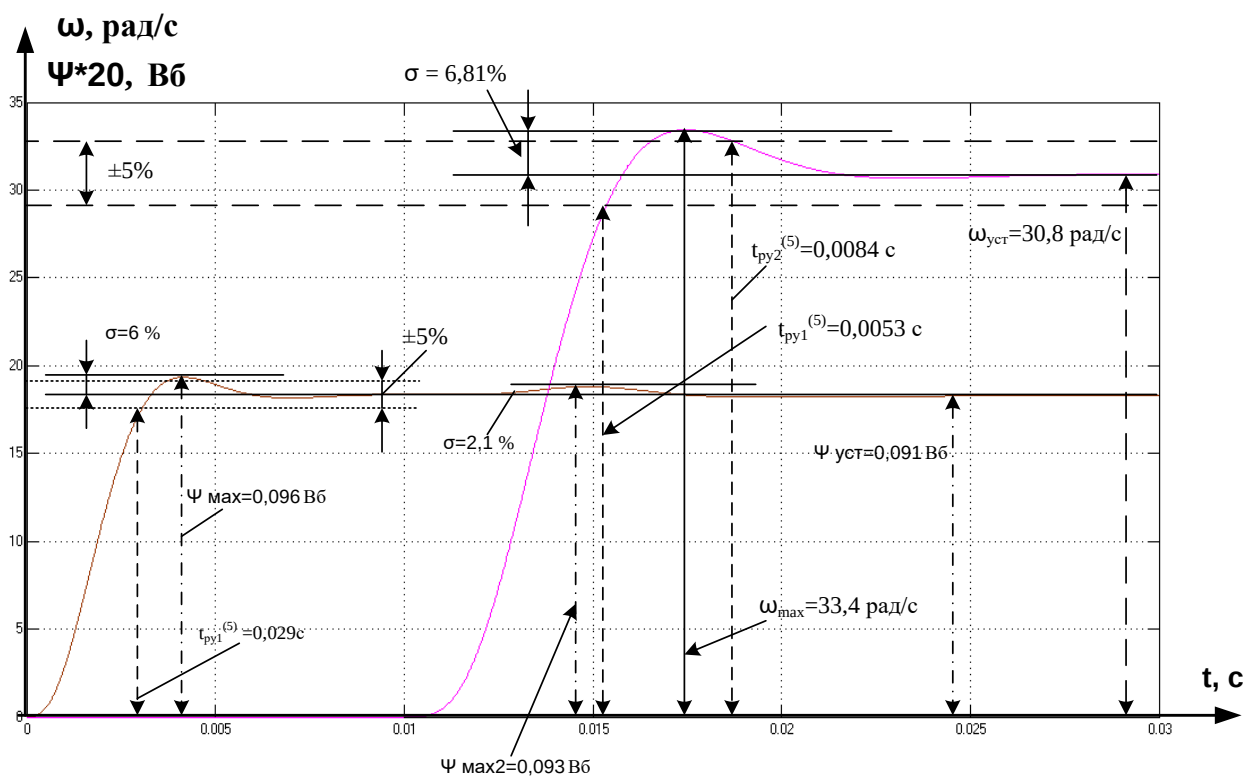


Рисунок 5.24 – Переходные процессы по скорости и потокоцеплению в стационарной системе координат

После того как мы получили требуемые результаты оптимизации, произвели совместную сборку контуров. Общий вид модели двигателя во вращающейся системе координат с оптимизированными контурами представлен в среде *Matlab Simulink* (рисунок 5.25). С помощью этой модели получаем переходные процессы по скорости и потокоцеплению.

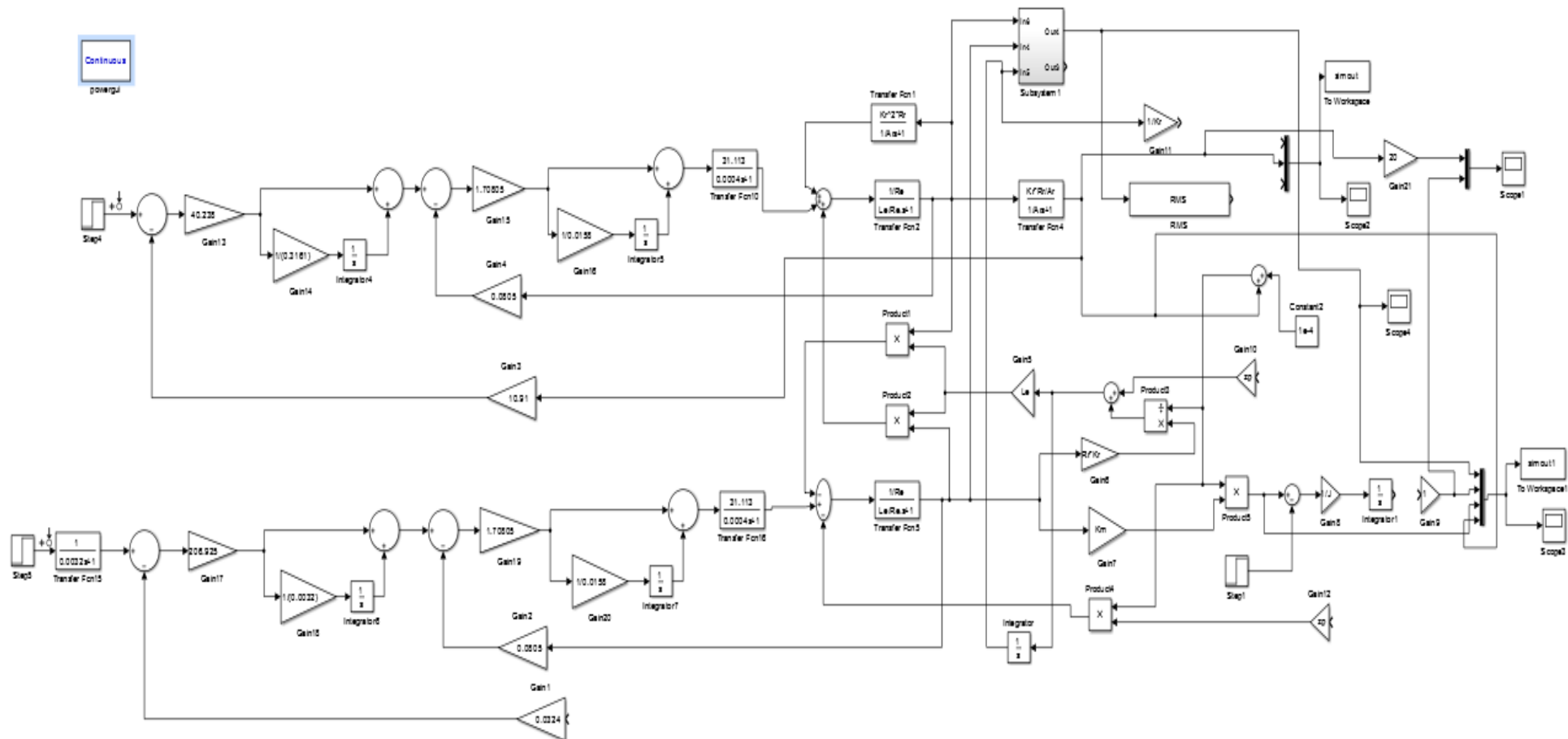


Рисунок 5.25 Общий вид модели двигателя во вращающейся системе координат с оптимизированными контурами в среде *Matlab Simulink*

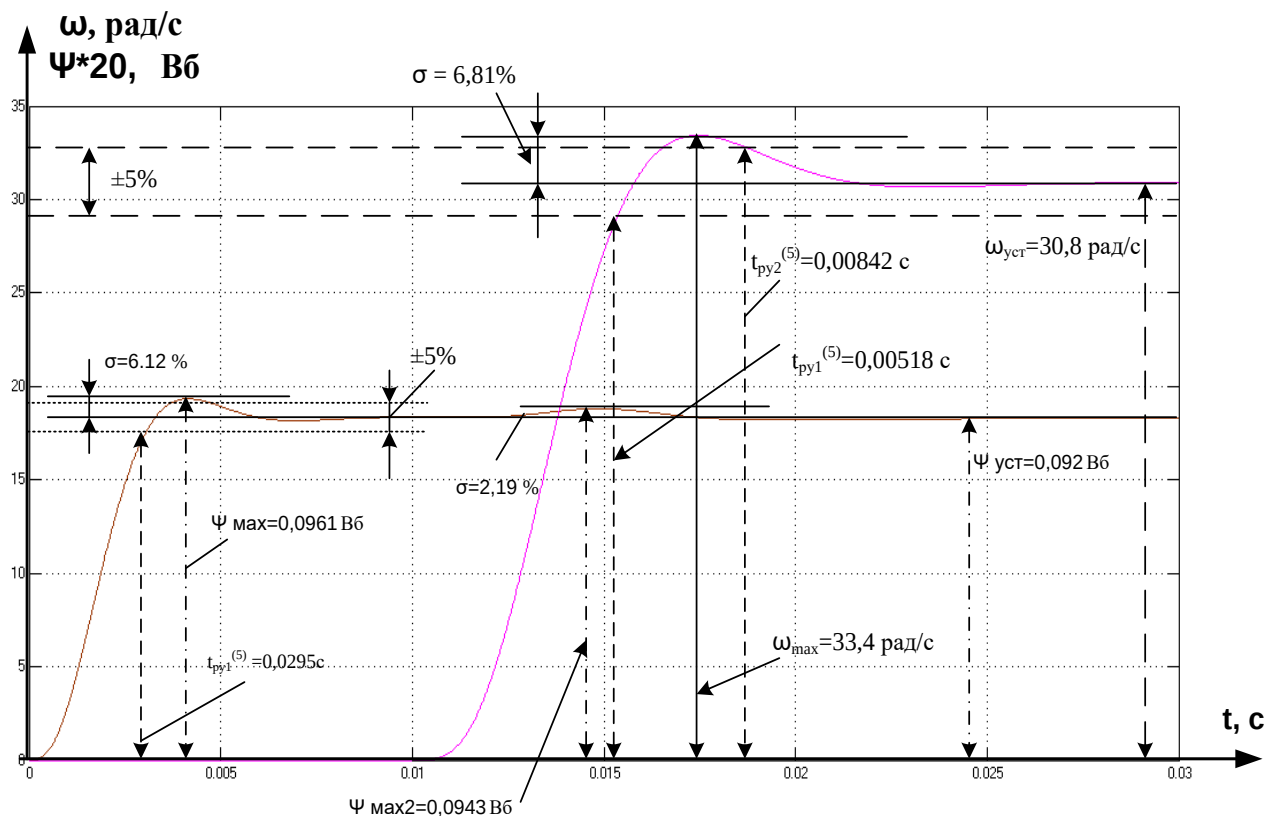


Рисунок 5.26 – Переходные процессы по скорости и потокоцеплению во вращающейся системе координат

Контур скорости $\omega(t)$ оказывает влияние на контур потокоцепления $\psi(\omega)$. Значение, которое установилось на потокоцеплении уменьшилось при включении контура скорости.

В итоге после подмены систем произошло незначительное изменение перерегулирования по скорости и потокоцеплению из-за этого немного изменилось время вхождения в пятипроцентную зону.

6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗДАТЧИКОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

6.1. Косвенное определение переменных АД, недоступных для прямого измерения (угол поворота и потокосцепление) [11]

Для организации высококачественных систем векторного управления АД требуется информация о некоторых переменных, недоступных для прямого измерения. К таким переменным относятся, прежде всего, угол поворота и амплитуда вектора потокосцепления ротора. Амплитуда вектора используется для организации обратной связи в контуре управления потокосцеплением ротора, а угол поворота применяется для ориентации вращающейся системы координат.

По развитию систем косвенного определения переменных существует огромное количество работ: известны варианты с расчётом электромагнитных контуров АД, широкое применение получили системы на основе имитационных моделей АД с автоматической ориентацией и восстановлением информации о координатах системы на основе Фильтра Калмана-Бьюси.

Точность косвенной оценки переменных АД, недоступных для прямого измерения, в конечном итоге определяет качество работы всего асинхронного электропривода с векторным управлением.

Анализ различных способов восстановления переменных и координат АД, недоступных для прямого измерения показал, что для общепромышленного асинхронного ЭП с векторным управлением наилучшим вариантом является применение системы на основе имитационной модели АД с автоматической ориентацией системы координат.

В работе применен метод расчёта составляющих пространственного вектора потокосцепления статора на основе уравнений электромагнитной связи с ротором (6.1) и взаимодействия с параметрами статорной обмотки АД (6.2) и (6.3).

$$\rho\psi_r = k_r \cdot r_r \cdot i_{sx} - a_r \cdot \psi_r \quad (6.1)$$

$$\psi_{sa}^w = l_e \cdot i_{sa} - k_r \cdot \psi_{ra} \quad (6.2)$$

$$\psi_{s\beta}^w = l_e \cdot i_{s\beta} - k_r \cdot \psi_{r\beta} \quad (6.3)$$

С другой стороны, составляющие пространственного вектора потокосцепления статора могут быть определены через составляющие векторов тока и напряжения статора, уравнения (6.4) и (6.5).

$$\rho\psi_{sa}^u = u_{sa} - r_s \cdot i_{sa} \quad (6.4)$$

$$\rho\psi_{s\beta}^u = u_{s\beta} - r_s \cdot i_{s\beta} \quad (6.5)$$

При сравнении составляющих вектора потокосцепления статора определённых различными путями, ввиду отклонений между параметрами схемы замещения и реальным АД определяется ошибка. С помощью ПИ-регуляторов в уравнения (6.4) и (6.5) вводятся дополнительные параметры.

$$\rho\psi_{sa}^u = u_{sa} - r_s \cdot i_{sa} - u_{ca} \quad (6.6)$$

$$\rho\psi_{s\beta}^u = u_{s\beta} - r_s \cdot i_{s\beta} - u_{c\beta} \quad (6.7)$$

$$u_{ca} = (\psi_{sa}^u - \psi_{sa}^w) \cdot W_{pez}(p) \quad (6.8)$$

$$u_{c\beta} = (\psi_{s\beta}^u - \psi_{s\beta}^w) \cdot W_{pez}(p) \quad (6.9)$$

Где

$$W_{pez}(p) = k_{pez} \cdot \frac{(pt+1)}{pt_{pez}}$$

Таким образом, на основе уточнённых данных о составляющих вектора потокосцепления статора определяем составляющие пространственного вектора потокосцепления ротора в стационарной системе координат

$$\psi'_{ra} = \frac{1}{k_r} \cdot \psi^u_{sa} - \frac{l_e}{k_r} \cdot i_{sa} \quad (6.10)$$

$$\psi'_{r\beta} = \frac{1}{k_r} \cdot \psi^u_{s\beta} - \frac{l_e}{k_r} \cdot i_{s\beta} \quad (6.11)$$

$$\psi'_{\beta} = \sqrt{(\psi'_{ra})^2 + (\psi'_{r\beta})^2} \quad (6.12)$$

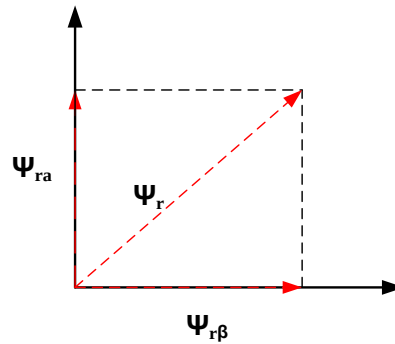


Рисунок 6.1 - Формирование вектора потокосцепления ротора

$$\theta'_{\psi r} = \arctan \sqrt{\left(\frac{\psi'_{r\beta}}{\psi'_{ra}} \right)} \quad (6.13)$$

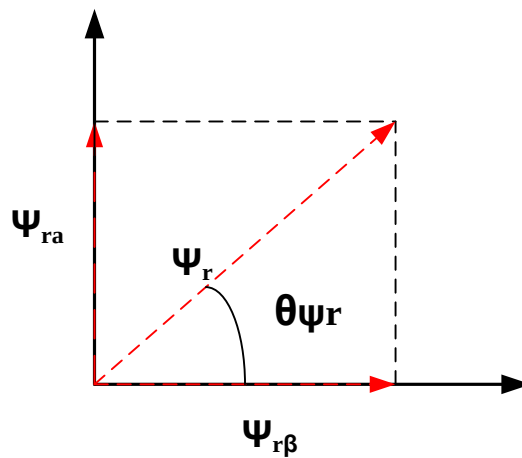


Рисунок 6.2 - Соотношение между углом поворота и амплитудой потокосцепления ротора

На основании уравнений (6.1 – 6.13) составим структурную схему системы косвенной оценки переменных, недоступных для прямого измерения. В качестве входных параметров будем рассматривать составляющие пространственных векторов напряжений и токов статора в стационарной системе координат, а в качестве выходных переменных – модуль вектора потокосцепления ротора и его угол поворота в пространстве относительно стационарной системы координат.

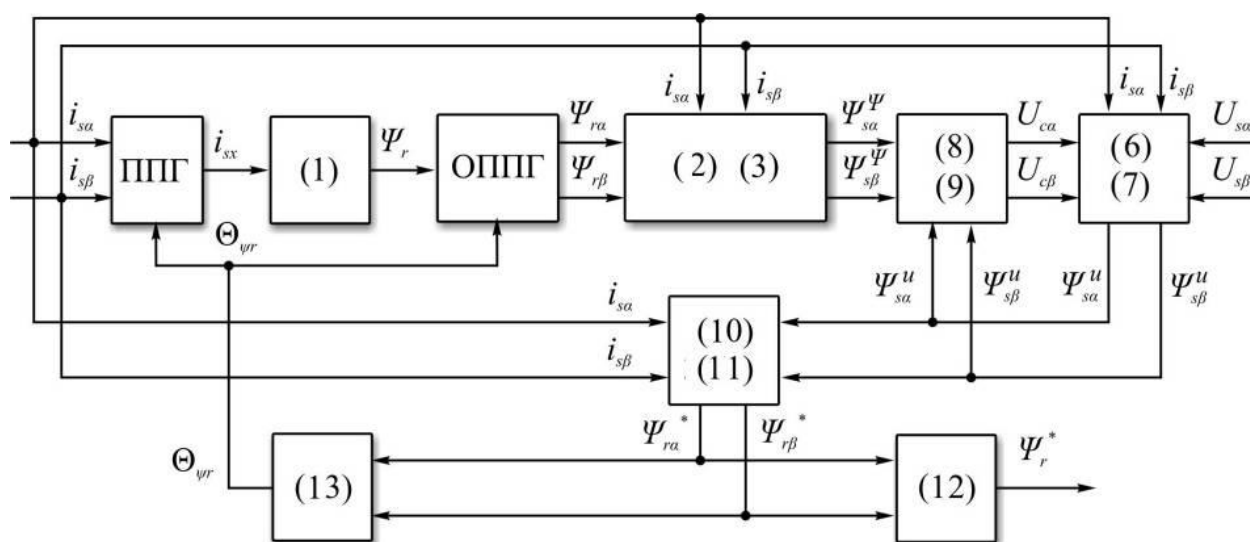


Рисунок 6.3 - Структурная схема системы косвенной оценки переменных, недоступных для прямого измерения.

На рисунке 6.4 представлена имитационная модель неподвижной системы управления с автоматической ориентацией координат. Расчетным блоком Subsystem2 представлена система бездатчикового регулирования.

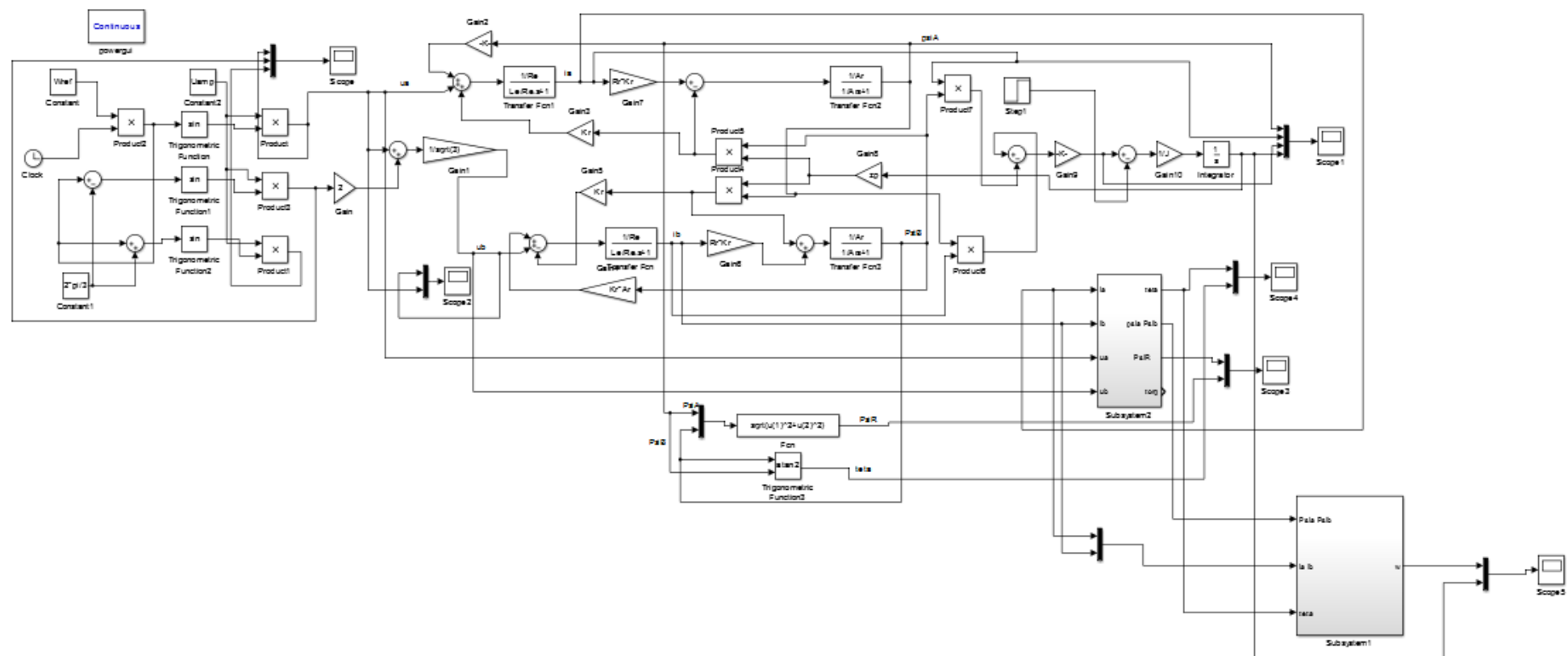
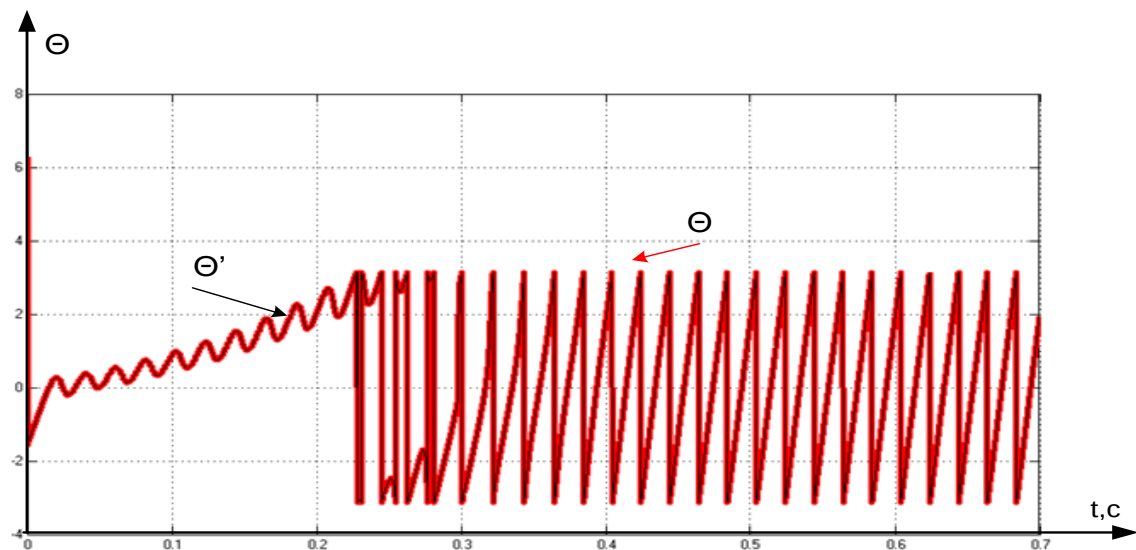


Рисунок 6.4 – Бездатчиковое управления в неподвижной системе координат

На графиках (рисунок 6.6 и рисунок 6.7) показано как меняется угол поворота Θ и потокосцепление Ψ .



90

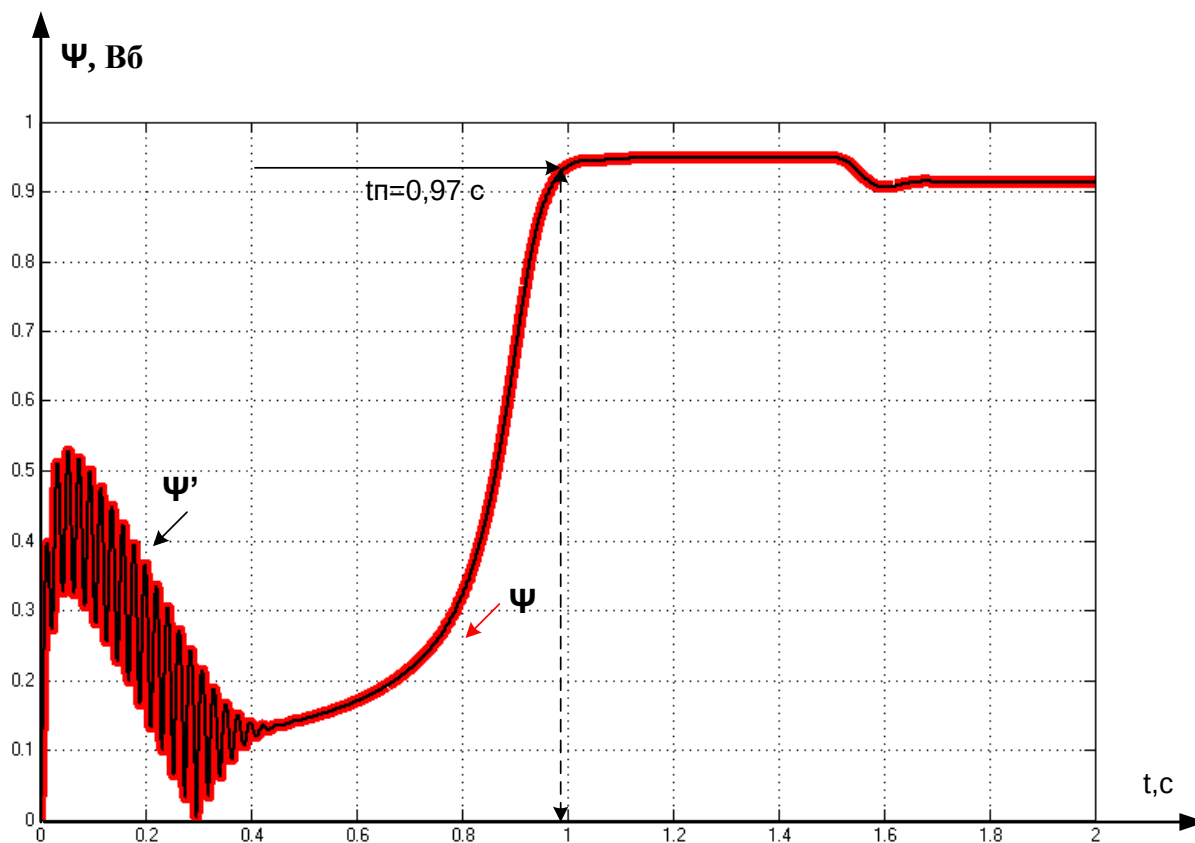


Рисунок 6.7 - Сравнение графиков изменения модуля
потокосцепления ротора

С использованием датчика автоматической ориентации координат можно сделать вывод, что значения угла поворота и значение потокосцепления полностью совпадают и дублируют друг друга. т.е. было произведено сравнение блоков из имитационной модели в неподвижной системе координат и бездатчиковой модели. Делается это для того, чтобы понять насколько адекватные и верные показания выдает модуль косвенной оценки.

6.2. Косвенное определение переменных АД, недоступных для прямого измерения (скорость вращения ротора АД) [11]

Развитие систем векторного управления асинхронными двигателями является в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений для развития асинхронного электропривода. Применительно к электроприводу многих общепромышленных механизмов, класс систем без датчика обратной связи по скорости широко востребован по причине сложных условий эксплуатации и стремления повысить надёжность электропривода с одновременным снижением его себестоимости.

Выражение для определения составляющих вектора потокосцепления ротора в неподвижной системе координат:

$$\psi_{ra} = L_r \cdot i_{ra} - L_m \cdot i_{sa} \quad (6.14)$$

$$\psi_{r\beta} = L_r \cdot i_{r\beta} - L_m \cdot i_{s\beta} \quad (6.15)$$

Из предыдущих формул выразим составляющие вектора тока ротора:

$$i_{ra} = \frac{1}{L_r} \cdot (\psi_{ra} - L_m \cdot i_{sa}) \quad (6.16)$$

$$i_{r\beta} = \frac{1}{L_r} \cdot (\psi_{r\beta} - L_m \cdot i_{s\beta}) \quad (6.17)$$

Формулы (6.18) и (6.19) помогают найти производные компонентов вектора потокосцепления ротора:

$$0 = R_r \cdot i_{ra} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta} + \frac{d\psi_{ra}}{dt} \quad (6.18)$$

$$0 = R_r \cdot i_{r\beta} - \omega_r \cdot \psi_{ra} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} \quad (6.19)$$

Из формул (6.18) и (6.19) выражаем производные компонентов вектора потокосцепления ротора и подставляем их в (6.16) и (6.17).

$$\frac{d\psi_{ra}}{dt} = -\frac{1}{\tau_r}\psi_{ra} + \frac{L_m}{\tau_r}i_{ra} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta} \quad (6.20)$$

$$\frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = -\frac{1}{\tau_r}\psi_{r\beta} + \frac{L_m}{\tau_r}i_{r\beta} - \omega_r \cdot \psi_{r\alpha} \quad (6.21)$$

Где

$$\tau_r = \frac{L_r}{R_r} \quad (6.22)$$

Используем формулы модуля и углового поворота для вычисления параметров вектора потокосцепления ротора:

$$\theta_r = \arctan \sqrt{\left(\frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{ra}} \right)} \quad (6.23)$$

$$\psi_r = \sqrt{\psi_{ra}^2 + \psi_{r\beta}^2} \quad (6.24)$$

Формула для определения синхронной скорости:

$$\omega_e = \frac{d\theta_r}{dt} = \frac{d \left(\arctan \left(\frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{ra}} \right) \right)}{dt} \quad (6.25)$$

Более удобная форма арктангенса:

$$\frac{d \left(\arctan(u) \right)}{dt} u^2 = \frac{1}{1+} \cdot \frac{du}{dt} \quad (6.26)$$

$$\text{Где } u = \frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{ra}} \quad (6.27)$$

Делаем подстановку выражения и получаем:

$$\omega_e = \frac{d\theta_r}{dt} = \frac{\psi_{r\beta}^2}{\psi_r^2} \cdot \left(\frac{\psi_{ra} \cdot \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \psi_{r\beta} \cdot \frac{d\psi_{ra}}{dt}}{\psi_{ra}^2} \right) \quad (6.28)$$

Подставив в выражение (6.28), определенные ранее формулы и получаем:

$$\omega_e = \frac{d\theta_r}{dt} = \omega_r + \frac{1}{\psi_r^2} \cdot \frac{L_m}{\tau_r} (\psi_{ra} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{sa}) \quad (6.29)$$

Первая часть выражения (6.29) соответствует скольжению АД, которое зависит от величины его электромагнитного момента

$$M_e = \frac{3}{2} \cdot zp \cdot \frac{L_m}{L_r} (\psi_{ra} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{sa}) \quad (6.30)$$

Итоговая формула для расчета скорости АД:

$$\omega_r = \omega_e - \frac{1}{\psi_r^2} \cdot \frac{L_m}{L_r} (\psi_{ra} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{sa}) \quad (6.31)$$

На рисунке 6.8 представлена имитационная модель без обратной связи по потокоцеплению, в которой представлена расчетная скорость вращения вала двигателя (ω).

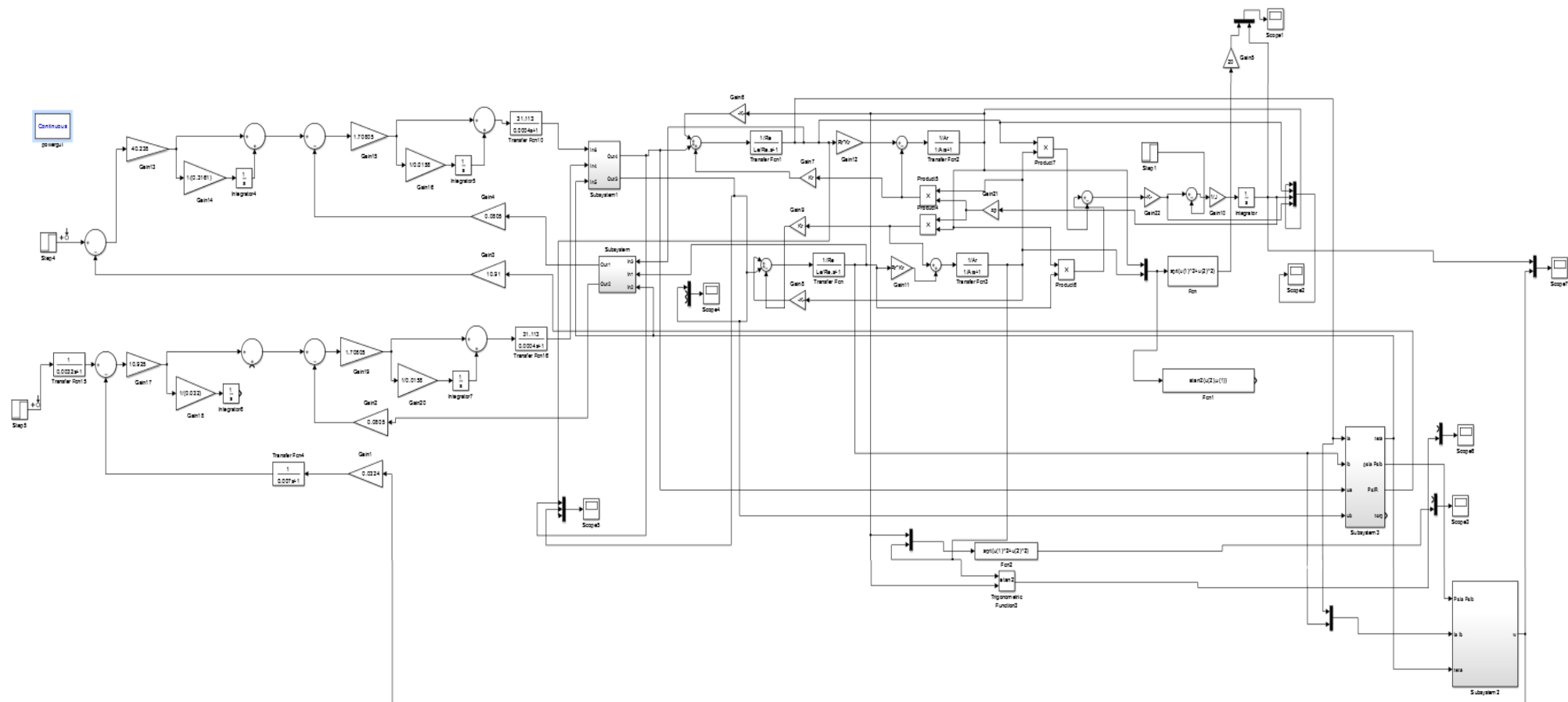


Рисунок 6.8 – Модель в системе электропривода без обратной связи по потокуцеплению

Система оценивания работает только на основании информации, которая к ней поступает из расчётного блока Subsystem2 (рисунок 6.9).

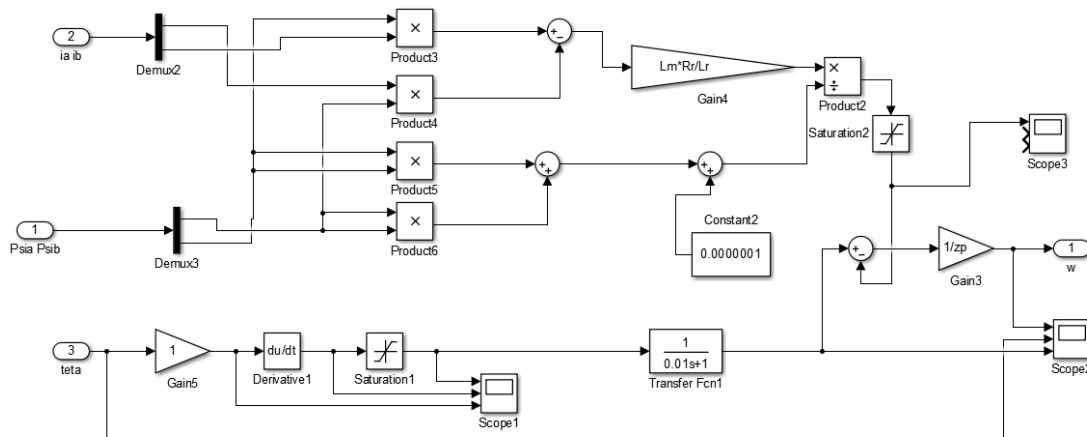


Рисунок 6.9 – Имитационное моделирование блока управления по скорости

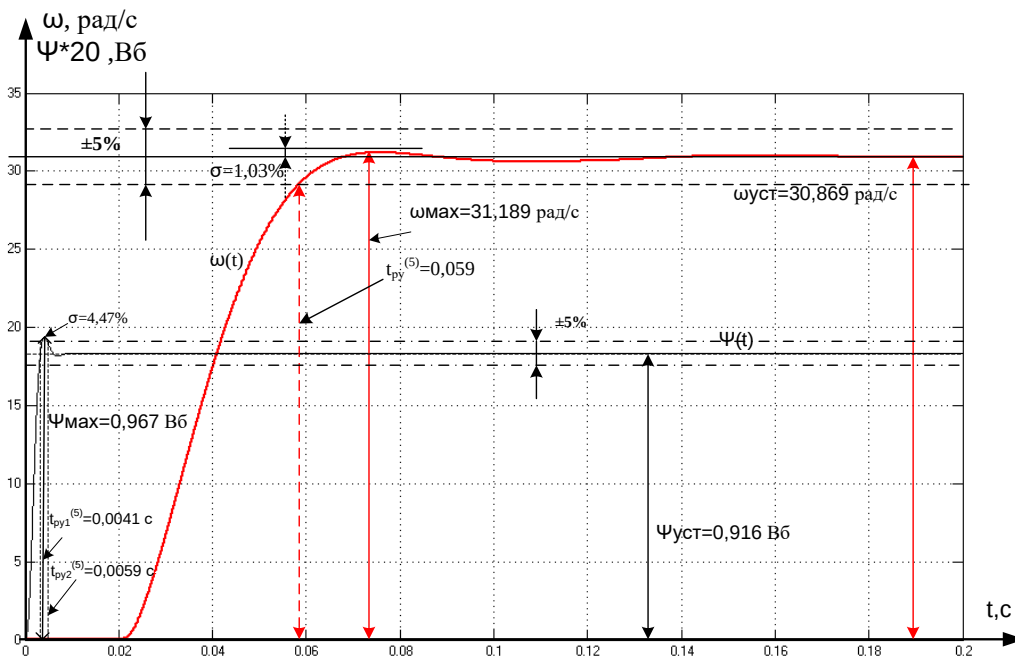


Рисунок 6.10 - Переходные процессы в системе асинхронного электропривода с бездатчиковым векторным управлением

Проанализировав рисунок 6.10 можно сделать вывод, что максимальные значения скорости и потокосцепления не превышают максимальных рассчитанных значений. Следовательно, можно

сделать вывод, что система работает исправно и может быть применена на практике.

Данная система векторного управления реализована исключительно на основании рассчитанных параметров по потокосцеплению ротора, углу поворота и скорости вращения вала двигателя.

Система оценивания работает исправно, модуль косвенной оценки выдает исправные значения. Следовательно, система бездатчикового векторного управления работает верно.

7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Технические средства, используемые для добычи полезных ископаемых, всегда совершенствовались и улучшались в ходе научно-технического прогресса. Так, нефтяные насосы и подобное им, насосное оборудование находят активное применение на насосных станциях сельского и даже городского назначения. Основной их функцией является объемное и напорное дозирование нейтральных, а также агрессивных жидкостей.

Для выполнения перекачивающей, а также добывающей функции, нефтяные насосы подключаются к специальным двигателям. Примечательно, что в случае поломки для ремонта нефтяного насоса не требуется демонтировать двигатель.

Нефтяная промышленность занимает огромное место в экономике нашей страны. Добыча и транспортировка нефти обладает очень большой энергоемкостью, и она постоянно нуждается в модернизации энергосистем, потому что огромное количество оборудования и энергосистем в целом морально устарели.

Целью является технико-экономическое обоснование внедрения системы автоматического управления нефтеперекачивающего насосного агрегата.

7.1. Обоснование целесообразности использования отечественного оборудования

Цель: экономическое обоснование целесообразности внедрения данной системы векторного управления асинхронными электроприводами.

Любая инженерная идея должна быть подтверждена экономически. В конечном итоге важно сэкономить на работе, на пуске и обслуживании оборудования. Рассмотрим в выпускной работе импортозамещение

преобразователя частоты. За счет интеллектуальной научной ценности, которая реализована в данной системе управления, достигнуты те же показатели, которые будут в дорогих источниках. Но благодаря тому, что существует система управления, которую пытаемся разработать, получаются характеристики на уровне тех же самых, которые были получены ранее у дорогих зарубежных частотных преобразователей.

7.2. Сравнительный анализ технических характеристик преобразователей частоты отечественного и зарубежного производства

Для дальнейшего рассмотрения выпускной работы выберем и сравним преобразователи частот, используемые в системе ПЧ-АД. Преобразователь частоты — радиоэлектронное устройство для преобразования электрического сигнала путём переноса его спектра на некоторый интервал по оси частот.

7.3. Обоснование инвестиционных и эксплуатационных затрат при использовании преобразователей частоты отечественного и зарубежного производства

Все основные задачи развития экономики решаются с помощью инвестиций — от создания новых объектов предпринимательской деятельности до обновления, технического перевооружения действующих предприятий

Инвестиции — это совокупность затрат, реализуемых в форме целенаправленного вложения капитала на определённый срок в различные отрасли и сферы экономики, в объекты предпринимательской и других видов деятельности для получения прибыли (дохода) и достижения как индивидуальных целей инвесторов, так и положительного социального эффекта. В качестве инвестиций могут выступать денежные средства, целевые банковские вклады, паи, акции, облигации и другие ценные бумаги, движимое и недвижимое имущество, объекты авторского права, патенты,

права пользования землей, природными ресурсами, а также любым другим имуществом или имущественными правами.

7.4. Роль инвестиций в экономике предприятия

Роль инвестиций в экономике имеет огромное значение для ее развития. Количественное изменение инвестиций воздействует на объем производств и соответственно занятости, сдвиги в развитии экономики, развитие различных отраслей хозяйства.

Кроме того, что благодаря инвестициям происходит накопление фондов предприятия, инвестиции также оказывают влияние на текущие и будущие результаты хозяйственной деятельности. Для этого необходимо, чтобы инвестирование осуществлялось в более эффективных формах, так как вложение капитала в устаревшее производство не принесет ожидаемого экономического результата. Непродуманное использование инвестиций может повлечь за собой замораживание ресурсов, соответственно, сокращение производства продукции.

Инвестиции как экономическая категория выполняют ряд важных функций, без которых невозможно развитие экономики. Они определяют рост экономики, повышают ее производственный потенциал.

В состав инвестиций входят денежные средства в форме привлеченных средств (акций), заемных средств, собственных средств, а также в форме конкретных материально-вещественных элементов, вносимых участниками инвестиционного процесса для создания (развития, модернизации) объекта предпринимательской деятельности.

Согласно существующему законодательству под инвестиционной деятельностью понимается вложение инвестиций и осуществление

практических действий в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта.

В целом инвестиционную деятельность можно определить как единство процессов вложения ресурсов и получения доходов в будущем.

Субъекты инвестиционной деятельности могут выступать одновременно и как инвесторы, и как пользователи объектов инвестиционной деятельности, а также совмещать функции других участников этой деятельности.

С точки зрения затрат инвестиции характеризуют направления вложений и выступают как объекты инвестиционной деятельности. Они включают: основной и оборотный капитал, ценные бумаги и целевые денежные вклады, нематериальные активы.

7.5. Методики оценки инвестиций. Динамический метод оценки инвестиций

Методы оценки инвестиций, основанные на применении концепции дисконтирования:

1. Оценка инвестиций по чистой текущей стоимости (NPV-метод)

Метод оценки эффективности инвестиционных проектов основан на определении чистой текущей стоимости чистого дисконтированного дохода – ЧДД, чистого приведенного дохода, на которую может увеличиться (стоимость) предприятия (фирмы, объекта) в результате реализации проекта.

Чистая текущая стоимость – это стоимость, полученная путем дисконтирования отдельно на каждый временной период разновидности всех оттоков и притоков доходов и расходов, накапливающихся за весь период функционирования объекта инвестирования при фиксированной, заранее определенной процентной ставке (норме процента). Это один из методов оценки инвестиционных проектов, предложенных ЮНИДО. Его суть в том,

что для каждого периода величина чистого потока годовой наличности приводится к году начала осуществления проекта, что в сумме и представляет собой чистую текущую стоимость или чистый дисконтированный доход (как разность между дисконтированными потоками доходов и расходов).

Чистая текущая стоимость является непосредственным воплощением концепции дисконтированной стоимости.

Формулу для расчета чистой текущей стоимости NPV можно определить в следующем виде:

$$NPV = \sum P_t / (1+r)^t - K, \quad (7.1)$$

где P – годовой чистый поток реальных денег (поступлений денежных средств, денежный поток) в t -м году; t – периоды реализации инвестиционного проекта, включая этап строительства ($t = 0, 1, 2, \dots, T$); E – ставка дисконтирования (желаемая норма прибыли, рентабельности); K – инвестиционные расходы.

Чистая текущая стоимость показывает, действительно ли данные инвестиции в течение жизненного цикла достигают использованного в расчетах уровня доходности E .

Достоинства и недостатки метода чистого дисконтированного дохода

Таблица 7.1 - Достоинства и недостатки метода чистого дисконтированного дохода

Достоинства	Недостатки
1. Отражает доходы от инвестиций (превышение поступлений над начальными выплатами)	1. NPV - показатель абсолютный (эффект), т.е. он не учитывает размера альтернативных инвестиционных проектов
2. Учитывает срок жизни инвестиционного проекта и распределение во времени денежных потоков	2. Не показывает прибыльности (эффективности) проекта, так как показатель абсолютный

3. Выражается в стоимостных единицах текущей стоимости, т.е. учитывает фактор времени	3. Зависит от величины нормы дисконта
4. Показатель аддитивен во временном аспекте, т.е. NPV различных проектов можно суммировать	4. Ставка дисконта обычно принимается неизменной для всего горизонта учета. Однако в будущем она может изменяться в связи с изменением экономических условий
5. Отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия инвестиционного проекта, в т.е, изменение «ценности фирмы»	5. Требуется детальных долгосрочных прогнозов
6. Соответствует главному критерию эффективности инвестиций.	

Несмотря на недостатки метода чистого дисконтированного дохода, показатель NPV признан в зарубежной практике наиболее надежным в системе показателей оценки эффективности инвестиций.

2. Метод расчета внутренней нормы прибыли (IRR) и рентабельности инвестиций (PI)

Внутренняя норма прибыли – это норма доходности, при которой дисконтированная стоимость притоков наличности (реальных денег) равна дисконтированной стоимости оттоков, т.е. коэффициент, при котором дисконтированная стоимость чистых поступлений от инвестиционного проекта равна дисконтированной стоимости от инвестиций, а величина чистой текущей стоимости (чистого дисконтированного дохода) – нулю.

$$IRR = E1 + (E2 - E1) * (ПЗ / (ПЗ - ОЗ)), \quad (7.2)$$

где IRR - внутренняя норма прибыли; ПЗ - положительное значение чистой текущей стоимости при низкой стоимости процента E1; ОЗ – отрицательное значение чистой текущей стоимости при высокой стоимости

процента E_2 ; E_1 и E_2 – имеют положительное значение, не должны отличаться друг от друга более чем на один или два пункта.

Показатель рентабельности инвестиций (PI), принятый для оценки эффективности инвестиций, представляет собой отношение приведенных доходов к приведенным на ту же дату инвестиционным расходам. Он позволяет определить, в какой мере возрастают средства инвестора в расчете на 1 ед. инвестиций. Его расчет можно выполнить по формуле

$$PI = \sum (P_t / (1+E)^t) / K, \quad (7.3)$$

где K – первоначальные инвестиции; P_t – денежные поступления в t -м году, которые ожидается получить благодаря этим инвестициям.

Норма дисконтирования является внутренней нормой прибыли (доходности). При норме дисконтирования, меньшей внутренней нормы окупаемости, рентабельности будет больше единицы. Таким образом, превышение над единицей показателя рентабельности проекта означает некоторую его дополнительную доходность при данной ставке процента. Показатель рентабельности меньше единицы означает неэффективность проекта.

Дисконтированный срок окупаемости - это продолжительность наименьшего периода, по истечении которого чистый дисконтированный доход становится неотрицательным и продолжает таковым оставаться.

Данный критерий аналогичен простому сроку окупаемости, но использует дисконтированные значения затрат и выгод.

7.6. Экономическое обоснование выбора преобразователя частоты отечественного производства

Произведен сравнительный анализ ПЧ отечественного и зарубежного производителя, экономический анализ инвестиционного проекта, составлен

производственный план, рассчитана сметная стоимость затрат, определены технико-экономические показатели.

7.7. Обоснование инвестиционных и эксплуатационных затрат

Необходимо рассчитать инвестиции, вкладываемые в импортозамещение, для этого исследуем их для двух преобразователей частоты. В ходе работы заменим зарубежный преобразователь частоты Delta Electronics VFD220C43A, который в разы дороже, на российский аналог преобразователя частоты ЭРАТОН-М5-22-0-1.

Таблица 7.2 - Преобразователи частоты

Вариант	Наименование	Страна-производитель	Цена, руб	Цена без НДС, руб	Срок службы, лет
А	Delta Electronics VFD220E43A	Тайвань	132 987,04	112 700,88	Не менее 6
В	ЭРАТОН-М5-22-0-1	Россия, Новосибирск	98 754	83 689,83	Не менее 10

Преобразователи частоты Delta созданы Delta Electronics, Inc., основанной в 1971 году в Тайване (головной офис Delta расположен в Тайване). Одним из направлений деятельности Delta являются приборы и средства промышленной автоматизации (подразделение компании IABU), объединяемые по принципу «Drives — Motion — Control». IABU начало свою работу в 1995 году с выпуска преобразователей частоты для управления асинхронными двигателями.

Серия VFD-C использует FOC-векторное управление в качестве базовой технологии управления двигателем, за счет чего достигаются беспрецедентно высокие характеристики привода, такие как пусковой момент, точность поддержания скорости и момента в широком диапазоне регулирования

Большой эксплуатационный ресурс в совокупности с контролем времени наработки наиболее важных компонентов обеспечивают длительную и надежную эксплуатацию изделия.

Отечественный преобразователь частоты ЭРАТОН-М5 для электроприводов насосов и вентиляторов



Рисунок 7.1 – Условное обозначение частотно-регулируемых электроприводов ЭРАТОН-М5

Преобразователи частоты данной модификации предназначены для электроприводов механизмов, имеющих «вентиляторную» механическую характеристику: вентиляторов, центробежных насосов, воздуходувок, компрессоров, центрифуг и т.д. При использовании преобразователей частоты в электроприводах таких механизмов может быть получена существенная экономия электроэнергии – от 30 до 60 %. Отличительные черты преобразователей частоты данной модификации: небольшая перегрузочная способность, управление электродвигателем по вольт/частотной характеристике, использование только динамического торможения. Относительно небольшая перегрузочная способность преобразователя достаточна для обеспечения высоких динамических показателей регулирования скорости электродвигателей насосов и вентиляторов благодаря малому моменту сопротивления нагрузки электропривода при малых частотах вращения. Таким образом,

максимальное упрощение обеспечивает минимальную цену преобразователей данной модификации.

Таблица 7.3 - Инвестиционные затраты для варианта А.

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб	Без НДС, руб
I.	Проектные работы	90 700,00	76 864,41
1.1.	Выезд инженера для оценки объекта	15 700,00	
1.2.	Разработка проекта	75 000,00	
II.	Монтажные и пусконаладочные работы	62 500,00	52 966,1
2.1	Прокладка эл. сетей	47500,00	
2.2	Установка и настройка ПЧ	15 000,00	
III.	Подготовка персонала	21 000,00	17 796,61
3.1.	Обучение	21 000,00	
	Всего	174 200,00	147 627,12

Анализ инвестиционных затрат, таким образом, позволяет сделать вывод о том, что стоимость электромонтажных и проектировочных работ инвестиционного проекта составит 174 200,00руб.

Таблица 7.4 - Инвестиционные затраты для варианта В.

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб	Без НДС, руб
I.	Проектные работы	90 700,00	76 864,41
1.1.	Выезд инженера для оценки объекта	15 700,00	

№	Наименование инвестиционных затрат	Итого, руб	Без НДС, руб
1.2.	Разработка проекта	75 000,00	
II.	Монтажные и пусконаладочные работы	62 500,00	52 966,1
2.1	Прокладка эл. сетей	47 500,00	
2.2	Установка и настройка ПЧ	15 000,00	
III.	Подготовка персонала	21 000,00	17 796,61
3.1.	Обучение	21 000,00	
	Всего	174 200,00	147 627,12

Анализ инвестиционных затрат, таким образом, позволяет сделать вывод о том, что стоимость электромонтажных и проектировочных работ инвестиционного проекта составит 174 200,00руб..

Направления вложения инвестиционных средств при реализации инвестиционного проекта отражены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Направления расходования средств, при реализации инвестиционной программы

Направления расходования средств	Вариант А		Вариант В	
	Сумма, тыс. руб. (без НДС)	Доля, %	Сумма, тыс. руб. (без НДС)	Доля, %
Проектные работы	76 864,41	29,52	76 864,41	33,22
Монтажные и пусконаладочные работы	52 966,1	20,34	52 966,1	22,89
Приобретение основных средств	112 700,88	43,29	83 689,83	37,47
Подготовка персонала	17 796,61	6,83	17 796,61	7,69
Всего	260 328,00	100	231 316,95	100

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что наиболее дешевым вариантом является использование отечественного преобразователя частоты ЭРАТОН-М5-22-0-1 (вариант В).

7.8. Эксплуатационные затраты

Рассчитаем эксплуатационные затраты. В них входят затраты на заработную плату, на мониторинг работы и прочие эксплуатационные затраты.

Заработная плата инженера (дежурного), контролирующего работу ПЧ и отвечающего за осмотр, функционирование ПЧ, его отладку, в месяц составляет 25 000 руб. в месяц. В год он получает 300 000 руб. В таблице 7.6 представлены данные за год работы оборудования.

Таблица 7.6 – Затраты на эксплуатацию в год.

Затраты	ПЧ з/п в год, руб.	ПЧ з/п в год, руб (без НДС)
Заработная плата	300 000,00	254 237,29
Прочее	80 000,00	67 796,61
Мониторинг работы	70 000,00	59 322,03
Итого	450 000,00	381 355,93

7.9. Экономическая оценка инвестиции на основе затрат

На практике нередко приходится иметь дело с альтернативными инвестициями, которые могут не сопровождаться денежными поступлениями, например, при выборе типа осветительных приборов, способа обогрева и т.д. Возможны и такие ситуации, когда анализируемые альтернативные проекты могут давать абсолютно одинаковые денежные поступления, например: производство электрической энергии разными способами, получение готовой продукции с применением различных

вариантов технологических процессов и т.д. В подобных ситуациях выбор лучшего решения может быть осуществлен на основе затрат (дисконтированные денежные расходы), рассчитываемых по следующему выражению:

$$ДДР_n = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} + I; \quad (7.4)$$

C_t – операционные затраты, приводящие к оттоку денежных средств (без амортизационных отчислений) в t -м году;

I – инвестиции;

r – ставка дисконтирования;

При определении операционных затрат по сравниваемым проектам приходится иметь дело с понятием релевантных затрат.

Релевантные затраты – это такие затраты, которые влияют на выбор лучшего решения. Во-первых, – это проектируемые затраты. Во-вторых, – различающиеся затраты по сравниваемым вариантам. В-третьих, – это причинно-обусловленные затраты, вытекающие из особенностей анализируемых взаимоисключающих инвестиций.

Состав релевантных затрат может быть установлен лишь на основе качественного анализа сравниваемых альтернатив, что предполагает хорошее знание сути анализируемых проектов.

Оценивая альтернативные проекты на основе показателя дисконтированных денежных расходов, необходимо обратить внимание на одну особенность. Она заключается в дифференцированном подходе к ставке дисконтирования, учитывающей риск оцениваемых проектов. Если для обычных проектов, основанных на сопоставлении притока и оттока денежных средств, увеличение риска сопровождается увеличением ставки дисконтирования, то при сравнении проектов на основе ДДР отток денежных средств по более рискованному проекту должен дисконтироваться по меньшей ставке.

Ставка дисконтирования, включающая в себя инфляцию, называется *номинальной ставкой*.

Экономическая оценка инвестиций может осуществляться с использованием как реальной, так и номинальной ставки.

Номинальная ставка применяется в тех случаях, когда оценка денежных потоков осуществляется в *текущих ценах*.

Номинальная ставка (r_H), включающая в себя инфляцию, определяется по следующему выражению:

$$r_H = r_p + r_{инф} + r_p \cdot r_{инф} \quad (7.5)$$

где r_p – реальная ставка дисконтирования;

$r_{инф}$ – темп инфляции

Данная формула выведена известным экономистом Ирвингом Фишером.

Реальная ставка дисконтирования (r_p) определяется по формуле:

$$r_p = r_{\min} + r_{риск} \quad (7.6)$$

Под минимальной нормой прибыли ($r_{\min}$), на которую может согласиться инвестор, понимается наименьший гарантированный уровень доходности, сложившейся на рынке капиталов, т.е. нижняя граница стоимости капитала. Так, в качестве эталона без рискованной нормы прибыли (ставки дисконтирования) часто принимают облигации 20-летнего государственного займа США, приносящие стабильный доход в пределах 4–6 % реальных процентов в год. Помимо минимальной прибыли, учитываемой в ставке дисконтирования, инвесторы хотели бы иметь компенсацию за тот риск, которому они подвергаются, вкладывая денежные средства в тот или иной проект. Такая компенсация осуществляется путем учета платы за риск в ставке дисконтирования.

Ниже приводятся рекомендации американских специалистов по учету рискованной премии в ставке дисконтирования при экономической оценке

планируемых капитальных вложений для некоторых видов инвестиций
таблица 7.7.

Таблица 7.7 – Рисксовая премия

Группа инвестиций			Премия за риск ($r_{\text{риск}}$)
Замещающие инвестиции	Категория 1.1.	Новые машины и оборудование, которые будут выполнять те же функции, что и старые, которые заменяются	0
	Категория 1.2.	Новые мощности, которые замещают старые мощности, новые производства	0,03
	Категория 1.3.	Новые мощности, которые замещают старые мощности, новые производства	0,06
Новые инвестиции	Категория 2.1.	Новые мощности для производства изделий, которые уже производились	0,05
	Категория 2.2.	Новые мощности для организации производств, которые тесно связаны с существующими производствами	0,08
	Категория 2.3.	Новые мощности для организации производств, которые не связаны с первоначальной деятельностью компании	0,15
Инвестиции в НИР	Категория 3.1.	Прикладные исследования, направленные на достижение определенных целей	0,1
	Категория 3.2.	Фундаментальные исследования, результат которых точно неизвестен	0,2

Приведенные в данные таблице 2.6 могут не вполне соответствовать российским условиям, но тем не менее они могут служить некоторым ориентиром при учете фактора риска при определении ставки дисконтирования.

Расчет реальной ставки дисконтирования без учета инфляции:

$$r_p = r_{\min} + r_{\text{риск}} = 0,06 + 0,08 = 0,14 \quad (7.7)$$

Так как срок службы у варианта А – 6 лет ,а у варианта В – 10 лет, учитываем на шестом и десятом годах начальную цену проектов.

Таблица 7.8 - Затраты по альтернативным проектам

Годы	Альтернативные проекты	
	Вариант А	Вариант В
I	260 328,00	231 316,95
ДДР, руб.	1 743 253,35	2 220 469,69

Рассчитаем дисконтированные денежные расходы за жизненный цикл вариантов А и В на 6 и на 10 лет. Так как эксплуатационные затраты являются аннуитетными платежами можно использовать формулы:

$$ДДР_A = C_i \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \cdot r} + I = 381355,93 \cdot \frac{(1+0,14)^6 - 1}{(1+0,14)^6 \cdot 0,14} + 260328 = 1743253,35 \text{ руб.} \quad (7.8)$$

$$ДДР_B = C_i \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \cdot r} + I = 381355,93 \cdot \frac{(1+0,14)^{10} - 1}{(1+0,14)^{10} \cdot 0,14} + 231316,95 = 2220469,69 \text{ руб.} \quad (7.9)$$

Проанализировав расчеты можем сделать вывод, что сумма всех затрат за период 6 и 10 лет при установке ПЧ (вариант А) будет ниже, чем установка варианта В, но нужно учитывать, что вариант А будет использоваться только 6 лет.

7.10. Метод эквивалентного аннуитета (ЕА).

Данный метод расчета называют также определением NPV в годовом исчислении, хотя он не альтернативен методу определения NPV. Он просто облегчает выбор инвестиционных проектов, которые обеспечивают максимизацию NPV. Формула для расчета эквивалентного аннуитета получается путем модификации формулы $PVA_n = PMT + PVA1_{n,r}$, в которой величина PMT обозначается как ЕА, а PVAn – как NPV. Тогда

$$EA = \frac{NPV_n}{PVA1_{n;r}}, \quad (7.10)$$

где $PVA1_{n;r}$ – текущая стоимость аннуитета одной денежной единицы.

Величина $PVA1_{n;r}$ устанавливается по таблице либо по формуле:

$$PVA1_{n;r} = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \cdot r}. \quad (7.11)$$

Рассмотрим применение данного метода.

$$PVA1_{n;r} = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \cdot r} = PVA1_{6;14} = \frac{(1+0,14)^6 - 1}{(1+0,14)^6 \cdot 0,14} = 3,892 \quad (7.12)$$

$$PVA1_{n;r} = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n \cdot r} = PVA1_{10;14} = \frac{(1+0,14)^{10} - 1}{(1+0,14)^{10} \cdot 0,14} = 5,225 \quad (7.13)$$

Находим эквивалентный аннуитет (ЕА):

$$EA_A = \frac{ДДР_A}{PVA1_{6;14}} = \frac{1743253,35}{3,892} = 447906,82, \quad (7.14)$$

$$EA_B = \frac{ДДР_B}{PVA1_{10;14}} = \frac{2220469,69}{5,22} = 425377,33. \quad (7.15)$$

В таблице 7.9 приведены исходные данные по двум альтернативным проектам.

Таблица 7.9 - Исходные данные по двум альтернативным вариантам.

Варианты	Срок жизни варианта	ДДР _п , тыс.руб./период	PVA _{п,г}	Эквивалентный аннуитет (ЕА),
А	6	1 743 253,35	3,892	447 906,82
В	10	2 220 469,69	5,225	425 377,33

Таким образом, проект В является более предпочтительным.

Оценивая альтернативные проекты на основе показателя дисконтированных денежных расходов, необходимо обратить внимание на одну особенность. Она заключается в дифференцированном подходе к ставке дисконтирования, учитывающей риск оцениваемых проектов. Если для обычных проектов, основанных на сопоставлении притока и оттока

денежных средств, увеличение риска сопровождается увеличением ставки дисконтирования, то при сравнении проектов на основе ДДР отток денежных средств по более рискованному проекту должен дисконтироваться по меньшей ставке.

Для сравнения альтернативных разновременных инвестиционных объектов был использован метод эквивалентного аннуитета. Данный метод позволил рассчитать дисконтированный денежный расход в годовом исчислении.

Вывод

Для достижения поставленной цели были рассчитаны инвестиционные и эксплуатационные затраты. Методом эквивалентного аннуитета (ЕА) привели к сопоставимому состоянию, найден более выгодный вариант для использования ПЧ.

Для сравнения альтернативных разновременных инвестиционных объектов был использован метод эквивалентного аннуитета. Данный метод позволил рассчитать дисконтированный денежный расход (ДДР) в годовом исчислении.

Инвестиционная деятельность представляет собой совокупность процессов вложения ресурсов и получения доходов от этих вложений в будущем и является необходимым условием кругооборота средств предприятия. Поступлениями и затратами субъектов инвестиционного процесса определяются различные виды эффективности инвестиционного проекта с позиции каждого участника. Для определения эффективности инвестиционных затрат их необходимо оценить с точки зрения доходности. Эффективность принятия инвестиционного решения определяют, используя статистические методы и методы дисконтирования.

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Здоровые и безопасные условия труда на производстве обеспечиваются правильной организацией труда. Персонал, обслуживающий электроустановки и оборудование промышленных предприятий, работает в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных для здоровья факторов, обусловленных состоянием помещений и характером производства. Поэтому, для сохранения здоровья и работоспособности людей при проектировании и строительстве предприятия необходимо руководствоваться требованиями санитарных правил для нефтяной промышленности СП 4156-86, утвержденных Главным государственным санитарным врачом СССР, а также СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, утвержденных постановлением Главного Государственного санитарного врача РФ.

Согласно ГОСТ 12.0.002-97 производственной санитарией называется система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие вредных производственных факторов на рабочих.

8.1. Социальная ответственность человека перед обществом и окружающей средой

Социальная ответственность означает способность организации или предприятия оценить последствия своей деятельности для устойчивого социального развития общества. Социальная ответственность — широкое понятие, охватывающее и такие проблемы, как экология, социальная справедливость, равноправие. Организации обязаны проявлять

ответственность в трех областях — финансы, влияние их деятельности на общество и окружающую среду, воздействие на экологию.

Проблема ответственности является весьма актуальной, так как она фокусирует важные общие проблемы этики. Совершенно очевидно, что современное экологическое состояние заставляет нас осознать ответственность на некотором новом уровне. И именно экологическая этика указывает на то, что человек должен учитывать эффекты деятельности на окружающую среду.

8.2. Описание рабочей зоны

Освещение каждого объекта имеет свою специфику, соответствующую целям, условиям его организации.

Минимальные расстояния от устьев скважин, зданий и наружных установок объектов добычи и подготовки нефти и газа категорий А, Б, АН, БН до других объектов, не относящихся к объектам обустройства нефтяных и газовых месторождений, следует принимать в соответствии с таблицей 8.1.

Таблица 8.1- Минимальные расстояния от устьев скважин

Объекты	Минимальное расстояние, м
Здания и сооружения соседних предприятий	100
Жилые здания	300
Общественные здания	500
Лесные массивы, участки открытого залегания торфа	100
Автомобильные дороги общего пользования и автомобильные дороги, не относящиеся к производственной зоне	45

Кустовые площадки добывающих скважин должны размещаться за пределами охранных линий электропередачи, магистральных нефтепроводов, водозаборных, промышленных и гражданских объектов.

Расстояния от резервуаров хранения пожарного запаса (места забора) воды, противопожарных насосных станций, помещений хранения противопожарного оборудования и огнетушащих средств до зданий и наружных установок должно быть не менее 20 м, до сооружений резервуарного хранения нефти, нефтепродуктов и конденсата - не менее 40 м, до устьев скважин - не менее высоты вышки плюс 10 м.

Количество скважин в кусте и группе куста, расстояния между устьями скважин в группах и между группами скважин определяется проектом разработки месторождения и проектом на строительство скважин с учетом дебита скважин, вида добываемого флюида и значений пластового давления продуктивного горизонта.

Количество скважин на кустовой площадке должно быть не более 24. Скважины в кусте следует размещать на одной прямой, при этом куст скважин следует разделять на группы.

Расстояние между устьями нефтяных скважин должно быть не менее 5 м, количество нефтяных скважин в группе не более 4, а расстояние между группами не менее 15 м.

Суммарный свободный дебит одного куста нефтяных скважин не должен превышать 4000 т/сут по нефти, а газовый фактор добываемой продукции должен составлять не более 200 м³/м³. При газовом факторе более 200 м³/м³ проектная документация должна содержать дополнительные меры пожарной безопасности на основе анализа пожарного риска.

Таблица 8.2 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния нефтяной скважины

Источник фактора, наименование	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

видов работ			
Полевые работы: 1) подготовка территории для добычи нефти; 2) установка оборудования; 3) обследование оборудования; 4) подготовка рабочего места для оператора.	1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, метеоусловия; 2. Превышение уровней шума и вибрации; 3. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды. 4. Освещенность рабочей зоны	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток.	- ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи - Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95.- освещенность - Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий СН 245-71 -Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.003-83 – шум и вибрация

8.3. Вредное проявление факторов производственной среды

К вредным производственным факторам относятся: запыленность и загазованность, повышение и понижение температуры, освещение, вредные вещества, шумы, вибрации, электромагнитные поля.

Согласно требованиям СН промышленные предприятия и их отдельные здания и сооружения с технологическими процессами, являющимися источниками выделения в окружающую среду вредных веществ и других вредных производственных факторов, следует отделять от жилой застройки санитарнозащитными зонами. В данном случае куст располагается на участке земли размером 2.6 га обведенным обваловкой. Обваловка – это система заградительных сооружений (защитных дамб), или земляных валов для защиты территорий, подверженных затоплению, а также для ограничения площади разлива нефтепродуктов вокруг резервуарных парков.

8.3.1. Освещение

Человек зрением воспринимает до 90% информации, поэтому свет необходим в процессе трудовой деятельности, причем качество освещения рабочих зон и производственных помещений имеет огромное значение для охраны труда. Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное.

Дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течение всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий, поэтому на производстве стараются всё обеспечить естественным и искусственным освещением. В ночное время в неблагоприятных погодных условиях требования к уровню освещенности существенно неоднозначны с дневными. Имеется необходимость, в частности, в специальном освещении устья скважины, платформ агрегатов, отдельных узлов и другого оборудования, которое используется при цементировании скважин, гидроразрыве пластов и на других работах. Число светильников на одну скважину должно быть: на вышке - четыре пять, на мачте - три. Для повышения надежности работы основного оборудования принято использовать раздельное питание цепей освещения и цепей управления. В качестве источников искусственного освещения принимаются прожекторы с лампами мощностью 500 Вт. Освещение буровой установки разбито на группы: вышка освещена 14 светильниками; буровая площадка и блок дизелей — 16 светильниками; насосный блок, система глиноприготовления и территория 12 светильниками; освещение «безопасности» — 12 В; аварийное освещение получает питание от аккумуляторной батареи. При устройстве комбинированного освещения освещенность на рабочей поверхности от светильников общего освещения должна составлять не менее 10% нормы комбинированного освещения для данного источника света, но не менее 100 лк при люминесцентных лампах и 30 лк при лампах накаливания.

В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, являются Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95. Кроме этих норм, существуют Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03 и множество отраслевых норм.

Таблица 8.3 - Нормы освещенности рабочих поверхностей при искусственном освещении основных производственных зданий и площадок в нефтяной промышленности. (4156-86 «Санитарные правила для нефтяной промышленности»)

Освещаемые объекты	Средняя освещенность, люкс
Офисы с чертежными работами	500
Рабочая площадка	30
Пульт и щит управления с измерительной аппаратурой	150
Компенсаторы буровых насосов	75
Места управления задвижками на тер-и резервуарных парков, групповых установок и т.п.	30

8.3.2. Метеоусловия

В условиях крайнего севера среди факторов производственной среды, действующих на организм человека при выполнении различных видов работ в холодное время года, ведущая роль принадлежит метеорологическим условиям, вызывающим охлаждение. Охлаждающего воздействия метеорологических условий на человека зависит от показателей атмосферной температуры и скорости ветра. Температура воздуха ниже - 45С даже при незначительной скорости ветра 2 м/с служит основанием для

прекращения работ. При скорости более 15 м/с все виды работ на открытом воздухе прекращаются при любых, даже небольших отрицательных атмосферных температурах в связи с опасностью нарушения функции дыхания, нарушений целостности слизистых оболочек глаз, носа, верхних дыхательных путей, возможности быстрого отморожения кожных покровов, незащищенных одеждой участков тела. Микроклимат определяет действующее на организм человека сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха и других условий рабочей зоны.

Средства индивидуальной защиты

На промысле применяются следующие средства защиты:

- спецодежда, которая имеет высокие теплозащитные свойства, воздухонепроницаемости, малую влагоемкость и нефтенепроницаемость;
- спецодежда, предназначенная для использования на взрывопожароопасных объектах или взрывопожароопасных участках производства, должна быть изготовлена из термостойких и антистатических материалов ;
- спецобувь, предохраняющая ноги от механических повреждений и влаги;
- головные уборы – каски (зимой с утепленными подшлемниками) и подшлемники для защиты головы от механических повреждений;
- резиновые перчатки для защиты от поражения электрическим током;
- противогазы для защиты органов дыхания;
- предохранительные пояса при работах, связанных с опасностью падения с высоты.

Нормы по метеоусловиям прописаны в «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» Сн 245-71 и в ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования".

Таблица 8.4 - Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Характеристика производственных помещений	Допустимые в холодный период/ теплый период			Допустимая температура воздуха в °С вне постоянных рабочих мест
	температура воздуха в °С	относительная влажность воздуха в %	скорость движения воздуха в м/сек	
Помещения, характеризующиеся незначительными избытками явного тепла ($20 \text{ ккал/м}^3 \times \text{ч}$ и менее)	15-22 / Не более чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 28 °С	Не более 75 % / При 28 °С не более 55 %. При 27 °С не более 60 %. При 26 °С не более 65 %. При 25 °С не более 70 %. При 24 °С и ниже не более 75 %	Не более 0,5 / 0,3-0,7	13-22 / Не более, чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца
Помещения, характеризующиеся значительными избытками явного тепла (более $20 \text{ ккал/м}^3 \times \text{ч}$)	16-22 / Не более, чем на 5 °С выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 28 °С	Не более 75 % / При 28 °С не более 55 %. При 27 °С не более 60 %. При 26 °С не более 65 %. При 26 °С не более 70 %. При 24 °С и ниже, не более 75 %	Не более 0,5 / 0,5-1	15-24 / Не более, чем на 5 °С выше средней тем-ры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца

8.3.3. Защита от шума и вибрации

Производственный шум - это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих в твердых, жидких и газообразных средах. В результате исследований установлено, что производственный шум и вибрации ухудшают условия труда, оказывая вредное действие на организм человека: снижается внимание, снижается острота зрения и слуха, появляются расстройства нервной и сердечно-сосудистой систем, повышает утомляемость. Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 12.1.003-83 в стандартных или технических условиях на машины должны быть установлены предельные значения шумовых характеристик этих машин. Одним из основных методов уменьшения шума является: снижение шумов в источнике его возникновения (точность изготовления узлов, замена стальных шестерён пластмассовыми); звукопоглощение (применение материалов из войлока, поролона, стекловаты); звукоизоляция (звукоизолирующие конструкции из металла, дерева). В цехах завода предусматривается защита от шума строительно-акустическими методами: устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления; укрытие в кожухи источников шума (насос); установки глушителей шума; индивидуальные средства защиты (шлемы, наушники).

Соотношение между эквивалентным уровнем звука и относительной дозой шума (при допустимом уровне звука 80 дБ А) в зависимости от времени действия шума приведено в таблице 8.5.

Таблица 8.5 - Соотношение между эквивалентным уровнем звука и относительной дозой шума

Относительная доза шума, %	Эквивалентный уровень звука, дБ А						
	за время действия шума						
	8 ч	4 ч	2 ч	1 ч	30 мин	15 мин	7 мин
3,2	70	73	76	79	82	85	88
6,3	73	76	79	82	85	88	91
12,5	76	79	82	85	88	91	94
25	79	82	85	88	91	94	97
50	82	85	88	91	94	97	100
100	85	88	91	94	97	100	103
200	88	91	94	97	100	103	106
400	91	94	97	100	103	106	109
800	94	97	100	103	106	109	112
1600	97	100	103	106	109	112	115
3200	100	103	106	109	112	115	118

Защита людей от вибрации на рабочих местах осуществляется методом виброизоляции путем устройства упругих элементов, размещенных между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена. В качестве амортизаторов используют стальные пружины или резиновые прокладки.

8.3.4. Электромагнитные поля

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Проходя через живые ткани электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма. Выделяют два вида поражений электрическим током:

а) электрический удар;

б) местные электрические травмы.

Для защиты персонала от поражения электрическим током в цехах используются следующие меры:

а) защита от случайного прикосновения;

б) защитное заземление

Все металлические части электрических установок и электрического оборудования, которые могут оказаться под напряжением должны быть заземлены.

в) зануление.

Принцип действия: зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Однофазный ток короткого замыкания должен превышать ток плавкой вставки ближайшего предохранителя в 4 раза, теплового расцепителя ближайшего автоматического выключателя в 6 раз. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через следующие участки цепи: обмотки трансформатора, фазный провод и нулевой провод.

8.4. Опасные проявления факторов производственной среды

К опасным производственным факторам относятся: (огонь, электрический ток, отравляющие вещества, острые и падающие предметы, облучение, пожарная и взрывная природа). К ним же относятся химические факторы - вещества и соединения, различные по агрегатному состоянию и обладающие токсическим, раздражающим, канцерогенным и мутагенным действиями на организм человека и влияющие на его репродуктивную функцию. Пространство, в котором возможно воздействие опасных или

вредных производственных факторов на рабочих, называется опасной зоной. Так как добываемым продуктом являются нефть и попутный газ, то при возникновении аварийной ситуации (порыв трубопровода, пропуски через фланцевые соединения, пропуски через сальниковые уплотнения) не исключается возможность повышенной загазованности.

8.4.1. Опасные механические негативные факторы

Наиболее типичным источником механических негативных факторов являются вращающиеся детали, движущиеся механизмы, незащищённые подвижные элементы производственного оборудования, подъёмно-транспортное оборудование, неправильно-выбранные методы обработки, неправильно выбранное техническое обслуживание, непредвиденные нагрузки на оборудование. К перечисленным источникам можно добавить непрочность конструкции, связанной с коррозией металла, падение на скользком полу, падение с высоты, технологический транспорт (электрокары, погрузчики) передвигающиеся в рабочей зоне, цеху, на территории предприятия и т.д., промышленные роботы.

Источниками механических травм может быть ручной (отвёртки, зубила, молотки и т.д.) и механизированный (дрели, рубанки, электропривода и т.д.) слесарный, столярный и монтажный инструменты. Как правило, этими видами инструментов повреждаются пальцы и руки при попадании их в зону обработки материала, а также глаза отлетающими из зоны обработки осколками, стружкой, пылью.

8.4.2. Пожарная безопасность.

Для обеспечения безопасности предусматриваются средства автоматизированной системы контроля воздушной среды для раннего обнаружения опасных факторов и аварийной ситуации; комплектация

объектов пожарной техникой и средствами пожаротушения; организация постоянной производственной и автономной системы аварийной связи и оповещения; обеспечение персонала индивидуальными и коллективными средствами защиты; нейтрализация и утилизация производственных отходов, горючих, вредных и токсичных веществ; условия восстановления и рекультивации нарушенных и загрязненных земель, защиты окружающей среды. Здания и сооружения с взрывопожароопасными процессами, выделяющими вредные и горючие вещества, источники возможных аварийных выбросов проектируются с учетом преобладающего направления ветра, рельефа местности, климатических и сейсмических условий. Минимально безопасное расстояние объектов обустройства нефтегазовых месторождений от зданий. Опасные и вредные свойства нефти и входящих в её состав фракций заключается в следующем:

- Нефтегазовая среда взрыво и пожароопасна;
- Нефть имеет низкую температуру вспышки (-36 - +35 С);
- Способна накапливать электрические заряды, создающие угрозу взрыва и поражения людей электрическим током;
- Нефть токсична;
- Образует с серой пиррофорные соединения, способные при контакте с воздухом самовоспламеняться.

Под понятием пожарной опасности подразумевается возможность возникновения и развития пожара. Для возникновения горения (взрыва) необходимы три условия: наличие горючего вещества, наличие окислителя и наличие источника воспламенения.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара путем организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих невозможность возникновения пожара, а также системой пожарной защиты направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения материального ущерба от него.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры: применение не горючих и трудногорючих веществ и материалов в производстве, ограничения количества горючих веществ и их надлежащее размещение; изоляция горючей среды; применение средств коллективной и индивидуальной защиты от огня и средств пожарной сигнализации.

Высокая пожароопасность нефти и газа обуславливает высокие вероятности возникновения пожаров при реализации тех или иных аварийных ситуаций, а также значительные скорости распространения пожара по территории нефтегазодобывающего предприятия. Концентрация на относительно небольшой площади огромных количеств пожаровзрывоопасных веществ обуславливает возможность реализации крупных пожаров и взрывов с катастрофическими последствиями, приводящими к значительным экономическим потерям, загрязнению окружающей среды и, что наиболее существенно, к многочисленным человеческим жертвам. Разработаны стандарты ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы испытаний».

Для каждого объекта должны быть предусмотрены конструктивные, объемнопланировочные и инженерно-технические мероприятия, обеспечивающие в случае пожара:

- возможность эвакуации людей до наступления угрозы их жизни и здоровью от воздействия опасных факторов пожара;
- возможность спасения людей и материальных ценностей;
- возможность воздействовать силами и средствами пожарной охраны на объект пожара с учетом тактико-технических характеристик пожарной техники и возможности личного состава реализовать их;
- ограничение прямого и косвенного материального ущерба с учетом экономической целесообразности расходов на противопожарные мероприятия, пожарную охрану, ее содержание и техническое оснащение.

Система пожарной безопасности объекта должна обеспечивать величины пожарного риска для работников объекта и населения, не превышающие предельно-допустимые значения.

По требованиям пожарной безопасности к технологическим объектам при аварийных ситуациях для насосов и компрессоров, перемещающих горючие продукты, должны предусматриваться их дистанционное отключение и установка на линиях всасывания и нагнетания запорных и отсекающих устройств с дистанционным управлением. Для повышения пределов огнестойкости конструкций могут быть использованы огнезащитные покрытия и другие средства огнезащиты.

Электрооборудование, размещаемое во взрывоопасных зонах должно иметь необходимый уровень защиты. В качестве резервных источников электропитания допускается применение дополнительных дизельных генераторов и аккумуляторных батарей. Пуск аварийных дизельных генераторов должен обеспечиваться без потребления электроэнергии извне.

8.5. Воздействие на окружающую среду

8.5.1. Влияние на литосферу

В наше время Земля претерпевает множественные изменения коренного характера: изменяются свойства и состав литосферы, повышается запыленность атмосферы, её нижние слои насыщаются вредными веществами. Из-за интенсивного отбора нефти из недр ощущаются подземные толчки. В свою очередь это является причиной смятия и поломки обсадных труб и эксплуатационных нефтяных скважин.

8.5.2. Влияние на атмосферу.

Очень большую опасность таит в себе использование нефти и газа в качестве топлива. При сгорании этих продуктов в атмосферу выделяются в больших количествах углекислый газ, различные сернистые соединения, оксид азота и т.д. От сжигания всех видов топлива за последние полвека содержание диоксида углерода в атмосфере увеличилось почти на 288 млрд.т.

Уменьшение количества кислорода и рост содержания углекислого газа в свою очередь будут влиять на изменение климата. Молекулы диоксида углерода позволяют коротковолновому солнечному излучению проникать сквозь атмосферу Земли и задерживают инфракрасное излучение, испускаемое земной поверхностью. Возникает «парниковый эффект» и среднепланетная температура повышается.

Пути решения проблем

Одним из наиболее перспективных путей ограждения среды от загрязнения является создание комплексной автоматизации процессов добычи, транспорта и хранения нефти. Использование нефти и нефтепродуктов должно быть аккуратным, продуманным и дозированным. Должно быть достаточное инвестирование в проект, чтобы избежать ЧС и аварий.

8.6. Возможные ЧС, меры по предупреждению и ликвидации

Нефть, получаемую непосредственно из скважин, называют сырой и может произойти разлив нефти. При выходе из нефтяного пласта нефть содержит частицы горных пород, воду, а также растворенные в ней соли и

газы. Эти примеси вызывают коррозию оборудования и затруднения при транспортировке и переработке сырья.

Наиболее вероятными авариями являются: нефтегазопроявление при проведении буровых работ, утечка на фонтанной арматуре в сепараторы, пролив нефти при отсоединении трубопровода при отгрузке нефти. Также может произойти утечка горючих газов и паров. К утечкам следует отнести утечки нефтепродуктов из технологических систем установок платформ. Основные – это топливные и масляные системы газотурбогенераторов (при работе на дизтопливе), дизельгенераторов, промежуточные и расходные цистерны, насосы, фильтры. Главным является вид и характер утечек: через неплотности соединений, арматуру и аварийные отверстия небольших размеров, а также их небольшие объёмы.

На объектах обустройства нефтяных и газовых месторождений необходимо предусматривать системы контроля, управления и противоаварийной защиты технологических процессов, предназначенные для своевременного выявления возникновения возможных пожароопасных аварийных ситуаций и предотвращения их развития.

Указанные системы должны обеспечивать приведение в действие систем сигнализации и устройств, управляющих технологическим оборудованием, инициировать системы отключения, взаимодействовать с другими системами противоаварийной и противопожарной защиты (аварийная вентиляция, установки пожаротушения и пожарной сигнализации).

Инициирование уровней аварийного отключения должно обеспечиваться из пунктов управления производством (из операторных), а в обоснованных случаях - из местных пунктов управления. Выбор уровней аварийного отключения следует проводить, исходя из условий предотвращения развития пожароопасной аварийной ситуации, и ее перехода с одного технологического участка на другой. При этом в случае отключения

любого уровня должна быть обеспечена работоспособность всего необходимого оборудования систем жизнеобеспечения. Системы контроля, управления и противоаварийной защиты технологических процессов должны предотвращать их срабатывание от случайных и кратковременных сигналов о нарушении нормального ведения технологических процессов, в том числе и в случае переключений на резервный источник электроснабжения.

Аппаратура контрольно-измерительных устройств и систем противоаварийной защиты, размещаемая на технологическом оборудовании, не должны нарушать герметичность оборудования. Объекты обустройства нефтяных и газовых месторождений должны иметь источники противопожарного водоснабжения для тушения пожаров. В качестве источников противопожарного водоснабжения могут использоваться естественные и искусственные водоемы, а также внутренний и наружный водопроводы (в том числе питьевые, хозяйственно-питьевые, хозяйственные и противопожарные). Сеть объединенного водопровода должна обеспечивать расчетный расход воды с учетом хозяйственно-питьевых нужд и целей пожаротушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе была спроектирована функциональная схема бесперебойного электропитания объекта. Был выбран источник бесперебойного питания, выбраны и рассчитаны аккумуляторные батареи для поддержания питания нагрузки на время равное 15 мин. для запуска ДЭС, произведен выбор перекачивающего насос ТКА 32/80 и электродвигатель для насоса ВА 180 S2.

Применение ПЧ-АД позволяет повысить энергоэффективность, а также надежность производства, так как в системе используется самая простейшая электрическая машина – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В настоящее время система ПЧ-АД получает широкое распространение, так как это экономически целесообразнее, чем другие виды регулирования. Высокая плавность регулирования скорости также является одним из основных достоинств такой системы.

В качестве ключевого элемента системы была исследована система бездатчикового векторного управления асинхронным электроприводом нефтеперекачивающего насосного агрегата

Была смоделирована модель имитирующая пуск двигателя с заданной нагрузкой. Выполнено моделирование на основе оптимизированных контуров системы управления. Получены и проанализированы основные показатели качества регулирования системы. Сняты переходные характеристики, в которых скорость полностью отрабатывает все возмущения, можно сделать вывод, что привод можно эксплуатировать в данной системе. Данные процессы соответствуют расчетам, что подтверждает правильность выбора вышеперечисленного оборудования и создания системы управления.

Также было произведено моделирование с косвенной оценкой переменных АД, недоступных для прямого измерения, в конечном итоге

было определено качество работы всего асинхронного электропривода с векторным управлением.

Анализ различных способов восстановления переменных и координат АД, недоступных для прямого измерения показал, что для общепромышленного асинхронного ЭП с векторным управлением наилучшим вариантом является применение системы на основе имитационной модели АД с автоматической ориентацией системы координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сваровская Н.А. Подготовка транспорт и хранение скважной продукции Учебное пособие. – Томск: Изд.ТПУ, 2004.-268 с. [1]
2. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов.Ч.1. Расчет электрических нагрузок,нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. [2]
3. Системы бесперебойного электропитания [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.ups-info.ru/for_partners/library/istochniki_bespereboynogo_pitaniya_bez_sekretov/tipe_istochnikov_bespereboynogo_pitaniya/ свободный. [3]
4. Аккумуляторные батареи – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.380v.ru/catalogue/batteries/batteries>. [4]
5. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.: ил. [5]
6. А.Ю. Чернышев, Н.В. Кояин. Проектирование автоматизированных электроприводов. Томск-2004 г. [6]
7. Ю.Н. Дементьев, А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев - Электрический привод. 2-е издание. 2016. [7]
8. И.П. Копылов. Электрические машины. 2004. [8]
9. С.В. Ланграф. Асинхронный моментный электропривод с векторным управлением для имитации усилий запорной арматуры. 2007. [9]
10. О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. Системы управления электроприводов. Учебное пособие, 2007. [10]
11. С.В. Ланграф. Косвенное определение момента и частоты вращения асинхронного двигателя, 2004г. [11]
12. Гарганеев А.Г.: Системы аварийного электроснабжения ответственных потребителей переменного тока. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2009. – 228с. [12]

13. Дизельная электростанция. [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<http://www.generent.ru/diesel/catalog/energo/ed-160-400-iv/> [13]

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

The system of sensorless vector control asynchronous electric drive of oil transfer pump unit

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Чупрова А.О.		

Консультант кафедры ЭПЭО :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Краснов И.Ю.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯЭИ	Пташкин А.С.	к.ф.н., доцент		

INTRODUCTION

Oil transfer is a difficult process. It includes many technologies. Oil transfer pumps make this process much more easy. Fuel transfer pumps help to make handling oils, fuels and other non-corrosive liquids safe and efficient. For the rigors of servicing truck fleets and heavy equipment with higher viscosity oils, a lube pump can make the job move smoothly. Outfit individual lube stations with a portable oil change system to quickly tackle smaller and less frequent lube jobs are considered.

Abstract

In this paper a brief overview of the system of sensorless vector control asynchronous electric drive of oil transfer pump unit has been given.

The system of sensorless vector control asynchronous electric drive of oil transfer pump unit was described and analyzed. In the MATLAB environment were made simulation models in the mobile and fixed coordinate system, calculated transient response. The modeling based on the optimized control system circuits. We obtained and analyzed the main indicators of quality control system.

In the economy section investment costs are justified, operating costs are calculated with the use of the described equipment. In the section «Personal and labour safety» labour protection and safety engineering are considered. Dangers and hazards are analysed.

1. Types and classification of pumps

Everyday all of us use pumps in our life. Windmill is the first known pump in the world. Now we use pumps for many reasons (water, oil and gas supply, air conditioning systems, refrigeration, etc.).

Pumps are used to solve different kinds of objectives. That is why every pump has its own form, shape and size. From very small water pump in our kitchen to the world biggest water pump in New Orleans.

A pump is a device that moves fluids (liquids or gases) with the power of kinetic energy. Pumps are divided into several groups by the way they move the liquids or gases. Pumps divide into displacement, direct lift and gravity pumps.

Pumps are operated by some mechanism (reciprocating, rotary), and consume the energy to perform mechanical work by moving the fluid. The pumps can be operated manually by man, by some engines or by wind power.

There are impulse pumps, gravity pumps, steam pumps, positive displacement pumps, velocity pumps etc.

1.1. Positive displacement pump

Expanding cavity on the suction part and a decreasing cavity on the discharge side make in one a positive displacement pump. Fluids flow in and out while the pump is working. The cavity expands and collapses makes the liquid flows. Every cycle of operation is similar to another and the volume is constant.

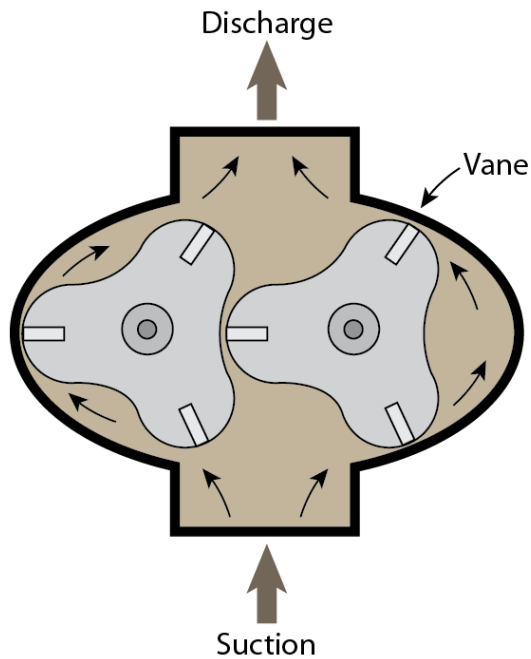


Figure A.1 - Lode pump

1.2. Safe operation of the displacement pumps

Positive displacement pumps are steady stream type of mechanism. Liquids go with the same speed every time Pressure of the discharge does not have any importance. Valve of the positive displacement pump should always be opened. It has no shut-off head. This is the main safety rule. Because of this it will produce the flow until the pump is broken and the pressure is too high.

1.3. Types of positive displacement pumps:

Different mechanisms are used to move the liquid or gas in the pump. According to them pumps are divided into several types:

- rotary-type positive displacement: internal gear, screw, shuttle block, flexible vane or sliding vane, circumferential piston, flexible impeller, helical twisted roots (e.g. the Wendelkolben pump) or liquid ring vacuum pumps.

- reciprocating-type positive displacement: piston or diaphragm pumps.
- linear-type positive displacement: rope pumps and chain pumps.

1.4. Rotary type

Vacuum is a main operating condition in rotary positive displacement pump. Mechanism of this pump rotates and moves the fluid. This process starts the vacuum.

Rotary positive displacement pumps are very useful and effective. While operating, air is removed automatically from the lines. But to work right, there should be a close clearance between the rotating part and the outer edge. Constant speed is a necessary feature for this kind of pumps. On a high speed, rotary pumps are poorly operated.

There are 3 main types of rotary positive displacement pumps:

- 1) Gear pumps. Fluid flows between 2 gears. [2]

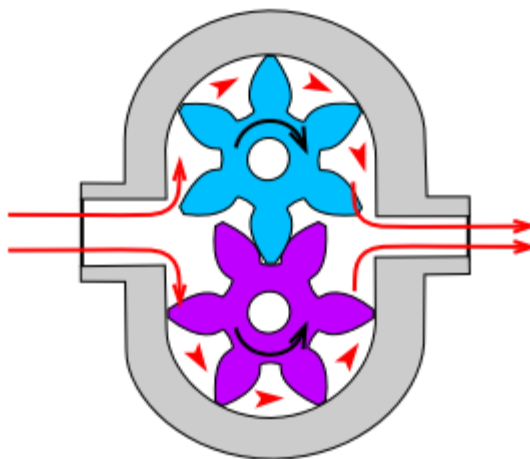


Figure A.2 - Gear pump.

- 2) Screw pumps. This pump consists of two screws. The liquid operates between them.



Figure A.3 - Screw pump

3) Rotary vane pumps. It has a cylindrical rotor. While it operates fluid passes between the rotor and the pump casing.

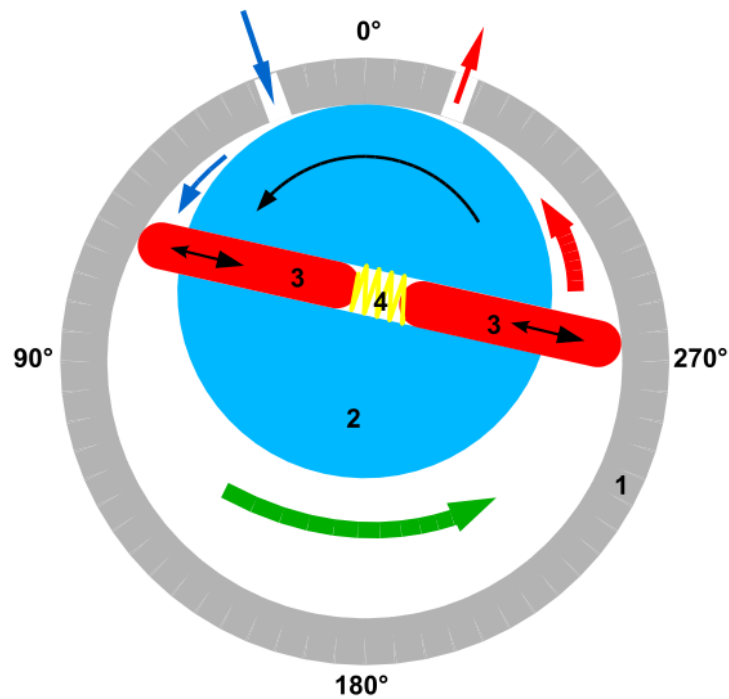


Figure A.4 – Rotary vane pump.

1.5. Reciprocating positive displacement pumps

Reciprocating positive displacement pumps can be with one or more cylinders. The most popular are with two or three cylinders. Single-acting reciprocating positive displacement pumps suck fluid on one hand and discharge

on another. If it is double-acting pump suction and discharging could be on both of them.

Simple pumps are powered manually, some pumps are powered by air (wind) or by engines that drive belts. Reciprocating positive displacement pump were created in the 19th century (age of steam propulsion). Today reciprocating positive displacement pumps operate with highly viscous fluids (oil, concrete). The most simple of them are bicycle pump and foot pump.

Cavities of the pump expand and decrease. This is the main principle of operation. At the time the suction part growth bigger the fluid flows into the pump. Then it flows out when the cavity collapses. Flow must be the same in all cycles.

Types of reciprocating pumps:

- plunger pumps. The liquid flows between several open valves and then is closed by suction.

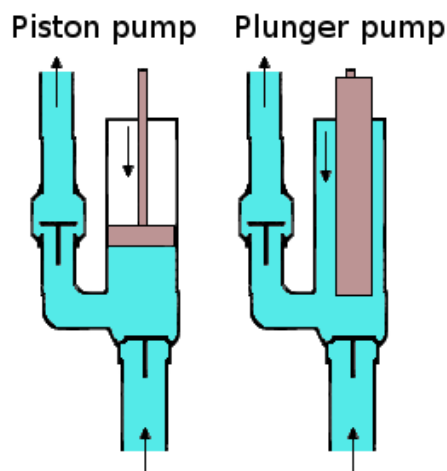


Figure A.5 – Work of the piston pump.

- diaphragm pumps. Same as a plunger pump. Hydraulic oil is pressured by the plunger. This type of pumps are used to operate with toxic and hazardous liquids.

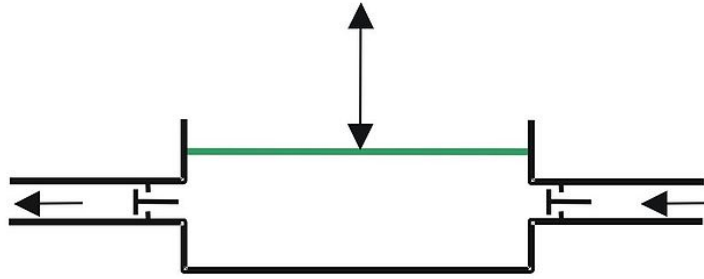


Figure A.6 – Diaphragm pump.

- piston displacement pumps. Simple pumps to operate with small amount of liquid manually (hand soap).
- radial piston pumps. The main element is a rotor pump plungers which rotates relative to the pump housing. A rotor mounted in the housing with an offset axis. The cavities of the suction and discharge of the pump are located in the center of the bridge and split.

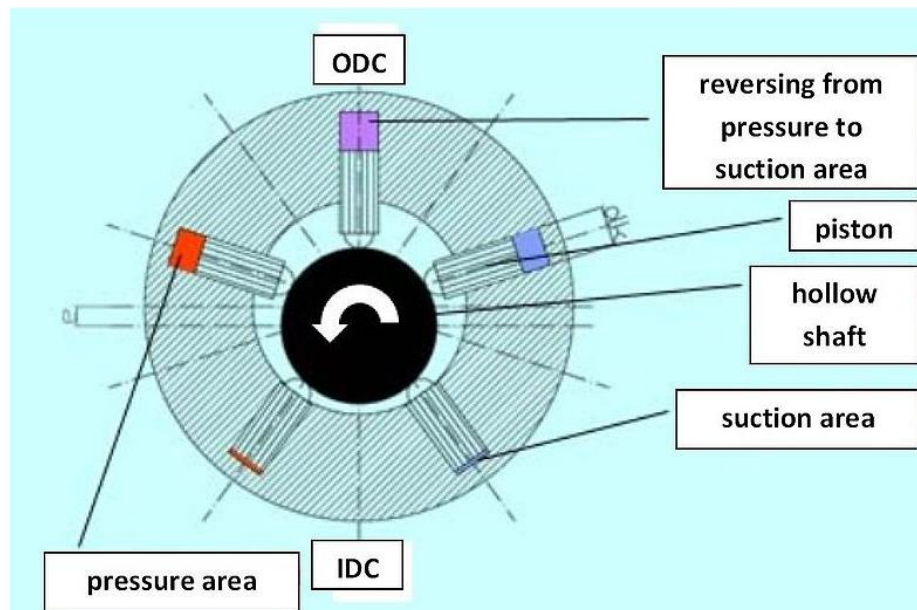


Figure A.7 – Radial piston pump.

2. Impulse Pumps

The valve housing by means of a cam and a spring makes reciprocating motion. In the upper position of the box is seated valves and the pump pumps the fluid in the cavity above the piston submerged pump. Fluid pressure acts on a piston which squeezing the liquid moves down and pushes it through a valve in the

lifting tube. By reducing the pressure from the piston, the spring returns to its original position, thereby causing underpressure in the subpiston space and sucking fluid from the wellbore through the valve. The valve is used for discharging liquid, which can penetrate through a gland or seal in the piston. This principle has been developed by V. Bolshakov. [3]

Most popular impuls pumps:

- hydraulic pumps. Simple and ingenious mechanism - hydraulic ram without needing a power source and without the engine, raise the water to a height of several tens of meters. It can operate continuously for months without supervision, adjustment and maintenance, supplying water small village, the community or farm.

At the heart of gidrotarana is the so-called water hammer - a sharp increase in pressure in the pipeline.

- pulser pumps. This pumps work only with natural resources and kinetic energy.

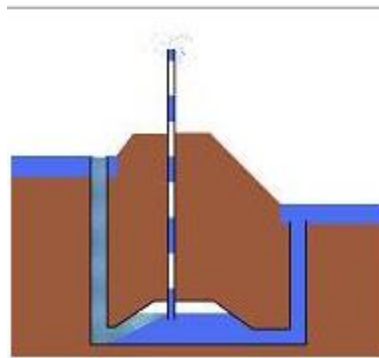


Figure A.8 - Pulser pump.

- airlift pumps. This type of pumps operates with the air that is locked in the pipe. Air push up the water by it is own pressure.

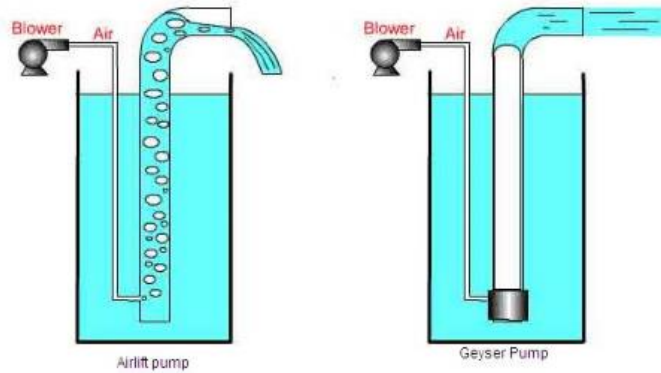


Figure A.9 – Airlift and geyser pump.

Usually this ram is used in a very remote areas, where its properties are useful, because it doesn't requires any power then kinetic energy of water.

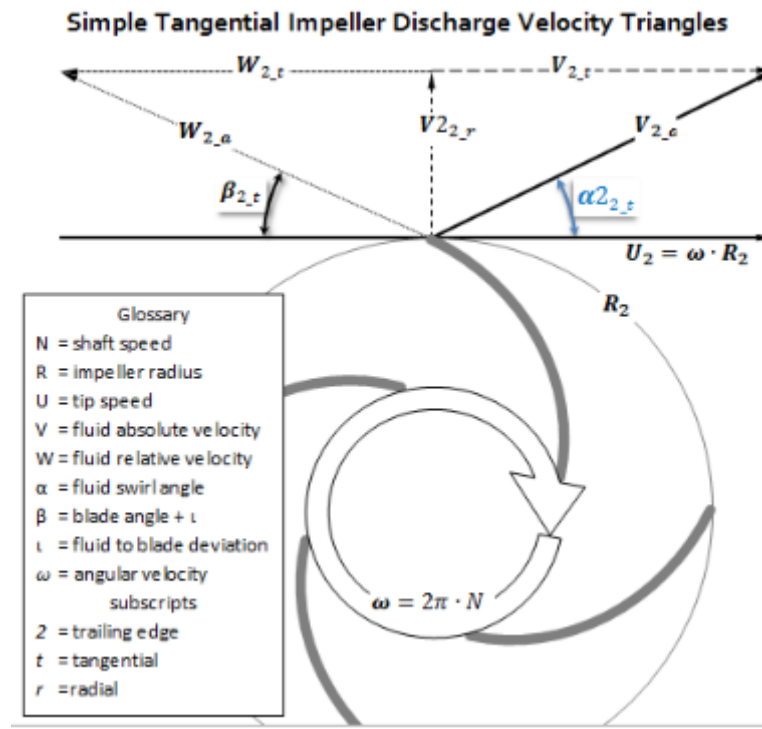
3. Velocity pumps

Rotodynamic pumps (or dynamic pumps)

When you increase the velocity of flow you increase the kinetic energy. That is how rotodynamic pump work. Kinetic energy become the pressure which pushes fluid through the tube. The First Law of Thermodynamics explains the principle of this transfer from energy to pressure.

The increase of the velocity gain is obtained in different ways. This ways divide into several types of pumps. The main features of these pumps are conversion of added energy, conversion of increased velocity and continuous energy.

Main difference between the positive displacement pump and dynamic pump is how they work when their valve is closed. Dynamic pumps work absolutely safely on this condition. On the other hand liquid is physically displaced in the positive displacement pump. It can cause mechanical failure of pump (because of the continual pressure). [3]



Picture A.10 - Centrifugal pump

3.1. Centrifugal pumps

Centrifugal pumps are one of the most common types of dynamic hydraulic machines. They are widely used: in water supply systems, sanitation, in power, in chemical industry, nuclear industry, aviation and rocketry, and others. [1]

The impeller has vanes (blades) which have a complex shape. Suitable fluid enters the impeller along the axis of rotation, and then is sent to the interscapular channel and into the outlet. The impeller is designed to collect the liquid leaving the impeller, and converting kinetic energy of the flow of fluid into potential energy, in particular to pressure energy. The above energy conversion should take place with a minimum of hydraulic losses, which is achieved by a special form of challenge.

Centrifugal pumps convert water pressure into mechanical energy. When the impeller rotates, the liquid medium in the inter-blade channel is thrown to the periphery, out to tap further into the penstock.

Term “centrifugal force” describes how mechanical rotation transfers into the pressure of the fluids. [4]

The outlet pressure is a reflection of the pressure that applies the centripetal force that curves the path of the water to move circularly inside the pump. On the other hand, the statement that the "outward force generated within the wheel is to be understood as being produced entirely by the medium of centrifugal force" is best understood in terms of centrifugal force as a fictional force in the frame of reference of the rotating impeller; the actual forces on the water are inward, or centripetal, since that is the direction of force need to make the water move in circles. This force is supplied by a pressure gradient that is set up by the rotation, where the pressure at the outside, at the wall of the volute, can be taken as a reactive centrifugal force.

3.2. Froth pumps

This type of pumps are used to separate rich minerals from the sand. It is very useful in mineral and oil industry. Unfortunately there is a big amount of air in the froth. It causes some problems in work. This problem has different ways to be solved: to use vertical pump with a tank or to use special pump with an impeller to break the air bubbles. In some industries the impeller has holes. This holes help the air to escape and then to be sucked into the suction tank. [4]

3.3. Radial-flow pumps

This type of pumps is usually called centrifugal pumps. But this is not completely correct. This pumps works at higher pressure and lower flow rates than mixed and axial flow pumps. The impeller accelerates the fluid and outputs it at a right angle relative to the axis.

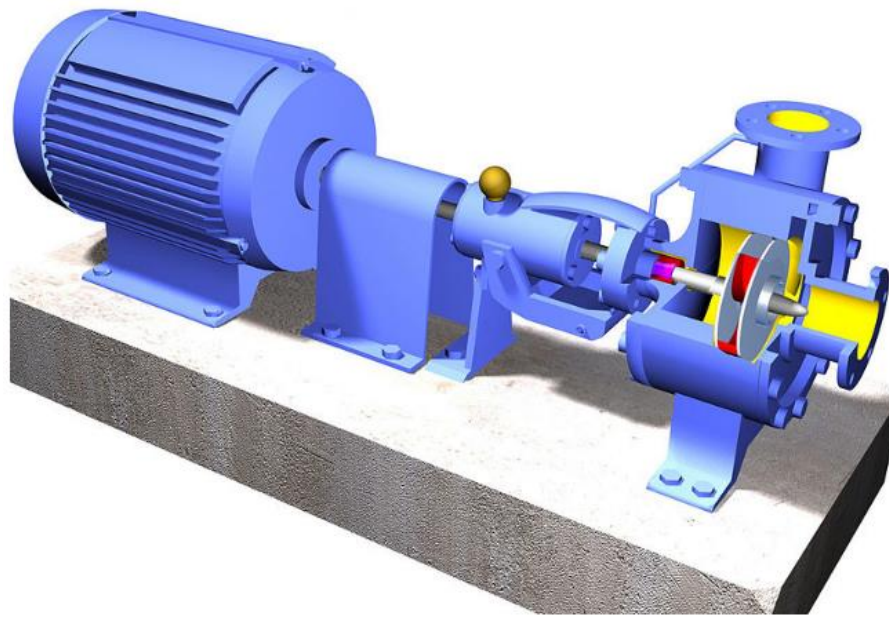


Figure A.11 – Radial flow pump

3.4.Multistage centrifugal pumps

The pump casing is not one but several impellers, such a design allows for a much higher values of pressure, the fluid at the outlet of the pump, made in the vertical and horizontal design.

For higher pressures at the outlet impellers can be connected in series. For a higher flow the output impellers can be connected in parallel.

All energy transferred to the fluid is derived from the mechanical energy. This can be measured at isentropic compression, resulting in a slight temperature increase (in addition to the pressure increase).

Electric Submersible Pumps (Centrifugal) These pumps are basically multistage centrifugal pumps and are widely used in oil well applications as a method for artificial lift. Submersible pumps - design, in which the pump and motor are connected in a single sealed housing, a pump on the chain immersed in the pumped medium is completely used for pumping fluids from pits and drainage pits. [5]

3.5. Magnetically coupled pumps

If you need to ensure complete sealing of the centrifugal pump at work (that is, when even the slightest leakage of the pump are not permitted), using pumps with magnetic coupling. The motor shaft and the pump shaft does not interconnected, and therefore no need to make a hole in the pump housing for the shaft output. The torque is transmitted via the permanent magnets, one of which is attached to the pump shaft and another to the motor shaft. [4]

The first industrial pump with magnetic coupling has become a product of the American company HMD, which was published in 1949. The early generation of magnetic couplings have a very low efficiency. The fact that the master and slave structures magnets do not touch each other directly. They are divided pump housing. The thicker the body, the greater the distance and the greater the magnetic losses. By itself, the rear part of the pump housing (sealing glass) should be made of a material with low electrical conductivity (e.g., Hastelloy). Modern patented hybrid technology allows some manufacturers to reduce these losses and thereby to bring efficiency to the level of conventional pumps with seals.

4. Energy usage

The energy usage in a pumping installation is determined by the flow required, the height lifted and the length and friction characteristics friction characteristics of the pipeline. The power required to drive a pump (P_i), is defined simply using SI units by:

$$P_i = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

where:

P_i is the input power required (W)

ρ is the fluid density (kg/m³)

g is the standard acceleration of gravity (9.80665 m/s^2)

H is the energy Head added to the flow (m)

Q is the flow rate (m^3/s)

η is the efficiency of the pump plant as a decimal

The head added by the pump (H) is a sum of the static lift, the head loss due to friction and any losses due to valves or pipe bends all expressed in metres of fluid. Power is more commonly expressed as kilowatts (10^3 W , kW) or horsepower (kW = hp*0.746). The value for the pump efficiency, η_{pump} , may be stated for the pump itself or as a combined efficiency of the pump and motor system.

The energy usage is determined by multiplying the power requirement by the length of time the pump is operating. [3]

Conclusion

This thesis has designed a functional diagram of an uninterruptible power supply facility. Batteries uninterruptible power supply has been selected, chosen and designed to maintain power to the load time of 15 minutes. To launch the DPP was made the choice of the transfer pump TKA 32/80 and the electric motor for the pump BA 180 S2. The use of the IF-AD can improve energy efficiency and reliability of the production, since the system uses the most simple electric machine - asynchronous motor with squirrel-cage rotor. Currently, AD IF system receives widespread, since it is economically feasible than other types of regulation. High smooth speed control is also one of the main advantages of such a system.

Sensorless vector control system of asynchronous electric oil transfer pump as a key element of the system unit has been considered. Model simulates the start of the engine with a given load. The modeling based on the optimized control system circuits. We obtained and analyzed the main indicators of quality control system. Within the discontinued transient response, in which the speed is completely fulfills all the perturbations, we can conclude that the drive can be operated in the system. These processes correspond to the calculations which confirm the correctness of the choice of equipment and the establishment of the above control system.

References:

- 1) Wikipedia. Classification of pumps [An electronic resource]. – Access mode: <http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/AH810E05.htm#5.3.1>. (date of access: 5/25/2016)
- 2) Wikipedia. Gear pump [An electronic resource]. - Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Gear_pump (date of access: 5/26/2016)
- 3) Hicks, Tyler G. and Theodore W. Edwards. Pump Application Engineering. McGraw-Hill Book Company.1971. – 264 p.
- 4) Pump Statistics Should Shape Strategies. [An electronic resource] - Access mode:, Mt-online.com (2008-10-01). (date of access: 5/26/2016)
- 5) Wikipedia. Fuel and Oil Transfer Pumps [An electronic resource]. - Access mode: <https://www.grainger.com/category/fuel-and-oil-transfer-pumps/pumps/ecatalog/N-hu1>(date of access: 5/29/2016)

Приложение Б.



Рисунок Б.1 источник бесперебойного питания N-Power Evo

Таблица Б.1- основные технические данные источника бесперебойного питания N-Power Evo

Мощность		160 кВА/128 кВт
Входное напряжение		380 / 400 / 415 В
Диапазон входного напряжения		±15% (при заряде батарей) ~20% (без перехода на аккумуляторные батареи)
Входная частота		50 (номинальное значение), 45 ... 65 (допустимый диапазон)
Входной коэффициент мощности		0.83 (без входного фильтра) 0.9 (с входным THD-фильтром)
Выходное напряжение		380 / 400 / 415 В
Стабильность выходного напряжения		±1%, статический режим ±5% (при скачке нагрузки 0 - 100%), динамический режим
Стабильность частоты на выходе		±1% или ±4% (при синхронизации от сети) ±0.05% (при синхронизации с внутренним источником)
Скорость синхронизации		0.1 Гц/с; при выбеге частоты за пределы 50 ±2 Гц инвертор работает от собственного генератора
Форма выходного напряжения		Синусоида
Время переключения в автономный режим		0 мс (без переходных процессов)
Коэффициент нелинейных искажений (КНИ)		1% (типовое значение) < 2% (максимальное значение) < 5% (при 100% нелинейной нагрузке)
Крест-фактор		3 : 1
КПД инвертора		~ 95% (при 100% нагрузке)
Тип батареи		Герметичные, свинцово-кислотные, необслуживаемые
Минимальное количество батарей		33 × 12 В
Номин. напряжение батар. линейки		396 В (33 × 12 В)
Конечное напряжение разряда		330 В
Перегрузочная способность		125% в течение 20 мин, 150% в течение 90 с (в инверторном режиме), 140% в течение 10 мс (при bypass)
Интерфейс связи		RS232, оптоволоконные разъемы, «сухие» контакты

Приложение В.

Таблица В.2- Технические характеристики аккумуляторной батареи/аккумулятора FIAMM 12 FLB 200

Номинальное напряжение	12 В
Емкость при 25 °С (20-часовой разряд до 1,75 В/эл.)	55 А·ч
Ток короткого замыкания	1550 А
Внутреннее сопротивление	8,3 мОм
Напряжение поддерживающего заряда (25 °С)	2,26 В/эл.
Температурная компенсация в поддерживающем заряде	-2,5 мВ/°С на эл.
Напряжение ускоренного заряда	2,35 В/эл.

Таблица В.3 -Разряд постоянным током, Ампер (при 20 °С)

Конечное напряжение В/эл.	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин	30 мин	45 мин	1 ч	1,5 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч	8 ч	10 ч	12 ч	20 ч
1,65	193	136	107	86,1	72,6	63,3	46,1	36,6	24,7	19,1	14,0	10,8	8,92	7,54	5,93	5,00	4,26	2,72
1,67	187	133	105	84,6	71,4	62,1	45,4	36,1	24,4	18,9	13,9	10,7	8,88	7,52	5,91	4,97	4,24	2,71
1,70	183	131	103	83,6	70,6	61,3	45,0	35,9	24,2	18,7	13,9	10,7	8,85	7,50	5,89	4,96	4,23	2,70
1,75	170	123	98,4	80,7	68,1	59,8	44,2	35,1	23,7	18,4	13,7	10,6	8,76	7,43	5,85	4,91	4,18	2,67
1,80	146	109	87,9	73,3	63,1	55,4	41,3	32,6	22,6	17,8	13,3	10,4	8,61	7,33	5,79	4,83	4,12	2,63

Таблица В.4- Разряд постоянной мощностью, Ватт/элемент (при 20 °С)

Конечное напряжение В/эл.	5 мин	10 мин	15 мин	20 мин	25 мин	30 мин	45 мин	1 ч	1,5 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч	8 ч	10 ч	20 ч
1,65	351	252	202	164	139	123	90,2	72,0	48,7	37,7	27,8	21,4	17,7	15,0	11,8	9,97	5,44
1,67	345	249	199	163	139	123	89,6	71,6	48,4	37,5	27,7	21,4	17,7	15,0	11,8	9,95	5,43
1,70	336	246	196	161	137	120	88,7	71,0	48,0	37,2	27,6	21,4	17,7	15,0	11,8	9,94	5,42
1,75	319	234	190	157	134	118	87,7	70,0	47,4	36,7	27,4	21,2	17,6	14,9	11,8	9,88	5,38
1,80	278	211	172	144	125	110	82,6	65,5	45,4	35,9	26,9	20,9	17,4	14,8	11,7	9,76	5,31

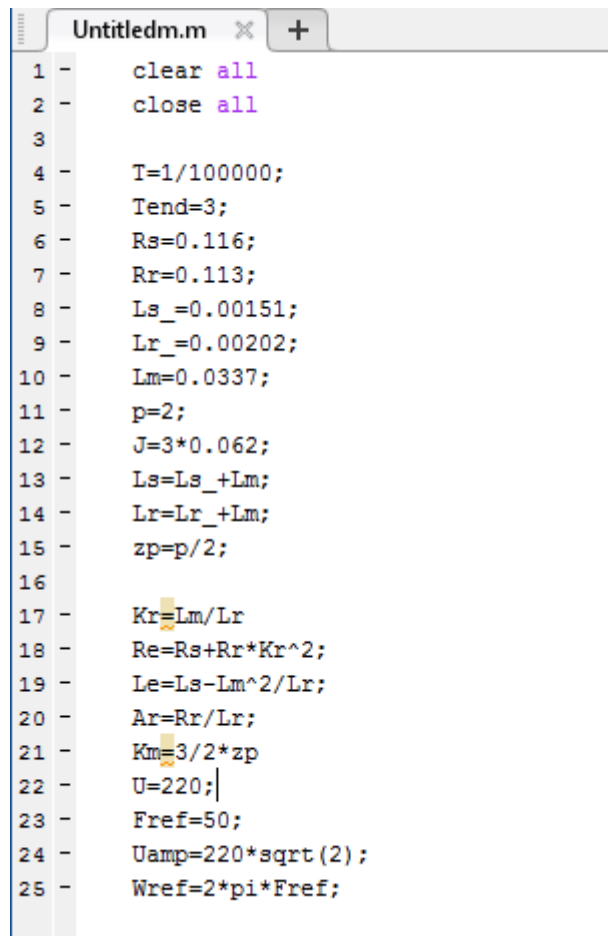
Приложение Г

Таблица Г.4 - Технические характеристики ДЭС фирмы Generent ED160/400IV на номинальную мощность 160 кВА

Резервная мощность:	176 кВА / 140.8 кВт
Номинальная мощность:	160 кВА / 128 кВт
Производитель ДЭС:	Energo
Страна производства:	Франция
Производитель двигателя:	FPT - Iveco
Модель двигателя:	NEF 67TM3A
Скорость вращения коленвала:	1500 об./мин
Расход топлива (нагрузка 75%), л:	24.6
Вид топлива:	дизель по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009)
Встроенный бак, л:	360
Электрогенератор (альтернатор):	Newage Stamford
Тип электрогенератора:	синхронный, безщёточный, с самовозбуждением
Ток, ампер:	267.5
Выходное напряжение:	230 / 400 В, трёхфазное
Частота напряжения:	50 Гц
Коэффициент мощности (cos φ):	0,8
Класс генераторной установки:	индустриальный
Назначение (применение):	промышленное
Габариты (ДхШхВ без капота), мм:	2900х900х1595
Масса (без заправки), кг:	1625
Автоматический ввод резерва:	в комплекте

Приложение Д

Перед началом моделирования в главном окне происходит запуск программного М-файла (рисунок 02), что приводит к инициализации необходимых переменных, находящихся в *Workspace*. Далее в приложении *Simulink* загружается файл со структурной схемой имитационной модели .



```
1 - clear all
2 - close all
3
4 - T=1/100000;
5 - Tend=3;
6 - Rs=0.116;
7 - Rr=0.113;
8 - Ls_=0.00151;
9 - Lr_=0.00202;
10 - Lm=0.0337;
11 - p=2;
12 - J=3*0.062;
13 - Ls=Ls_+Lm;
14 - Lr=Lr_+Lm;
15 - zp=p/2;
16
17 - Kr=Lm/Lr
18 - Re=Rs+Rr*Kr^2;
19 - Le=Ls-Lm^2/Lr;
20 - Ar=Rr/Lr;
21 - Km=3/2*zp
22 - U=220;
23 - Fref=50;
24 - Uamp=220*sqrt(2);
25 - Wref=2*pi*Fref;
```

Рисунок Д.2 - Внешний вид программного М-файла.