

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент

_____ К.М.Виноградов
_____ 03 июля 2020 г.

Модернизация электропривода установки воздушного
охлаждения газа

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2020.082.00.000ПЗВКР

Руководитель работы,
к.т.н., доцент

_____ К.М.Виноградов
_____ 26 июня 2020 г.

Автор работы
студент группы ДО-503

_____ Д.Р. Фассалов
_____ 26 июня 2020 г.

Нормоконтролер,
преподаватель

_____ О.С.Микерина
_____ 2020 г.

Челябинск 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

Кафедра «Техника, технологии и строительство»
Направление «13.03.02. – Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
к.т.н., доцент
_____ К.М.Виноградов
_____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу студента
Фассалов Денис Ринатович
Группа ДО-503

1 Тема работы Модернизация электропривода установки воздушного охлаждения газа.

утверждена приказом по университету от 24 апреля 2020 г. №627

2Срок сдачи студентом законченной работы 26июня2020г.

3 Исходные данные к работе

3.1 Материалы преддипломной и производственной практик

3.2 Справочно-техническая литература

3.3 Инструкции к оборудованию

4 Содержание расчетно-пояснительной записки(перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Роль аппаратов воздушного охлаждения газа в добыче газа и его электропривод

2 Частотно-регулируемый электропривод аппаратов воздушного охлаждения газа.

3 Обзор патентов и литературы. Выводы.

4 Регулирование скорости вращения АВО газа.

5 Экспериментальные исследования при регулировании скорости вращения аппаратов воздушного охлаждения газа.

6 Расчет экономической эффективности проекта.

7 Безопасность жизнедеятельности.

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

5.1 Принципиальная технологическая схема комплексной подготовки газа	1,0 л.
5.2 Технологическая схема охлаждения газа	1,0 л
5.3 Схемы электроснабжения АВО	1,0 л
5.4 Характеристики и модели объектов, входящих в состав ЭП (АВО, ЭД);	1,0 л
5.5 Схемы РЭП АВО, ЭД	1,0 л
5.6 Результаты исследования	1,0 л

Всего 6 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)

7Дата выдачи задания 10.03.2020г.

Руководитель, к.т.н., доцент _____ К.М.Виноградов
(подпись)

Задание принял к исполнению _____ Д.Р. Фассалов
(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Роль аппаратов воздушного охлаждения газа в добыче газа и его электропривод.	15.03.20-20.03.20	
Описание технологической установки.	21.03.20-31.03.20	
Анализ эффективности электротехнических комплексов установок охлаждения газа.	01.04.20-18.04.20	
Выбор способа регулирования.	19.04.20-30.04.20	
Математическое моделирование электротехнических тротехнических комплексов установок охлаждения газа.	01.05.20-16.05.20	
Экономический раздел.	17.05.20-05.06.20	
Безопасность жизнедеятельности.	06.06.20-26.06.20	
Выполнение графической части.	15.03.20-26.06.20	

Заведующий кафедрой/К.М.Виноградов/

Руководитель работы/К.М.Виноградов/

Студент /Д.Р Фассалов/

АННОТАЦИЯ

Фассалов Д.Р. Модернизация электропривода установки воздушного охлаждения газа. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2020, 9 с., 21 ил., библиогр. список – 10 наим., 4 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) произведена модернизация электропривода воздушного охлаждения газа. Изложен технологический процесс воздушного охлаждения, дано описание электропривода. Произведен расчет способов уменьшения токовых перегрузок при пуске электродвигателей для привода вентиляторов АВО газа. В соответствии с предъявляемыми требованиями, выбран преобразователь. Приведено описание схемы электропривода.

Произведен статический расчет системы, расчет регуляторов тока и скорости. Построена математическая модель электропривода вентиляторов АВО газа в системе MATLAB + Simulink

Рассмотрены вопросы электробезопасности, пожарной безопасности и воздействие на окружающую среду. Произведен расчет экономического эффекта от модернизации и сроки окупаемости.

					15.03.05.2020.091.00.000 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	Фассалов Д.Р.				Модернизация электропривода установки воздушного охлаждения газа.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	Виноградов К.М.					Д	6	73
<i>Реценз.</i>						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС» гр.ДО-503		
<i>Н. Контр.</i>	Микерина О.С.							
<i>Утверд.</i>	Виноградов К.М.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 РОЛЬ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В ДОБЫЧЕ ГАЗА И ЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОД	10
1.1 Описание технологической установки	10
1.2 Анализ эффективности электротехнических комплексов установок охлаждения газа.....	12
1.3 Способы уменьшения токовых перегрузок при пуске электродвигателей для привода вентиляторов АВО газа.....	17
2 ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА	25
2.1 Выбор способа регулирования	25
2.2 Схема управления частотно-регулируемого электропривода	26
3 ОБЗОР ПАТЕНТОВ И ЛИТЕРАТУРЫ	32
3.1 Обоснование предмета поиска	32
3.2 Поиск по патентам	32
3.3 Обзор периодической печати	35
3.4 Выводы по патентным и литературным обзорам	36
4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УСТАНОВОК ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА	37
4.1 Особенности расчёта переходных процессов в системах электроснабжения установок охлаждения газа	37
4.2 Математические модели асинхронного электропривода с вентиляторной нагрузкой	37
4.3 Математическая модель электропривода вентиляторов АВО газа в системе MATLAB + Simulink	41
4.4 Исследование переходных процессов при пуске электродвигателей АВО газа	44
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	56
6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	64
6.1 Анализ производственных опасностей и вредностей	64
6.2.1 Мероприятия по обеспечению безопасных и безвредных условий труда	66
6.2.2 Мероприятия по промышленной санитарии	68
6.2.3 Мероприятия по пожарной безопасности	68
6.3 Расчет молниезащиты установки АВО газ	69
6.4 Экологичность проекта	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Охлаждение газа является неотъемлемой частью технологического процесса при подготовке в УКПГ к его транспортировке по МГ. В процессе компримирования и осушения газ нагревается, вызывая температурный перепад на участке газопровода между УКПГ и КС. Во избежание возникновения продольных температурных напряжений и деформаций трубопровода газ охлаждают в специальных установках воздушного охлаждения.

Установки охлаждения газа состоят из определенного количества АВО, которые являются исполнительными элементами в системе поддержания заданной температуры газа на выходе УКПГ. Задача поддержания рекомендуемой температуры газа решается включением необходимого количества вентиляторов. Наибольшее применение нашли АВО с нагнетательной тягой, в которых вентиляторы находятся под теплопередающей поверхностью теплообменника. Приводом вентиляторов являются многополюсные АД, которые имеют низкий коэффициент мощности даже в номинальном режиме. Вследствие большой инерции пуск многополюсного АД с вентилятором на валу является затяжным, при этом кратность пускового тока составляет 4,5 - 5. В этих условиях запуск нескольких вентиляторов в течение небольшого интервала времени превращается в серьезную техническую проблему.

Работа энергосистем Западной Сибири, где расположена основная часть месторождений природного газа, сопровождается частыми нарушениями в подаче электроэнергии, что вынуждает для обеспечения категоричности один ввод УКПГ запитывать от ЭСН. Любой отказ в питающих сетях приводит к нарушению режима добычи газа в целом регионе. Нередкими являются аварийные отключения и в распределительных сетях 6 кВ. В этих условиях восстановление режима охлаждения газа - достаточно часто повторяющаяся ситуация.

Электротехнический комплекс УОГ должен обеспечить техническую возможность восстанавливать режим охлаждения газа без перегрузки источников питания в течение требуемого времени после перерывов электроснабжения. Существующие схемы ЭТК необходимыми характеристиками не обладают. Особенно остро проблема восстановления режима охлаждения газа стоит для УОГ, электроснабжение которых осуществляется по 1-й категории. Здесь нарушение технологического регламента охлаждения сопровождается остановом коммерческой добычи газа и при определенных условиях может привести к аварийным ситуациям со значительным материальным ущербом.

Охлаждение газа является энергоемким процессом. Мощность, потребляемая электродвигателями АВО, составляет сотни киловатт, что оказывает существенное влияние на структуру электропотребления УКПГ, особенно с приводом нагнетателей ДКС от газотурбинных двигателей. На таких предприятиях на охлаждение газа расходуется до 70 % электроэнергии, затрачиваемой на его добычу.

Учитывая то обстоятельство, что в настоящее время на газодобывающих предприятиях страны эксплуатируется свыше шести тысяч АВО различных типов, повышение эффективности ЭТК УОГ является актуальной задачей,

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		8

решение которой способствует экономии топливно-энергетических ресурсов и снижению себестоимости добычи газа.

Целью дипломной работы является создание эффективных ЭТК, обеспечивающих восстановление технологического режима охлаждения газа в течение требуемого времени после перерывов в электроснабжении и служащих основой для автоматизации процесса охлаждения газа.

Реализация поставленной цели достигается решением следующих задач:

- разработка математической модели ЭТК УОГ, включающего в себя группу многополюсных АД для привода вентиляторов АВО и элементы системы электроснабжения;

- проведение с помощью разработанной математической модели исследований динамических режимов в ЭТК УОГ, обусловленных пусками АД с вентиляторной нагрузкой.

Поставленные задачи решались путем проведения теоретических и экспериментальных исследований.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		9

1 РОЛЬ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В ДОБЫЧЕ ГАЗА И ЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОД

1.1 Описание технологической установки

Газовая промышленность является одной из ведущих и наиболее быстро развивающихся отраслей народного хозяйства. Ее особенность заключается в том, что добываемый на месторождениях Крайнего Севера и Западной Сибири газ должен быть передан по магистральным газопроводам потребителям, причем на значительное расстояние [1,2].

После каждой ступени компримирования предусмотрены установки охлаждения газа, оснащенные аппаратами воздушного охлаждения типа 2АВГ-75С.

Каждый аппарат оснащен двумя вентиляторами, расположенными под трубными секциями. Мощность электродвигателя вентилятора 37 кВт. Техническая характеристика АВО приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1–Техническая характеристика АВО

Наименование оборудования (тип, назначение и т.д.)	Индекс позиции на технологической схеме	Количество, шт.	Материал изготовления	Площадь оборудования, м ²	Расчетные параметры	
					Температура, °С	Давление, МПа
Аппарат воздушного охлаждения	ВХ-1	20	Сталь 09Г2С	9930	До плюс 170	7,5
Аппарат воздушного охлаждения	ВХ-1	26	Сталь 09Г2С	9930	До плюс 170	7,5
Аппарат воздушного охлаждения	ВХ-1	48	Сталь 09Г2С	9930	Минус 2–плюс20	9

Охлаждение газа позволяет обеспечить:

- требуемые параметры работы ГПА второй ступени (промежуточное охлаждение газа после первой ступени компримирования);
- возможность осушки газа до требуемой точки росы по влаге в соответствии с ОСТ 51.40-93 на установке подготовки газа к транспорту (конечное охлаждение после второй ступени компримирования).

Поддержание необходимой температуры газа на выходе из установки охлаждения осуществляется:

- регулированием производительности вентиляторов путем изменения угла установки лопастей;

-отключением двигателей вентиляторов (отключение начинать с последнего по ходу газа ряда);

-отключением отдельных пар АВО (двух последовательно включенных АВО).

Эксплуатация аппаратов должна производиться в соответствии с «Инструкцией по эксплуатации 2АВГ.75.00 ИЭ».

Промежуточное охлаждение производится после первой ступени компримирования (в составе КЦ-2).

Охлаждение осуществляется в 20 аппаратах типа 2АВГ-75С, которые установлены и обвязаны двумя группами по 10 шт. для параллельно–последовательной работы.

В период действия регламента 2010–2014 годы, температура газа на нагнетании первой ступени составит:

-в летнее время до плюс 130°С;

-в зимнее время до плюс 115°С.

При абсолютной максимальной температуре воздуха, равной плюс 35°С, и степени сжатия $\epsilon=3,0$ возможно повышение температуры газа перед АВО до плюс 170°С.

Температура газа на выходе из АВО должна поддерживаться в диапазоне:

- летний режим–плюс 19...36°С;

- зимний режим–плюс 15...25°С.

Указанный уровень охлаждения определяется необходимостью обеспечения такой температуры газа на входе в ГПА КЦ - 1, при которой не будет происходить конденсация содержащихся в газе водяных паров, с гарантированным запасом 3...5°С.

Конкретное значение температуры газа после АВО определяется расчетами ИТЦ с учетом фактических показателей по выносу пластовой воды и эффективности сепарации.

В связи с возможностью образования гидратов и закупоривания ими трубок АВО, в зимний период, при температуре воздуха минус 10...минус 50°С необходимо:

-контролировать температуру газа на выходе из каждой секции АВО;

-оставлять в работе столько рядов вентиляторов по ходу газа, чтобы температура в коллекторе после АВО была на уровне плюс 15...25°С;

-чередовать работу вентиляторов при понижении температуры газа на выходе из пары АВО (по сравнению с температурой в общем коллекторе на выходе из установки охлаждения газа);

-изменять количество рабочих пар АВО;

-при недопустимом снижении температуры газа после пары АВО (по отношению к остальным работающим парам) необходимо остановить вентиляторы данной пары, подать метанол;

-количество и периодичность подачи метанола определяется условиями эксплуатации.

При работе одного агрегата по пусковому контуру с высокими степенями сжатия возможно повышение температуры газа на всасывающей линии ГПА до

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		11

значений, превышающих максимально допустимые (плюс 60°C). Для предупреждения недопустимого повышения температуры в схеме установки предусмотрена возможность охлаждения газа пускового контура в двух крайних парах АВО с возвратом охлажденного газа во всасывающую линию ГПА.

Функции контроля давления, перепада давлений, температуры, а также управление входными, выходными кранами и вентиляторами АВО выведены на ЛИС АВО газа, которая установлена в КТП АВО №1.

ЛИС работает либо в режиме дистанционного управления, либо в режиме автоматического управления и регулирования. Информация от ЛИС АВО газа передается по интерфейсному каналу связи в систему управления КЦ (САУ ОЦТО) для отображения и регистрации с помощью средств САУ КЦ.

Конечное охлаждение газа производится после второй ступени компримирования газа (КЦ-1). В составе КЦ-1 для охлаждения газа используются 26 аппаратов воздушного охлаждения типа 2АВГ-75С, которые установлены и обвязаны двумя группами по 13 шт. для параллельно-последовательной работы.

Двадцать два аппарата (11 пар АВО) предусмотрены для охлаждения только основного потока газа. Четыре аппарата (2 пары АВО) параллельно к основному потоку газа обвязаны для охлаждения газа при выводе ГПА на режим, а также в случае работы ГПА по антипомпажному контуру.

Температура газа перед АВО составляет:

- в зимнее время – от плюс 120 до плюс 150°C;
- в летнее время – от плюс 130 до плюс 150°C.

При дальнейшем повышении степени сжатия (до $\varepsilon=3,0$) на второй ступени компримирования, при абсолютной максимальной температуре воздуха, равной плюс 35°C, возможно повышение температуры на входе в АВО до плюс 170°C.

Температура газа на выходе из АВО в летнее время должна поддерживаться на уровне плюс 20...23°C (при температуре воздуха до плюс 16..18°C).

В зимний период температура газа после АВО должна быть на уровне плюс 15...20°C.

Возможность насыщения газа парами метанола обеспечивается в сепараторах С-1 при использовании для орошения водометанольного раствора (25–30%). Раствор подается в емкость Е-3 установки очистки газа из абсорберов А-1 установки осушки на УКПГ.

Насыщенный метанолом "сырой" газ после двухступенчатого компримирования с давлением порядка 4,4–5,5 МПа и температурой плюс 60...170°C поступает на охлаждение в АВО.

При эксплуатации АВО в зимний период года необходимо:

- контролировать температуру газа на выходе из каждой пары АВО;
- оставлять в работе столько рядов вентиляторов по ходу газа, чтобы температура в коллекторе после АВО была не ниже плюс 5°C (при подаче метанола), либо плюс 20...23°C (без подачи метанола);

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		12

- чередовать работу вентиляторов при понижении температуры газа на выходе из пары АВО (по сравнению с температурой в общем коллекторе на выходе из установки охлаждения газа);

- изменять количество рабочих пар АВО;

- при недопустимом снижении температуры газа после пары АВО (по отношению к остальным работающим парам) необходимо остановить вентиляторы данной пары, подать метанол при помощи арматуры, установленной на метанолопроводе–подаче в каждую пару АВО. Для подачи метанола непосредственно на вход в каждую пару АВО на метанолопроводе установлено две арматуры: одна запорная, другая ручная регулируемая, при помощи которой регулируется расход подаваемого метанола.

Режим работы АВО определяется условиями эксплуатации.

В каждой из трех секций выхода газа на уровне нижнего ряда трубок последнего аппарата пары АВО установлен термопреобразователь для дистанционного измерения температуры с выводом показаний и сигнализации температуры гидратообразования в операторскую ДКС.

Две пары аппаратов (12-я и 13-я) параллельно к основному потоку охлаждения газа подключены к пусковому (антипомпажному) контуру ГПА. Для оперативной возможности переключения с одного режима (охлаждение основного потока газа) на режим охлаждения газа пускового контура на входе и выходе АВО установлены краны со струйным приводом. Количество подключаемых к пусковому (антипомпажному) контуру пар АВО (одну или две) определяется производительностью, температурой газа после АВО и допустимым перепадом давления между входом и выходом газа в/из АВО. Для включения 12-й и 13-й пар АВО в систему запуска ГПА (или станции) либо антипомпажного регулирования в зимний период необходимо, чтобы 12-я и 13-я пары АВО в обязательном порядке были подключены к основному потоку газа.

Охлажденный газ поступает в выходной коллектор установки охлаждения и далее, через кран № 8 узла подключения ДКС к УКПГ, на установку осушки.

Функции контроля перепада давления и температуры газа выведены на ИУС. Стойка ЛИС АВО установлена в КТП АВО №1.

Упрощенная технологическая схема УКПГ показана на рисунке 1.1. В состав УКПГ входят: площадка переключающей аппаратуры, узел подключения ДКС, охранные краны, входные и выходные коллекторы технологического газа, запорная арматура, установка очистки газа, БПТПГ, ГПА с технологической обвязкой, УОГ с АВО, СЭС, ЭХЗ, средства измерений и автоматики, противопожарного водоснабжения, противопожарной сигнализации, пожаротушения, установка подогрева теплоносителя, установка осушки газа, цех регенерации метанола и ДЭГ и т. д.

Технологическая схема охлаждения газа показана на рисунке 1.2. После компримирования газ под рабочим давлением около 7,5 МПа проходит по трубчатым теплообменным секциям АВО-1–АВО-N. Через межтрубное пространство теплообменной секции с помощью электроприводных вентиляторов

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		13

прокачивается воздух. За счет теплообмена с принудительно перемещаемым потоком воздуха происходит снижение температуры газа.

Все эти аппараты типа 2АВГ-75-С – горизонтального типа, причем вентиляторы расположены под трубным пучком (нагнетательная тяга).

В основу технологического регламента УОГ положен принцип оптимального режима охлаждения газа в АВО: оптимальным для снижения энергозатрат является максимальное охлаждение газа в АВО с ограничением темпера-

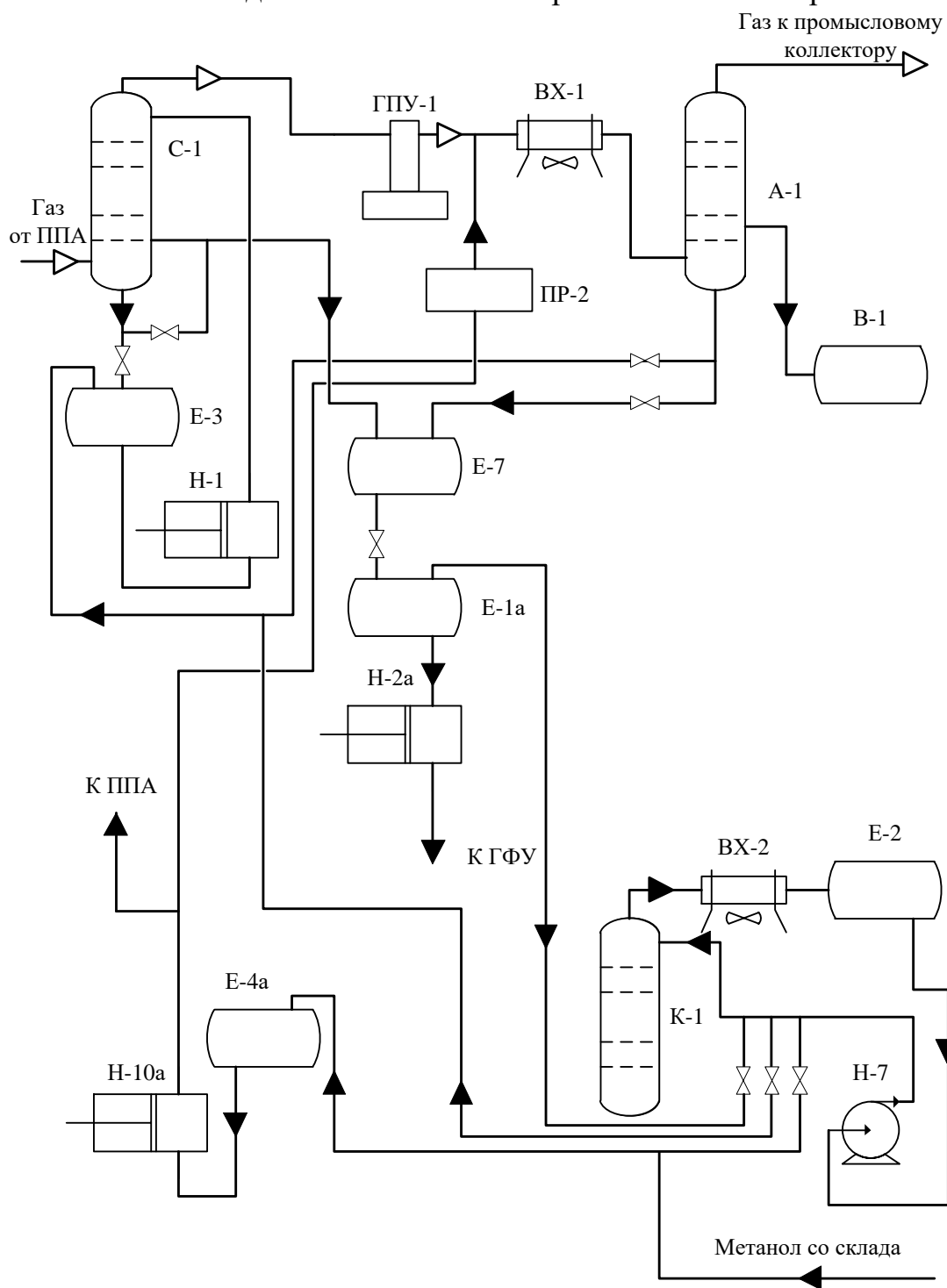


Рисунок 1.1 – Принципиальная технологическая схема комплексной подготовки газа с рециркуляцией метанола

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

14

Для участков газопроводов, проложенных в вечномерзлых грунтах, газ охлаждается до температуры указанной в проекте (как правило, эта температура не превышает плюс 5 °С).

Таблица 1.2 – Экспликация оборудования

1.2 Анализ эффективности электротехнических комплексов установок

Обозначение по схеме	Наименование оборудования	Количество, шт.
С-1	Блок сепаратора с промывочной секцией	8
ГПУ-1	Газоперекачивающая установка ГПУ-16/76–1,7	5
ВХ-1	Аппарат воздушного охлаждения типа 2АВГ-75С	26
Е-1	Блок емкости для рефлюкса	1
Н-1	Насос подачи промывочной воды типа НР/1 0,5/100 С2	2
ПР-2	Панель распределения ингибитора	1
А-1	Блок абсорбера	9
К-1	Блок десорбера	4
ВХ-2	Конденсатор воздушный	6
В-1	Блок разделителя насыщенного ДЭГа	2
Е-2	Разделитель конденсат–метанол	2
Е-4а	Блок 2–х емкостей регенерированного метанола	1
Н-7	Насос типа ХЕ-3/40-А-2Г-У2	3
Н-10а	Насос ингибитора типа ПТ-1-1-1.6/250-Д2В2	3
Е-7	Блок разделителя конденсат–метанол	2
Е-1а	Емкость насыщенного метанола	1
Н-2а	Насос типа ХЕ-3/40-А-2Г-У2	2

охлаждения газа

АВО являются исполнительными элементами в системе, которая должна поддерживать в заданных пределах температуру технологического продукта при изменении режимных параметров процесса и климатических условий местности.

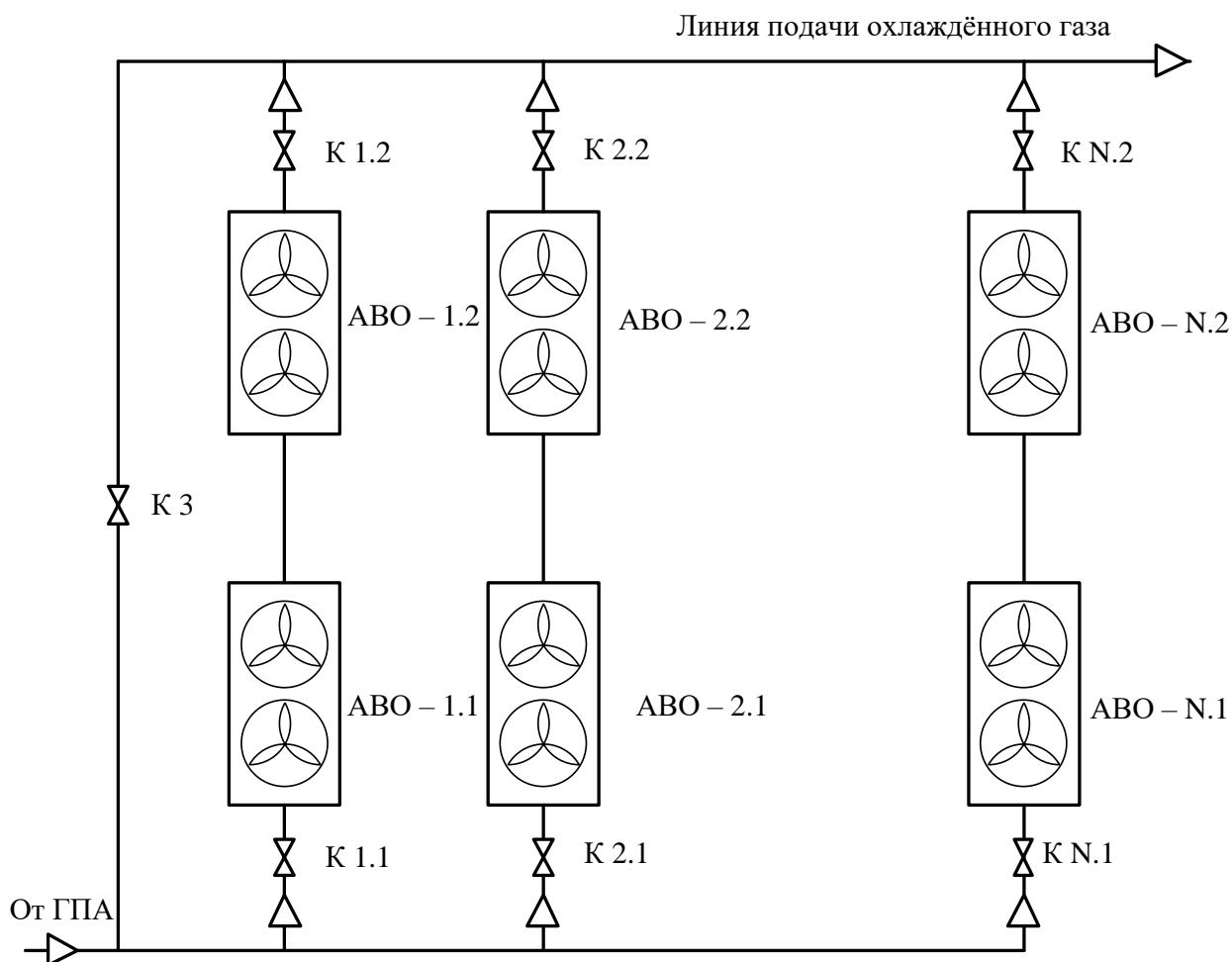


Рисунок 1.2 – Технологическая схема охлаждения газа

На рисунке. 1.3 показана структурная схема системы стабилизации температуры $T_{\text{ВЫХ.газа}}$, в которой используется группа АВО. Управляющими воздействиями в этой системе являются массовые расходы воздуха $G_{\text{ВК}}$, создаваемые вентиляторами, возмущающими – начальная температура $T_{\text{ВХ.}}$ и массовый расход продукта $G_{\text{п}}$, температура охлаждающего воздуха $\theta_{\text{В.}}$.

Информационно–управляющая система на основе данных о состоянии указанных выше параметров формирует сигналы $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ на управляющих входах коммутационно–регулирующего блока, который в общем случае преобразует электрическую энергию источника электроснабжения с напряжением U_0 и частотой f_0 в N трехфазных систем напряжений $U_{\text{к}}$ частотой $f_{\text{к}}$ на статорных обмотках приводных электродвигателей. Это позволяет изменением скорости $\omega_{\text{к}}$ вращения колеса k -го вентилятора регулировать его производительность с целью стабилизации температуры газа $T_{\text{ВЫХ.}}$ на выходе АВО.

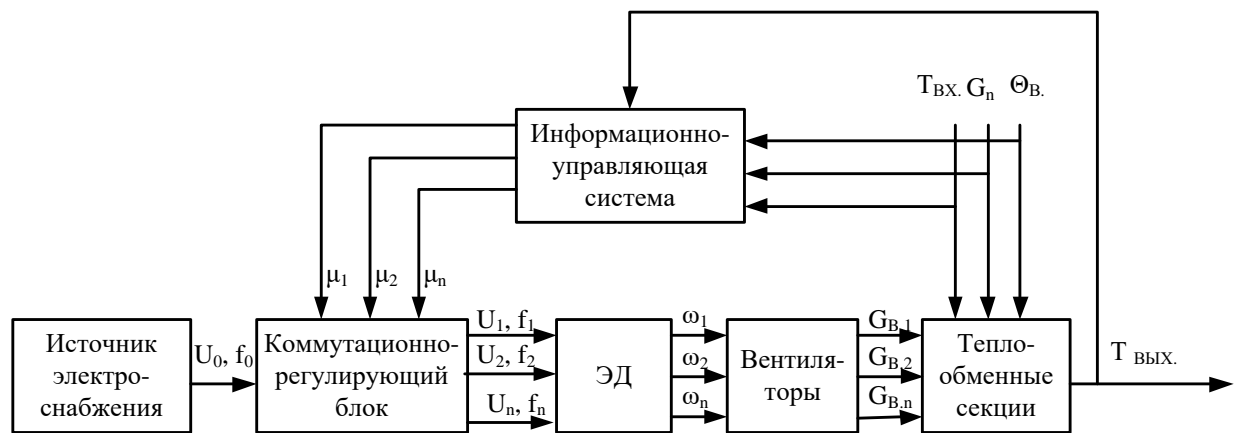


Рисунок 1.3 – Структурная схема системы стабилизации температуры газа

Алгоритм управления электродвигателями вентиляторов при заданных требованиях к точности стабилизации температуры зависит от количества АВО [3]. Непрерывное регулирование производительности вентиляторов целесообразно в системах с небольшим количеством аппаратов, в которых включение (отключение) одного вентилятора приводит к выходу стабилизируемого параметра из заданного диапазона. Характерным примером является стабилизация температуры в маслосистемах газоперекачивающих агрегатов [4]. При достаточно большом количестве АВО частотное регулирование электродвигателей оказывается экономически нецелесообразным, поэтому алгоритм управления упрощается [5]. Напряжение U_k и частота f_k на статорных обмотках двигателей в установившемся режиме соответствуют параметрам источника питания. Однако в пусковом режиме эти параметры могут изменяться для исключения токовых и механических перегрузок.

При дискретном изменении производительности вентиляторов задачей системы автоматического управления (рисунок. 1.3) является отыскание необходимого количества $n = f(T_{вх.}, G_n, \theta_{в.})$ одновременно работающих вентиляторов для поддержания заданного значения $T_{п.2}$ температуры технологического продукта после теплообменных секций АВО. Проанализируем затраты электрической энергии на некотором интервале времени $[0, T_0]$ при реализации данного способа управления в одной секции типового электротехнического комплекса, схема которого показана на рисунке 1.4.

$$E_{Г.} = \frac{Q_{Т.}(V_{В.}, w_{В.}, \beta, \theta_{В.})}{\sum_{k=1}^N P_{Д.В.k} + \sum_{i=1}^M P_{Н.Г.i}}, (1.1)$$

где $Q_{Т.}(V_{В.}, w_{В.}, \beta, \theta_{В.})$ – тепловая нагрузка АВО, которая является функцией объемного расхода воздуха $V_{В.}$, скорости воздуха в узком сечении теплообменных секций $w_{В.}$, угла наклона лопастей вентиляторов β и температуры наружного воздуха $\theta_{В.}$;

$\sum_{k=1}^N P_{Д.В.k}$ – суммарная мощность двигателей вентиляторов АВО;

$\sum_{i=1}^M P_{Н.Г.i}$ – суммарная мощность нагнетательных устройств КЦ, необходимая для

подачи технологического продукта (газа) через АВО.

Другая проблема систем электроснабжения УОГ состоит в том, что при прямом пуске электродвигателя потребляется ток, который в 4,5–5 раз превышает номинальное значение. Это приводит к перегрузкам источника питания, провалам напряжения, потерям электрической энергии в линиях электропередачи, трансформаторах и коммутационных элементах. Характерной особенностью электропривода АВО газа с нагнетательной тягой является большая инерция вращающихся масс. Пуск электродвигателей в этих установках является затяжным, на изменение кинетической энергии мехатронной

системы затрачивается большое количество электроэнергии. Одновременное включение нескольких вентиляторов, например, после перерыва электроснабжения, оказывается невозможным, так как происходит перегрузка источника электроснабжения и срабатывание защиты.

Категорийность электроснабжения АВО газа зависит от назначения и специфичных условий эксплуатации объекта, на котором они установлены. В соответствии с нормативными документами [6, 8] к 1-й категории потребителей относятся СОГ на объектах добычи газа, а также установки для охлаждения газа, если они эксплуатируются на КС в зоне вечномёрзлых грунтов или в составе СПХГ. Перерыв в электроснабжении перечисленных объектов допускается на время автоматического включения резерва питания. В прочих случаях электроснабжение АВО газа осуществляется по 2-й категории. При этом, длительность отключения УОГ должна быть минимальной, так как перерыв в электроснабжении этих установок приводит к нарушению температурного режима газопровода, что, в свою очередь, при длительной остановке АВО может привести к аварийному разрушению МГ и нарушению заданного режима добычи газа.

Для обеспечения категорийности электроснабжения АВО на СОГ и КС, расположенных в районах с вечномёрзлыми грунтами, предусматривается установка аварийных источников электроснабжения. В качестве этих источников применяются АДЭС мощностью 500 (630) кВт с напряжением генератора 0,4 кВ, которые подключаются к шинам КТП АВО.

						15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата			19

В СЭС СОГ актуальной является задача восстановления заданного технологического режима охлаждения газа после перерывов в подаче напряжения на шины КТП, которые могут быть вызваны следующими причинами:

- отклонениями и колебаниями напряжения и частоты в сетях 110 кВ ниже порога срабатывания защит минимального напряжения (U_{\min}) и частотной разгрузки (АЧР);
- аварийными отключениями в сетях 110 кВ;
- аварийными отключениями генераторов электростанций собственных нужд (ЭСН);
- короткими замыканиями в распределительных сетях 6(10) кВ.

Частые нарушения в подаче электроэнергии является обычным явлением для энергосистем Западной Сибири. Так, например, в 2003 году произошло 42 аварийных отключения в сетях 110 кВ и выше с общим простоем более 20 тыс. ч.

Стремление максимально быстро восстановить режим охлаждения газа после возобновления подачи напряжения нередко приводит к наложению во времени пусковых процессов электродвигателей, что, в свою очередь, может стать причиной срабатывания защит и обесточиванию секции КТП АВО. Совмещение пусковых токов электродвигателей АВО газа, особенно в послеаварийном режиме, негативно влияет на режим работы СЭС КС в целом. Эта проблема проявляется наиболее ярко при питании потребителей КС от ЭСН – источников ограниченной мощности, а потребителей АВО – от АДЭС.

Следовательно, СЭС должна обеспечивать техническую возможность восстановления заданного режима охлаждения газа за определенное время. Существующие схемы СЭС необходимыми характеристиками не обладают. В частности, не возможен одновременный пуск нескольких электродвигателей АВО, что затрудняет автоматизацию управления процессом охлаждения газа.

Таким образом, время восстановления заданного технологического режима охлаждения газа может служить одним из критериев эффективности СЭС УОГ. Минимизация этого времени является актуальной задачей для УОГ, электроснабжение которых осуществляется по 1-й категории.

1.3 Способы уменьшения токовых перегрузок при пуске электродвигателей для привода вентиляторов АВО газа

Известен и хорошо исследован ряд способов уменьшения токовых перегрузок при пуске АД с короткозамкнутым ротором. Наиболее простые из них предусматривают снижение напряжения, подаваемого на двигатель в процессе разворачивания ротора. Так как электромагнитный момент АД пропорционален квадрату напряжения на статорных обмотках, то этот способ применим, в основном, в электроприводе с вентиляторной нагрузкой [9].

Напряжение питания АД может быть снижено за счет включения последовательных элементов между источником электроснабжения и статорными обмотками двигателей. В начальный момент пуска сопротивление этих элементов имеет максимальное значение. По мере разгона двигателя и уменьшения тока, потребляемого от источника электроснабжения, сопротивление последовательного элемента уменьшают соответствующим образом. После завершения процесса

										15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата							20

разгона АД сопротивление последовательного элемента уменьшают до нуля, например, замыканием параллельно ему контакта, в результате чего двигатель получает электроснабжение непосредственно от сети [10].

Наиболее просто токоограничивающие элементы могут быть реализованы в виде активных сопротивлений. Однако их применение в системах электроснабжения УОГ является нерациональным из-за существенных потерь электрической энергии. Токоограничивающие элементы в виде катушек индуктивности являются громоздкими и при современном уровне цен на электротехнические материалы имеют большую стоимость. Аналогичные недостатки имеет автотрансформаторный способ пуска [11].

Переключением обмоток статора на завершающей стадии пуска со «звезды» на «треугольник» также можно обеспечить снижение пусковых токов. При таком способе пуска линейные токи снижаются в 3 раза, а напряжения в $\sqrt{3}$ раз. Недостатком этого способа пуска является размыкание цепи питания двигателя, что приводит к перенапряжениям. Кроме того, техническая реализация способа в СЭС АВО газа сопряжена с большими проблемами в связи с тем, что двигатели вентиляторов работают во взрывоопасной среде. Установка коммутационной аппаратуры рядом с двигателями является затруднительной. Размещение ее на КТП требует прокладки к каждому двигателю дополнительного трехжильного кабеля.

В последнее время широкое распространение получили устройства плавного пуска (УПП), выполненные в виде тиристорных регуляторов напряжения [2, 13, 14]. Современные УПП снабжены микропроцессорной системой управления, благодаря чему пользователю предоставляется широкий выбор траекторий, по которым может развиваться процесс пуска АД. Стоимость УПП относительно не велика и составляет 600–900р. на 1 кВт мощности двигателя в зависимости от фирмы – изготовителя и набора опций.

Варианты построения схем электроснабжения АВО газа, оснащенных УПП, показаны на рисунках 1.5 и 1.6. В первой схеме все двигатели УОГ оснащены УПП, благодаря чему каждый из двигателей может включаться в работу независимо от других. Вариант схемы на рисунке 1.6 предполагает использование одного УПП на группу двигателей.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		21

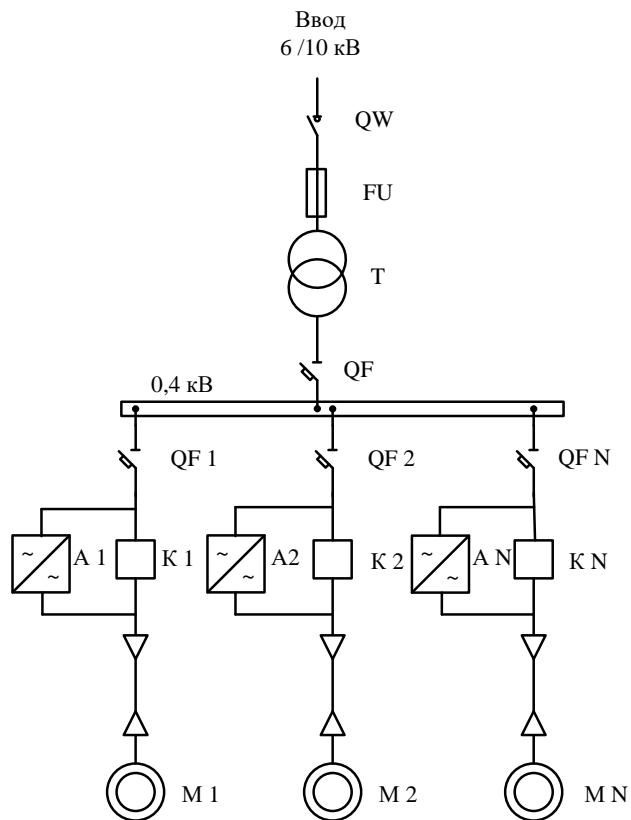


Рисунок 1.5 – Схема электроснабжения АВО газа с УПП на каждый электродвигатель

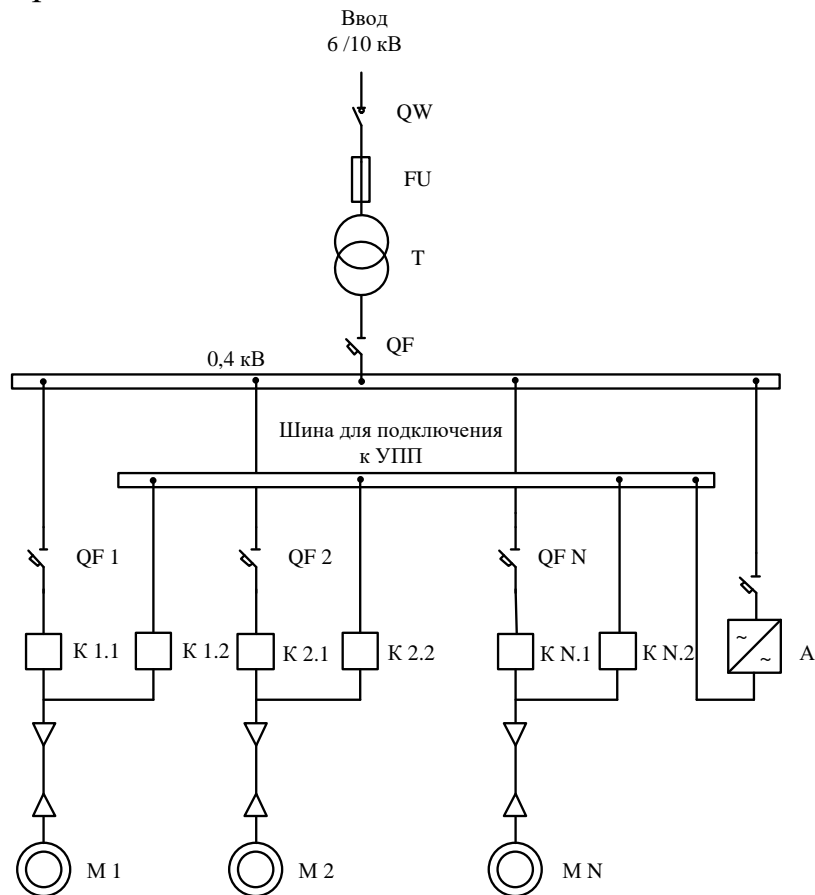


Рисунок 1.6– Схема электроснабжения АВО газа с одним УПП на группу электродвигателей

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

В процессе пуска двигатель M_j сначала подключается с помощью коммутатора K_{j1} к дополнительной (пусковой) шине, затем по окончании разгона коммутатором K_{j2} переключается на основную шину 0,4 кВ. Таким образом, запуск АД в группе может производиться только последовательно, что существенно затягивает процесс выхода на необходимый режим.

Возможны различные алгоритмы переключения запускаемого АД с дополнительной шины на основную. В соответствии со способом пуска группы АД, который предложен в [15], переключение производится в момент, когда разность потенциалов между шинами становится меньше заданного значения.

Если сравнивать затраты на реализацию вариантов применения УПП в схемах электроснабжения АВО газа, то для схемы рисунка 1.5 они будут больше, чем для схемы рисунка 1.6. Однако вариант схемы, в которой каждый двигатель оснащен УПП, обеспечивает максимальную скорость восстановления технологического режима охлаждения газа после перерывов электроснабжения.

Вопросы моделирования и расчета асинхронного электропривода с тиристорными регуляторами напряжения подробно рассмотрены в [5, 16, 17] и других работах. Приведенные в них результаты исследований позволяют сделать вывод о том, применение тиристорных УПП является наиболее эффективным для двигателей с достаточно большим $\cos\phi > 0,8$. Если с помощью тиристорного регулятора производить пуск АД с низким $\cos\phi$, то переходный процесс существенно затягивается во времени, а при определенных условиях может завершиться «зависанием» двигателя на промежуточной скорости. Это подтверждается результатами испытаний, которые проводились при внедрении опытных образцов УПП в СЭС тихоходных электродвигателей серии ВАСО. Для этих двигателей снижение пускового тока составляло 1,5 – 2 раза, а время пуска увеличивалось в несколько раз.

Применение тиристорных УПП может быть эффективным в СЭС УОГ, состоящих из АВО с вытяжной тягой. В них применяются АД с небольшим числом пар полюсов (2 или 3), которые имеют $\cos\phi = 0,85-0,9$ и кратность пускового тока 6,5-7. Передача вращающего момента от электродвигателя к вентилятору осуществляется через клиноременную передачу. Регулирование напряжения на статорных обмотках указанных АД в процессе его пуска позволяет не только уменьшить ток источника электроснабжения, но и снизить нагрузки на механические узлы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований в области управления электродвигателями с вентиляторной нагрузкой, которые изложены в работах [9, 18, 19, 20, 21] и других, дают основание сделать вывод о том, что наилучшие характеристики при пуске тихоходных электродвигателей АВО газа могут быть получены при реализации блоков А1–АН в схеме рисунка 1.5 и блока А в схеме рисунка 1.6 в виде преобразователей частоты (ПЧ), построенных по схеме: неуправляемый входной выпрямитель, сглаживающий фильтр и АИН с ШИМ на модулях типа IGBT [22, 23]. Однако такое решение требует значительных материальных затрат в связи с тем, что стоимость указанных ПЧ на сегодняшний день составляет от 2100 до 4500р. на 1 кВт мощности АД. Кроме финансовых

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		23

проблем существует ряд проблем технического плана, в частности, проблема «длинного кабеля», соединяющего обмотки АД с выходом автономного инвертора [24]. Выходное напряжение АИН с ШИМ представляет собой высокочастотную последовательность прямоугольных импульсов, прохождение которых по кабелю вызывает волновые перенапряжения на зажимах двигателя. Устранение негативного воздействия перенапряжений на изоляцию обмоток АД достигается применением специальных фильтров, включаемых в выходные цепи АИН, что, в свою очередь, приводит к увеличению стоимости электротехнического комплекса.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		24

2 ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

2.1 Выбор способа регулирования

Одним из основных направлений решения задачи энергосбережения на предприятиях добычи газа является применение регулируемого электропривода в основных и вспомогательных системах УКПГ и ДКС. Приоритетность этого направления объясняется произошедшим в последние годы резким увеличением тарифов на покупную электроэнергию. На УКПГ с ДКС, имеющими газотурбинный привод газоперекачивающих агрегатов заметный экономический эффект может быть получен при использовании частотно-регулируемого привода в системах охлаждения компримированного газа, которые состоят из определенного количества аппаратов воздушного охлаждения (АВО).

Оснащение вентиляторов АВО газа частотно-регулируемым приводом позволяет оптимизировать их режим работы, исключить трудоемкий процесс сезонной регулировки угла атаки лопастей, устранить токовые и механические перегрузки при пуске электродвигателей.

При нерегулируемом электроприводе реализуется комбинированное управление интенсивностью теплообмена:

- электрическое, ступенчатое путем ввода в работу от 1 до N приводных двигателей (вентиляторов);
- механическое, плавное путем изменения углов управления направляющих пластин жалюзи и углов атаки лопастей вентиляторов.

Механический способ регулирования интенсивности теплообмена АВО газа обладает рядом недостатков:

- повышенное потребление электроэнергии электроприводом вентиляторов АВО газа из сети при регулировании температуры $T_{г.о.}$;
- большие потери электроэнергии и нагрев приводных АД;
- сложность и требование определенного времени на изменение угла атаки;
- необходимость вывода вентилятора из работы при изменении угла атаки его лопастей;
- трудность точного регулирования и стабилизации температуры газа;
- практическая невозможность создания эффективной системы автоматического управления АВО газа.

Кроме того, применение нерегулируемого по скорости электропривода вентилятора АВО газа имеет ряд известных существенных недостатков:

- продолжительное время пуска из-за большого момента инерции вентилятора и приводного АД;
- значительные и продолжительные пусковые токи и мощность электродвигателя, отрицательно воздействующие на АД и систему электроснабжения;
- повышенное и продолжительное потребление активной и реактивной энергии из сети;

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		25

- большие динамические моменты АД при пуске, отрицательно воздействующие на двигатель и механическую часть, особенно при встречном вращении лопастей вентилятора от воздушных потоков, возникающих в АВО газа.

Перечисленные недостатки, присущие нерегулируемому ЭП и механическому способу управления интенсивностью теплосъема с охлаждаемого газа, исключаются с применением электрического способа регулирования давления и скорости воздушного потока, создаваемого вентилятором. Он наиболее эффективно реализуется с применением системы «преобразователь частоты - асинхронный двигатель» (ПЧ-АД).

При электрическом способе регулирование интенсивности теплообмена охлаждаемого газа производится комбинированно:

- числом работающих АД (вентиляторов);
- плавным регулированием скорости АД (вентиляторов).

Для получения наибольшего энергосберегающего эффекта необходимо установить оптимальный угол атаки лопастей вентиляторов, при котором КПД вентиляторов будет максимальным.

Электрический способ регулирования позволяет плавно изменять давление и скорость воздушного потока каждого вентилятора от нуля до номинального значения. Его использование обеспечивает во всех режимах работы технологической установки и возможных температурах окружающей среды заданную или несколько меньшую ($\Delta T \leq 2$ °С) температуру охлажденного газа при минимальном потреблении электроэнергии из сети и потерях в двигателях.

Поэтому способ регулирования выбирается частотный.

2.2 Схема управления частотно-регулируемого электропривода

Оптимизация режима работы АВО газа может быть достигнута за счет частотного регулирования производительности вентиляторов. Идея применения преобразователей частоты (ПЧ) не нова, однако внедрение управляемого привода на АВО газа сдерживалось высокой ценой преобразователей и относительно низкими тарифами на электрическую энергию.

Современный ПЧ оснащен системой управления на базе промышленного микропроцессорного контроллера, благодаря чему способен реализовывать неограниченные по сложности алгоритмы управления. Производительность вентилятора пропорциональна частоте его вращения. Мощность, потребляемая мехатронной системой электродвигатель - вентилятор, зависит от частоты вращения вентилятора примерно в третьей степени. Поэтому затраты электроэнергии на поддержание заданной температуры газа за счет частотного регулирования производительности вентиляторов оказываются меньше, чем при дискретном управлении.

Использование интеллектуального регулируемого привода позволяет поддерживать максимальную мощность путем изменения частоты и напряжения питания электродвигателя, не допуская при этом перегрузки двигателя по току. Отпадает также потребность в сезонном изменении углов установки лопастей вентилятора: лопасти настраиваются на угол, при котором электродвигатель нагружается номинальным током. Настройки производятся один раз в летний

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		26

период, когда плотность воздуха минимальна. При изменении (понижении) температуры воздуха плотность воздуха увеличивается, а номинальный ток электродвигателя поддерживается за счет регулирования частоты питающего напряжения.

При использовании интеллектуального регулируемого привода каждая секция АВО газа является замкнутым контуром регулирования с измерением температуры на выходном шлейфе, пропорциональным регулированию мощности привода. Такой подход позволяет получать дополнительную экономию электроэнергии.

Алгоритмы управления АСУТП АВО газа с частотно-регулируемым приводом позволяют избегать рециркуляции, так как работают все вентиляторы с требуемой частотой вращения, в зависимости от расхода газа через секции АВО, его температуры после компримирования и температуры наружного воздуха.

Кроме того, применение современной технологии векторного управления позволяет реализовать безударный "подхват" выбегающего ротора, что способствует стабилизации технологического режима и снижению нагрузки на узлы электрических машин, возникающей при пуске.

Регулирование производительности вентиляторов АВО газа осуществляется преобразователями типа СТА-С5.СР. Если температура газа на выходе теплообменников становится больше или меньше заданной величины, частота вращения лопастей вентиляторов снижается или увеличивается ровно настолько, чтобы восстановить требуемый режим. На рисунке 2.1 представлен внешний вид оборудования, установленного на комплектной трансформаторной подстанции АВО газа.



Рисунок 2.1 – Внешний вид преобразователя частоты типа СТА-С5.СР

Частотный преобразователь типа СТА-С5.СР предназначен для управления общепромышленным приводом с постоянным или переменным моментом на валу

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		27

электродвигателя (привод станочного оборудования, транспортеры, конвейеры, грузоподъемные механизмы, насосы, вентиляторы и т. д.).

Основные технические характеристики и функциональные возможности частотного преобразователя типа СТА-С5.СР:

- два дисплея индикации;
- управление по вольт-частотной характеристике U/F;
- встроенный ПИД-регулятор;
- встроенный интерфейс RS-485 (внутренний протокол, протокол MODBUS (для преобразователей мощностью 11 кВт и выше));
- автоматическая регулировка напряжения на шине постоянного тока инвертора;
- функция ограничения выходного напряжения инвертора;
- функция ручного управления выходным напряжением инвертора;
- функция прогрева двигателя перед пуском;
- шаговый режим работы двигателя;
- функция автоматического подхвата скорости работающего двигателя;
- функция автоматического перезапуска с поиском скорости двигателя после пропадания питания;
- функция автонастройки функциональных параметров преобразователя под тип нагрузки;
- расширенные функциональные возможности для использования в системах водоснабжения;
- аналоговые выходы 4–20 мА (для преобразователей мощностью 11 кВт и выше);
- высокая перегрузочная способность;
- многочисленные защитные функции.

Таблица 2.1 – Основные характеристики преобразователя частоты серии СТА-С5.СР

Параметр	Значение
Номинальное входное/выходное напряжение, В	380
Мощность, кВт	37
Ток, А	75
Предельный ток нагрузки: мин с	120% – 1 150% – 6
Габаритные размеры в упаковке (ширина x высота x глубина), мм	435x745x560
Масса, кг	50

Таблица 2.2 – Краткие технические характеристики частотного преобразователя серии СТА-С5.СР

Элемент ЧП, среда, функции	Параметр, характеристика	Значение, описание
Вход ЧП	Номинальное входное напряжение	Трёхфазное, 380 В, 50/60 Гц
	Допустимые колебания входного напряжения	Плюс 10–15%
	Допустимые колебания частоты	±5%
Характеристики цепей управления	Метод управления инвертором ЧП	Синусоидальная широтно-импульсная модуляция
	Максимальная выходная частота	400 Гц
	Точность частотных режимов цифровой команды	±0,01% (от минус 10 до плюс 40°C)
	Погрешность задания опорной частоты	Цифровая команда: 0,01 Гц Аналоговая команда: 0,1 Гц
	Погрешность по выходной частоте	0,01 Гц
	Задание опорной частоты	Аналоговое / цифровое задание с пульта управления, аналоговый сигнал 0–10 В, 0–5 В, 4–20 мА, 0–20 мА с клемм цепей управления ЧП, интерфейс RS-485
	Тормозной прерыватель	Встроенный: для ЧП мощностью 15 кВт и ниже; Опциональный: для ЧП мощностью более 15 кВт
	Тормозной момент	125% (с внешним тормозным резистором)
	Поддержание момента на валу двигателя	Тридцать четыре фиксированные характеристики U/f, возможность ручного задания
	Программный режим работы	Семь скоростей с независимыми временем разгона и временем торможения

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

29

	Цифровые сигналы	<p>Входные: три непрограммируемых управляющих сигнала; шесть программируемых управляющих сигналов.</p> <p>Выходные: два программируемых релейных выхода; два программируемых транзисторных выхода с открытым коллектором</p>
	Аналоговые сигналы	<p>Входные: шесть сигналов 0–10 В / 0–5 В / 4–20 мА // 0–20 мА.</p> <p>Выходные: два сигнала (выходной частотомер, выходной амперметр) 0–10 В/4–20 мА для ЧП мощностью 11 кВт и выше, два сигнала (выходной частотомер, выходной амперметр) 0–10 В для ЧП мощностью 7,5 кВт и ниже</p>
Защитные функции	Защитные функции	<p>Защита от повышенного напряжения, защита от пониженного напряжения, ограничение по току, защита от перегрузки по току, защита от перенапряжения на шине постоянного тока, электронное термореле, защита от перегрева, защита от перегрузки, меры предотвращения срыва вращения, защита от короткого замыкания на нагрузку, защита от засора и утечки в трубе при работе в системах водоснабжения, запрет на изменение значений функциональных параметров преобразователя и т.д.</p> <p>Степень защиты: IP20 для ЧП 7,5 кВт и ниже. IP 10 для ЧП 11 кВт и выше</p>
Пульт ЧП	Пульт управления	<p>Отличительная особенность: два дисплея индикации.</p> <p>Назначение:</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

30

		установка значений функциональных параметров, индикация параметров и физических величин по ходу работы, индикация ошибок и т.д. Степень защиты передней панели: IP63
Окружающая среда	Условия среды эксплуатации	Внутри незапыленного помещения, не выше 1000 м над уровнем моря, отсутствие прямых солнечных лучей
	Температура и влажность	От минус 10 до плюс 40 °С (для исполнения в пластмассовом корпусе), от минус 10 до плюс 45 °С (для исполнения в металлическом корпусе) относительная влажность 20- 90 %
	Вибрации	От 1 g при 0,1 – 20 Гц, до 0,5 g при 20 – 50 Гц
	Температура хранения	От минус 20 до плюс 60 °С
	Способ охлаждения	Воздушное, принудительное

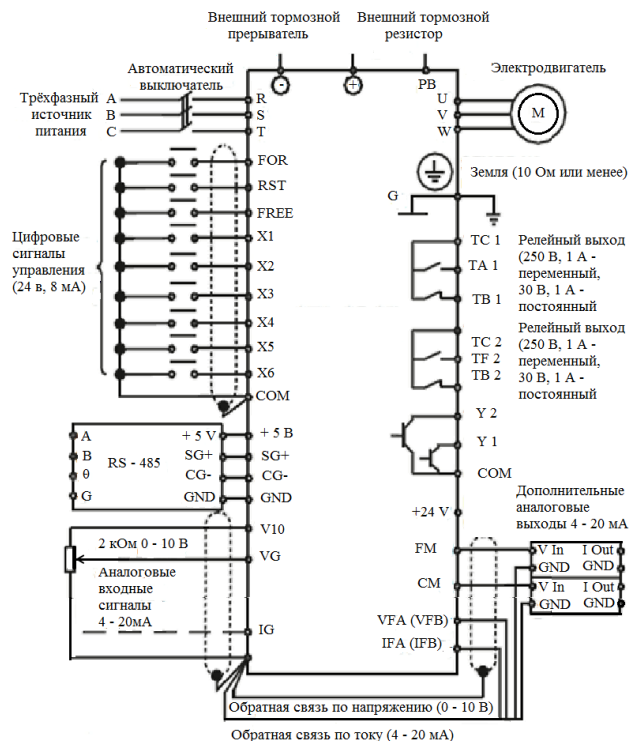


Рисунок 2.3 – Схема подключения частотного преобразователя серии STA-C5.SP

СТА-

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

31

	Е.Н.Луценко,А.С. И.А.Мелентьева	Соломина,
Регулируемый электропривод переменного тока, 2004 (2226739)	Н02Р5/41 (7/628);	С.Я.Галицков, К.С.Галицков, А.В.Стариков
Регулируемый электропривод переменного тока, 2003 (2002104312)	Н02Р5/40;	С.Я.Галицков, К.С.Галицков, А.В.Стариков

Изобретение [2010108563] относится к области электротехники и может быть использовано в частотно-регулируемых электроприводах. Техническим результатом является обеспечение перегрузочной способности привода, снижение потерь в статоре и роторе двигателя, испытывающего большие нагрузки, за счет снижения скольжения и увеличения потока. Устройство управления содержит асинхронный двигатель, преобразователь частоты и напряжения, управляющие входы которого соединены соответственно с выходами второго и третьего сумматоров, первый вход второго сумматора соединен с функциональным преобразователем, первый вход третьего сумматора соединен с выходом первого сумматора, первый вход которого соединен с источником задания сигнала, датчики тока статорной обмотки двигателя, выходы которых соединены с первым и вторым входами функционального преобразователя тока, второй выход которого соединен со вторым реверсивным входом четвертого сумматора, первый вход которого соединен с источником сигнала ограничения тока, а выход четвертого сумматора соединен с входом второго статического нелинейного преобразователя, выход которого соединен с входом пропорционально-интегрального регулятора. Первый выход функционального преобразователя тока соединен с входом статического преобразователя и с входом первого статического нелинейного преобразователя, выходы которых соединены со вторыми входами второго и третьего сумматоров соответственно. Выход пропорционально-интегрального регулятора соединен со вторым входом первого сумматора.

Изобретение [2293432] может быть использовано в частотно-регулируемом электроприводе (ЧРЭ). Техническим результатом является повышение надежности частотно-регулируемого привода. ЧРЭ содержит источник питания, частотно-регулируемые инверторы и приводной электродвигатель, емкостной фильтр. Источник питания выполнен в виде выпрямителя, параллельно которому подключен емкостной фильтр. Каждая из обмоток соединена с N последовательно соединенными трехфазными частотно-регулируемыми инверторами, которые подключены к выпрямителю. Каждый частотно-регулируемый инвертор снабжен параллельно соединенными между собой стабилитроном, резистором и конденсатором, которые параллельно подключены к питающим шинам частотно-регулируемых инверторов. В многополюсных приводных электродвигателях количество трехфазных обмоток кратно числу полюсов или пар полюсов.

Изобретение [2282299] относится к высоковольтным ЧРЭ. Сущность изобретения состоит в том, что в ЧРЭ, содержащем силовой трансформатор, по крайней мере, с четырьмя трехфазными вторичными обмотками, группу

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		33

выпрямительно-инверторных преобразователей частоты и приводной электродвигатель с 2Р числом полюсов, соединенных последовательно, согласно данному изобретению, обмотка приводного электродвигателя выполнена из 2Р идентичных катушечных групп, каждая из которых подключена к отдельному трехфазному выпрямительно-инверторному преобразователю частоты, каждый из которых, в свою очередь, подключен к соответствующим вторичным обмоткам силового трансформатора с коэффициентом трансформации, равным 2Р. Технический результат - обеспечение высокой надежности предлагаемого ЧРЭ за счет снижения рабочих напряжений приводного электродвигателя и уменьшения общего числа выпрямительно-инверторных преобразователей частоты.

В изобретении [2004107083] описывается ЧРЭ, содержащий силовой трансформатор, по крайней мере, с четырьмя трехфазными вторичными обмотками, группу выпрямительно-инверторных преобразователей частоты и двигатель с 2Р полюсов, соединенных последовательно, отличающийся тем, что обмотка приводного электродвигателя выполнена из 2Р идентичных катушечных групп и каждая из этих катушечных групп подключена к отдельному трехфазному выпрямительно-инверторному преобразователю частоты, каждый из которых, в свою очередь, подключен к соответствующим вторичным обмоткам силового трансформатора с коэффициентом трансформации равным 2Р.

Изобретение [2313896] относится к асинхронным машинам. Рассматривается способ регулирования частоты вращения АД, заключающийся в изменении характера вращающегося магнитного поля путем переключения числа пар полюсов обмотки статора асинхронного двигателя. Данный способ позволяет регулировать частоту вращения не плавно, а скачком.

Технической задачей настоящего изобретения является получение простого и недорогого при реализации способе регулирования частоты вращения АД.

Решение данной технической задачи достигается тем, что на статоре двигателя располагают, по меньшей мере, еще одну трехфазную обмотку, при этом характер вращающегося магнитного поля изменяют путем отключения части одной из обмоток статора с целью придания одному из вращающихся в двигателе магнитных полей эллиптического характера.

В изобретении [2002104312] описывается регулируемый электропривод переменного тока, содержащий блок задания параметров, интегральный регулятор, пропорциональный регулятор, автономный инвертор напряжения, асинхронный электродвигатель, датчик скорости, блок дифференцирования, первый и второй сумматор, блок сравнения, коммутатор, причем первый выход блока задания параметров соединен с первым входом интегрального регулятора, выход которого соединен с первым входом пропорционального регулятора, автономный инвертор напряжения соединен с асинхронным электродвигателем, оснащенным датчиком скорости, выход пропорционального регулятора соединен с входом блока дифференцирования и первым входом первого сумматора, выход которого соединен с входом автономного инвертора напряжения, второй выход блока задания параметров соединен с первым входом второго сумматора, выход датчика скорости соединен с вторыми входами интегрального и пропорционального

						15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата			34

регуляторов, выход блока сравнения соединен с первым входом коммутатора, отличающийся тем, что он снабжен блоком выделения модуля, блоком умножения и блоком деления, причем выход датчика скорости соединен с входом блока выделения модуля, выход которого соединен со вторым входом второго сумматора и первым входом блока сравнения, выход второго сумматора соединен с первым входом блока деления, выход которого соединен со вторым входом коммутатора, третий выход блока задания параметров соединен со вторым входом блока деления,

выход блока дифференцирования соединен с первым входом блока умножения, выход которого соединен со вторым входом первого сумматора, четвертый выход блока задания параметров соединен с третьим входом коммутатора, выход которого соединен со вторым входом блока умножения, а пятый выход блока задания параметров соединен со вторым входом блока сравнения.

3.3 Обзор периодической печати

Обзор проводился по следующим журналам: «Мехатроника, автоматизация, управление», «Техническая электродинамика», «Электротехника», «Промышленная энергетика», «Газовая промышленность», «Электричество», «Энергетик», «Турбины и дизели», «Проблемы энергетики», «Силовая электроника», «Энергосбережение»

В [25] изложен ряд вопросов теории регулируемого электропривода переменного тока: 1) энергетические проблемы мягкого пуска и торможения асинхронных электроприводов; 2) методы расчета механических и электромеханических характеристик асинхронных короткозамкнутых двигателей при переменных параметрах; 3) аналитические методы расчета электромеханических переходных процессов частотно-регулируемых электроприводов при различных законах управляющего воздействия; 4) определение коэффициента полезного действия частотно-регулируемых асинхронных двигателей при различном характере статистического момента; 5) математические модели и характеристики бесконтактных двигателей постоянного, переменного тока и переключаемых реактивных двигателей.

В [26] изложены основные сведения о наиболее распространенных в промышленности гидравлических машинах: насосах, компрессорах и вентиляторах. Главное внимание уделено современным центробежным машинам. Приведены основные положения гидравлики, необходимые для выполнения различных инженерных расчетов, требующих при разработке технологии, а также при конструировании и эксплуатации машин и аппаратов производств. Особое внимание уделено гидравлике трубопроводов при движении вязких жидкостей.

В [27] рассмотрены различные методы определения воздухообмена и глубоко изложены вопросы обработки воздуха в аппаратах различного типа. Достаточно подробно описаны аэродинамические особенности вентиляторов и увязка их работы в сети воздуховодов. Приведены основные сведения по пуску, наладке, испытаниям и эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования.

В [28] рассмотрен опыт эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. Изложены

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		35

вопросы, связанные с тепловыми и аэродинамическими испытаниями этих аппаратов. Приведены нормативные материалы по периодичности и объему ремонтных работ. Дан анализ наиболее характерных случаев отказа оборудования.

В [29] приводится предложение по повышению эффективности установки каталитического крекинга за счет повышения энергоэффективности аппаратов воздушного охлаждения при использовании частотного регулирования производительности вентиляторов.

В статье [30] рассматриваются задачи оснащения систем воздушного охлаждения газа частотно-регулируемым электроприводом, позволяющего получить неоспоримые преимущества. Однако это возможно только при грамотном решении целого комплекса задач на стыке знаний в области тепломассообмена электротехники, регулируемого электропривода и силовой электроники.

В [31] представлена математическая модель системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, позволяющая исследовать динамические режимы работы при скалярном частотном управлении и определить влияние гармонического состава питающего напряжения на быстродействие электропривода.

В [32] дается оценка эффективности применения частотного регулирования для аппарата воздушного охлаждения (АВО) газа. Данная тема представляет значительный интерес и рассматривается на многих НТС. Авторы использовали предлагаемую расчетную модель теплообмена в АВО газа для оценки эффективности регулирования теплообмена и представили результаты в данной статье.

3.4 Выводы по патентным и литературным обзорам

Произведен полный патентный поиск среди отечественных изобретений. Анализ просмотренных материалов показал, что современному частотно-регулируемому электроприводу АВО уделяется много внимания. Что свидетельствует об актуальности разработки частотно-управляемых приводов АВО.

Таким образом, проведенный патентный поиск подтвердил необходимость создания математической модели электропривода АВО и асинхронного электродвигателя, и целесообразность выбранного направления исследования.

В условиях снижения надежности внешнего электроснабжения возрастает актуальность исследований, направленных на повышение эффективности ЭТК УОГ, одним из критериев которой является способность восстанавливать технологический режим охлаждения газа за требуемое время после перерывов электроснабжения.

Анализ существующих ЭТК УОГ показал, что они не могут гарантированно обеспечивать восстановление технологического режима охлаждения газа после перерывов электроснабжения за требуемое время и решить задачу автоматизации процесса охлаждения газа.

Следовательно, вопросы, решаемые в дипломном проекте актуальны и имеют дальнейшую перспективу для развития.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		36

4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УСТАНОВОК ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

4.1 Особенности расчета переходных процессов в системах электроснабжения установок охлаждения газа

Нагрузкой СЭС АВО газа является группа АД с вентиляторами на валу. Чаще всего мощность и другие параметры двигателей этой группы совпадают или незначительно отличаются друг от друга. Включение двигателей в работу осуществляется по командам управляющего устройства (рисунок 1.3), которое не только определяет количество вентиляторов, необходимое для поддержания заданной температуры охлаждаемого продукта, но и отслеживает состояние других АД и разрешает пуск очередного двигателя только в том случае, когда все остальные двигатели работают в установившемся режиме [4,33].

Вместе с тем возможны ситуации, когда происходит наложение пусковых интервалов двигателей, например, при сбое в работе системы управления или в результате ошибочных действий эксплуатационного персонала. Исследование таких ситуаций представляет отдельный интерес, так как полученные результаты позволяют спрогнозировать дальнейшее их развитие и правильно выбрать параметры защитных аппаратов.

Совместное решение уравнений электрического состояния системы и уравнений АД представляет собой довольно сложную задачу даже при современном уровне развития вычислительной техники [34, 35, 36]. На каждом шаге счета общий алгоритм интегрирования уравнений разбивается на два этапа. На одном из них производится расчет электромеханических величин электропривода, на другом - расчет электрического состояния цепи. Внешним циклом алгоритма расчета является цикл по времени.

Из-за указанных выше особенностей нагрузки системы электроснабжения АВО газа при построении ее модели целесообразно взять за основу методику, которая изложена в [37, 38, 39] и ряде других работ. Согласно этой методике все двигатели, работающие в установившемся режиме, представляются схемами замещения с постоянными параметрами. Двигатель, который включается в работу, описывается электромагнитной моделью или соответствующей ей схемой замещения с изменяемыми в процессе пуска параметрами. За счет этого может быть существенно понижен общий порядок системы уравнений. Естественно, что такой подход к построению модели системы электроснабжения с двигательной нагрузкой является справедливым лишь в тех случаях, когда пусковые режимы АД не сопровождаются значительными провалами напряжения, приводящими к нарушению устойчивости системы, останову работающих двигателей и развитию аварийных режимов.

4.2 Математические модели асинхронного электропривода с вентиляторной нагрузкой

Сложность модели системы электроснабжения с нагрузкой в виде группы АД определяется задачами расчета. Формально она может быть оценена числом дифференциальных уравнений, описывающих процессы в электроприводе. Более сложными являются электромагнитные модели, более простыми —

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		37

электромеханические модели электроприводов. Последние учитывают достаточно длительные физические процессы в электроприводе, электромагнитные модели — как длительные, так и быстропротекающие. При этом время численного решения с использованием электромагнитных моделей многократно больше, чем с использованием электромеханических моделей, что определяется не только числом дифференциальных уравнений, но и необходимостью как минимум на порядок уменьшать шаг счета по времени. Соответственно общее время счета при переходе с электромеханических моделей на электромагнитные модели возрастает в десятки — сотни раз.

Из-за сложности математического описания электрических машин при моделировании АД принимают определенные допущения, чаще всего следующие [11]:

- магнитная проницаемость стали постоянна и не зависит от режимных параметров машины (т.е. не учитывается насыщение или оно учитывается упрощенно - средними насыщенными значениями индуктивностей), что позволяет применить принцип наложения при определении потоков и потокосцеплений при действии токов во всех обмотках машины;

- распределение полей самоиндукции обмоток статора и взаимной индукции этих обмоток между собой и с обмотками ротора вдоль окружности статора является синусоидальным (т.е. высшие гармоники не учитываются);

- фазовые обмотки обладают симметрией;

- потери в стали и вихревые токи пренебрежимо малы.

Дифференциальные уравнения трехфазной асинхронной машины в не преобразованной системе координат А, В, С, а, в, с имеют следующий вид [10]:

$$\begin{cases} u_{s1} = R_{s1}i_{s1} + \frac{d\Psi_{s1}}{dt}; \\ u_{s2} = R_{s2}i_{s2} + \frac{d\Psi_{s2}}{dt}; \\ u_{s3} = R_{s3}i_{s3} + \frac{d\Psi_{s3}}{dt}; \end{cases} \begin{cases} u_{r1} = R_{r1}i_{r1} + \frac{d\Psi_{r1}}{dt}; \\ u_{r2} = R_{r2}i_{r2} + \frac{d\Psi_{r2}}{dt}; \\ u_{r3} = R_{r3}i_{r3} + \frac{d\Psi_{r3}}{dt}; \end{cases} (4.1)$$

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M_{\text{э}} - M_{\text{с}}, (4.2)$$

где u_{sk}, i_{sk} — напряжения и токи статора;

u_{rk}, i_{rk} — напряжения и токи ротора;

R_{sk}, R_{rk} — активные сопротивления обмоток фаз статора и ротора;

Ψ_{sk}, Ψ_{rk} — результирующие потокосцепления;

ω_r — угловая скорость вращения ротора;

J — момент инерции;

$M_{\text{Э}}$ – электромагнитный момент;

$M_{\text{С}}$ – момент сопротивления.

При вентиляторной нагрузке АД момент сопротивления $M_{\text{С}}$ зависит от скорости вращения рабочего колеса [70]

$$M_{\text{С}} = \Delta M_{\text{П}} + K_{\text{В}} \cdot \omega_r^2, (4.3)$$

где $\Delta M_{\text{П}}$ - момент механических потерь в двигателе;

$K_{\text{В}}$ - коэффициент, зависящий от угла установки лопастей вентилятора и физических свойств охлаждающего воздуха.

В непреобразованных естественных координатах индуктивности и взаимные индуктивности в потокосцеплениях - периодические коэффициенты, изменяющиеся по гармоническому закону при вращении ротора электрической машины. Уравнения (4.1) после подстановки в них выражения результирующих потокосцепления имеют громоздкие решения с несколькими десятков членов, содержащих периодические коэффициенты.

При моделировании систем электроснабжения, содержащих АД, наиболее часто используются координатные оси, неподвижные относительно статора, что при соответствующем выборе пространственного положения осей А,В,С приводит к совпадению статорных напряжений и токов с реальными. В то же время для уменьшения числа дифференциальных уравнений роторные величины удобно представить в ортогональных осях а, (трёх, поскольку их реальные значения в расчетах чаще всего не используются. Одна из форм уравнений Парка - Горева, в которой статор является трехфазным, а короткозамкнутый ротор представлен двухфазной обмоткой, имеет следующий вид

$$u_g = L \frac{di_g}{dt} + R(\omega)i_g, (4.4)$$

где

$$i_g = \begin{bmatrix} u_{s1} \\ u_{s2} \\ u_{s3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} L_s & 0 & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & -\frac{L_m}{2} & \frac{\sqrt{3}L_m}{2} \\ 0 & 0 & L_s & -\frac{L_m}{2} & -\frac{\sqrt{3}L_m}{2} \\ \frac{9}{4}L_m & 0 & 0 & L_r & 0 \\ 0 & \frac{3\sqrt{3}}{4}L_m & -\frac{3\sqrt{3}}{4}L_m & 0 & L_r \end{bmatrix}.$$

В матрицах коэффициентов системы уравнений (4.4) введены следующие обозначения:

L_s, L_r, R_s, R_r – индуктивности и сопротивления обмоток статора и ротора;

L_m – взаимная индуктивность между обмотками ротора и статора.

Для расчета электромагнитного момента воспользуемся формулой, в которую входят обобщенные вектора статора и ротора [32]:

$$M_{\text{э}} = -\frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \bar{i}_s \times \bar{i}_r, (4.5)$$

где p – число пар полюсов.

Исходя из определения векторного произведения, эту формулу можно преобразовать следующим образом:

$$M_{\text{э}} = pL_m \left[\frac{\sqrt{3}}{2} i_{\alpha} (i_{s2} - i_{s3}) - \frac{3}{2} i_{s1} i_{\beta} \right]. (4.6)$$

Для удобства проведения расчетов СЭС с двигательной нагрузкой применяют упрощенные схемы замещения АД, в частности Г-образные схемы, в которых намагничивающий контур вынесен на зажимы сетевого напряжения [40]. Если каждую фазу АД представить в виде двухполюсника, параметры которого зависят от скольжения, то схемы замещения будут состоять из последовательного или параллельного соединения индуктивных и активных сопротивлений (рисунок 4.1).

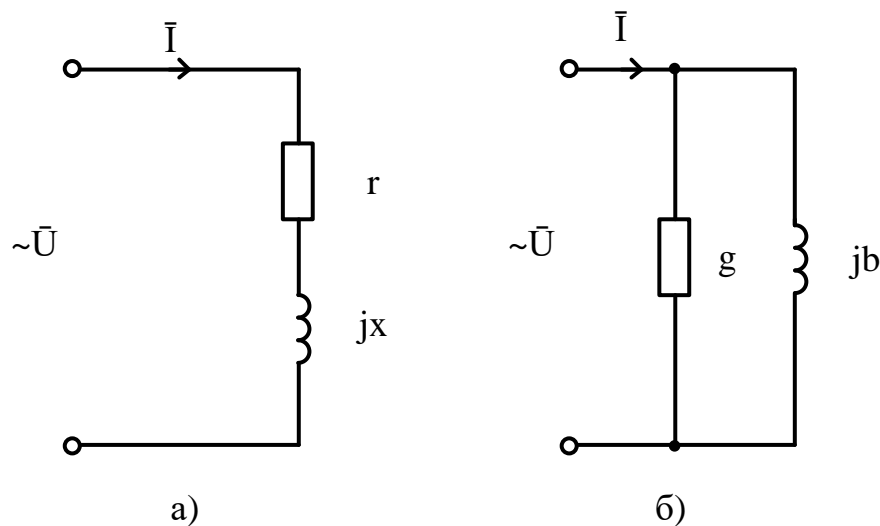


Рисунок 4.1 – Активно-индуктивные схемы замещения АД:

а – последовательная, б – параллельная

Комплексные сопротивление последовательной и проводимость параллельной схем замещения определяются по формулам

$$\underline{Z} = r + jx, (4.7)$$

$$\underline{Y} = g - jb. (4.8)$$

Сопротивления r, x и проводимости g, b в формулах (4.7) и (4.8) являются функциями скольжения s , которое при пуске электродвигателя изменяется от 1 до установившегося значения $s_{уст.}$. Закономерности изменения этих сопротивлений во времени могут быть определены путем численного интегрирования уравнений (4.2) – (4.5), либо путем экспериментального исследования переходных процессов при пуске АД. В любом случае необходимо получить графики изменения во времени действующих значений напряжения $U(t)$ и тока $I(t)$, а также фазового сдвига $\varphi(t)$.

Модуль $z(t)$ комплексного сопротивления, индуктивное $x(t)$ и активное $r(t)$ сопротивления последовательной схемы замещения (рисунок 4.1,а) в момент времени t найдем по формулам

$$z(t) = U(t) / I(t); x(t) = z(t) \sin \varphi(t); r(t) = z(t) \cos \varphi(t). (4.9)$$

Параметры параллельной схемы замещения (рисунок 4.1,б) можно выразить через параметры последовательной схемы следующим образом

$$y(t) = z^{-1}(t); g(t) = r(t) / z^2(t); b(t) = -x(t) / z^2(t). (4.10)$$

4.3 Математическая модель электропривода вентиляторов АВО газа в системе MATLAB + Simulink

Численное интегрирование системы уравнений АД требует представление ее в форме Коши, т.е. разрешенную относительно производных. Для этого необходимо обращать матрицу L в уравнениях (4.4). Если индуктивные параметры L_s, L_r, L_m не меняются во времени, то ее обращение может быть произведено численно единственный раз перед началом интегрирования. Однако в сложных электротехнических комплексах возможны такие изменения структуры силовой части схемы, которые приведут к изменению эквивалентной индуктивности статорной цепи. К подобному же изменению может привести и насыщение магнитной системы АД.

Необходимость нахождения обратных матриц при преобразованиях затрудняет практическое использование даже упрощенной модели АД без использования современных ЭВМ и развитого программного обеспечения.

Широкие возможности для моделирования электрических машин предоставлены системой MATLAB, которая использует современные высокоэффективные алгоритмы матричных операций LINPACK и EISPACK.

В состав системы MATLAB входит пакет расширения Simulink, который является ядром интерактивного программного комплекса, предназначенного для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем. В нем реализованы принципы визуально-ориентированного программирования, что позволяет легко набирать нужные блоки и соединять их с целью составления модели системы или устройства. При этом сложнейшие уравнения состояния, описывающие работу моделей систем или устройств, формируются автоматически [41].

Вентиляторная нагрузка асинхронного двигателя $M = K_B \cdot \omega^2$ моделируется блоками MathFunctionиProduct из библиотеки Math Operations, атак же блокомConstantбиблиотекиSources.

Источник электроснабжения, магнитный пускатель, подключающий исследуемый АД к источнику электроснабжения, кабельная линия и батарея компенсирующих конденсаторов моделируются соответственно блоком 3-PhaseSource из библиотеки ElectricalSources, блоками 3-PhaseBreaker, 3-PhaseSeriesRLBranchи 3-PhaseSeriesRCLoadизбиблиотеки ElementsпакетаPowerSystemBlockset. На схеме (см. рисунок4.2) оттенены те блоки, которые моделируют силовые элементы электротехнического комплекса.

Для наблюдения за изменяющимися в процессе моделирования переменными модель снабжена виртуальными осциллографами (блоки Scope из библиотеки Sinks). На экранах осциллографов, подключенных к выходам универсального блока измерения MachineMeasurementDemux, отображаются графики токов ротора и статора, частоты вращения ротора и электромагнитного момента.

Block Parameters: Asynchronous Machine

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor or squirrel cage) modeled in the dq rotor reference frame Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point Press help for inputs and outputs description.

You can specify initial values for stator and rotor currents In the Initial conditions parameter you have the possibility to specify the stator current only:

[s () th (deg) isa, isb, isc (pu) pha, phb, phc (deg)];

Or you can choose to enter the stator and the rotor initial currents:

[s () th(deg) isa, jsb, isc(pu), pha, phb, phc (deg), ira, irb, irc (pu), pha, phb, phc]

Parameters

Rotor type:

Reference frame:

Nom. power. L-L volt. and freq. [Pn (V· A), Vn (Vrms).fn(Hz)].

Stator [Rs(ohm) Ls(H)]

Rotor [Rr'(ohm) Lr'(H)]

Mutual inductance Lm (H)

Inertia.tndion factor and pairs ol poles [J(kg.m*2) F(Nms) pQ]

Initial conditions (reed the details in the description above)

OK Cancel Help Apply

Рисунок4.3 – Окно настройки параметров электродвигателя для привода вентиляторов АВО газа типа 2АВГ-75С

Между блоками, моделирующими источник электроснабжения и магнитный пускатель, включен измеритель трехфазного напряжения и тока 3- PhaseV-

IMeasurement. На его выходах формируются векторы фазных напряжений и линейных токов $U = \text{column}(u_A, u_B, u_C)$, $I = \text{column}(i_A, i_B, i_C)$.

К выходам блока 3-PhaseV-IMeasurement подключены оформленные в виде subsystems блоки Mod.U и Mod.I, которые вычисляют модули напряжений U и токов I по формулам:

$$U = \sqrt{\frac{u_A^2 + u_B^2 + u_C^2}{3}}; I = \sqrt{\frac{i_A^2 + i_B^2 + i_C^2}{3}}. (4.11)$$

Структурная схема subsystemы для расчета модуля трехфазной величины по ее мгновенным составляющим показана на рисунке 4.4. В ее состав входят блок Demux из библиотеки SignalRouting, а также блоки MathFunction, Sum и Gain из библиотеки MathOperations.

Графики изменения модуля напряжений U и токов I в процессе моделирования пуска электродвигателя можно наблюдать на экранах виртуальных осциллографов U_{abc} и I_{abc} .

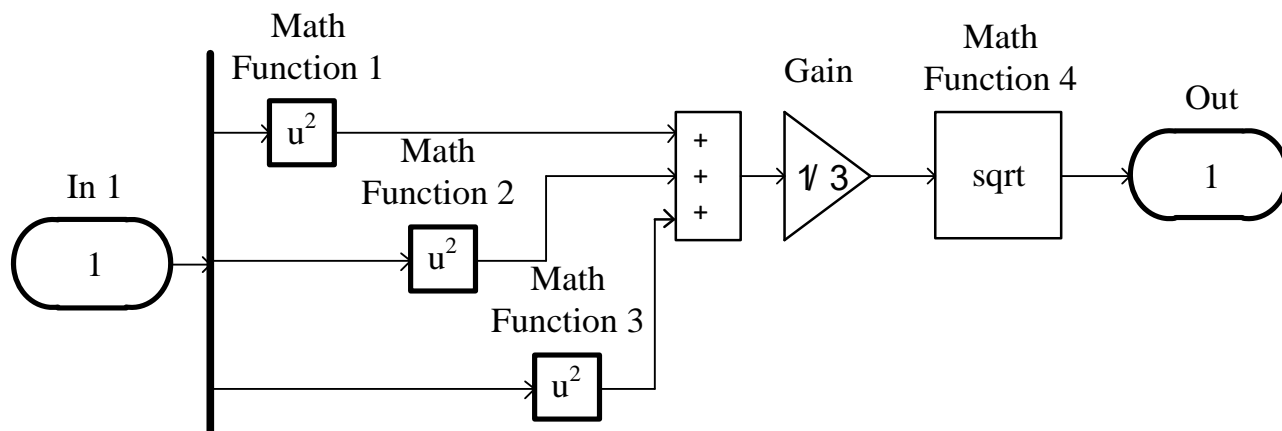


Рисунок 4.4 – Структурная схема subsystemы для расчета модуля трехфазной величины по ее мгновенным составляющим

4.4 Исследование переходных процессов при пуске электродвигателей АВО газа

На рисунках 4.5–4.7 приведены графики, которые получены при моделировании переходных процессов, происходящих при пуске АД с вентиляторной нагрузкой. Номинальная мощность двигателя – 37 кВт, $\cos\phi=0,8$, число пар полюсов $p=12$.

Напряжение источника электроснабжения составляет 0,4 кВ, индуктивность и активное сопротивление схемы замещения (рисунок 4.1) имеют следующие значения: $L_0 = 46$ мкГн; $R_0 = 3,78$ МОм. Эти параметры соответствуют практически распространенному случаю, когда питание электродвигателей АВО осуществляется от трансформатора мощностью 630 кВ·А, который подключен к распределительному устройству 6(10)кВ кабельной линией длиной 500 м. Сопротивление жилы кабеля, соединяющего электродвигатель АВО с коммутационными аппаратами КТП, составляет 22 МОм.

Включение двигателя происходит через 1 с после начала моделирования (это время задается в поле настройки Transitiontimes блока 3-PhaseBreaker).

Для решения дифференциальных уравнений модели выбран метод ode 15s (stiff/NDF). Интегрирование производится с переменным шагом, который не превышает 10^{-4} с. Относительная погрешность интегрирования задана величиной 10^{-3} .

Графики изменения во времени частоты вращения ротора и электромагнитного момента двигателя (рисунок 4.5) и графики изменения тока, потребляемого от источника электроснабжения (рисунок 4.6), построены для различных значений коэффициента K_B , определяющего траекторию изменения момента сопротивления вентилятора. Вариация этого коэффициента в диапазоне $\pm 20\%$ относительно значения, соответствующего работе АД в номинальном режиме, не отражается радикальным образом на характере указанных выше переменных. Естественно, что с увеличением K_B электропривод входит в установившийся режим при большем значении электромагнитного момента, в результате чего возрастает потребляемый двигателем ток и происходит некоторое увеличение длительности пускового режима.

$K_B=1,7$ (кривая 1); 2,15 (кривая 2); 2,6 (кривая 3)

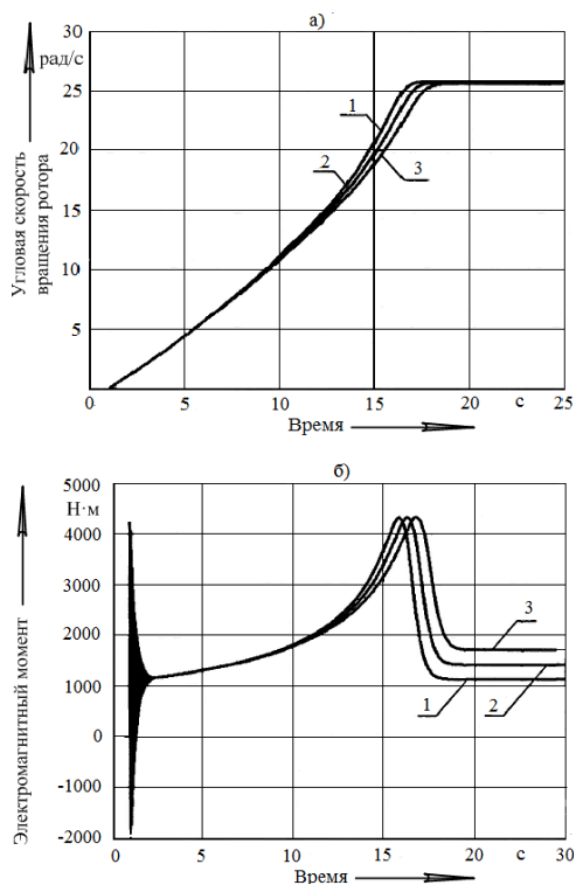
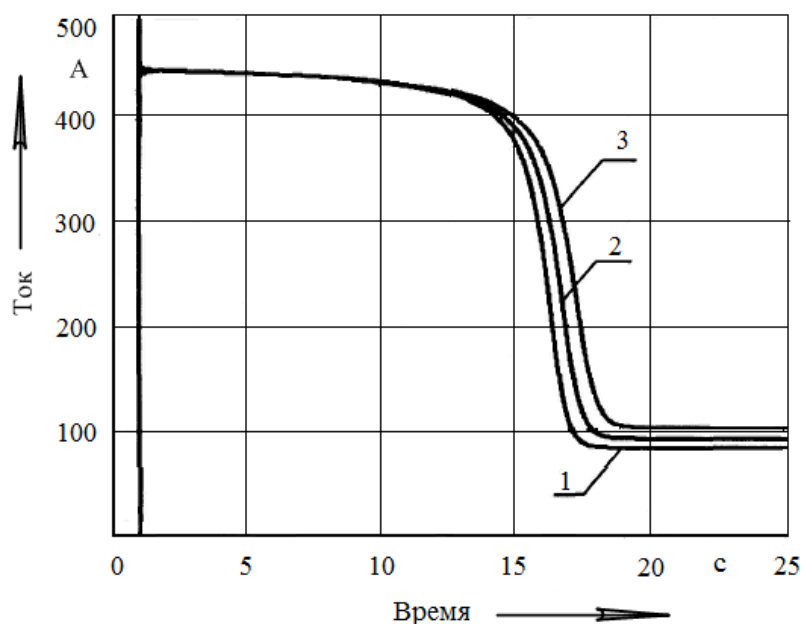


Рисунок 4.5 – Графики изменения частоты вращения ротора и электромагнитного момента при пуске АД с вентилятором на валу для различных значений коэффициента K_B : а – частота вращения ротора; б – электромагнитный момент

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

Графики токов на рисунке 4.6 получены в результате моделирования пусковых режимов АД при отсутствии компенсирующего конденсатора.



$K_B=1,7$ (кривая 1); $2,15$ (кривая 2); $2,6$ (кривая 3)

Рисунок 4.6 – График изменения тока, потребляемого от источника электроснабжения при пуске АД с вентилятором на валу.

Переходные процессы в АД определяются электромагнитными процессами, связанными с созданием полей в машине, и механическими процессами, обусловленными изменением частоты вращения ротора [11]. Длительность электромагнитных процессов зависит от электромагнитной постоянной времени $T_{ЭМ}$. Электромеханические процессы определяются, в основном, моментом инерции ротора и характеризуются электромеханической постоянной времени T_M .

Из приведенных выше графиков видно, что переходные процессы при пуске АД с вентиляторной нагрузкой можно разделить на три стадии.

В начальной стадии, которая продолжается примерно 50 периодов, происходит формирование магнитного поля машины. Эта стадия характеризуется резкими бросками электромагнитного момента и токов. Из виртуальных осциллограмм на рисунке 4.7 видно, что броски момента превышают 4000 Н·м, амплитуда тока достигает 800 А. Частота вращения ротора при этом плавно увеличивается, что объясняется большим моментом инерции ротора с вентилятором на валу. Когда процессы, определяемые постоянной времени $T_{ЭМ}$, устанавливаются, колебания электромагнитного момента затухают.

Во второй стадии переходного процесса, когда продолжается разбег ротора, потребляемая из сети электроэнергия расходуется на увеличение кинетической энергии мехатронной системы и совершение работы. Ток электродвигателя очень медленно уменьшается, электромагнитный момент плавно увеличивается. В третьей, завершающей стадии переходного процесса происходит резкий всплеск электромагнитного момента и плавный выход (без перерегулирования) ротора на установившуюся частоту вращения. Статорный ток электродвигателя при этом

быстро уменьшается до значения, которое определяется параметрами нагрузки АД, в частности, углом установки лопастей вентилятора АВО.

Анализ результатов моделирования показывает, что длительность первой стадии переходного процесса при пуске тихоходного АД с вентиляторной нагрузкой, значительно меньше длительности последующих стадий, определяемых электромеханической постоянной времени T_M . Поэтому исследование переходных процессов в СЭС УОГ можно проводить без учета электромагнитных процессов, что существенно упрощает модели при сохранении корректности математического описания. Правомерность такого подхода обоснована в [42, 43] и других работах.

Для анализа СЭС с двигательной нагрузкой необходимо иметь данные об изменении параметров схем замещения АД (рисунок 4.1) в переходных режимах. Эти данные получены с помощью математической модели (рисунок 4.2), которая дополнена соответствующими блоками. Полная версия разработанной в системе MATLAB + Simulink математической модели для исследования переходных процессов в СЭС с двигательной нагрузкой представлена в приложении А.

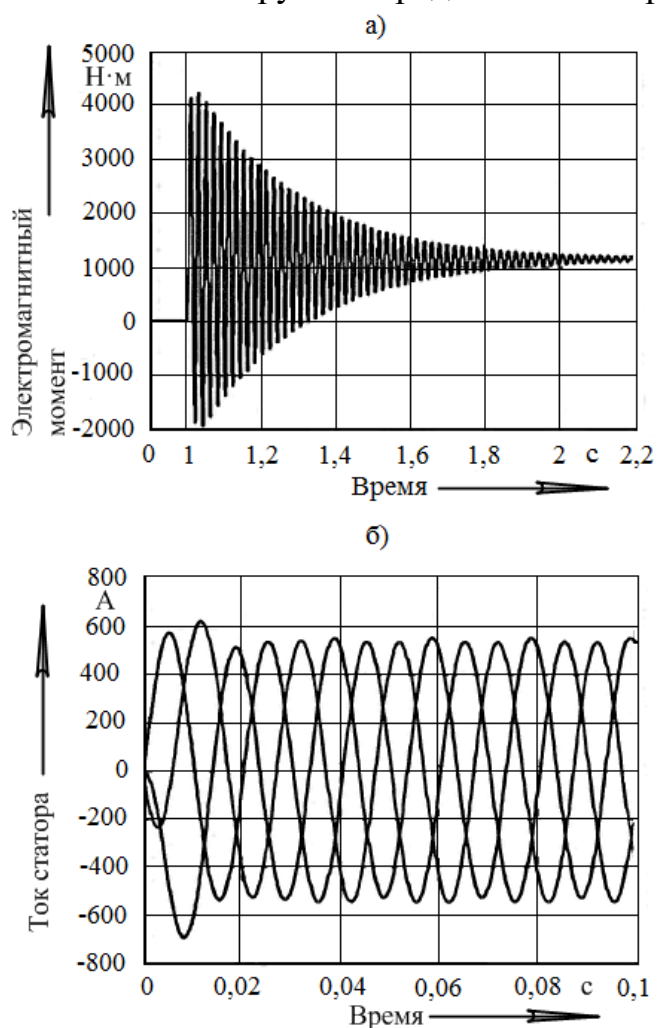


Рисунок 4.7 – Виртуальные осциллограммы электромагнитного момента и токов статора в начальной стадии пуска АД с вентилятором на валу: а – электромагнитный момент; б – ток статора

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

реактивной составляющей пускового тока может рассматриваться как существенный фактор снижения нагрузки на источник электроснабжения.

С помощью математической модели было также исследовано влияние напряжения сети на пусковые характеристики тихоходного электродвигателя с вентиляторной нагрузкой.

Графики изменения полной проводимости $y(t)$ при пуске АД при различных напряжениях на статорных обмотках показаны на рисунке 4.9. Отчетливо видно, что снижение питающего напряжения приводит к существенному затягиванию процесса пуска. В частности, при снижении напряжения на 20 % относительно номинального значения длительность пускового режима увеличивается в 1,8 раза (рисунок 4.10-а). Следствием увеличения времени пуска является возрастание затрат электрической энергии на его реализацию (рисунок 4.10-б). Это объясняется тем, что при постоянной величине энергии $W_{\Sigma} = J \cdot \omega_r^2 / 2$, которая необходима для раскручивания ротора АД из неподвижного состояния до частоты вращения ω_r , имеют место потери электрической энергии в обмотках электродвигателя, зависящие не только от величины протекающих по ним токов, но и длительности процесса.

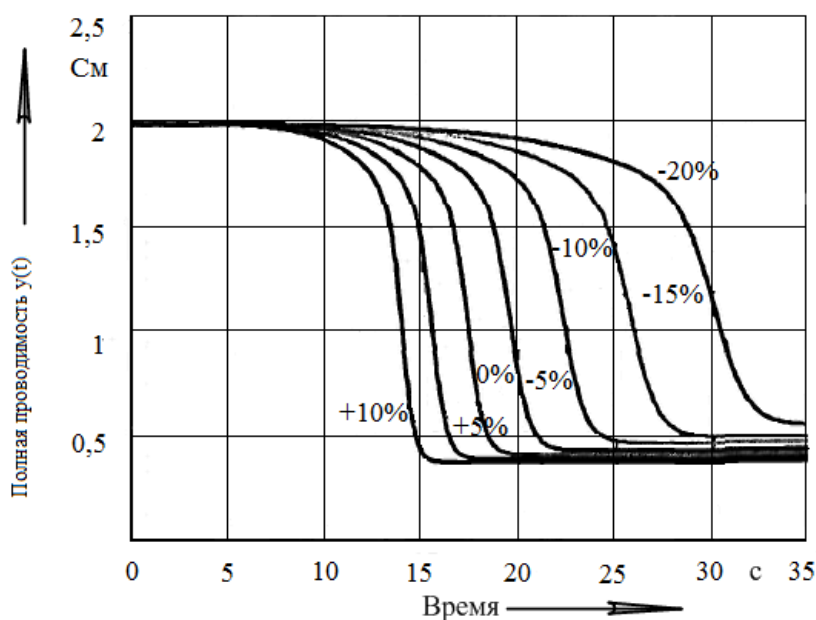


Рисунок 4.9 – Графики изменения полной проводимости АД при различных значениях напряжения на статорных обмотках

К существенному увеличению длительности пускового режима АД с вентиляторной нагрузкой приводит также попытка уменьшить пусковой ток с помощью реакторов. Это иллюстрируется графиками, которые приведены на рисунке 4.11 и 4.12 для ряда значений индуктивности L_p реакторов, дополнительно включенных в цепь питания электродвигателя АВО. Ток, потребляемый при пуске АД мощностью 37 кВт, уменьшается практически в 2 раза, если последовательно со статорными обмотками включить реакторы с индуктивностью 1,5 мГн. Длительность пускового режима при этом возрастает до 1,5 мин., что является недопустимо большой величиной при электроснабжении объектов 1-й категории.

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата
------	------	----------	---------	------

Для исследования переходных процессов при пуске нескольких АД с вентиляторной нагрузкой применена модель, схема которой приведена на рисунке 4.13. Для ускорения процесса интегрирования в универсальных блоках измерения Machine Measurement Demux активизирована только функция контроля частоты вращения ротора (ω_m). Моменты включения двигателей задаются в окнах настройки Transitiontimes блоков 3-PhaseBreaker. Графики изменения полной $S(t)$, активной $P(t)$ реактивной $Q(t)$ мощностей, потребляемых от источника электроснабжения в процессе пуска АД, можно наблюдать на экране виртуального осциллографа S1.

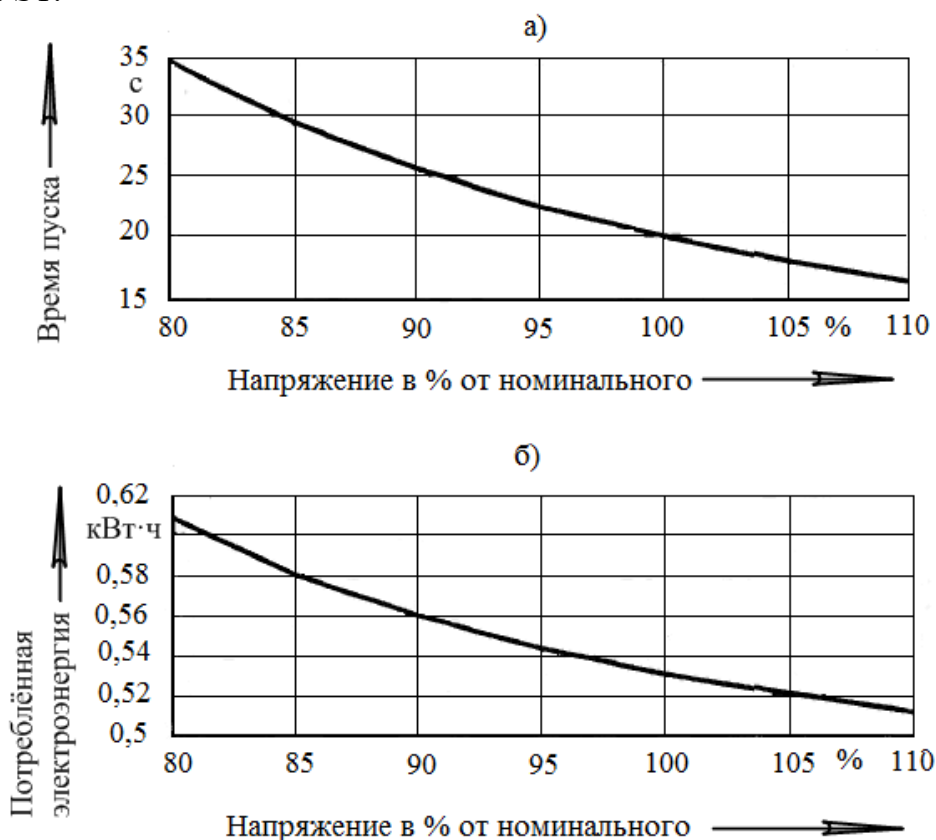
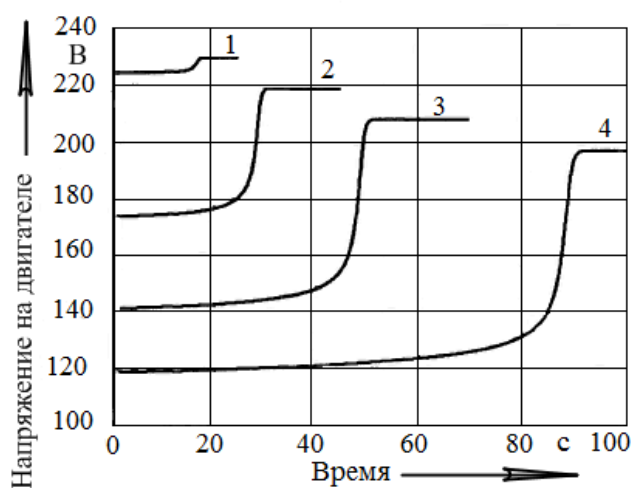
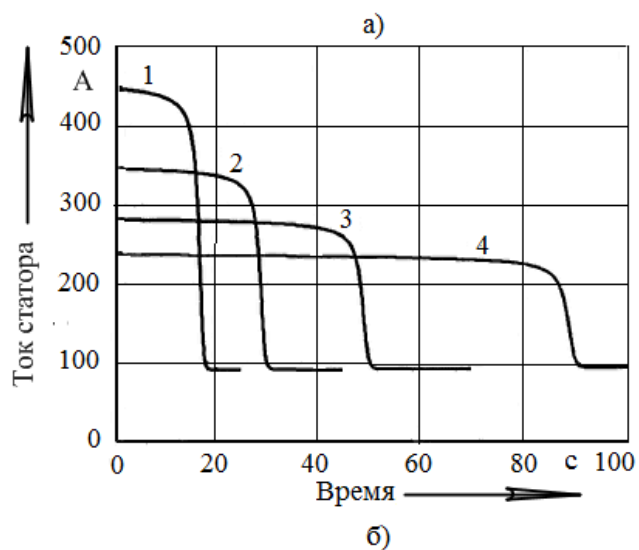


Рисунок 4.10 – Влияние напряжения питания на длительность пускового режима и величину потребляемой электроэнергии: а – время пуска; б – потреблённая электроэнергия

Результаты моделирования переходных процессов при пуске трех АД с вентиляторами на валу показаны на рисунке 4.14. Пуск первого двигателя производится через 1 с после начала моделирования. Второй и третий двигатели запускаются с интервалом в 3 с. Кривые на рисунке 4.14 соответствуют случаю, когда компенсация реактивной мощности в СЭС не осуществляется. При расчете $L_p = 0$ мГн (кривая 1); 0,5 мГн (кривая 2); 1,0 мГн (кривая 3); 1,5 мГн (кривая 4)



$L_p=0$ мГн (кривая 1); 0,5 мГн (кривая 2); 1,0 мГн (кривая 3); 1,5 мГн (кривая 4)

Рисунок 4.12 – Графики изменения тока и напряжения статора при пуске АД с вентилятором на валу для различных значений индуктивности пускового реактора: а – ток статора; б – напряжение на двигателе

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

52

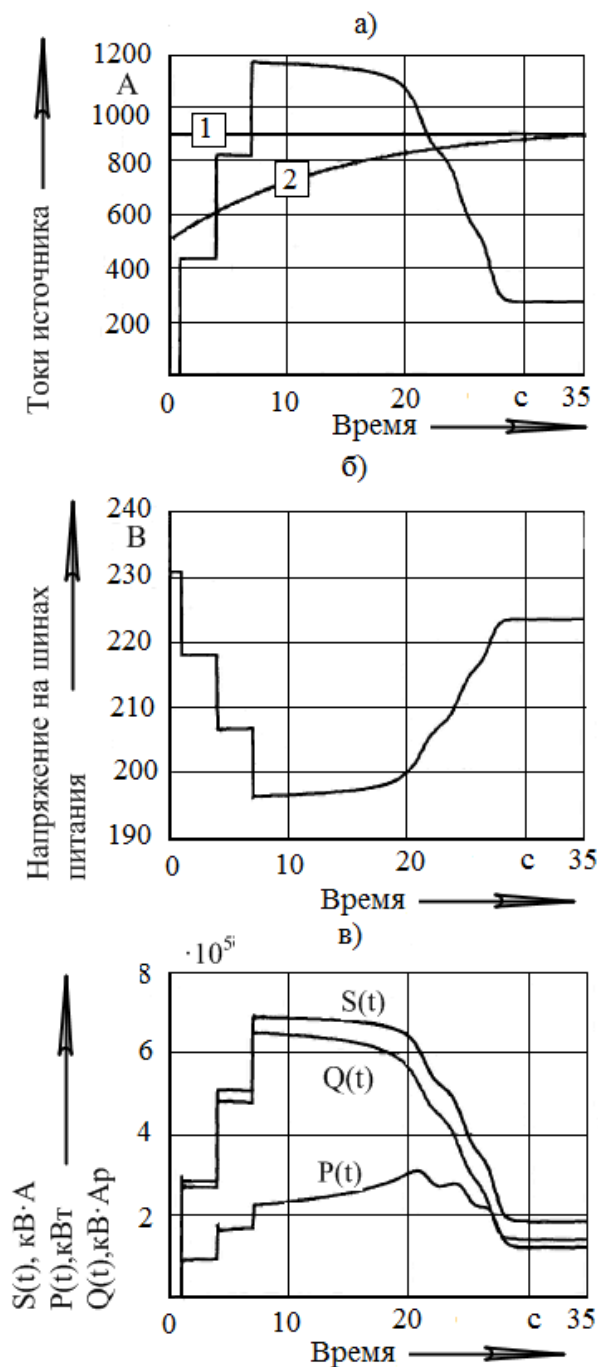


Рисунок 4.14 – Графики изменения тока источника питания, напряжения на шине, полной, реактивной и активной мощностей при пуске трех АД с вентиляторной нагрузкой в СЭС: а – токи источника питания; б – напряжение на шине питания; в – полная (S), реактивная (Q), активная (P) мощности

В СЭС без компенсации РМ ток источника питания превышает номинальные значения тока трансформатора и АДЭС в 1,48 и 2,0 раза соответственно. Эти же значения будут иметь место и в СЭС с централизованной компенсацией РМ в силу инерционности процесса регулирования. В СЭС с индивидуальной компенсацией РМ эти превышения составляют 1,32 и 1,79.

В установках, электроснабжение которых осуществляется по 1-й категории, после исчезновения напряжения основных источников электроснабжения происходит переключение шин КТП на питание от АДЭС. Если при

восстановлении режима охлаждения газа происходит наложение пусковых режимов АД, как показано на рисунке 4.14, то резко увеличивается нагрузка на приводной двигатель генератора. Следствием этого является не только снижение напряжения на шинах КТП, но и уменьшение частоты генерируемого напряжения. Может возникнуть ситуация, при которой топливная система АДЭС не успеет отработать увеличение нагрузки, что, в свою очередь, приведет к остановке аварийного источника.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		55

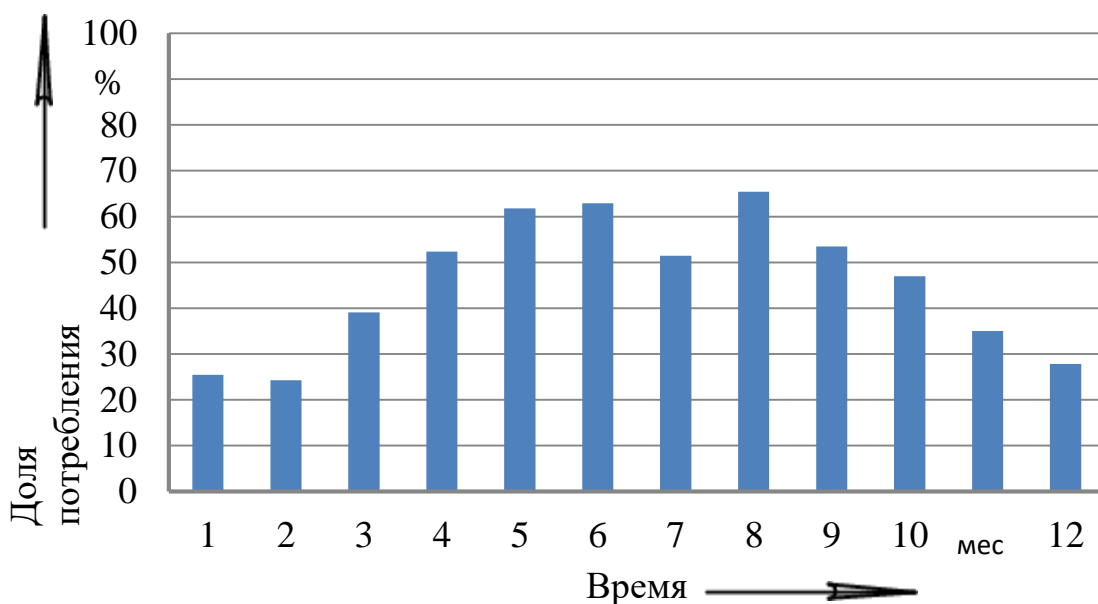


Рисунок 5.2 – Доля потребления электроэнергии электродвигателями АВО газа УКПГ-6 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения в 2010 г от общего потребления электроэнергии

Экономия электроэнергии при использовании частотно-регулируемого привода (ЧРП)

для управления частотой вращения асинхронных электродвигателей для различных систем насосами, вентиляторами и т. п. составляет 20-80 % [12].

Экономический эффект от внедрения разработки достигается за счет:

- уменьшения расхода электроэнергии при поддержании заданной температуры газа на выходе АВО газа из-за использования всей теплообменной поверхности включенных аппаратов;

- уменьшения расхода электроэнергии при использовании в системе управления программы по ограничению максимального тока, что обеспечивает плавный пуск электродвигателей;

- отказа от трудоемких и травмоопасных работ по сезонной перенастройке углов установки лопастей вентиляторов АВО газа;

- увеличения срока службы электродвигателей.

Максимальное годовое потребление электроэнергии электроприводом АВО газа для 140 электродвигателей серии ВАСО2-37-24У1 составит:

$$W = 8760 \cdot 37 \cdot 140 = 45376800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5.1)$$

Годовая экономия электроэнергии (20%) составит:

$$\Delta W = 0,2 \cdot W, \quad (5.2)$$

$$\Delta W = 0,2 \cdot 45376800 = 9075360 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовая выгода от снижения потерь электроэнергии составит:

$$B_{\Delta W} = \Delta W \cdot C_{\text{э}}, \text{ руб.}, \quad (5.3)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; $C_{\text{э}} = 3,5 \text{ р./кВт} \cdot \text{ч}$.

$$B_{\Delta W} = 9075360 \cdot 10^6 \cdot 3,5 = 31763760 \text{ р.}$$

При использовании ЧР П не требуется перенастройки лопастей вентиляторов АВОГ. По данным Тюмень трансгаза, стоимость разовой перенастройки лопастей одного вентилятора для района с региональным коэффициентом 1,8 и северной надбавкой 27 % равна 2912р. (в том числе стоимость подготовительно-заключительных работ и работ по изменению угла «атаки» составляет 1520р.). Тогда стоимость выполнения работ для поворота 2 раза в год лопастей вентиляторов составляет для рассматриваемой систем из 140 электродвигателей 815360р.

Экономическая эффективность применения систем с ЧРП для АВО газа оценена в соответствии с требованиями СТОГАЗПРОМРД 1.12-096-2004 «Внутрикорпоративные правила оценки эффективности НИОКР».

Капитальные вложения КВ должны учитывать транспортные и монтажные расходы, которые определяются в процентах от стоимости внедряемого оборудования, руб.:

$$K.B. = 140 \cdot Ц. \cdot (1 + Tr. + П.Н. + М.), \quad (5.4)$$

где Ц.=212500 р.–цена преобразователя частоты,

Tr.=5% – транспортные расходы;

П.Н.=10% – пуско-наладочные расходы;

М.=8% – расходы на монтажные работы.

$$K.B. = 140 \cdot 212500 \cdot (1 + 0,05 + 0,1 + 0,08) = 36592500 \text{ р.}$$

В капитальные вложения не включена стоимость ЭД, так как необходимо подсчитать лишь экономический эффект от внедрения преобразователя частоты и все выгоды и затраты, связанные с ЭД не учитываются.

Другие показатели для расчета экономической эффективности приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Показатели для расчета экономической эффективности
В %

Показатели	Значение
Амортизационные отчисления на оборудование (Отраслевые указания ОАО «Газпром», КНП, с. 23)	8,2
Ставка налога на имущество (Закон РФ от 30.12.2008 г. №117)	2,2
Ставка налога на прибыль (Закон РФ от 30.12.2006 г. № 117)	20
Коэффициент дисконтирования (ОАО «Газпром»)	10

Сумма амортизационных отчислений определена из уровня затрат на закупку оборудования и нормы амортизационных отчислений в размере 8,2 % (Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 № 1072 «О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР», шифр 47027).

Вероятность успешной реализации проекта принята равной 1,0.

Финансово-экономические показатели разработки определены по годам 10-летнего периода эксплуатации, включающего полугодовой этап на поставку и монтаж оборудования. В табл. 5.2 приведены результаты расчета показателей

экономической эффективности внедрения системы частотно-регулируемого привода,
 которые свидетельствуют о значительной экономической эффективности процесса (срок окупаемости – 3,12 года, а индекс эффективности намного (вдвое) превышает единицу).

Таблица 5.2 – Расчет показателей экономической эффективности внедрения системы частотно-регулируемого электропривода АВО газа

Показатели	Значения по годам, тыс.руб.					
	0	1	2	3	4	5
Инвестиции, в т. ч.	663 42,5	0	0	0	0	0
Стоимость оборудования	297 50	0	0	0	0	0
Прочие расходы	365 92,5	0	0	0	0	0
Экономия электроэнергии		3176 3,76	3176 3,76	3176 3,76	3176 3,76	3176 3,76
Исключени е сезонных работ		815,3 6	815,3 6	815,3 6	815,3 6	815, 36
Ставка налога на имущество	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Норма амортизацион ных отчислений	4,1	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Ставка налога на прибыль	24	24	24	24	24	24
Норма дисконта	10	10	10	10	10	10
Сумма экономии от внедрения	0	3257 9,12	3257 9,12	3257 9,12	3257 9,12	3257 9,12
Дополните льные расходы при внедрении,	184 7,42	3013, 50	2959, 83	2906, 16	2852, 49	2798 ,82

в т. ч.:						
Амортизационные отчисления	121 9,75	2439, 50	2439, 50	2439, 50	2439, 50	2439 ,50
Налог на имущество	627 ,67	574,0 0	520,3 3	466,6 6	412,9 9	359, 32
Остаточная стоимость оборудования	285 30,2	2609 0,75	2365 1,25	2121 1,75	1877 2,25	1633 2,75
Сумма экономии с учётом дополнительных затрат	184 7,42	2956 5,62	2961 9,29	2967 2,96	2972 6,63	2978 0,30
Налог на прибыль	- 443,38	7095, 75	7108, 63	7121, 51	7134, 39	7147 ,27
Чистая прибыль	140 4,04	2246 9,87	2251 0,66	2255 1,45	2259 2,24	2263 3,03
Чистый денежный поток (ЧДП)	665 26,7	2490 9,37	2495 0,16	2499 0,95	2503 1,74	2507 2,53
Коэффициент дисконтирования		0,909 09	0,826 45	0,751 31	0,683 01	0,62 092
Дисконтированный ЧДП	665 26,7	2264 4,89	2061 9,97	1877 6,07	1709 7,01	1556 8,07
Накопленный дисконтированный доход	665 26,7	- 43881,90	- 23261,93	- 4485,86	1261 1,15	2817 9,22
	Значения по годам, тыс.руб.					
Показатели	6	7	8	9	10	
Инвестиции, в т. ч.	0	0	0	0	0	0
Стоимость оборудования	0	0	0	0	0	0

Прочие расходы	0	0	0	0	0
Экономия электроэнергии	3176 3,76	31763,76	31763,76	3176 3,76	3176 3,76
Исключени е сезонных работ	815,3 6	815,36	815,36	815,3 6	815,3 6
Ставка налога на имущество	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Норма амортизационных отчислений	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Ставка налога на прибыль	24	24	24	24	24
Норма дисконта	10	10	10	10	10
Сумма экономии от внедрения	3257 9,12	32579,12	32579,12	3257 9,12	3257 9,12
Дополнительные расходы при внедрении, в т. ч.:	2745, 15	2691,48	2637,81	2584, 14	2530, 48
Амортизационные отчисления	2439, 50	2439,50	2439,50	2439, 50	2439, 50
Налог на имущество	305,6 5	251,98	198,31	144,6 4	90,98
Остаточная стоимость оборудования	1389 3,25	11453,75	9014,25	6574, 75	4135, 25
Сумма экономии с учётом дополнительных затрат	2983 3,97	29887,64	29941,3	2999 4,98	3004 8,64

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Лист

61

Налог на прибыль	7160,15	7173,03	7185,91	7198,79	7211,67
Чистая прибыль	22673,82	22714,60	22755,39	22796,18	22836,97
Чистый денежный поток (ЧДП)	25113,32	25154,10	25194,89	25235,68	25276,47
Коэффициент дисконтирования	0,56447	0,51316	0,46651	0,42410	0,38554
Дисконтированный ЧДП	14175,81	12908,03	11753,60	10702,39	9745,17
Накопленный дисконтированный доход	42355,03	55263,07	67016,67	77719,06	87464,24
Интегральный эффект	87464,24				
Индекс эффективности	2,318				

Для определения сроков окупаемости системы с ЧРП приведен график (рисунок 5.3) изменения накопленного дисконтированного потока по годам эксплуатации.

Инвестиции окупаются через 3,12 года эксплуатации.

Анализ проведенных расчетов показывает пропорциональную зависимость экономии электроэнергии электродвигателями сроков окупаемости ЧРП от продолжительности работы электродвигателей.

Основной технико-экономический эффект от внедрения частотно-регулируемого привода обеспечивается за счет непрерывного (в зависимости от температуры наружного воздуха) изменения частоты вращения электродвигателей вентиляторов и использования всей теплообменной поверхности включенных АВО газа при поддержании заданной температуры газа на выходе из АВО газа.

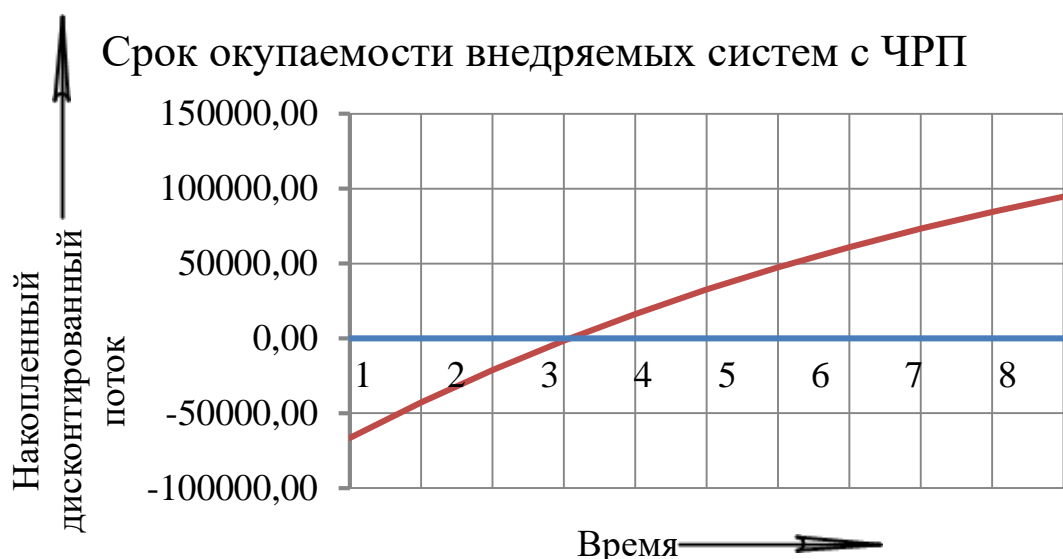


Рисунок 5.3 – Срок окупаемости системы с ЧРП

Использование частотно-

регулируемого привода исключает проведение трудоемких и травмоопасных работ по сезонной перенастройке углов установки клипастей вентиляторов АВО, что обеспечивает также и социальный эффект от внедрения данной разработки.

Исходя из сказанного выше, считаю необходимым внедрение частотно-регулируемого электропривода в аппаратах воздушного охлаждения газа УКПГ-6 ЯНГКМ.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Темой данного проекта, как уже отмечено ранее, является частотно-регулируемый электропривод аппаратов воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С газового промысла № 6 ООО «Газпром Добыча Ямбург».

С целью обеспечения безопасности производства при частотном регулировании электропривода типа 2АВГ-75С, средств автоматизации в данном разделе необходимо дать характеристику производственной среды, в которой будет устанавливаться и эксплуатироваться электропривод. Сделать анализ вредных и опасных производственных факторов. Безопасность производства и экологическая безопасность должна соблюдаться при всех видах работ связанных с эксплуатацией, проведением ППР и монтаже электрооборудования.

Несоблюдение требований безопасности производства при частотном регулировании электропривода типа 2АВГ-75С, средств автоматизации может привести к производственным травмам, отравлениям, а требований экологической безопасности к загрязнению окружающей среды.

Чёткое представление об опасных и вредных производственных факторах, возникающих при эксплуатации электрооборудования, грамотное и умелое применение организационных и инженерных мер защиты обеспечивает безопасность работников, предотвращений аварий и их последствий.

6.1 Анализ производственных опасностей и вредностей

Как описывалось в технической части проекта, аппараты воздушного охлаждения газа, на которых расположен электропривод типа 2АВГ-75С, обеспечивают охлаждение газа после выхода из компрессорного цеха. Управление электроприводом осуществляется из операторной, расположенной в ГЩУ ДКС, и является помещением с нормальной средой. Условия работы в месте на площадке АВО газа, где расположен электропривод, относятся к особоопасным [44]. Наибольшую угрозу возникновения аварий со значительным материальным и экологическим ущербом представляют аппараты воздушного охлаждения газа.

В процессе монтажа и дальнейшего обслуживания регулируемого электропривода АВО газа производственные опасности и вредности могут быть обусловлены:

- отравление обслуживаемого персонала перекачиваемым газом в результате аварийного сброса газа, при пусках и остановках аппаратов типа 2АВГ-75С, характеристика газа приведена в таблице 6.1;
- возможность взрыва и пожара при образовании взрывоопасных смесей; (таблица 6.1)
- возможность поражения электрическим током напряжением $U=380В$, при случайном прикосновении к токоведущим частям;
- при появлении напряжения на отключенных токоведущих частях на которых работают люди, вследствие ошибочного включения электроустановки;
- при появлении напряжения на конструктивных металлических частях электрооборудования в результате повреждения изоляции и коротких замыканий;

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		64

- воздействием атмосферного электричества на оборудование АВО.Прямой удар молнии, при котором ток может достигнуть 200 кА, напряжение 1,5 МВ, температура 200 000 °С вызывает разрушения;

- особую опасность представляют собой наличие вращающихся частей в механизме АВО типа 2АВГ-75С, частей электродвигателей, так как при случайном прикосновении к ним может произойти затягивание одежды, что приводит к тяжелым травмам;

- опасность получения травм в результате прорывов технологических трубопроводов, так как приводной двигатель расположен в непосредственной близости с трубопроводами, давление в которых достигает до 5,4 МПа.

- опасность при плохой центровке агрегатов, возможны вибрация и шум.

- метеоусловиями при монтаже и обслуживании привода АВО газа в производственной среде (дождь, ветер, мороз), особенно в зимний период.

Характеристика веществ производственной среды по взрывопожарной опасности на площадке АВО газа представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Взрывопожароопасные и токсические свойства веществ в рассматриваемой производственной среде

Наименование вещества на рассматриваемом объекте	Агрегатное состояние	Класс опасности веществ	Температура, °С			Объёмный концентрационный предел взрываемости, %		Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)	ПДК веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м ³
			вспышки	воспламенения	самовоспламенения	нижний предел	верхний предел		
Природный газ (метан CH ₄ 99%)		1			-	5,28	14,1	Отравляющее	300

В соответствии с [45] площадка с аппаратами воздушного охлаждения газа относится к категории Ан. В соответствии с [44] по взрывопожаробезопасности к классу В-1Г. По ГОСТ 12.1.011-78* категория и группа образования взрывоопасных смесей к ПА –Т2.

Классификация АВО типа 2АВГ-75С представлена в таблице 6.2.

На основании проведенного анализа опасностей и вредностей необходимо разработать мероприятия, исключающие воздействие выявленных производственных опасностей и вредностей на работающего, мероприятия по обеспечению безопасных условий труда и защиты окружающей природной среды.

- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда согласно [44, 47, 48];

Для обеспечения безопасности производственного процесса на площадке АВО газа при монтаже и эксплуатации объекта должны контролироваться и выполняться требования, предъявляемые правилами техники безопасности к электротехническим установкам в соответствии с [49].

Персонал, обслуживающий электропривод АВО типа 2АВГ-75С, должен быть ознакомлен с его техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, знать требования правил технической безопасности.

Эксплуатация электрооборудования, инструментов в неисправном состоянии, при неисправных устройствах безопасности, а также при превышении предельно-допустимых рабочих параметров запрещается.

Основными мерами защиты при эксплуатации объекта в соответствии с [44] являются:

- проверка и контроль изоляции в установленные нормативными документами сроки;

- обеспечение недоступности для случайного прикосновения к токоведущим частям объекта в соответствии с [49] (применение ограждений и блокировок, расположение на недоступной высоте или в недоступном месте, изоляции и других мер);

- применение индивидуальных средств защиты (диэлектрические перчатки, боты, коврики) и предохранительных приспособлений. К электрозащитным средствам также относят - изолирующие штанги и клещи, токоизмерительные клещи и указатели напряжения, монтерский инструмент с изолированными рукоятками, диэлектрические подставки;

- проверка оборудования системы и другие работы, связанные с возможностью прикосновения к токопроводящим частям в соответствии с [49], производятся только при выключенном оборудовании.

Для ограничения воздействия шума и вибрации от основных ЭД на персонал при монтаже, эксплуатации, ремонте электрооборудования применяются дополнительные средства по звукоизоляции аппаратов и оборудования. Также для ограничения воздействия шума на обслуживающий персонал предусмотрено применение звукоизолирующих наушников.

Электрооборудование выбирается с учетом характеристики среды в котором будет эксплуатироваться и с учетом категории и группы взрывоопасной смеси. Согласно этому электродвигатель привода типа 2АВГ-75С взрывобезопасного типа ВАСО2-37-24У1и имеет исполнение по взрывозащите 2ExdIIBT4 стандарта[50].

Взрывонепроницаемая оболочка, в которую заключены электрические части, выдерживают давление взрыва и исключают передачу взрыва в окружающую среду.

К мероприятиям по технике безопасности при монтаже и эксплуатации также относятся:

- осмотры и испытания средств защиты, приспособлений и инструментов;

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		67

- применение средств индивидуальной защиты органов дыхания и длительности работы не отвечающим требованиям стандартов и технических условий и т.п.;
- пользоваться незаземленным оборудованием в соответствии с технической документацией;
- курение и различное использование огня.

6.3 Расчет молниезащиты установки АВО газа

Для проектирования систем молниезащиты необходимо знать габариты защищаемого здания или сооружения (длину, ширину, высоту). Выбирать тип молниеотвода:

- одиночный стержневой отдельно стоящий;
- одиночный стержневой, установленный на защищаемом объекте;
- двойной стержневой;
- тросовый и т.д.

Выбор типа молниеотвода зависит от конфигурации объекта и требуемой формы зоны защиты. Как правило, выбирают одиночный стержневой для защиты колонн, труб, башен и других высоких, отдельно стоящих сооружений, двойной или многократный стержневой молниеотводы для защиты зданий насосных, компрессорных, имеющих прямоугольную или более сложную форму [51]. Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного стержневого молниеотвода (высотой $h=32$ м и расстоянием $L=91,8$ м между молниеотводами) представлена на рис. 6.1.

Расчет молниезащиты произведен в программе «Electricv6.7», разработчики – Сумеркин Е.

Программа разработана на основе [51].

Согласно [51] АВО газа относится к специальным объектам, представляющим опасность для непосредственного окружения. Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9–0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля.

Высота $h_x=7,0$ м.

Расстояние $r_x=48,5$ м.

Для уменьшения ветровых нагрузок, принимается высота молниеприёмника $h=32$ м.

Ширина горизонтального сечения АВО газа в центре между молниеотводами – 31 м.

Произведен расчет молниезащиты.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		69

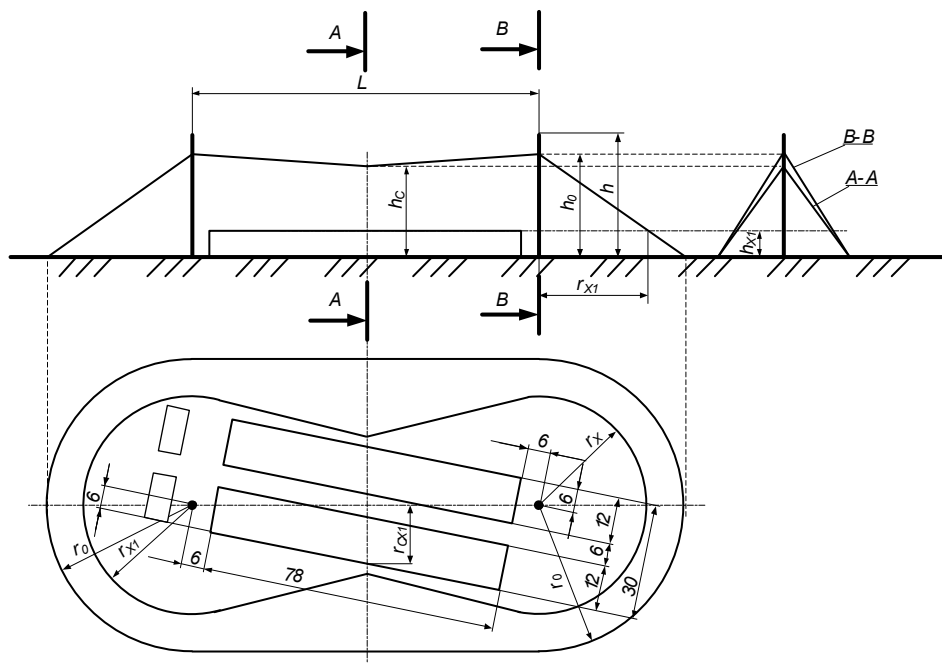


Рисунок 6.1– Зона защиты двойного стержневого молниеотвода
 Внешний вид программы «Electricv6.7» и результаты расчёта представлены на рисунке 6.2.

6.4 Экологичность проекта

Источниками загрязнения окружающей среды, представляющими для нее опасность, обусловленными работой электропривода являются: опасность загрязнения почвы остатками смазок, отходов и производственного мусора;

Для исключения засорения почв остатками смазок, отходов и мусора, они собираются в специально отведенные места и затем вывозятся к месту хранения.

Непосредственное воздействие на окружающую среду оказывает перекачиваемый природный газ, сбрасываемый через сбросные свечи АВО газа.

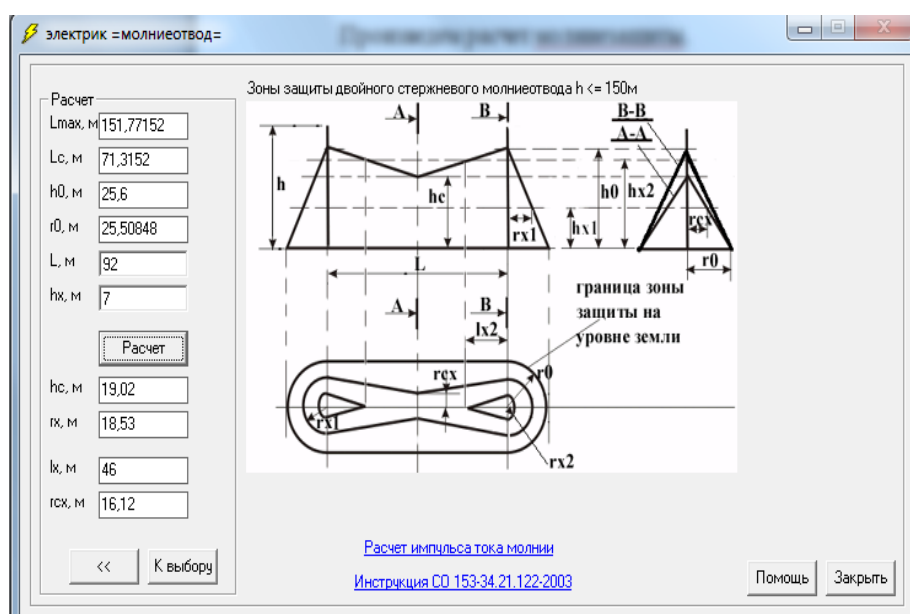


Рисунок 9.2 –Расчетное окно программы " Electricv6.7"

Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата

15.03.05.2020.002.00.000ПЗ

Влияние производственной среды на окружающую среду представлено в таблице 6.3

Кроме того в операторной образуются отходы от производственного освещения, макулатура и другие виды отходов, которые утилизируются на полигоне ТБО.

Таблица 6.3– Влияние производственной среды на окружающую среду

Наименование выброса	Количество образования выбросов по видам	Условие (метод) ликвидации, обезвреживания, утилизации	Периодичность	Установлена ли норма содержания загрязнения в выбросах
Природный газ	150 м ³ /год	Нет	Два раза в год	Не установлена

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте была поставлена и решена задача повышения эффективности ЭТК УОГ, критерием которой является способность восстанавливать технологический режим охлаждения газа за требуемое время после перерывов электроснабжения. Была разработана математическая модель ЭТК УОГ на базе интерактивного программного комплекса MATLAB + Simulink, позволяющая проводить исследования переходных процессов, в том числе обусловленных пуском многополюсных АД с вентиляторной нагрузкой на валу. Модель имеет открытую структуру, топология которой и параметры образующих ее блоков могут быть оперативно изменены в зависимости от конкретно решаемой задачи.

Проведено расчетно-теоретическое исследование переходных процессов при пуске многополюсных АД для привода вентиляторов АВО.

Установлено, что:

-кратность пускового тока многополюсного АД в значительной степени обусловлена реактивной составляющей, которая в течение большей части переходного процесса (для двигателя ВАСО мощностью 37 кВт составляющей примерно 15 с) превышает активную составляющую в 2,5 - 3 раза;

-угол установки лопастей и физические свойства охлаждаемого воздуха не оказывают существенного влияния на графики изменения электрических и электромагнитных величин в процессе пуска АД с вентиляторной нагрузкой.

Показано, что при ограничении тока источника питания за счет снижения напряжения питания или включения реактора в цепь статора двигателя не обеспечивается требуемое время восстановления технологического режима охлаждения газа после перерывов электроснабжения.

Были получены теоретические зависимости, характеризующие изменение тока в пусковом режиме при пуске многополюсных АД с вентиляторной нагрузкой, которые позволили выявить факторы, обеспечивающие уменьшение тока источника питания в динамических режимах, и сформулировать требования к структуре ЭТК УОГ.

По результатам моделирования разработан способ регулирования реактивной мощности в СЭС УОГ при пуске многополюсных АД с вентиляторной нагрузкой, обеспечивающий снижение тока источника электроснабжения без увеличения длительности пускового режима.

В экономическом разделе дипломного проекта произведен расчет экономической эффективности от внедрения частотно-регулируемого электропривода. Выгоды от внедрения оцениваются исходя из того, что в результате, уменьшается потребление электроэнергии. Экономический эффект мероприятия заключается в снижении затрат на электроэнергию.

В результате технико-экономических расчетов получили, что выгода от снижения потерь электроэнергии составит 87464240 р., чистый дисконтированный доход проекта больше 0, следовательно проект является эффективным, срок окупаемости проекта (3,12 года), меньше, чем срок эксплуатации проекта, индекс доходности (2,318), следовательно проект эффективен.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		72

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Анисимов, В.А., Горнов, А.О., Москаленко В.В. и др. Возможности энергосбережения в асинхронном электроприводе с тиристорными регуляторами напряжения при вентиляторном характере нагрузки // Электротехника. - 1995. - № 7. - С. 17-18.

Артюхов, И.И., Аршакян, И.И., Коротков, А.В. и др. Направления и перспективы применения регулируемого электропривода на компрессорных станциях транспорта и хранения газа // Электротехнические комплексы и силовая электроника. Анализ, синтез и управление: Меж-вуз. науч. сб. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. — С. 26 - 30.

Артюхов, И.И., Аршакян, И.И., Крылов, И.П. Автоматическое управление аппаратами воздушного охлаждения на объектах магистрального транспорта газа // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. - № 1. - С. 33-36.

Глазенко, Т.А., Хрисанов, В.И. Математическое моделирование тиристорного асинхронного электропривода с фазовым управлением // Техническая электродинамика. — 1982. - № 4. - С. 52 - 58.

Ильинский, Н.Ф., Юньков, М.Г. Автоматизированный электропривод / - М.: Энергоатомиздат, 1990. — С. 228 - 230.

Иванов – Смоленский, А.В. Электрические машины. - М.: Энергия, 1980. — С. 426 - 430.

Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 2001. — С. 216 - 230.

Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 2001. — С. 216 - 230.

Ларин, Е.А., Долотовская, Н.В., Булатова, Д.А. Энергетическая эффективность систем воздушного охлаждения и аппаратов воздушного охлаждения: Инструктивно-методические указания к расчету. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. — С. 8 - 10.

Меньшов, Б.Г., Беляев, А.В., Ящерицын, В.Н. Электроснабжение газотурбинных компрессорных станций магистральных газопроводов. — М.: Недра, 1995. — С. 16 - 30.

Меньшов, Б.Г., Доброжанов, В.И., Ершов, М.С. Теоретические основы управления электропотреблением промышленных предприятий. — М.: Нефть и газ, 1995. — С. 126 - 134.

Правила устройства электроустановок. 6-е изд., перераб. и дополн., с изм. - М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 2001. — С. 216 - 230.

					15.03.05.2020.002.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Поспись	Дата		73