

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
_____ 2020 г.

Модернизация электроприводов дымососа и вентилятора котельной

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2020.088.00.000ПЗ ВКР

Руководитель работы,
доцент, к.т.н.
_____ К. М. Виноградов
_____ 26 июня 2020 г.

Автор работы
студент группы ДО – 503
_____ Ф. Ф. Зарипов
_____ 26 июня 2020 г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 2020 г.

Челябинск 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	10
1.1 Тепловые сети.....	14
1.2 Назначение, устройство и технические характеристики дымососа ДН-10 ..	17
2. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	27
2.1 Выбор двигателя.....	27
2.2 Выбор муфты	29
2.3 Выбор преобразователя частоты.....	32
3. РАСЧЁТ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	35
3.1 Расчет инвертора	35
3.2 Расчёт выпрямителя	38
3.3 Расчёт фильтра.....	40
4. ВЫБОР ПУСКОВОЙ, ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ.....	43
4.1 Подбор кабеля.....	43
4.2 Подбор сечения токопроводящей жилы силовых кабелей.....	43
4.3 Подбор сечения токопроводящей жилы контрольных кабелей.....	45
4.4 Подбор магнитного пускателя	46
4.5 Подбор автоматического выключателя.....	47
4.6 Выбор плавкого предохранителя	49
5. ВЫБОР СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ	51
5.1 Расчёт передаточных функций электропривода	52
5.2 Моделирование динамических режимов	55

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	59
6.1 Общая характеристика проектируемого объекта	59
6.2 Шум и вибрация	61
6.3 Микроклимат производственного помещения	63
6.4 Отопление и вентиляция.....	63
6.5 Освещение	65
6.6 Электробезопасность	66
6.7 Защита от статического электричества	67
6.8 Молниезащита	67
6.9 Пожарная профилактика.....	70
6.10 Технологическая безопасность	71
6.11 Средства индивидуальной защиты	72
7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА	75
7.1 Расчёт стоимости оборудования разрабатываемого проекта.....	75
7.2 Расчёт издержек проектируемого производства	76
7.3 Расчёт суммарных издержек	81
7.4 Калькуляция себестоимости изделия	82
7.5 Калькуляция себестоимости изделия	85
7.6 Срок окупаемости.....	88
7.7 Техничко-экономические показатели проекта	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	92

ВВЕДЕНИЕ

Котельная представляет собой капитальное здание, в котором размещается группа котельных агрегатов и их дополнительных устройств, участвующих в производственном цикле.

В данном проекте производится модернизация нерегулируемого электропривода центробежного дымососа одностороннего вращения ДН-10, расположенный в помещении котельной АО санаторий "Янган-Тау" по адресу РБ Салаватский район санаторий "Янган-Тау"

Котельные - это комплекс оборудования, предназначенный для преобразования химической энергии топлива в тепло для производства горячей воды с заданными температурными параметрами.

В зависимости от назначения выделяются следующие котельные: отопление - для обеспечения теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; отопление и производство - для обеспечения теплом отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологического водоснабжения и производства для технологического теплоснабжения. Котельная установка состоит из котельного агрегата, вспомогательных механизмов и устройств.

Целью дипломного проекта является изменения способа регулирования производительностью дымососа от неэкономичного управления с помощью направляющего аппарата в пользу внедрения преобразователя частоты.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1. Технологическая схема производственно-отопительной котельной

Источником теплоснабжения жилых, административных и промышленных объектов санатория и рабочего поселка является котельная с водогрейными котлами.

Котел центрального отопления предназначен для выработки горячей воды с необходимыми качественными температурными параметрами (в соответствии с утвержденным графиком), которая используется бытовыми потребителями для оказания качественных медицинских услуг, как в санатории, так и для жилых помещений. Деревня работников санатория, для производства горячей воды с целью обеспечения отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Система отопления обеспечивает заданные тепловые условия в помещениях в холодное время года, компенсируя потери тепла из-за протечек оконных и дверных проемов, недостаточной теплоизоляции всех зданий санатория и рабочего поселка.

Система вентиляции создает необходимую чистоту воздуха в рабочей зоне больниц и технических зданий, необходимую воздушную и тепловую обстановку в общественных зданиях путем организации воздухообмена в помещениях.

Система кондиционирования воздуха используется для создания микроклимата в помещении, который отвечает высоким санитарно-гигиеническим или технологическим требованиям, обеспечивая строго определенную температуру, влажность, мобильность и чистый воздух в рабочей зоне.

Система горячего водоснабжения предназначена для транспортировки воды к водозаборам для бытового или промышленного использования.

1.1. Котельная оборудована тремя котлами ДКВР - 6,5-13 в водогрейном исполнении и одним водогрейным котлом КСВ-2,9. Общая мощность котельной составляет 13,4 Гкал/ч. Отпуск тепла производится по температурному графику ориентировочно 85-70⁰С.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Расчетная потребность тепла без учета теплопотерь во внешних сетях составляют около 11,55 Гкал/ч. Потребность тепла с учетом теплопотерь (прямые потери тепла в атмосферу, утечка воды) составляют не менее 12,7 Гкал/ч

Потребность. В настоящее время греющая вода, используемая на нагревании воды для ГВС, отправляется в тепловую сеть и используется в системах отопления и вентиляции. В связи с переменным потреблением расхода теплоносителя на ГВС, тепловые сети работают с количественным регулированием для поддержания температурного графика 70-60⁰С, остальные внутренние системы отопления рассчитаны на график 95-70⁰С.

Котельная оборудована сетевыми насосами марки Д-320-50 и одним Д-500-63. Рабочими являются два насоса Д-320-50. В котельной установлен один подпиточный насос типа КМ.

Теплотехнологическое оборудование является потребителем тепловой энергии в виде подогретой воды и включает в себя как специальные теплопроводы, так и разные теплообменные аппараты.

Природный газ по газопроводу поступает на территорию предприятия в газорегуляторный пункт (ГРП), где давление районной магистрали газа снижают до рабочего и поддерживают его на заданном уровне. Из ГРП газ подается к горелкам котельного агрегата

При условии временного прекращения подачи газа, на период ремонта или других факторов, котлы имеют возможность обеспечения работы на резервном топливе, в нашем случае - мазут.

Из мазутохранилища, насосами мазут подается в фильтры тонкой очистки, и далее в горелку проходя через форсунки после смешивания с воздухом сгорает

Котел имеет топку с расположенными в ней нагревательными поверхностями (нагревательными трубами), верхним и нижним барабанами, конвективными нагревательными поверхностями и экономайзером воды.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Воздух, необходимый для сжигания газа, забирается из верхней части котельной и поступает на вход вентилятора через впускной канал, откуда он подается в горелки под давлением. Продукты сгорания проходят последовательно через все теплоаккумулирующие ребристые элементы конструкции котла, а затем выбрасываются в дымоход с помощью дымоудаления.

Кипящая вода поступает в сборный коллектор, откуда отправляется технологическим потребителям. Часть пара из кипящей воды после снижения давления в редукторе подается в деаэратор, где растворенные в нем агрессивные газы удаляются из питательной воды для предотвращения коррозии поверхностей нагрева.

Для получения горячей воды в котельной установлен котел. Кипящая вода поступает в котел из общего коллектора через специальный водопровод. Водопроводная вода с помощью сетевого насоса, установленного на обратной линии, подается для отопления в котел, откуда она поступает на прямую линию системы теплоснабжения для потребителей тепла. Чтобы уменьшить содержание соли в котловой воде из барабана, по трубопроводу проводится непрерывная очистка. Полученная кипящая вода поступает в нагреватель сырой воды, который закачивается в систему химической очистки воды. Химически очищенная вода перед поступлением в деаэратор нагревается в деаэрированном водяном холодильнике. Деаэрированная вода подается в экономайзер котловой воды с помощью подающего насоса.

Для питания тепловых сетей вода проходит химическую очистку, предварительную подготовку на установках катионизации натрия.

Котельная оснащена необходимыми приборами для контроля и измерения состава воздуха и автоматическим оповещением оператора службы при отклонениях от нормы процентного содержания CO и O₂.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Таблица - 1 Оборудование котельной

Тип котла	Топливо	Кол-во	Номинальная теплопроизводительность, Гкал/ч	Прим.
ДКВР-6,5-13	Природн. газ	3	3,5	Работают в водогрейном режиме
Водогрейный котел КСВ-2,9	Природн. газ	1	2,9	Работает в системе ГВС

Таблица – 2 Характеристика насосов

Назначение и тип насосов	Кол-во	Производит. т/ч	Развиваем. напор, м вод. ст.	Мощность эл. двигат. кВт	Частота вращения, об/мин
Сетевые насосы Д-320-50	2	320	50	75	1475
Сетевой насос Д-500-63	1	500	63	132	1485
Подпиточные насос КМ	1	50	50		2900

1.1 Тепловые сети

Схема теплоснабжения закрытая, 4-х трубная. Укладка трубопроводов осуществляется преимущественно подземным руслом и частично надземна на опорах. Местность непростая, с большими различиями в геодезических отметках. Есть потребители тепла, расположенные относительно котельной ниже 30 м и выше котельной в 38 м.

Изоляция трубопроводов выполнена минераловатными матами с тканым покрытием. Компенсация температурных удлинений осуществляется за счет поворотов сети и П-образными компенсаторами.

Суммарная емкость зависимой системы теплоснабжения равна 486м^3 .

$$V=V_{\text{тр}}+V_{\text{сист.}}=140+30\times 11,55=486\text{м}^3$$

Здесь: $V_{\text{тр.}}$ – емкость наружных трубопроводов (с учетом перспективных нагрузок);

$V_{\text{сист.}}$ – суммарная емкость внутренних систем

30 м^3 – объем местных систем отопления на 1 Гкал/ч их мощности [5].

Емкость наружных трубопроводов определена, исходя из их длин, определенных натурным измерением.

Нормированная среднечасовая утечка не должна превышать величину $0,25\%$ от емкости системы. Величина подпитки должна быть не более:

$$V_{\text{подп.}}=0,0025*486=1,215\text{м}^3/\text{ч} \quad \text{или} \quad 29,2\text{ м}^3/\text{сутки}$$

Установленный подпиточный насос удовлетворяет этим требованиям. Фактическая подпитка сетей в настоящее время ниже нормативной и не превышает $10\text{ м}^3/\text{сутки}$.

1.1.1 Оборудование котельной

Оборудование котельной условно делится на основное (сам котел) и вспомогательное. Вспомогательное оборудование - это оборудование и устройства

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

для подачи топлива, питательной воды и воздуха, для удаления продуктов сгорания, очистки дымовых газов, паропроводов, водопроводных труб и других.

Расположение котельной можно увидеть на рисунке 1.

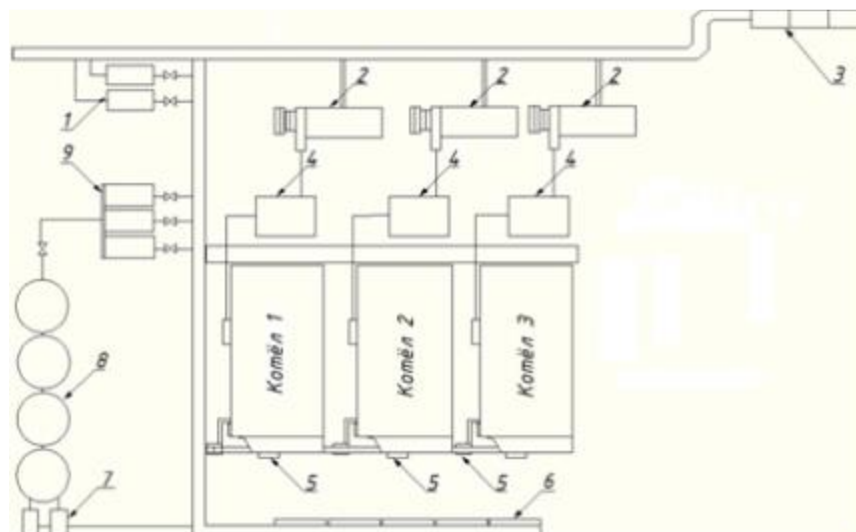


Рисунок – 1 Расположение котельной

1 - циркуляционный насос; 2 - дымосос; 3 - ВРУ; 4 - экономайзер; 5 - вентиляторная станция; 6 - щит управления; 7 - насос сырой воды; 8 - водоподготовительная установка; 9 - питающий насос котла.

Котел - это агрегат, предназначенный для нагрева воды путем выделения тепла от сгорания топлива и передачи его химической энергии для нагрева.

Газо-воздушный канал включает в себя оборудование, которое подает воздух (в печь) и продукты сгорания (из печи в атмосферу) в котел. Это движение сопровождается потерями давления на поверхностях нагрева. Давление, необходимое для преодоления этих сопротивлений, создается тяговыми машинами: вентиляторами и дымососами. Вентиляторы устанавливаются в начале воздуховода на холодном воздухе, они создают избыточное давление. Дымососы обеспечивают вакуум в конце установки.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

В дополнение к тяговым машинам, оборудование газоздушного контура котельной включает также всасывающий и нагнетательный каналы, а также газоходы с поверхностями нагрева и расположенными в них системами сбора золы; регулирующие устройства - ворота, направляющие устройства; компенсаторы для линейных удлинителей воздухопроводов; дымоходы. Котельная оборудована газоанализатором Хоббита для контроля состава атмосферного воздуха в случае разрушения или дефектов сборки элементов газопровода.

Источники водоснабжения для подачи котла является естественным источником артезианской воды "Кургазак" через сельский водопровод.

Для подачи котловой воды используются питающие установки: группа центробежных насосов.

Циркуляция воды в системах отопления и горячего водоснабжения котельной осуществляется соответственно насосами сетевой воды типа Д-320-50 со схемой дублирование: рабочий - резерв, и сетевым насосом Д-500-63 в режиме максимальной работа, циркуляционными насосами типа KM50/CR1-2 "GRUNDFOS".

Перед поступлением в деаэрактор, кипяток проходит через регулятор прямого действия фирмы ООО "Самсон контролс", который снижает давление пароконденсата до 0,2атм.

Так же установлен сепаратор непрерывной продувки \varnothing 300мм. Пар из сепаратора поступает прямо в атмосферный деаэрактор.

Система автоматического управления котельной обеспечивает:

1) автоматический контроль температуры воды, поступающей в теплообменники.

2) автоматическое регулирование давления воды, поступающей в атмосферный деаэрактор в случае избытка пара;

3) автоматическое регулирование уровня воды в атмосферном деаэраторе.

Теплоизоляция трубопроводов и дымоходов выполнена из минеральной ваты, покрытой оцинкованным стальным листом.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Дымовые газы от каждого котла после экономайзеров чугунных типа БВЭС-Ш-2 дымососами правого вращения типа ДН-10 отводятся в общую дымовую трубу диаметром 960 мм высотой 32 м.

1.2 Назначение, устройство и технические характеристики дымососа ДН-10

1.2.1 Назначение и устройство дымососа

Центробежные дымососы одностороннего всасывания типа ДН-10 предназначен для отсасывания дымовых газов из топок газомазутных котлов на твёрдом топливе газопроизводительностью 16 т/час, оборудованных эффективно действующими "сухими" золоуловителями.

Дымососы рассчитаны на продолжительный режим работы в помещении и на открытом воздухе в условиях умеренного климата (климатическое исполнение У, категория размещения 1, 2, 3, 4, ГОСТ15150-69). Запуск дымососов разрешается при температуре в улитке не ниже -30°C . Максимальная допустимая температура на входе в дымосос не должна превышать 250°C .

Дымосос (рисунок 1) состоит из следующих узлов: ходовой части 3, улиткообразного корпуса 14 с входным (всасывающим) 10 и выходным (нагнетательным) 8 патрубками, крыльчатки (ротора) 5 и направляющего аппарата.

Ходовая часть дымососа состоит из вала 16 (рисунок 2), который вращается на двух подшипниках 17. Вся ходовая часть размещена в масляной ванне, которая имеет крышку и поддон. Температура масла контролируется термометром 4, а уровень - по указателю уровня масла, который размещен в масляной ванне.

Рабочее колесо - это устройство, состоящее из диска 6, к которому приварены или приклепаны лопатки 7, концы которых соединены кольцом. К диску приварена втулка 15 (ступица), с помощью которой он закрепляется на валу.

Когда рабочее колесо вращается, воздух через воздухопровод подается в его центр и, благодаря центробежным силам, выбрасывается из центра на периферию и

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

закачивается в воздуховод. Разрежение образуется в центре рабочего колеса, где воздух непрерывно течет.

Направляющий аппарат, с помощью которого регулируется подача воздуха (вакуум в печи), установлен перед вентилятором (дымоотводом) на всасывающей трубе. Он состоит из металлической трубы с фланцами, внутри которых размещены вращающиеся лопасти. Все вращающиеся лопасти имеют общий вращательный механизм, с помощью которого они могут вращаться на один и тот же угол одновременно.

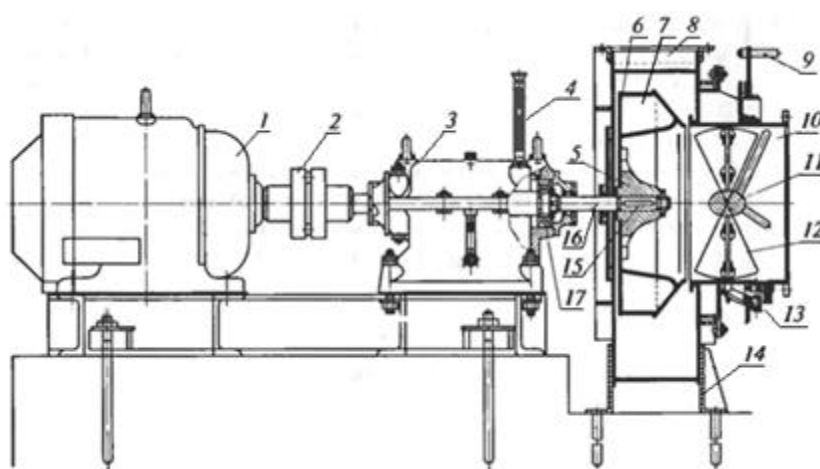


Рисунок 2 - Установка с центробежным дымососом ДН-10

1 - электродвигатель; 2 - муфта; 3 - ходовая часть; 4 - термометр; 5 - ротор; 6 - диск; 7 - лопасти (крыльчатка); 8, 10 - выходной и входной патрубки; 9 - рукоятка поворота лопастей; 11 - центральный рассекаатель; 12 - поворотные лопасти; 13 - поворотное кольцо; 14 - улиткообразный корпус; 15 - втулка; 16 - вал; 17 - подшипник.

1.2.2 Основные технические характеристики дымососа

Привод дымососов осуществляется от закрытых асинхронных одно- или двухскоростных электродвигателей.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

В рассматриваемой нами установке (дымосос) в котельной АО санаторий "Янган-Тау" использовался двигатель входящий в стандартную комплектацию 4AM200M4.

Основные технические характеристики дымососа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики дымососа ДН - 10

Наименование параметра	Единица измерения	Величина или характеристика
Тип дымососа	-	ДН-10 - центробежный, одностороннего всасывания, правого вращения, без противоизносной защиты, улитки и всасывающего кармана
Завод изготовитель	-	ОАО "Бийский котельный завод"
Диаметр рабочего колеса	мм	1100
Производительность	м ³ / ч	34000
Полное давление	Па	3450
Температура	°С	200
Количество рабочих лопастей	шт	16
Мощность на валу	кВт	37
Максимально допустимая частота вращения	об / мин	1450
Максимальный КПД	%	83
Уровень звуковой мощности:		
шум нагнетания	дБ	102
шум всасывания	дБ	97
масса	кг	950

1.2.3 Требования предъявляемые к электроприводу дымососа

Использование частотно-регулируемых приводов позволяет решить проблему согласования эксплуатационных параметров и энергопотребления тяговых двигателей с изменяющимся характером нагрузки на котлы.

Отношение отопительной нагрузки котельных в начале и окончании отопительного сезона к максимальной составляет для большинства регионов России 1 : 5. Приблизительно в этом отношении (без учёта КПД котлоагрегатов) изменяются расход воздуха на горение топлива и объём продуктов сгорания. Тогда минимальный диапазон регулирования скорости электропривода должен составлять 1 : 5.

При модернизации электропривода дымососа мы хотим добиться:

- 1) снижения расхода электроэнергии;
- 2) снижение эксплуатационных затрат;
- 3) обеспечение плавного протекания переходных процессов, особенно пусков и остановок, без динамических и ударных явлений в электродвигателе и дымососе;
- 4) устройство поддержания давления на заданном уровне;
- 5) автоматического отключения дымососов при авариях;
- 6) увеличение производительности дымососа (увеличение его КПД).

1.2.4 Модернизация электропривода дымососа, обоснование путём сопоставления энергетических показателей способов регулирования производительности дымососов.

Чтобы определить энергоэффективность реализации, мы сравниваем энергопотребление в отопительный сезон электрического дымососа с направляющим устройством и частотно-регулируемым электроприводом, предложенным для реализации. В то же время мы предполагаем, что в начале отопительного сезона дымоудаление загружается с пропускной способностью 50%. Большая часть сезона работает с нагрузкой 85%, и только в самый зимний период

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

она загружена на 100%. Как показал поиск информации в интернете по результатам внедрения частотно-регулируемого электропривода в ЖКХ, такой график вполне приемлемо принять за расчетный. Для проведения такого исследования мы определяем эффективность удаления дыма, соответствующую 50, 85 и 100 процентам эффективности удаления дыма.

Номинальная мощность используемого двигателя составляет $P_H = 37 \text{ кВт}$.

Тогда мощность, потребляемая вентилятором, составит:

$$N = P_H \cdot \eta_{ХЧ} = 37 \cdot 0,99 = 36,63 \text{ кВт},$$

где $\eta_{ХЧ} = 0,99$ - КПД ходовой части дымососа.

По зависимости мощности потребляемой дымососом, от его производительности $N(Q)$ при регулировании направляющим аппаратом находим $N_{1НА} = 36,63 \text{ кВт}$, и соответствующую производительность $Q_1 = 28,7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$

Этому случаю соответствует закрытие направляющего аппарата на 0° , $\Theta_{НА} = 0^\circ$

Для определения различных рабочих точек при регулировании производительности дымососа необходимо знать характеристику пневмосети. Характеристика сети при работе турбомеханизма на сеть без противодействия определяется формулой $R_V = aQ^2$. По аэродинамическим характеристикам (зависимости полного давления дымососа от его производительности $R_V(Q)$) при $\Theta_{НА} = 0^\circ$ и $Q_1 = 28,7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ находим $R_{V1} = 2810 \text{ Па}$. Это определяет рабочую точку A_1 , соответствующую полной загрузке двигателя. Тогда коэффициент a , определяющий характеристику сети, определим из выражения:

$$a = \frac{R_{V1}}{Q_1^2} = \frac{2810}{(28,7 \cdot 10^3)^2} = 3,41 \cdot 10^{-6}.$$

Характеристика сети приведены в таблице 3.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Таблица 3 Характеристика сети

$R_V, \text{Па}$	344	775	1310	1980	2810	3380
$Q, \text{тыс.м}^3/\text{ч}$	8,7	13,7	18,7	23,7	28,7	33,7

При 85%-ной загрузке дымососа:

$$Q_2 = 0,85 \cdot Q_1 = 0,85 \cdot 28,7 \cdot 10^3 = 24395 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На пересечении характеристики сети и зависимости $R_V(Q)$ при $\Theta_{\text{НА}} = 51^\circ$ находим рабочую точку A_2 , в которой $Q_2 = 24395 \text{ м}^3/\text{ч}$, $R_{V2} = 2150 \text{ Па}$. В этом случае мощность, потребляемая дымососом при регулировании производительности направляющим аппаратом, будет равна:

$$N_{2\text{НА}} = \frac{R_{V2} \cdot Q_2}{3600 \cdot \eta} = \frac{2150 \cdot 24395}{3600 \cdot 0,6} = 24,41 \text{ кВт},$$

где $\eta = 0,6$ - значение КПД дымососа для точки A_2 , определённое по аэродинамическим характеристикам.

При обеспечении 50%-ной производительности:

$$Q_3 = 0,5 \cdot Q_1 = 0,5 \cdot 28,7 \cdot 10^3 = 14,35 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Этому значению соответствует точка A_3 , в которой $R_{V3} = 800 \text{ Па}$. Мощность, потребляемая дымососом при регулировании производительности направляющим аппаратом, в этом случае будет равна:

$$N_{3\text{НА}} = \frac{R_{V3} \cdot Q_3}{3600 \cdot \eta} = \frac{800 \cdot 14,35 \cdot 10^3}{3600 \cdot 0,37} = 8,62 \text{ кВт},$$

где $\eta = 0,37$ - значение КПД дымососа для точки A_3 .

Рассчитаем мощность, потребляемую дымососом, при частотном регулировании. Для этого воспользуемся следующими формулами соответствия:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}.$$

Для обеспечения $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{28,7 \cdot 10^3}{24395} = 1,18$ необходимо уменьшить частоту вращения в 1,18 раза. Тогда при частотном регулировании:

$$N_{2\text{ЧРП}} = \frac{N_1 n_2^3}{n_1^3} = \frac{N_1}{1,18^3} = \frac{37}{1,18^3} = 22,52 \text{ кВт}.$$

Для обеспечения $Q_3 = 14,35 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимо уменьшить частоту вращения двигателя в соотношении $\frac{n_1}{n_3} = \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{28,7 \cdot 10^3}{14,35 \cdot 10^3} = 2$, тогда $\frac{N_1}{N_3} = 2^3 = 8$, откуда $N_{3\text{ЧРП}} = N_1 / 8 = 37 / 8 = 4,625 \text{ кВт}$.

Рассчитаем мощность электроэнергии $P_{\text{ДВ}}$, потребляемую из сети двигателем дымососа, при регулировании производительности направляющим аппаратом и изменением частоты вращения двигателя:

$$P_{\text{ДВ}} = \frac{N}{\eta_{\text{Д}}},$$

где N - мощность, потребляемая дымососом при любом способе регулирования, $\eta_{\text{Д}}$ - КПД двигателя. Значение $\eta_{\text{Д}}$ зависят от загрузки двигателя относительно его номинальной мощности $\frac{N}{P_{\text{Н}}}$. Воспользовавшись зависимостью $\eta_{\text{Д}}\left(\frac{N}{P_{\text{Н}}}\right)$ получим значения потребляемой из сети мощности, которые сведены в таблице 4 и 5.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Таблица - 3 Расчёт энергопотребления при регулировании производительности
дымососа осевым направляющим аппаратом

$N_{НА}, \text{кВт}$	8,62	24,41	37
$\frac{N_{НА}}{P_H}$	0,24	0,67	1
η_D	0,91	0,92	0,923
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	13	31	45

Таблица 5 Расчёт энергопотребления при регулировании производительности
дымососа регулированием частоты вращения двигателя

$N_{ЧРП}, \text{кВт}$	4,62	22,52	37
$\frac{N_{ЧРП}}{P_H}$	0,13	0,61	1
η_D	0,91	0,92	0,923
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	5,1	24,5	40,1

Таблица - 6 Расход электроэнергии при регулировании производительности
направляющим аппаратом

Месяц	Но- ябрь	Де- кабрь	Январь		Февраль		Март	Ап- рель
Число часов	720	720	360	360	360	360	720	720
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	13	31	31	45	45	31	31	13
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	9360	22320	11160	16200	16200	11160	22320	9360
$W_{НА}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	118080							

Таблица-7 Расход электроэнергии при регулировании производительности изменением частоты вращения привода

Месяц	Но-ябрь	Де-кабрь	Январь		Февраль		Март	Ап-рель
Число часов	720	720	360	360	360	360	720	720
$P_{ДВ}, кВт$	5,1	24,5	24,5	40,1	40,1	24,5	24,5	5,1
$W, кВт \cdot ч$	3672	17640	8820	14436	14436	8820	17640	3672
$W_{ЧРП}, кВт \cdot ч$	89136							

На основании полученных данных построим диаграмму потребления электроэнергии электроприводом дымососа, данные для которой сведены в таблице 5 и 6.

Графическое представление потребления электроэнергии приведено на рисунке 4.

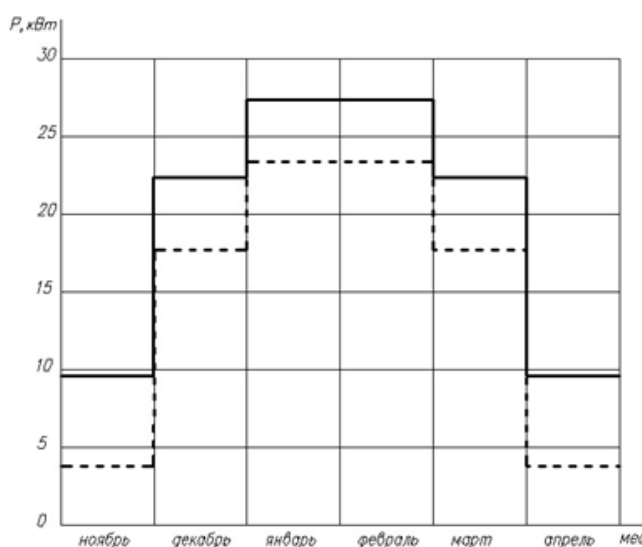


Рисунок 4 - Зависимость потребляемой двигателем мощности от времени при регулировании направляющим аппаратом и при частотном регулировании

1.2.5 Вывод

Из анализа полученных результатов и сопоставления расхода электроэнергии видно, что $W_{\text{ЧРП}} = 0,746 \cdot W_{\text{НА}}$, внедрение частотно-регулируемого электропривода дымососа ДН-10 котельной АО санаторий "Янган-Тау" позволит уменьшить потребление электроэнергии на 25,4% .

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

2.1 Выбор двигателя

Расчет мощности потребляемой дымососом при полностью открытом направляющем аппарате:

$$P_{\text{дым.}} = \frac{P_V \cdot Q_{\text{max}}}{3600 \cdot \eta} = \frac{2810 \cdot 28700}{3600 \cdot 0,83} = 27 \text{ кВт.}$$

Для данного типа механизма коэффициент запаса $k_z = 1,2$.

Рассчитываем мощность двигателя:

$$P_{\text{дв. рас.}} = P_{\text{дым.}} \cdot k_z = 27 \cdot 1,2 = 32,4 \text{ кВт.}$$

При режиме работы S1 двигатель выбирают из условия: $P_{\text{дв.}} > P_{\text{дв. рас.}}$.

Этому условию соответствует двигатель 5A200M4 - асинхронный двигатель серии 5А со степенью защиты IP54, класс термостойкости F, с короткозамкнутым ротором, с чугунной рамой и опорными щитками, с осью высоты вращения, средняя размер установки по длине кровати (М), четырехполюсный, климатический вариант Y, категория размещения 4.

Двигатель расположен в котельной, которая не содержит горючих и взрывоопасных газов, поэтому нет необходимости применять дополнительные меры для повышения степени защиты двигателя, поэтому мы подбираем конструкцию в соответствии со степенью защиты по ГОСТ 14254-80 IP54, где: номер 5 - пыль не может проникнуть в количестве, достаточном для разрушения продукта; № 4 - вода, распыляемая на корпус в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на продукт. Вентилятор расположен на валу ротора снаружи корпуса и защищен кожухом. [5]

Конструктивное исполнение двигателя по способу монтажа в соответствии с ГОСТ 2479(МЭК 34-7) IM1011, где: первая цифра 1 - двигатель на лапах с

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

подшипниковыми щитами; вторая и третья цифра 01 - вал горизонтальный; четвёртая цифра 1 - с одним цилиндрическим концом вала.

Параметры которого приведены ниже: [6]

- 1) Номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 37$ кВт;
- 2) Номинальная частота вращения $n_{\text{ном}} = 1465$ об/мин;
- 3) Номинальный КПД $\eta_{\text{ном}} = 92,3\%$;
- 4) Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$;
- 5) Номинальный ток статора $I_{\text{ном}} = 72$ А;
- 6) Номинальный момент $M_{\text{ном}} = 240$ Н·м;
- 7) Кратность пускового момента $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2,4$;
- 8) Кратность максимального момента $\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,6$;
- 9) Кратность пускового тока $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,7$;
- 10) Динамический момент инерции ротора $J_p = 0,27$ кг·м².

В общем, выбранный двигатель должен быть проверен на предмет нагрева, перегрузки и условий запуска.

Поскольку двигатель работает в режиме постоянной нагрузки S1, проверка нагрева не требуется.

Определяем параметры двигателя:

- 1) Номинальная частота вращения:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30} = \frac{\pi \cdot 1465}{30} \approx 153 \text{ рад/с}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

2) Максимальный момент:

$$M_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}} \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,6 \cdot 240 = 624 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3) Пусковой момент:

$$M_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{НОМ}}} \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,4 \cdot 240 = 576 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2 Выбор муфты

Диаметр вала двигателя: $d_{\text{вал.дв.}} = 60 \text{ мм}$.

Выбираем упругую втулочно-пальцевую муфту из таблицы 7 стандартных значений муфт. [7]

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Таблиц - 7 Муфты упругие втулочно-пальцевые (ГОСТ 21424-75) (размеры в мм.)

$d_{\text{вал.дв.}}$		60...65
$[T_p]$, Н·м		1100
$[n_{\text{max}}]$, мин ⁻¹		2650
D		220
L		286
B		2...6
B_1 , (наим.)		55
D_1		170
Пальцы	$d_{\text{п}}$	18
	$l_{\text{п}}$	42
	резьба	M12
	Z	10
Втулка упругая	наруж. диаметр, $D_{\text{в}}$	35
	длина, $l_{\text{в}}$	36

Таблица - 8 Коэффициент режима работы для привода от электродвигателя

Механизм или машина	k_p
Воздуходувки и вентиляторы центробежные	1,25...1,50
Насосы центробежные	1,50...2,00

Проверочный расчёт муфты для соединения вала электродвигателя с валом дымососа, при: $P_{\text{дв.}} = 37 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 1465 \text{ об/мин}$.

- 1) Определяем номинальный момент, передаваемый муфтой:

$$T = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{дв.}}}{n_{\text{ном.}}} = 9,55 \cdot \frac{37 \cdot 10^3}{1465} = 241,2 \text{ Н·м.}$$

2) Вычисляем расчётный момент, принимая по таблице 8 коэффициент режима работы $k_p = 1,5$:

$$T_p = k_p \cdot T = 1,5 \cdot 241,2 = 361,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3) По таблице 7 (ГОСТ 21424-75) выбираем муфту, для которой допускаемый расчётный момент $[T_p] = 1100 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Муфту меньших размеров принять нельзя, так как диаметр вала электродвигателя $d_{\text{вал.дв.}} = 60 \text{ мм}$, а предыдущая меньшая муфта предназначена для соединения валов диаметром 48...55 мм. Размеры выбранной муфты следующие: $D_1 = 170 \text{ мм}$; $l_B = 36 \text{ мм}$; $d_{\text{п}} = 18 \text{ мм}$, число пальцев $z = 10$.

4) Проверяем резиновые втулки на смятие поверхностей их соприкосновения с пальцами:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F_t}{S_{\text{см}}} = \frac{F_t}{(d_{\text{п}} \cdot l_B)} \leq [\sigma_{\text{см}}],$$

где F_t - окружная сила, передаваемая одним пальцем;

$$F_t = \frac{T_p}{(0,5 \cdot D_1 \cdot z)} = \frac{361,8}{(0,5 \cdot 170 \cdot 10^{-3} \cdot 10)} = 426 \text{ Н};$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F_t}{(d_{\text{п}} \cdot l_B)} = \frac{426}{(18 \cdot 36 \cdot 10^{-6})} = 0,657 \cdot 10^6 \text{ Па} \leq [\sigma_{\text{см}}],$$

где допускаемое напряжение смятия резины $[\sigma_{\text{см}}] = 2,0 \text{ МПа}$.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

2.2.1 Выбор муфты

Выбрали упругую втулочно-пальцевую муфту МУВП-9-1000-60-1У4: муфта втулочно-пальцевая с номинальным крутящим моментом $1000\text{Н}\cdot\text{м}$, диаметром посадочных отверстий во втулках 60мм , исполнения 1, климатическим исполнением У и категория размещения 4.

В соответствии парной работы с асинхронным двигателем 5А200М4 с номинальной мощностью 37кВт .

2.3 Выбор преобразователя частоты

Из каталога мы выбираем преобразователь частоты, мощность которого равна или превышает номинальную мощность двигателя.

Преобразователи частоты Altivar 61 фирмы Schneider Electric используется для трёхфазных асинхронных двигателей мощностью от $0,75\text{кВт}$ до 630кВт с вентиляторной нагрузочной характеристикой.

Выбираем ПЧ типа ATV61WD37N4, его параметры представлены в таблице 9.
Таблица 9 Параметры ПЧ.

Тип	Сеть			Двигатель	Преобразователь	
	$U_{\text{пит}}$	$I_{\text{лин}}$	$I_{\text{макс. к.з.}}$		Мощность двигателя	$I_{\text{ном}}$
	В	А	кА	кВт	А	А
ATV61WD37 N4	380	69, 5	22	37	71, 5	78,6

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Данный частотный преобразователь может работать в следующих условиях эксплуатации:

1) Соответствие стандартам - системы низкого напряжения МЭК/EN 61800-5-1, МЭК/Е 61800-3 (помехоустойчивость - наведённые и излучаемые помехи ЭМС);

2) Степень защиты - МЭК/EN 61800-5-1, МЭК/EN 60529, UL тип 12/IP 54;

3) Вибростойкость - двойная амплитуда $1,5\text{мм}$ от 3 до 10Гц, $0,6g$ от 10 до 200Гц в соответствии с МЭК/EN 60068-2-6;

4) Ударостойкость - $7g$ в течение 11мс в соответствии с МЭК/EN 60068-2-27;

5) Максимальная степень загрязнения - степень 3 в соответствии с МЭК/EN 61800-5-1;

6) Условия эксплуатации - МЭК 60721-3-3 класс 3С1 и 3С2;

7) Относительная влажность - от 5 до 95% без конденсации и каплеобразования, в соответствии с МЭК 60068-2-3;

8) Температура окружающей среды (вблизи устройства при работе) - от -10 до $+40^{\circ}\text{C}$ без уменьшения мощности;

9) Максимальная рабочая высота - 1000м без уменьшения мощности;

Характеристики привода:

1) Диапазон выходной частоты: $0,5 - 500\text{Гц}$;

2) Конфигурируемая частота коммутации: Номинальная частота коммутации 4кГц без уменьшения мощности в установившемся режиме; Настраиваемая при работе от 2 до 16 кГц;

3) Диапазон скорости: $1 - 100$ в разомкнутой системе;

4) Статическая точность (при изменении момента от $0,2M_n$ до M_n): $\pm 10\%$ номинального скольжения без обратной связи по скорости;

5) Точность поддержания момента: $\pm 15\%$ в разомкнутой системе;

6) Переходный перегрузочный момент: 130% номинального момента двигателя (типовое значение $\pm 10\%$) в течение 60с;

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

7) Тормозной момент: 30% номинального момента двигателя без тормозного сопротивления и до 130% с тормозным сопротивлением;

8) Переходный максимальный ток: 110% номинального тока ПЧ в течение 60с ;

9) Закон управления двигателем (АД): закон "напряжение/частота" (по 2 или 5 точкам);

10) Контур регулирования частоты: ПИ-регулятор с перестраиваемой структурой для получения характеристик по скорости, адаптированных к механизму (точность и быстродействие);

Электрические характеристики:

1) Сетевое питание: Напряжение - от 380В -15% до 480В+10% , трёхфазное; Частота - от 50Гц -5% до 60Гц+5% ;

2) Сигнализация: один красный светодиод (если преобразователь под напряжением, то светодиод горит);

3)

Выходное напряжение: максимальное трёхфазное напряжение равно напряжению сети;

4) Уровень шума преобразователя (в соответствии с директивой 86-188/ЕЕС): 64Дб ;

5) Гальваническая развязка: между силовыми и управляющими цепями (входы, выходы, источники).

2.5 Вывод

Для электродвигателя дымососа 5А200М4 был выбран соответствующий ему по мощности частотный преобразователь типа ATV61WD37N4 с функциями, разработанными специально для насосных и вентиляторных агрегатов.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

3. РАСЧЁТ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

3.1 Расчет инвертора

Максимальный ток через ключи инвертора определяем из выражения:

$$I_{c \max} = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}} = \frac{37000 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,92 \cdot 0,85 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} \approx 145,4 \text{ А}$$

где:

1) $P_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность двигателя, Вт;

2) $k_1 = 1,2 - 1,5$ - коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП;

3) $k_2 = 1,1 - 1,2$ - коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;

4) $\eta_{\text{НОМ}}$ - номинальный КПД двигателя;

5) $U_{\text{Л}}$ - линейное напряжение двигателя, В. [8]

Ключи IGBT выбираются с постоянным (номинальным) током коллектора $I_c \geq I_{c \max}$.

Расчет потерь в инверторе при ШИМ формировании синусоидального тока на выходе заключается в определении составляющих потерь IGBT в проводящем состоянии и при коммутации, а также потерь обратного диода.

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$\begin{aligned} P_{SS} &= I_{\text{ср}} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \theta \right) = \\ &= 112 \cdot 2,1 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,85 \right) \approx 49,6 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

где:

1) $I_{cp} = I_{C \max} / k_1 = 145,4 / 1,3 = 112 \text{ (A)}$ - максимальная амплитуда тока на входе инвертора;

2) $D = t_P / T \approx 0,95$ - максимальная скважность; $\cos \theta = \cos \varphi$ - коэффициент

мощности;

3) $U_{ce(sat)}$ - прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при

I_{cp} и $T_J = 125^\circ C$ (типичное значение $U_{ce(sat)} = 2,1 - 2,2 \text{ В}$).

Потери IGBT при коммутации:

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(I_{cp} \cdot U_{cc})(t_{c(on)} + t_{c(off)}) \cdot f_{sw}}{2} =$$
$$= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(112 \cdot 513) \cdot (0,3 + 0,6) \cdot 10^{-6} \cdot 10000}{2} \approx 58,2 \text{ Вт,}$$

где:

1) $t_{c(on)}$ и $t_{c(off)}$ - продолжительность переходных процессов по цепи

коллектора IGBT на открывание $t_{c(on)}$ и закрывание $t_{c(off)}$ транзистора, с (типичное значение $t_{c(on)} = 0,3 - 0,4 \text{ мкс}$; $t_{c(off)} = 0,6 - 0,7 \text{ мкс}$);

2) U_{cc} - напряжение на коллекторе IGBT, В (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока для системы АИН-ШИМ);

3) f_{sw} - частота коммутаций ключей, Гц (частота ШИМ), обычно от 5000 до 15000 Гц. Выбираем $f_{sw} = 10000 \text{ Гц}$.

Суммарные потери IGBT:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 49,6 + 58,2 \approx 108 \text{ Вт}$$

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 23,6 + 14,4 = 38 \text{ Вт}$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cos \theta \right) =$$

$$= 112 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,85 \right) = 23,6 \text{ Вт},$$

где:

- 1) $I_{ep} = I_{cp}$ - максимальная амплитуда тока через обратный диод, А;
- 2) U_{ec} - прямое падение напряжения на диоде (в проводящем состоянии) при I_{ep} , В.

Потеря при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot (I_{rr} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) =$$

$$= \frac{1}{8} \cdot (112 \cdot 513 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10000) = 14,4 \text{ Вт},$$

где:

- 1) I_{rr} - амплитуда обратного тока через диод, ($I_{rr} = I_{cp}$);
- 2) t_{rr} - продолжительность импульса обратного тока, с (типовое значение 0,2 мкс).

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 23,6 + 14,4 = 38 \text{ Вт}$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = P_{SS} + P_{SW} + P_{DS} + P_{DR} = 108 + 38 = 146 \text{ Вт}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Выбираем полумост IGBT 2MBI200S-120 содержащий 2 модуля IGBT с обратными диодами. Характеристики IGBT модуля: постоянный ток коллектора $I_c = 200\text{A}$, допустимое рабочее напряжение "коллектор-эмиттер" $U_{ces} = 1200\text{В}$, напряжение насыщения "коллектор-эмиттер" $U_{ce(sat)} = 2,3\text{В}$, термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для IGBT части модуля $R_{th(j-c)} = 0,085^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

3.2 Расчёт выпрямителя

Среднее выпрямленное напряжение:

$$U_d = k_{с.н} \cdot U_{л} = 1,35 \cdot 380 = 513\text{В} ,$$

где $k_{с.н}$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки, $k_{с.н} = 1,35$ для мостовой трёхфазной схемы.

Максимальное значение среднего выпрямленного ток:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{сmax}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi + n P_T}{U_d} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{145,4}{\sqrt{2}} \right) \cdot 380 \cdot 0,85 + 6 \cdot 146}{513} \approx 113\text{А},$$

где n - количество кипяток IGBT/FWD в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 113 \approx 118\text{А} ,$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

где $k_{cc} = 1,045$ для мостовой трёхфазной схемы при оптимальных параметрах Г-образного LC-фильтра, установленного на выходе выпрямителя.

Максимальное обратное напряжение диода (для мостовых схем):

$$U_{vm} = k_{з.н} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_{с.н} \cdot k_c + \Delta U_n = \\ = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,2 + 120 = 1164 \text{ В},$$

где $k_c \geq 1,1$ - коэффициент допустимого повышения напряжения сети;
 $k_{з.н} \geq 1,15$ - коэффициент запаса по напряжению; $\Delta U_n = 100 \div 150 \text{ В}$ - запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm} / 100$).

Расчёт потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП ($I_d = I_{dm} / k_1 = 113 / 1,3 \approx 87 \text{ А}$):

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = \\ = 6 \cdot 0,577 \cdot 1,3 \cdot \frac{113}{1,3} = 391,2 \text{ Вт},$$

где $k_{cs} = 0,577$ для мостовой трёхфазной схемы;

R_{on} - динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии, Ом;

$\left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right)$ - прямое падение напряжения, В, на полупроводниковом приборе при токе 50 мА ($\leq 1,3 \text{ В}$ для тиристора); m_v - число полупроводниковых приборов в схеме.

						Лист
					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбираем диод-диодный модуль SKKD 162 содержащий 2 диода в одном корпусе. Характеристики диода: максимально допустимый рабочий ток диода $I_{vm} = 160A$, максимальное обратное напряжение диода $U_{vm} = 2200V$, термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для диода $R_{th(j-c)} = 0,18^{\circ}C / Вт$.

3.3 Расчёт фильтра

Коэффициент пульсаций на входе фильтра (отношение амплитуды напряжения к среднему значению):

$$q_{1вх} = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0,057$$

где $m = 6$ для трёхфазной мостовой схемы.

Параметр сглаживания LC-фильтра:

$$L_0 C_{01} = \frac{S + 1}{(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f_s)^2} = \frac{9 + 1}{(2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 50)^2} = 2,82 \cdot 10^{-6},$$

$$S = \frac{q_{1вх}}{q_{1вых}}$$

где $q_{1вых}$ - коэффициент сглаживания по первой гармонике; f_s - частота сети, Гц.

Значения коэффициента сглаживания S лежат в диапазоне от 3 до 12. Выбираем $S = 9$.

Индуктивность дросселя LC-фильтра для обеспечения коэффициента мощности на входе выпрямителя $K_M = 0,95$ определяется из следующих условий:

$$L_0 \geq 3L_{0\min};$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$L_{0\min} \approx \frac{0,013 \cdot U_{\text{л}}}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot I_d} \approx \frac{0,013 \cdot 380}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 87} \approx 18 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.}$$

где I_d - номинальный средний ток звена постоянного тока.

Выбираем $L_0 = 1 \text{ мГн}$.

Вычислим C_{01} по формуле:

$$C_{01} = \frac{L_0 C_{01}}{L_0} = \frac{2,82 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} = 2,82 \cdot 10^{-3} \approx 3 \text{ мФ.}$$

Выбираем для LC-фильтра: 12 электролитических конденсатора типа В41554 фирмы Ерсос с номинальными параметрами: 1000мкФ, 450В, включённых парами последовательно для повышения рабочего напряжения - всего 6 пар, которые включены параллельно для получения заданной ёмкости в 3мФ; сетевой дроссель VW3 А4 6503 с номинальными параметрами 1мГн, номинальный ток 130А, потери мощности 90Вт.

По расчётным данным выбраны элементы и собрана силовая часть преобразователя частоты, показанная на рисунке 5.

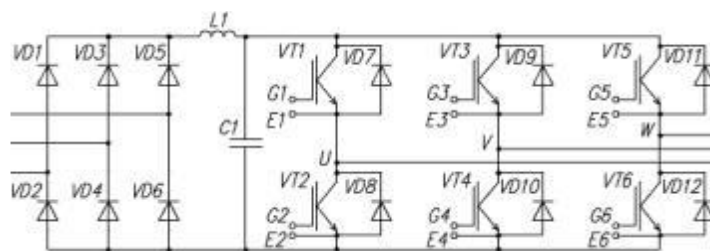


Рисунок 5 - Схема силовой части преобразователя частоты

Вывод

Выбираем полумост IGBT 2MBI200S-120 содержащий 2 модуля IGBT с обратными диодами. Характеристики IGBT модуля: постоянный ток коллектора $I_c = 200 \text{ А}$, допустимое рабочее напряжение "коллектор-эмиттер" $U_{ces} = 1200 \text{ В}$,

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

напряжение насыщения "коллектор-эмиттер" $U_{ce(sat)} = 2,3В$, термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для IGBT части модуля $R_{th(j-c)} = 0,085^{\circ}C / Вт$.

Выбираем диод-диодный модуль SKKD 162 содержащий 2 диода в одном корпусе. Характеристики диода: максимально допустимый рабочий ток диода $I_{vm} = 160А$, максимальное обратное напряжение диода $U_{vm} = 2200В$, термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для диода $R_{th(j-c)} = 0,18^{\circ}C / Вт$.

Выбираем для LC-фильтра: 12 электролитических конденсатора типа В41554 фирмы Ersos с номинальными параметрами: 1000мкФ, 450В, включённых парами последовательно для повышения рабочего напряжения - всего 6 пар, которые включены параллельно для получения заданной ёмкости в 3мФ; сетевой дроссель VW3 A4 6503 с номинальными параметрами 1мГн, номинальный ток 130А, потери мощности 90Вт.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

4. ВЫБОР ПУСКОВОЙ, ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

4.1 Подбор кабеля

Расшифровка в соответствии с условиями суровых условий эксплуатации, температуры, вибрации. Кабель КГ является наиболее подходящим - очень гибкий водонепроницаемый проводник со специальными свойствами изоляционного покрытия. Именно изоляционный материал определяет особые условия эксплуатации этого типа электропроводки. Расшифровка маркировки КГ. В этом случае расшифровка аббревиатуры КГ мало говорит о самом продукте. Действительно, «К» означает кабель, а «Г» означает, что продукт относится к классу гибких. Однако его стоимость за 1 метр по отношению к его поперечному сечению экономически нецелесообразна, хотя сам кабель считается идеальным в эксплуатации. В этом случае финансовая экономия рекомендуется благодаря ближайшему аналогу гибкого медного кабеля в виниловой оболочке с изоляцией, такой как КВВГНГ.

4.2 Подбор сечения токопроводящей жилы силовых кабелей

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии. Сечение проводящего проводника проводов и кабелей выбирается в соответствии с ПУЭ в соответствии с условием нагрева с длительным номинальным током в нормальных и послеаварийных условиях и проверяется на предмет потери напряжения, соответствия току выбранное защитное устройство и условия окружающей среды.

При укладке в помещении поперечное сечение выбирается в соответствии с максимальным номинальным током нагрузки:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$I_{\text{дн}} \geq I_{\text{р.мах}}$, где $I_{\text{дн}}$ - допустимый номинальный ток нагрузки проводника при расчетной температуре, А (для отечественных кабелей - 250°C ; для импортных кабелей - 300°C); $I_{\text{р.мах}}$ - максимальный расчетный ток нагрузки, А. При этом номинальный ток автоматического выключателя, защищающего проводник, должен быть равен или больше максимального тока нагрузки:

$$I_{\text{дн}} \geq I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{н.а.}}$$

Руководствуясь данными таблиц ПУЭ формулы активной мощности для однофазной и трехфазной симметричной нагрузки, найдем значения тока и сечение жилы.

Расчет тока:

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos\phi}$$

Напряжение - 380В. Мощность - 37кВт. Согласно формуле протекающий ток равен:

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,923 \cdot 0,85} = 72\text{А.}$$

Сечение токопроводящей жилы рассмотрены в таблице 10.

Таблица 10 Допустимый непрерывный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритной или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Таблица - 10 Допустимый непрерывный ток для проводов

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток *, А, для проводов и кабелей				
	одно- жильный	двухжиль- ный	трёхжиль- ный		
	при прокладке				
	в воз- духе	в воз- духе	в земле	в воз- духе	в земле
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150

* Токи относятся к проводам и кабелям как с нулевой жилой, так и без неё.

Кабель проложен в воздухе. Таким образом, берем табличное значение сечения токопроводящей жилы 25мм², для трёхжильного кабеля при токе 95А. Выбираем силовой медный кабель ВВГ-П.

4.3 Подбор сечения токопроводящей жилы контрольных кабелей

Кабели управления предназначены для питания устройств, аппаратов и других электрических устройств и используются в цепях управления. Контрольные кабели имеют проводящие проводники из меди, биметаллический алюминий - медь, алюминий. Изоляция в основном изготавливается из полиэтилена и поливинилхлоридного пластика. Резиновая изоляция также используется. Количество проводящих проводников составляет от 4 до 37, сечения от 0,75 до.

Выбираем электротехнический кабель (не горючий) КВВГнг, 0,75мм². Кабель КВВГнг - представляет собой конструкцию из медных жил, заключенных в изоляцию, а также в оболочку из пластика.

Кабель управления КВВГнг предназначен для подключения к электрооборудованию, электроприборам. Кабель предназначен для передачи

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

сигналов управления напряжением до 1000 В или 660 В переменного тока. КВВГнг можно прокладывать в каналах, помещениях, туннелях, в агрессивных средах при отсутствии механических воздействий на них.

Конструкция кабеля КВВГнг состоит из следующих частей: сердечник (мягкая медная проволока), изоляция (ПВХ-пластик), изоляция ленты (лента ПЭТ-пленки), оболочка (ПВХ-пластик с низкой воспламеняемостью). Технические данные кабеля представлены в таблице 11.

Таблица 11 Технические данные КВВГнг

Номинальное напряжение, В	380
Температура окружающей среды при эксплуатации кабеля, °С	от -50 до +50
Длительно допустимая температура нагрева жил при эксплуатации, °С	+70
Радиус изгиба кабелей при прокладке и монтаже при температуре окружающей среды не ниже 0 °С составляет:	
для кабелей наружным диаметром до 10мм включительно, диаметр кабеля	не менее трех
для кабелей наружным диаметром от 10 до 25мм включительно, диаметр кабеля	не менее четырех
Радиус изгиба кабелей при прокладке и монтаже без предварительного нагрева при температуре окружающей среды не ниже -15°С, диаметр кабеля	не менее шести

4.4 Подбор магнитного пускателя

Магнитный пускатель выбирается из условий:

1) $I_{\text{ном.МП}} \geq I_{\text{ном.дв.}}$;

2) Для продолжительного режима работы S1: $10 \cdot I_{\text{ном.МП}} \geq I_{\text{пуск.дв.}}$.

Данным условиям удовлетворяет ПМЛ-4220ДМОА с $I_{\text{ном.МП}} = 80\text{А}$, так как:

$$I_{\text{ном.МП}} = 80\text{А} \geq I_{\text{ном.дв.}} = 72\text{А};$$

$$10 \cdot I_{\text{ном.МП}} = 800\text{А} \geq 6 \cdot I_{\text{ном.дв.}} = 432\text{А}.$$

Магнитный пускатель ПМЛ-4220ДМОА:

ПМЛ - реле напряжения; 4 - 80А номинальный ток главных контактов пускателя, при наличии буквы Д; 2 - пускатель нереверсивный с тепловым реле; 2 - степень защиты IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп"; 0 - 1 "замыкающий" и 1 "размыкающий" (на ток 40 и 63А), переменный ток; М - возможно крепление пускателя к Din рейке и монтажной панели; О - общеклиматическое исполнение, для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом; А - коммутационная износостойкость 1,5млн.циклов.

Ток катушки электромагнитного контактора составляет 10А.

Реле электротепловое токовое РТЛ-2063 с номинальным током несрабатывания на средней уставке 80А:

РТЛ - серия; 20 - при перегрузке электродвигателя на 20% реле отключает его через 20мин., если оно было нагрето номинальным током до установившегося теплового состояния; 63 - (63 ÷ 86)А диапазон регулирования номинального тока несрабатывания.

Время срабатывания реле при трехполюсной работе и нагреве из холодного состояния шестикратным номинальным током бездействия для любого положения регулятора установки и температуры окружающей среды находится в пределах 4,5...12с

4.5 Подбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель выбирается из условия:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$I_{\text{ном.АВ}} = (1,1 \div 1,2) \cdot I_{\text{ном.дв.}}$$

Следовательно:

$$I_{\text{ном.АВ}} = (1,1 \div 1,2) \cdot 72 = (79,2 \div 86,4) \text{А.}$$

Для этого условия подходит автоматический выключатель NS80HMA80, представляющий собой электрическое переключающее устройство, оснащенное двумя системами защиты от сверхтоков: электротермическим и электромагнитным с взаимно согласованными характеристиками. Одиночный, двойной, тройной и четырехместный дизайн.

Описание:

- 1) Номинальный ток: 80А;
- 2) Отключающая способность: 70кА при 380 / 415В;
- 3) Номинальное напряжение: 380В;
- 4) Исполнение с 3 полюсами;
- 5) Гарантированное разъединение;
- 6) Установка на монтажную плату или DIN-рейку;
- 7) Встроенный электромагнитный расцепитель;
- 8) Регулируемая мгновенная токовая отсечка: $6 \dots 14 \times I_n$;
- 9) Широкий ассортимент вспомогательных устройств сигнализации и управления;
- 10) Координация защит по типу 2 с контактором по МЭК 60947-4 (ГОСТ Р50030.4);
- 11) Соответствие международному стандарту: МЭК 60947-4 (ГОСТ Р 50030.4).

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

4.6 Выбор плавкого предохранителя

Предохранитель выбираем из условия:

$$I_{\text{ном.П}} = 2 \cdot I_{\text{ном.кат.}}$$

где $I_{\text{ном.кат.}}$ - номинальный ток работы электромагнитной катушки магнитного пускателя.

Следовательно, номинальный ток плавкого предохранителя: 20А.

Для этого тока выбираем тип предохранителя NPN2-20 для номинального базового тока 20А, который предназначен для защиты электрооборудования промышленных установок и электрических цепей переменного тока частоты 50–60Гц напряжением до 380В при перегрузках и коротких замыканиях. Предохранители позволяют работать в трехфазных сетях переменного тока с напряжением до 500В частоты 50, 60Гц и в цепях постоянного тока напряжением до 220В.

Климатическое исполнение У категории 3 по ГОСТ 151500-69.

Номинальное напряжение предохранителя 220В.

Вывод:

1) Выбрали силовой, трёхжильный, медный кабель ВВГ-П, проложенный в воздухе, сечением 25мм^2 рассчитанный на ток 95А.

2) Выбрали электротехнический кабель КВВГнг, сечением $0,75\text{мм}^2$;

3) Выбрали нереверсивный магнитный пускатель типа ПМЛ-4220ДМОА на номинальный коммутируемый ток 80А, с тепловым реле типа РТЛ-2063 с диапазон регулирования номинального тока несрабатывания $(63 \div 86)\text{А}$;

4) Выбрали автоматический выключатель NS80HMA80 с номинальным током 80А и номинальным напряжением 380В.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

5) Выбрали плавкий предохранитель НПН2-20 с номинальным током плавких ставок 20А.

По выбранным элементам силовой цепи и цепи управления построена электрическая функциональная схема электропривода дымососа, показанная на рисунку 6.

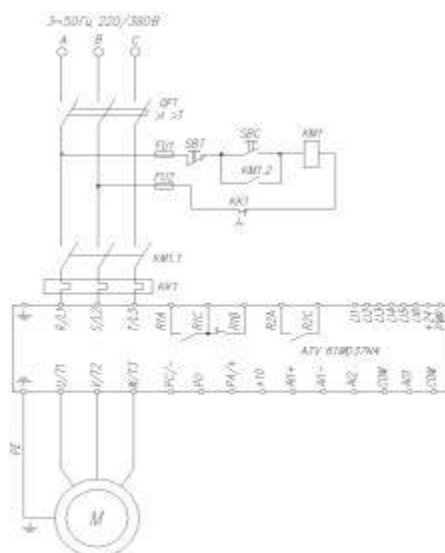


Рисунок 6 - Схема электрическая функциональная

5. ВЫБОР СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Данные двигателя 5А200М4:

- 1) Номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 37$ кВт;
- 2) Номинальная частота вращения $n_{\text{ном}} = 1465$ об/мин;
- 3) Номинальный КПД $\eta_{\text{ном}} = 92,3\%$;
- 4) Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$;
- 5) Номинальный ток статора $I_{\text{ном}} = 72$ А;
- 6) Номинальный момент $M_{\text{ном}} = 240$ Н·м;
- 7) Кратность пускового момента $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2,4$;
- 8) Кратность максимального момента $\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,6$;
- 9) Кратность пускового тока $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,7$;
- 10) Динамический момент инерции ротора $J_p = 0,27$ кг·м².

5.1 Расчёт статических характеристик двигателя

Определяем номинальную угловую скорость двигателя:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30} = \frac{\pi \cdot 1465}{30} \approx 153 \text{ рад/с.}$$

Найдём критический момент по формуле:

$$M_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} \cdot M_{\text{ном}} = 2,6 \cdot 240 = 624 \text{ Н·м.}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Определим скорость идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

Определим номинальное скольжение:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = \frac{157 - 153}{157} = 0,025.$$

Определим критическое скольжение в двигательном режиме:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{НОМ}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,025 \cdot \left(2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1} \right) = 0,125.$$

Определим суммарный момент инерции механизма:

$$J_{\Sigma} = 2 \cdot J_p = 2 \cdot 0,27 = 0,54 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Найдём момент статической нагрузки из формулы:

$$M_c = M_{\text{В.НОМ}} = \frac{P_{\text{В.НОМ}}}{\omega_{\text{В.НОМ}}} = \frac{27200}{153} = 178 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.1 Расчёт передаточных функций электропривода

Структурная схема управления приводом показана на рисунке7.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

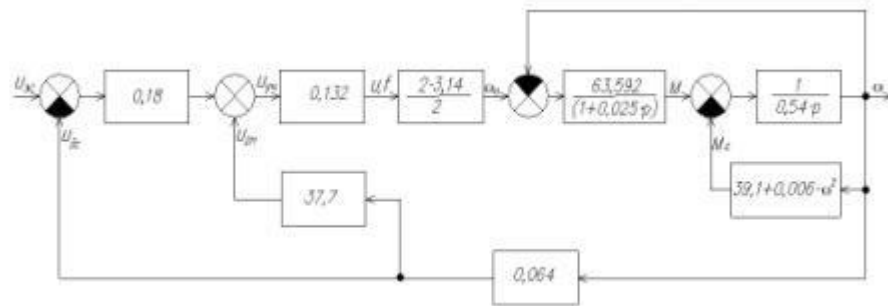


Рисунок 7 - Структурная схема управления электроприводом дымососа

Скоростная внутренняя обратная связь (ОС) может, подобно внутренней ОС по ЭДС в двигателе постоянного тока (ДПТ) "испортить" переходный процесс, аналогично как и в ДПТ для устранения этого явления введём положительную ОС с ее регулятором, который будет называться регулятором момента.

Определим передаточную функцию регулятора момента:

$$W_{рм}(p) = K_{рм} = \frac{p_{п}}{2 \cdot \pi \cdot k_{дс} \cdot k_{уч}} = \frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,064 \cdot 0,132} = 37,7.$$

Определим коэффициент передачи датчика скорости:

$$k_{дс} = \frac{10}{\omega_{0ном}} = \frac{10}{157} = 0,064.$$

Определим коэффициент управления частотой:

$$k_{уч} = \frac{f}{U_{уч}} = \frac{50}{380} = 0,132.$$

При введении положительной обратной связи появляется коэффициент:

$$k_{м} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \beta \cdot k_{уч} \cdot k_{рм}}{p_{п}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 63,592 \cdot 0,132 \cdot 37,7}{2} = 993,68$$

										Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.088.00.000ПЗ					

где β - модуль жёсткости линеаризованной механической характеристики:

$$\beta = \frac{2M_{кр}}{\omega_{0ном} \cdot S_{кр}} = \frac{2 \cdot 624}{157 \cdot 0,125} = 63,592 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$$

После чего структурная схема управления приводом примет вид:

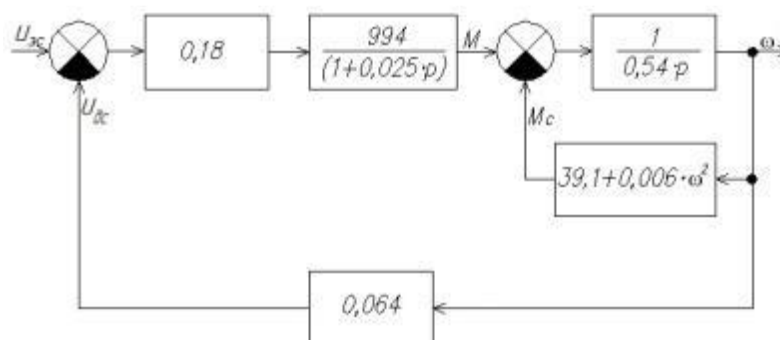


Рисунок 8 - Преобразованная структурная схема управления приводом

Мы настраиваем контур скорости для асинхронного двигателя, управляемого преобразователем частоты, по оптимальному модулю. [9]

Передаточная функция разомкнутой системы будет иметь вид:

$$W_{раз.с}(p) = W_{р.с}(p) \cdot \frac{k_M}{T_{\Delta}p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M p} \cdot k_{дс} = \frac{1}{2Tp(Tp + 1)}$$

Примем $T = T_{\Delta}$, отсюда, передаточная функция регулятора скорости будет иметь вид:

$$W_{р.с}(p) = \frac{\beta \cdot T_M}{2T_{\Delta} \cdot k_M \cdot k_{дс}} = \frac{63,592 \cdot 0,009}{2 \cdot 0,025 \cdot 993,68 \cdot 0,064} = 0,18$$

где T_M - электромеханическая постоянная времени; $T_{\text{Э}}$ - электромагнитная постоянная времени; $\omega_{0\text{ЭЛ.НОМ}}$ - номинальная частота сети.

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0,54}{63,592} = 0,009 \text{ с};$$

$$T_{\text{Э}} = \frac{1}{\omega_{0\text{ЭЛ.НОМ}} \cdot S_{\text{кр}}} = \frac{1}{314 \cdot 0,125} = 0,025 \text{ с}$$

5.2 Моделирование динамических режимов

Задача на моделирование:

- 1) Необходимо составить схему моделирования в среде МВТУ;
- 2) Описать структурную схему и проанализировать полученные результаты исследования;
- 3) Построить логарифмические частотные характеристики.

Составим структурную схему в программе МВТУ, соответствующую составленной схеме.

Примем для схемы моделирования следующие параметры:

Напряжение задания скорости: $U_{\text{ЗС}} = 10\text{В}$, момент статической нагрузки имеет вид: $M_c = 39,1 + 0,006 \cdot \omega^2$. Так как моделирование происходит на холостом ходу, то: $M_c = 0$.

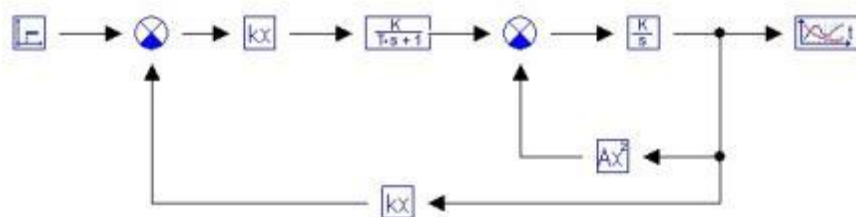


Рисунок 9 - Схема моделирования электропривода дымососа

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

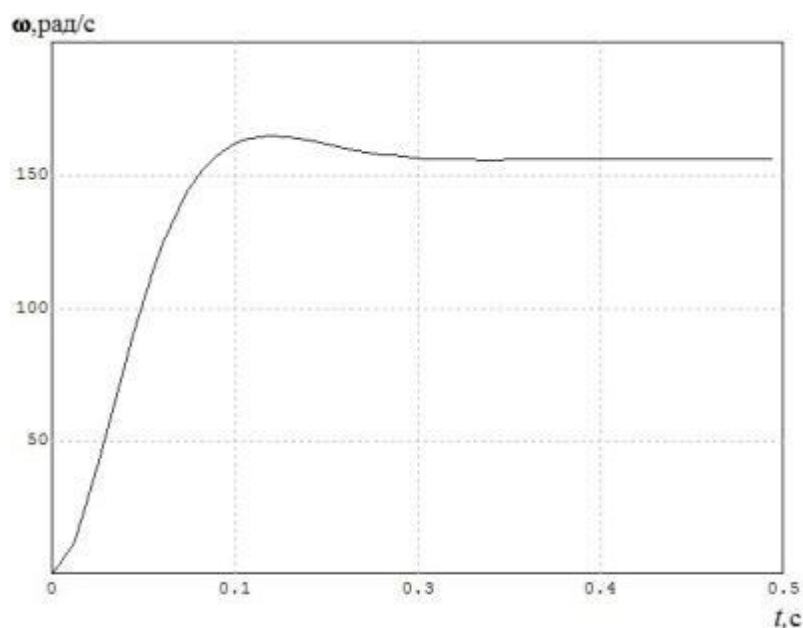


Рисунок 10 - Переходная характеристика двигателя по управляющему воздействию

По графику на рисунке 10 определяем максимальное значение угловой скорости вращения двигателя $\omega_{\max} = 162,62 \text{ рад/с}$, установившееся значение скорости $\omega_{\text{уст}} = 155,75 \text{ рад/с}$.

Характеристики переходного процесса на основании рисунка 9:

1) Время нарастания регулируемой величины до установившегося значения:
 $t_{\text{н}} = 0,11 \text{ с}$.

2) Время переходного процесса: $t_{\text{пп}} = 0,26 \text{ с}$.

3) Статическая ошибка:

$$\Delta = \frac{|\omega_{\text{ном}} - \omega_{\text{уст}}|}{\omega_{\text{ном}} + \omega_{\text{уст}}} \cdot 100 = \frac{|153 - 155,75|}{153 + 155,75} \cdot 100 = 0,89\%.$$

4) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\text{уст}}}{\omega_{\max}} \cdot 100\% = \frac{162,62 - 155,75}{162,62} \cdot 100\% = 4,2\%.$$

Для построения логарифмических амплитудных и фазочастотных характеристик мы используем частотный анализ нелинейных систем по критерию Найквиста в программе МВТУ.

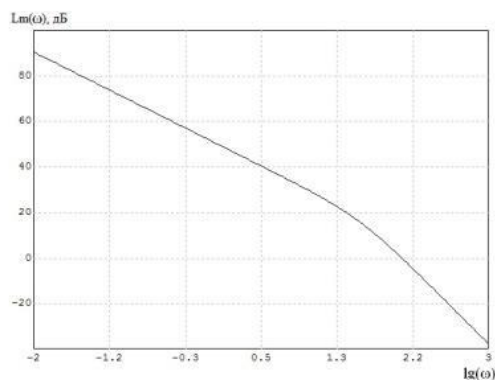


Рисунок 11 - Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика разомкнутого контура скорости

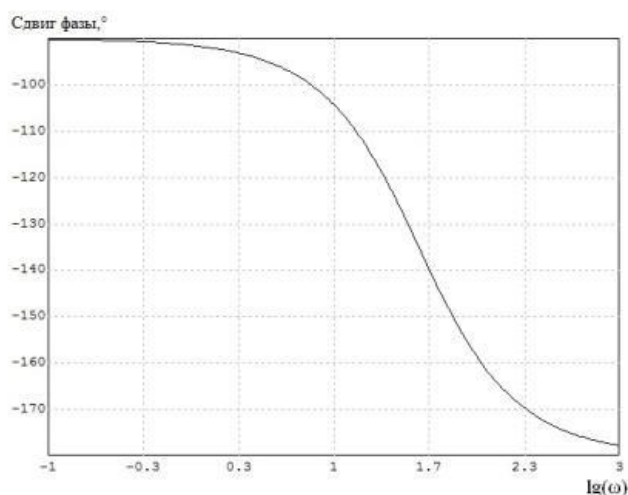


Рисунок 12 - Логарифмическая фазо-частотная характеристика разомкнутого контура скорости

Выбранная система является устойчивой, поскольку запас по фазе Φ_3 равен:

$$\Delta\Phi_3 = 180^\circ - |\varphi(\omega_c)| = 180^\circ - 162^\circ = 18^\circ,$$

где $\varphi(\omega_c)$ - значение фазы характеристики ЛФЧХ при частоте среза:
 $\varphi(\omega_c) = -162^\circ$.

Вывод:

В этой главе была скомпилирована структурная схема привода. Соответственно для него были рассчитаны передаточные функции, после чего были смоделированы динамические режимы.

Из анализа графиков было установлено:

- 1) Запас устойчивости по фазе: $\varphi_z = 18^\circ$;
- 2) Статическая ошибка: $\Delta = 0,89\%$.

Статическая ошибка меньше указанной в задании $\Delta_{зад.} = 1\%$, значит настройка на оптимуму по модулю нам подходит. Результаты моделирования подтверждают правильность расчета параметров регулятора скорости.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

6. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

6.1 Общая характеристика проектируемого объекта

В данном проекте рассматривается регулируемый электропривод питающего насоса котельной, расположенный в помещении котельной АО санаторий "Янган-Тау" по адресу РБ Салаватский район санаторий "Янган-Тау" Котельная предназначена для отпуска тепловой энергии технологическим потребителям.

Габариты здания котельной:

- 1) Длина, - 45 м;
- 2) Ширина, - 12 м;
- 3) Высота котельной, - 10 м, пристроя бытовых помещений, - 16 м²;
- 4) Площадь, - 540 м².

Габариты помещения котельной:

- 5) Длина, - 36 м;
- 6) Ширина, - 10 м;
- 7) Высота, - 8,5 м;
- 8) Площадь, - 360 м².

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Таблица - 13 Перечень оборудования

Оборудование	Операции
Паровой котёл типа ДКРВР-6,5-13ГМ	Выработка горячей воды.
Экономайзер чугунный типа БВЭС-III-2	Подогрев питательной воды
Дымосос правого вращения типа ДН-10	Отсасывание дымовых газов из топки котельного агрегата
Насос питательный типа ЦНС 38-220	Подача питательной воды в котёл
Насос химочистки воды типа КМ 50-50	Подача сырой воды в систему очистки
Насос сетевой воды типа Г 320/50	Циркуляция горячей воды в системе отопления котельной
Редукционная охлаждающая установка	Редуцирование и охлаждение пара
Оборудование	Операции
Комплексная система очистки воды	Водоподготовка
Система управления технологическим процессом	Управление технологическим процессом
Вентиляторная станция ВДН-10-1000	Подача воздуха в горелку
Горелка СІВ UNIGAS HR515А	Подогрев воды и пара в барабане котла

Основным топливом котельной является природный газ с теплотворной способностью 7950 ккал/м³. Выброс газа в окружающую среду возможен только в случае аварий и неисправностей. [10]

Таблица - 14 Вещества и материалы

Вещество	Агрегатное состояние	П.Д.К., мг/м ³	Класс опасности	Характер токсического действия
Природный газ	Газ	300	4 (малоопасный)	Вызывает острое отравление, развивается невротическое состояние
Угарный газ	Газ	3	3	Кровяное
Масло МС-20	Жидкость	2	3	Раздражающе действует на кожу

Показатели токсичности веществ и материалов

Таблица - 15 Показатели горючести веществ и материалов

Вещество	Группа горючести	$T_{всп}$, °C	$T_{воспл}$, °C	$T_{самовпл}$, °C	К.П.Р.П, %		М.э.з, МДж
					Нижний	Верхний	
Природный газ	Горючее вещество	-	-	537	5	15	0,28
Угарный газ	Горючее вещество	-	-	610	12,5	74	-
Масло МС-20	Горючее вещество	230	407	400	-	-	2,3

Показатели горючести веществ и материалов

Исходя из состава и количества веществ в комнате, определяется категория этой комнаты.

Поскольку эта комната является котельной, пожар и взрывоопасные газы здесь не содержатся, а используются только в качестве топлива. Отсюда следует, что категория данного помещения Г.

Согласно ПУЭ 6-го издания помещение относится к взрывоопасным зонам класса В-Iа.

6.2 Шум и вибрация

Источники шума и вибрации: горелки Novanta HR515A, дымососы правого вращения типа ДН-10, вентиляторные

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

станции ВДН-10-1000, насос питательный типа ЦНС 38-220, насосы сырой воды типа КМ 80-65-160/2-5.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83.ССБТ при обслуживании оборудования в производственных помещениях и на территории предприятий допустимый уровень шума 80Дб. Согласно ГОСТ 12.1.012-

90.ССБТ при воздействии технологической вибрации уровень допустимый виброскорости составляет 100Дб, виброускорения - 92Дб.

Для уменьшения шума и вибраций проведены нижеперечисленные мероприятия.

Для уменьшения уровня шума и вибрации насос питательный типа ЦНС 38-220, насосы сырой воды типа КМ 80-65-160/2-5, вентиляторные станции NPLT-R4M и дымососы правого вращения типа ДН-10 устанавливаются на отдельный бетонный фундамент. Фундамент самой котельной выполнен из железобетонных плит и бетонных блоков.

Шумовой порог горелок Novanta HR515A исполнения ZM-NR составляет 78,5Дб при полной нагрузке. Проект предусматривает снижение шума за счет использования глушителей выхлопных газов на горелках. Глушитель - это устройство без движущихся частей, принцип действия которого основан на свойствах распространения звуковых волн. Глушитель выхлопных газов гасит звуковые колебания из-за того, что его длина пропорциональна длине волны, а также из-за используемых звукопоглощающих материалов.

Стены и крыша выполнены из сэндвич-панелей с минеральной изоляцией П75, обладающих шумопоглощающими свойствами.

Меры, принимаемые для снижения шума и вибрации, могут снизить уровень шума до значений, не превышающих допустимые.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

6.3 Микроклимат производственного помещения

Обслуживание оборудования помещения относится к категории 1б (легкая) по энергозатратности.

Данные по допустимым и оптимальным метеоусловиям в помещении в зависимости от времени года и категории работ (ГОСТ 12.1.005-88) сведем в таблицу:

Таблица 16 Данные по допустимым и оптимальным условиям в помещении

Пе-риод года	Ка-тего-рия ра-боты	Температура °С		Влажность, %		Скорость воз-духа, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Хо-лодный и пере-ходный.	1б	21-23	17-25	40-60	75	0,1	Не более 0,2
Теп-лый	1б	22-24	19-30	40-60	75 (при 27°С)	0,2	0,1-0,3

6.4 Отопление и вентиляция

Вентиляция в котельной обеспечена смешанно. Используется естественная канальная вентиляция с использованием дефлекторов. Существует также искусственная локальная вытяжная вентиляция - центробежный вентилятор (дымоотвод).

Вентиляция котельной обеспечивается на основе: выхлоп в объеме трехкратного воздухообмена в час, приток в объеме выхлопа плюс количество воздуха для сжигания газа.

Расчет дефлекторов:

Расход удаляемого воздуха составляет:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$L_{уд} = V_{кот} \cdot 4 = 7930 \cdot 4 = 31720 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $V_{кот} = 7930 \text{ м}^3$ - объем здания котельной.

Площадь живого сечения вытяжных шахт составляет:

$$F_{выт} = L_{уд} / (3600 \cdot w) = 31720 / (3600 \cdot 1) = 8,8 \text{ м}^2.$$

Скорость движения воздуха принимаем $w = 1,0 \text{ м/с}$ (СНиП 2.04.05-91 отопление, вентиляция и кондиционирование). Для восьми дефлекторов:

Площадь живого сечения одного дефлектора составляет:

$$f = \frac{F}{8} = \frac{8,8}{8} = 1,1 \text{ м}^2;$$

$$d_{деф} = 2 \cdot \sqrt{(1,1 / 3,14)} = 1,2 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке восьми дефлекторов ЦАГИ 2ДЕФ01000Ц. Дополнительно устанавливаем один дефлектор ДУ 400 над зоной ГРУ

Приток воздуха:

$$Z_{гор} = 4 \cdot 1,15 \cdot 9,35 \cdot 1308,7 = 56287,187 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Z_{пр} = Z_{гор} + L_{уд} = 56287,187 + 31720 = 88007,187 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$F_{жс} = \frac{88007,187}{3600 \cdot 1} = 24,45 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке четыре блока регулируемых жалюзийных решеток по четыре решетки $1500 \times 1000 \text{ мм}$ в каждом блоке. Решетки устанавливаются над окнами на фасаде.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

6.5 Освещение

В помещении используется смешанное освещение: естественное освещение - боковое, искусственное освещение - общее равномерное.

Согласно СНиП 2.10.05-85 общее наблюдение за ходом производственного процесса имеет разряд зрительных работ VIIIв (нормированная величина КЕО для естественного бокового освещения $e_n = 0,2\%$, нормированная освещённость $E_n = 50 \text{лк}$).

В качестве источника искусственного света используются люминесцентные лампы.

Требуемую площадь световых проёмов при боковом освещении определяем по формуле:

$$S_0 = \frac{S_{\text{п}} \cdot e_n \cdot K_3 \cdot \eta \cdot K_{\text{зд}}}{100 \cdot t_0 \cdot r_1} = \frac{864 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot 16 \cdot 1}{100 \cdot 0,8 \cdot 3} = 17,28 \text{ м}^2,$$

где S_0 - площадь окон; K_3 - коэффициент запаса, принимаем $K_3 = 1,5$, η - световая характеристика окна (по таблице 18 [13] принимаем $\eta = 16$); $K_{\text{зд}}$ - коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, принимаем $K_{\text{зд}} = 1$, $S_{\text{п}}$ - площадь пола, м^2 ; t_0 - общий коэффициент светопропускания, принимаем $t_0 = 0,8$; r_1 - коэффициент, учитывающий отражение света от потолка, стен и отношение длины помещения L к его длине B . Принимаем $r_1 = 3$.

Необходимое количество ламп, обеспечивающих нормированное значение освещённости, для искусственного освещения рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{E_n \cdot S_{\text{п}} \cdot K \cdot Z}{F \cdot \eta} = \frac{50 \cdot 864 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{4610 \cdot 0,6} = 18,89,$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

где $S_{\text{п}}$ - площадь помещения, м^2 ; K - коэффициент запаса учитывающий снижение освещённости ламп в процессе эксплуатации, принимаем $K = 1,1$; F - световой поток лампы выбранной мощности и типа. Для Г215-225-300 по таблице 16 [11] составляет $F = 4610\text{лк}$; Z - поправочный коэффициент светильника, принимаем η - коэффициент использования светового потока определяется с учётом коэффициента отражения светового потока от потолка, стен и показателя помещения i , обычно составляет 0,5-0,6. Принимаем $\eta = 0,6$.

Поскольку количество ламп в светильнике равно единице, то необходимое общее количество ламп принимается равным 19 шт.

Принимая во внимание категорию взрывоопасной зоны V-1 и тип выбранных ламп, мы используем светильники прямого действия с уровнем взрывозащиты, повышенной надёжностью против взрыва типа N4B-300.

6.6 Электробезопасность

Питание асинхронных двигателей насосов питательных типа ЦНС 38-220, насосов сырой воды типа КМ 80-65-160/2-5, вентиляторных станций N PLT-R4M и дымососов правого вращения типа ДН-10 осуществляется от четырехпроводной трехфазной сети переменного тока частотой 50Гц, напряжением 220/380В с глухозаземленной нейтралью.

Из-

за опасности поражения электрическим током для людей помещение относится к классу без повышенной опасности.

Чтобы защитить людей от поражения электрическим током:

1) 1)

защитное заземление корпусов электрических щитов, электродвигателей;

2) используется двойная изоляция проводников;

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

3) защитный забор токоведущих частей: проложены кабели кабельных каналов;
4) Преобразователи частоты серии Altivar 61 используются в системе электропривода котла и насоса дымоудаления, которые имеют следующие защитные функции:

- а) от перегрузки;
- б) от короткого замыкания при запуске;
- в) от замыкания на землю;
- г) от несинхронной работы фазы ввода или вывода;
- г) от перегрузки двигателя;
- е) от превышения или отсутствия напряжения;
- г) от превышения температуры;
- з) от заклинивания двигателя.

В дипломном проекте используется двигатель с классом нагревостойкости изоляции F. Корпус асинхронных двигателей насосов питательных типа ЦНС 38-220, насосов сырой воды типа КМ 80-65-160/2-5, вентиляторных станций N PLT-R4M и дымососов правого вращения типа ДН-10 заземлены. Степень защиты оболочки электродвигателей IP 54.

6.7 Защита от статического электричества

В данной установке статическое электричество не образуется, поэтому меры защиты от него не применяют.

6.8 Молниезащита

Котельная по ПУЭ относится к классу V-I, имеет разряд устройства молниезащиты II. Это означает, что здание должно быть защищено от прямых ударов молний и захватов.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

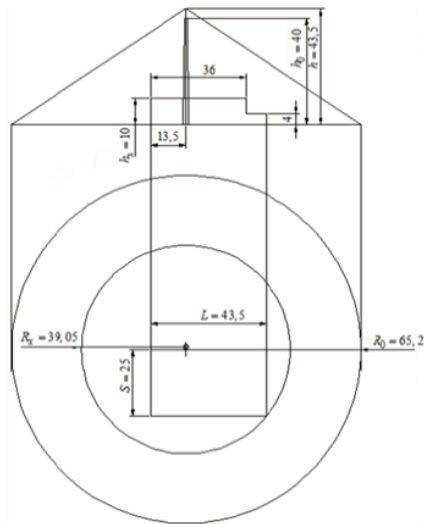


Рисунок 13 - Схема молниезащиты здания котельной

Ожидаемое количество поражений молнией в год здания N определяется по формуле:

$$N = \left[(S + 6 \cdot h_x) \cdot (L + 6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6}.$$

Для отдельно стоящих сооружений:

$$N = 9\pi \cdot h_x^2 \cdot n \cdot 10^{-6},$$

где h_x - высота здания, м.

РД 34.21.122-87 (инструкция по молниезащите зданий и сооружений);

n - параметр, характерной интенсивно-грозовой деятельности (ИГД) (для Казани: $20 \div 40$ ч/год).

$$R_{x.геом.} = \sqrt{S^2 + (L - 13,5)^2} + 1(\text{м}).$$

Категория взрывопожароопасности: Г.

Почва: чернозём.

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.088.00.000ПЗ				

$$S \times L \times h_x (\text{м}) : 25 \times 43,5 \times 10;$$

$$\frac{L}{S} = \frac{43,5}{25} = 1,6 \leq 1,7 \text{ м.}$$

Молниезащита - одиночно стержневой, ИГД = 20 – 40ч/год; $n = 2$.

$$N = \left[(25 + 6 \cdot 10) \cdot (43,5 + 6 \cdot 10) - 7,7 \cdot 10^2 \right] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = \\ = [85 \cdot 103,5 - 770] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,016.$$

Так как ожидаемое количество поражений молнии $N < 1$, то зона защиты - Б, категория молниезащиты - II.

$$R_{x,\text{геом.}} = \sqrt{S^2 + (L - 13,5)^2} + 1 = \\ = \sqrt{25^2 + (43,5 - 13,5)^2} + 0,5 \div 1 = \sqrt{1525} + 1 = 40 \text{ м.}$$

1) Высота зоны защиты над землёй:

$$h_0 = 0,92 \cdot h = 40 \text{ м.}$$

2) R_0 зона защиты на уровне земли:

$$R_0 = 1,5 \cdot h = 65,2 \text{ м.}$$

3) R_x зона защиты на высоте h_x над землёй:

$$R_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right);$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

$$R_x = 1,5 \cdot \left(43,5 - \frac{10}{0,92} \right) = 1,5 \cdot 32,6 = 48,9 \text{ м.}$$

Так как $40 \leq 48,9 \Rightarrow R_{x.\text{геом.}} \leq R_x$, то есть геометрическое значение радиуса зоны защиты на высоте h_x над землёй меньше расчётного, следовательно, данная молниезащита защищает здание от воздействия разрядов атмосферного электричества.

За пределами котельной мы осуществляем цепь молниезащиты и подключаем к ней контур заземления, а также дымоход. В то же время на трубе установлена молниезащита, что создает защитную зону для здания котельной.

6.9 Пожарная профилактика

Здание котельной выполнено по каркасной схеме. Каркасные элементы - из стальных незащищенных конструкций. Стены выполнены из толстых сэндвич-панелей 120 мм. Они используют минеральную вату из базальтового волокна, которая относится к негорючим материалам. Сэндвич-панели соответствуют второй степени огнестойкости. Покрытие крыши - оцинкованная проф. пол (огнеупорный материал, степень огнестойкости - I). Утеплитель - плиты минераловатные П75 ГОСТ 9573-96 (несгораемый материал, степень огнестойкости - I) Внутренняя отделка - стальной профилированный лист (несгораемый материал, степень огнестойкости - I).

Ворота - металлические утеплённые распашные (несгораемый материал, степень огнестойкости - I).

Дверь - металлическая утеплённая (несгораемый материал, степень огнестойкости - I).

Окна - ПВХ глухие с одним рядом остекления, с толщиной стекла 5мм (трудногорючий материал, степень огнестойкости - III).

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Для обеспечения пожарной безопасности помещений, в которых установлена производственная технологическая установка, она должна быть оснащена следующими основными средствами пожаротушения:

- а) емкости для песка для тушения горючих, высокотемпературных составов;
- б) углекислотные огнетушители ОУ-8;
- в) пожарные гидранты.

Для своевременного оповещения о пожаре, а также вызова пожарных команд действует система пожарной связи и оповещения. Одним из видов пожарной связи является телефонная связь. Также используется пожарный извещатель с автоматическим запуском типа IP-105-1.

В случае пожара люди эвакуируются через два выхода: один находится в начале здания, другой находится на другом конце здания (ворота с воротами). Оба выхода имеют нормальный выход, двери которого открываются в направлении выхода из здания.

6.10 Технологическая безопасность

Котловая автоматика в комплексе с автоматикой горелки установленной на щите управления горелкой обеспечивает:

1) Автоматическую регулировку давления пара в барабане котла (мощности котла): сигнал с датчика давления Метран 1430 подаётся на автоматический регулятор ОВЕН ТРМ 202, который подаёт управляющий сигнал на щит управления горелкой. С панели управления горелки на регулятор подачи газа и на панель управления питающими насосами котла подается управляющий сигнал для изменения расхода воды;

2) Автоматическую регулировку уровня воды в барабане котла: сигнал с датчиков верхнего и нижнего уровня Метран 1430 подаётся на

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

автоматический регулятор ОВЕН ТРМ 12, который подаёт управляющий сигнал на щит управления питающими насосами котла для изменения расхода воды;

3) Защита оборудования в случае аварии путем выключения горелки (при получении сигнала о выводе регулируемых параметров из допустимых пределов от соответствующих контроллеров на панель управления горелки);

4) При аварийных случаях выдается световая и звуковая сигнализация на щите ЩУ1;

5) Контроль за содержанием угарного газа и метана в воздухе котельной с помощью датчика контроля угарного газа RGDCCOMP1 и прибора контроля метана RGDМЕТMP1 (Сигнал с датчиков поступает на щит управления ЩУ1, который при превышении ПДК по метану или угарному газу подаёт сигнал на включение аварийной сигнализации, закрытие клапанов на вводе газа;

6)

В случае превышения давления пара выше допустимых значений срабатывает предохранительный клапан, который выпускает часть пара;

7) Паровой котёл типа ДКРВР-6,5-13ГМ имеет теплоизоляцию из многослойных прошивных плит (в основании), корпус котла и экономайзер чугунный типа БВЭС-III-2 теплоизолированы матами из базальтовой ваты. Теплоизоляция трубопроводов и дымоходов выполнена из минеральной ваты, покрытой оцинкованным стальным листом. Толщина изоляции такова, что температура наружной поверхности изоляции в местах возможного контакта обслуживающего персонала не превышала 45°С .

6.11 Средства индивидуальной защиты

Для работников предоставляются следующие средства индивидуальной защиты:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

а) защита рук от механических повреждений:

брезентовые рукавицы, вязаные перчатки, хлопчатобумажные перчатки;

б) защита уха: затычки для ушей, наушники.

6.12 Охрана окружающей среды

Котельная является частью территории АО санаторий "Янган-Тау" по адресу Республика Башкортостан, Салаватский район, улица Центральная 20. Санитарная защитная зона котельной составляет 100 м².

В санитарной зоне и в зоне наибольшего загрязнения нет жилых домов.

Твердые загрязнители не производятся в котельной во время производства.

Источником загрязнений (дымовых газов) являются котлы. Устанавливаемые в

16т.ГВ/час

котельной котлы ДКРВР-6,5-13ГМ производительностью

каждый оборудуются горелками фирмы Weishaupt.

Котлы оборудованы газовыми горелками Novanta HR515A исполнения ZM-NR.

Основным топливом котельной является природный газ с теплотой сгорания

7950 ккал/м³. Количество дымовых газов от каждого котла равно 24259,4 м³/час.

Дымовые газы от каждого котла после экономайзеров чугунных типа ЭБ1-3ЗОИ

дымососами типа ДН-10 с температурой при номинальной

теплопроизводительности 160°С отводятся в индивидуальные дымовые трубы (4

штуки) диаметром 920мм высотой 40м каждая. Суммарное количество дымовых

газов составляет 72778,2 м³/час.

По данным фирмы "Weishaupt" содержание CO₂ в дымовых газах от горелок составляют: для газовых горелок - 0,4кг / кВт · ч. Канализование стоков от бытовых помещений выполняется в канализацию площадки. Сливы от проектируемых котлов условно чистые. Слив воды из котлов и трубопроводов производится в колодец охладитель с разбавлением сливаемой воды холодной водопроводной

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

водой до температуры не более 40 °С, а затем в существующую систему канализации.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Данная часть дипломного проекта рассматривает технико-экономические показатели работы электропривода дымососа ДН-10 до и после модернизации. Расчет капитальных затрат, производственных мощностей установки за год, определение численности работников, непосредственно занятых на рабочих местах, а также расчет годового фонда оплаты труда. В конце расчета приведена таблица технико-экономических показателей проекта.

7.1 Расчёт стоимости оборудования разрабатываемого проекта

Расчет капитальных затрат (себестоимости) производственного оборудования осуществляется по его основным видам, объем которых берется из сводной таблицы оборудования в соответствии с технологической схемой разделения труда.

Таблица - 17 стоимость оборудования для проекта

Оборудование	Количество ед. оборудования, шт.	Цена за ед. оборудования, тыс.руб.	Сумма, тыс.руб.
Преобразователь частоты (Altivar 61 ATV61WD37N4)	3	156,592	469,776
Прочее оборудование	-	100,5	100,5
Затраты на монтаж	-	47	47
Итого:	3	304,092	617,276

Затраты на монтаж исчислены укрупнёно в размере 10% от цены оборудования. Капитальные затраты на прочее оборудование (транспортное, передаточные устройства, средства автоматики) рассчитаны укрупнёно в размере 15% от капитальных затрат на производственное оборудование.

Все данные о стоимости берём с сайта Бийского Котельного Завода.

7.2 Расчёт издержек проектируемого производства

Амортизационные отчисления на оборудование

7.2.1 Расчёт численности и фонда заработной платы рабочих

Котельная относится к предприятиям с непрерывным производственным процессом. Работники, обслуживающие котельные, работают в 3 смены по 8 часов каждая (четыре часа работы в команде) из условия рабочей недели 40 часов с учетом наиболее полного и эффективного использования рабочего времени.

При установлении численности обслуживающего персонала котельной использованы "Рекомендации по нормированию труда работников энергетического хозяйства" 1999г.

При определении численности персонала котельной принимается во внимание, что капитальный ремонт оборудования проводится специализированными организациями. При определении количества рабочих учитывается количество котлов, подготовленных к работе при максимальной нагрузке.

Количество операторов котельной: $K_1 = 1,3$ - норматив численности в смену для одного котла от 25,1 до 60Гкал / час. $K_{см} = 3$ - количество смен; $K_n = 1,5$ - коэффициент невыходов во время отпусков, по болезни; $K_{пар} = 1,5$ - коэффициент для паровых котлов. Списочная численность операторов котельной равна: $1,3 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 8,775 \approx 9$ человек.

Количество слесарей по ремонту оборудования котельной: $K_1 = 0,15$ норматив численности рабочих на один насос в смену; $K = 11$ - количество насосов; $K_{см} = 3$ - количество смен; $K_n = 1,5$ - коэффициент невыходов во время отпусков, по

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

болезни; $K_{авт} = 0,4$ - коэффициент для котельных, оснащенных дистанционным пультом управления; Списочная численность слесарей по ремонту оборудования котельной равна: $0,15 \cdot 14 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 0,4 = 3,78 \approx 4$ человека .

Количество аппаратчиков химводоочистки: $K_1 = 1,1$ - норматив численности рабочих на одну установку в смену; $K_{см} = 3$ - количество смен; $K_n = 2$ - коэффициент невыходов во время отпусков, по болезни; $K_{дэаэр} = 1,3$ - коэффициент при обслуживании деаэраторов; $K_{авт} = 0,4$ - коэффициент для котельных, оснащенных дистанционным пультом управления (автоматическая водоподготовка). Списочная численность аппаратчиков химводоочистки равна: $1,1 \cdot 3 \cdot 1,1 \cdot 0,4 \approx 4$ человека .

Таблица - 18 Расчёт численности основных рабочих

Наименование профессии	Разряд	Численность, человек	Час.тарифная ставка, руб.	Количество чел.часов в год
Оператор котельной	3	8	28,7	17568
Оператор котельной (дежурный)	3	1	28,7	1956
Аппаратчик химводоочистки	2	4	26,5	8784
Слесарь по ремонту оборудования котельной	4	4	30,5	8784

Тарифный фонд заработной платы по профессиям рассчитывается по формуле:

$$Z_{тар} = T_{эф} \cdot \Sigma(\text{численность тарифная ставка}).$$

Тарифный фонд заработной платы операторов котельной:

$$Z_{тар} = T_{эф} \cdot \Sigma = 17568 \cdot 8 \cdot 28,7 = 4033612,8 \text{ руб.}$$

Тарифный фонд заработной платы оператора котельной (дежурный):

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{эф}} \cdot \Sigma = 1956 \cdot 1 \cdot 28,7 = 56137,2 \text{ руб.}$$

Тарифный фонд заработной платы аппаратчиков химводоочистки:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{эф}} \cdot \Sigma = 8784 \cdot 4 \cdot 26,5 = 931104 \text{ руб.}$$

Тарифный фонд заработной платы слесарей по ремонту оборудования котельной:

$$Z_{\text{тар}} = T_{\text{эф}} \cdot \Sigma = 8784 \cdot 4 \cdot 30,5 = 1071648 \text{ руб.}$$

Доплаты и льготы составляют от 50 до 90% от тарифной заработной платы:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{ДОПЛАТЫ И ЛЬГОТЫ.}$$

Основная заработная плата операторов котельной:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + 0,6 \cdot Z_{\text{тар}} = 4033612,8 + 0,6 \cdot 4033612,8 = 6453780,48 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата оператора котельной (дежурного):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + 0,6 \cdot Z_{\text{тар}} = 56137,2 + 0,6 \cdot 56137,2 = 89819,52 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата аппаратчиков химводоочистки:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + 0,6 \cdot Z_{\text{тар}} = 931104 + 0,6 \cdot 931104 = 1489766,4 \text{ руб.}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Основная заработная плата слесарей дежурных:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + 0,6 \cdot Z_{\text{тар}} = 1071648 + 0,6 \cdot 1071648 = 1714636,8 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы годовой:

$$\text{ФЗП}_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + \text{премия}$$

Премия составляет от 10 до 30% от основной заработной платы.

Фонд заработной платы годовой операторов котельной:

$$\text{ФЗП}_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + 0,2 \cdot Z_{\text{осн}} = 6453780,48 \cdot 1,2 = 7744536,58 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы годовой оператора котельной (дежурного):

$$\text{ФЗП}_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + 0,2 \cdot Z_{\text{осн}} = 89819,52 \cdot 1,2 = 107783,42 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы годовой аппаратчиков химводоочистки:

$$\text{ФЗП}_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + 0,2 \cdot Z_{\text{осн}} = 1489766,4 \cdot 1,2 = 1787719,68 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы годовой слесарей дежурных:

$$\text{ФЗП}_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + 0,2 \cdot Z_{\text{осн}} = 1714636,8 \cdot 1,2 = 2057564,16 \text{ руб.}$$

7.2.2 Расчёт фонда заработной платы вспомогательных рабочих

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Таблица - 19 Расчёт фонда заработной платы вспомогательных рабочих

Наименование профессии	Численность, человек	Оклад, руб.	Премии		ФЗПгод, руб.
			%	руб.	
Слесарь по ремонту оборудования котельной	1	5600	20	1120	80640
Уборщик производственных и служебных помещений	0,25	6400	20	320	23040
Итого					103680

7.2.3 Расчёт фонда заработной платы инженерно технических работников

Таблица - 20 Расчёт фонда заработной платы инженерно технических работников

Наименование профессии	Численность, человек	Оклад, руб.	Премии		ФЗПгод, руб.
			%	руб.	
Начальник котельной	1	22000	20	4400	316800
Зам. Начальника котельной	1	7500	30	2250	117000
Итого:					433800

7.2.4 Расчёт стоимости основных и вспомогательных материалов

Таблица 21 основные и вспомогательные материалы на единицу продукции

Наименование сырья и материалов	Единица измерения	Норма расхода	Цена, руб.	Сумма, руб.
Вода	м ³ / т	1,03	10,42	10,7326
Газ	м ³ / т	75	3,347	251,025
Электрическая энергия	кВт·ч / т	7	1,68	11,76
Итого				273,5176

7.3 Расчёт суммарных издержек

Общие суммарные затраты относятся к той части накладных расходов, которая не связана с изменением объема производства. Это включает в себя расходы на административное обслуживание, заработную плату сотрудников, амортизацию, затраты на ремонт и техническое обслуживание.

7.3.1 Составление сметы цеховых расходов

Таблица 22 Смета цеховых расходов

Наименование расходов	Сумма, руб.
1. Содержание цехового персонала	433800
2. фонд ОСВ	147492
3. Содержание и текущий ремонт зданий	93960
4. Амортизация зданий	97200
5. Прочие расходы	59195,4
Итого:	831647
Удельные цеховые расходы	3,88

7.3.2 Составление сметы расходов на содержание оборудования

Таблица 23 Смета расходов на содержание оборудования

Наименование расходов	Сумма, руб.
Эксплуатация оборудования	114000
Амортизационные отчисления	114000
ФЗПгод вспомогательных рабочих фонд ОСВ	103680
Возмещение износа малоценных предметов	35251,2
Расходы на текущий ремонт	9400
Прочие расходы	28500
Итого:	40483
Удельные расходы	445314,2
	14,34

Объём выпуска - 281 482 т. горячей воды

Таблица - 24 Размеры общефабричных и внепроизводственных расходов,
используемых при калькулировании себестоимости продукции

Наименование расходов	Сумма, руб.
Общефабричные расходы в % к основной зарплате производственных рабочих	4679041
внепроизводственные расходы	103537

7.4 Калькуляция себестоимости изделия

Калькуляция необходима, прежде всего, для определения цены за единицу и расчета прибыли. Все затраты предприятия на изготовление основного продукта сгруппированы по статьям калькуляции и сведены в таблицу. Расчет представлен в таблице 25.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Таблица - 25 Калькуляция себестоимости производства продукции (базовая)

№	Наименование статей	Ед. изм.	Затраты	
			на ед., руб.	На весь вы- пуск , руб.
1	Основные материалы			
1.1	Вода	м ³	10,7326	3020454,2
1.2	Газ	м ³	251,025	70645463,7
1.3	Электрическая энергия	кВт·ч	11,76	3309593,28
	Итого:		273,5176	76975511,13
2.1	Заработная плата основ- ных производственных ра- бочих	руб.	41,56	11697602
2.2	Отчисления в фонд ОСВ	руб.	10,8	3041376
3.1	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудова- ния	руб.	14,34	4036381
3.2	Цеховые расходы	руб.	3,88	831647
4	Итого производственная себестоимость	руб.	343,38	96582517,13
5	Общезаводские рас- ходы	руб.	16,62	4679041
6	Итого заводская себе- стоимость	руб.	360	101261558,13
7	Внезаводские рас- ходы	руб.	37	10412836
8	Всего полная себестои- мость	руб.	397	111674394,13
9	Наценка (30%)	руб.	119,1	33502318,24
10	Цена без НДС	руб.	516,1	145176712,4
11	НДС	руб.	92,898	26131808,23
12	Отпускная цена	руб.	609	171308520,63

7.4.1 Расчёт прибыли и финансовых результатов (базовая)

Выручка от реализации = объём выпуска · отпускная цена =
= 281428 · 609 = 171389652 руб.;

Прибыль от основной деятельности = выручка от реализации –
–себестоимость = 171389652 – 111674394,13 = 59715257,87 руб.;

Чистая прибыль = прибыль от основной деятельности –
–налоговые вычеты = 59715257,87 – 14331661,9 = 45383595,97 руб.

7.4.2 Расчёт критической программы (базовая)

$$\text{КР.прогр} = \frac{\text{СФИ}}{\text{Цшт}} - \text{ПШТ} = \frac{9547069}{609 - 325,9} = 33723,3 \text{ т,}$$

где Цшт - цена единицы изделия, руб.; СФИ - совокупные фиксированные издержки; ПШТ - переменные издержки на единицу изделия.

$$\begin{aligned} \text{СФИ} &= (\text{цех-е расходы} + \text{общешаб-е расходы} + \text{РСЭО}) = \\ &= 831647 + 4679041 + 4036381 = 9547069 \text{ руб.}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПШТ} &= (\text{з/п осн. Произв. Раб.} + \text{Отчисл. в фонд ОСВ} + \\ &+ \text{Осн. мат-лы}) / \text{В} = \frac{(11697602 + 3041376 + 76975511,13)}{281428} = 325,9 \text{ руб.} \end{aligned}$$

7.4.3 Рентабельность продаж (базовая)

Рентабельность продаж является одним из важнейших показателей эффективности компании.

Она определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Рентабельность продаж} &= \frac{\text{Операционная прибыль}}{\text{Выручка от реализации}} = \\ &= \frac{59715257,87}{171389652} = 0,348; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Операционная прибыль} &= \text{Выручка от реализации} – \\ &– \text{Себестоимость продукции} = \\ &= 171389652 – 111674394,13 = 59715257,87 \text{ руб.} \end{aligned}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

7.5 Калькуляция себестоимости изделия

Установив три преобразователя частоты на электродвигатели вытяжных вентиляторов котельной, мы получаем преимущество.

Преобразователи частоты дают экономию электроэнергии около 25,4% , то можно учесть эту экономию в тарифе за кВт/ч; стоимость одного кВт/ч будет $1,68 - 1,68 \cdot 0,254 = 1,25$ руб.

Таблица - 26 основные и вспомогательные материалы на единицу продукции
(проектная)

Наименование сырья и материалов	Единица измерения	Норма расхода	Цена, руб.	Сумма, руб.
Вода	м ³ / т	1,03	10,42	10,7326
Газ	м ³ / т	75	3,347	251,025
Электрическая энергия	кВт·ч / т	7	1,25	8,8
Итого:				270,6

Объём выпуска - 281482 т. горячей воды.

Таблица - 27 Калькуляция себестоимости производства продукции (проектная)

	Наименование статей	Ед. изм.	Затраты	
			на ед., руб.	На весь выпуск, руб.
	Основные материалы			
.1	Вода	м ³	10,7326	3020454,2
.2	Газ	м ³	251,025	70645463,7
.3	Электрическая энергия	кВт·ч	8,8	2476566,4
	Итого		270,6	76154416,8
.1	Заработная плата основных производственных рабочих	руб.	41,56	11697602
.2	Отчисления в фонд ОСВ	руб.	10,8	3041376
.1	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	руб.	13,5	3799278
.2	Цеховые расходы	руб.	3,88	831647
	Итого производственная себестоимость	руб.	340,34	95524319,8
	Общезаводские расходы	руб.	16,62	4679041
	Итого заводская себестоимость	руб.	356,96	100203360,8
	Внезаводские расходы	руб.	37	10412836
	Всего полная себестоимость	руб.	393,96	110616196,8
	Наценка (30%)	руб.	118,2	33184859,04
0	Цена без НДС	руб.	512,2	143801055,8
1	НДС	руб.	92,2	25884190,1
2	Отпускная цена	руб.	604,4	169685245,85

7.5.1 Расчёт прибыли и финансовых результатов (проектная)

Расчёт прибыли и финансовых результатов при прежней отпускной цене:

$$\begin{aligned} \text{Выручка от реализации} &= \text{объём выпуска} \cdot \text{отпускная цена} = \\ &= 281428 \cdot 609 = 171389652 \text{руб.}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Прибыль от основной деятельности} &= \text{выручка от реализации} - \\ &- \text{себестоимость} = 171389652 - 110616196,8 = 60773455,2 \text{руб.}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Чистая прибыль} &= \text{прибыль от основной деятельности} - \\ &- \text{налоговые вычеты} = 60773455,2 - 14274932,736 = 46498522,5 \text{руб.} \end{aligned}$$

7.5.2 Расчёт критической программы (проектная)

$$\text{КР.прогр} = \frac{\text{СФИ}}{\text{Цшт} - \text{ПИшт}} = \frac{9309966}{604,4 - 322,97} = 33081 \text{ т,}$$

где Ц.шт - цена единицы изделия, руб.; СФИ - совокупные фиксированные издержки; ПИ.шт - переменные издержки на единицу изделия.

$$\begin{aligned} \text{СФИ} &= (\text{цех-е расходы} + \text{общемаб-е расходы} + \text{РСЭО}) = \\ &= 831647 + 4679041 + 3799278 = 9309966 \text{руб.}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПИшт} &= (\text{з/п осн. Произв. Раб.} + \text{Отчисл. в фонд ОСВ} + \\ &+ \text{Осн. мат-лы}) / \text{В} = \frac{(11697602 + 3041376 + 76154416,8)}{281428} = 322,97 \text{руб.} \end{aligned}$$

7.5.3 Рентабельность продаж (проектная)

Рентабельность продаж является одним из важнейших показателей эффективности компании.

Она определяется по формуле:

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

$$\begin{aligned} \text{Рентабельность продаж} &= \frac{\text{Операционная прибыль}}{\text{Выручка от реализации}} = \\ &= \frac{59478886,4}{170095083,2} = 0,35; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Операционная прибыль} &= \text{Выручка от реализации} - \\ &- \text{Себестоимость продукции} = \\ &= 170095083,2 - 110616196,8 = 59478886,4 \text{ руб.} \end{aligned}$$

7.6 Срок окупаемости

За счет снижения энергопотребления и снижения затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию оборудования за год будет сэкономлено:

$$(3309593,28 + 4036381) - (2476566,4 + 3799278) = 1070129,88 \text{ руб.}$$

На модернизацию трех электроприводов вытяжных вентиляторов котельной и дополнительных затрат на установку и приобретение другого оборудования было потрачено 614276 руб., следовательно, срок окупаемости проекта составит:

$$\frac{614276 \cdot 12}{1070129,88} = 6,9 \approx 7 \text{ мес.}$$

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

7.7 Технико-экономические показатели проекта

Таблица - 28 Итоговая таблица технико-экономических показателей

Наименование показателя	Показатель	Показатель после модернизации
Объем реализации, т	281428	281428
Объёма реализации, руб.	171308520,63	171308520,63
Себестоимость единицы изделия, руб.	397	393,96
Чистая прибыль, руб.	45383595,97	46498522,5
Рентабельность производства, %	34,8	35
Отпускная цена, руб.	609	604,4
Среднемесячная з/п осн. Произв. Раб.	9070	9070
Критическая программа, т. горячей воды	33723,3	33081
Срок окупаемости, мес.	-	7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте был модернизирован электропривод дымососа котельной. Неэффективный аналоговый и трудоемкий контроль производительности вытяжного вентилятора с помощью направляющего аппарата был заменен частотным регулированием скорости вращения двигателя вытяжного вентилятора. Это позволяет поддерживать эффективность турбо-механизма на одном уровне независимо от скорости. Мощность, потребляемая дымососом, рассчитывается. Мощность потребляемая дымососом рассчитана по

$R_{V \max} = 2810 \text{ Па}$ и $Q_{\max} = 28700 \text{ м}^3 / \text{ч}$, и составила $P_{\text{дым.}} = 35 \text{ кВт}$. В соответствии с расчетом выбран асинхронный двигатель марки 5А200М4 мощностью 37 кВт.

Для соединения вала двигателя и дымососа была выбрана упругая втулочно-пальцевая муфта МУВП-9-1000-60-1У4 рассчитанная для установки на вал $d_{\text{вал.дв.}} = 60 \text{ мм}$ и на допустимый расчётный момент $[T_p] = 1100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для осуществления частотного способа регулирования был выбран частотный преобразователь ATV61WD37N4 рассчитанный на мощность двигателя 37 кВт из каталога фирмы Schneider Electric.

Был произведён расчет силовых элементов преобразователя частоты в соответствии с которым были выбраны: полумост IGBT 2MBI200S-120 содержащий 2 модуля IGBT с обратными диодами рассчитанный на постоянный ток коллектора $I_c = 200 \text{ А}$ и допустимое рабочее напряжение "коллектор-эмиттер" $U_{ces} = 1200 \text{ В}$; диод-диодный модуль SKKD 162 содержащий 2 диода в одном корпусе рассчитанный на допустимый рабочий ток диода $I_{vm} = 160 \text{ А}$, и максимальное обратное напряжение диода $U_{vm} = 2200 \text{ В}$; 12 электролитических конденсатора типа В41554 фирмы Еrcos с номинальными параметрами: 1000 мкФ, 450 В; сетевой дроссель VW3 А4 6503 с номинальными параметрами 1 мГн,

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

номинальный ток 130А. На данной элементной базе был построен чертёж силовой части преобразователя частоты.

Для подключения силовой цепи в соответствии с нагрузкой был выбран силовой медный кабель ВВГ-П сечением 35 мм² рассчитанный на ток 95А. Для защиты питающей сети был выбран автоматический выключатель NS80HMA80 с номинальным током 80А и номинальным напряжением 380В. Для пуска и остановки двигателя был выбран нереверсивный магнитный пускатель типа ПМЛ-4220ДМОА на номинальный коммутируемый ток 80А, с тепловым реле типа РТЛ-2063 с диапазоном регулирования номинального тока несрабатывания (63 ÷ 86)А. Для защиты поста управления от короткого замыкания, выбрали плавкий предохранитель НПН2-20 с номинальным током плавких вставок 20А.

Произведенный анализ и настройка на технический оптимум контура регулирования скорости показал, что статическая ошибка $\Delta = 0,89\%$ меньше указанной в задании $\Delta_{\text{зад.}} = 1\%$, а перерегулирование $\sigma = 4,2\%$ находится в допустимых пределах.

Были построены логарифмические амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики в программе МВТУ, и проведена проверка на устойчивость разомкнутого контура. Запас устойчивости по фазе: $\varphi_z = 18^\circ$.

Расчеты экономической части подтвердили целесообразность модернизации, в результате чего: снизилась нагрузка на персонал, снизилось энергопотребление на ~1/3 от общей стоимости дымососа с прямым аналоговым приводом, что позволило снизить стоимость производства горячей воды за единицу времени.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

БИБЛЕОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация / Б.А. Соколов. - 2-е изд., испр. - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 432 с.
- 2 Соколов Б.А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных: учеб. пособие для нач. проф. образования / Б.А.Соколов. - М.: Издательский центр "Академия", 2007. - 304 с.
1. Сидельниковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Л.Н. Сидельниковский, В.Н. Юрьев.- 3-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 528 с.: ил.
2. Онищенко Г.Б. Электропривод турбомеханизмов / Г.Б. Онищенко, М.Г. Юньков. - М.: Энергия, 1972. - 240 с.: ил.
3. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / И.П. Копылова. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высш. шк., 2002. - 757 с.: ил.
4. Лихачёв В.Л. Электродвигатели асинхронные / В.Л. Лихачёв. - М.: СОЛОН-Р, 2002. - 304 с.
5. Устюгов И.И. Детали машин: учеб. пособ. для тех. / И.И. Устюгов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1981. - 399 с.
6. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 4 / под ред. В.Г. Герасимова. - М.: Издательство МЭИ, 2004. - 696 с.
7. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов / В.И. Ключев - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.: ил.
8. Бийский котельный завод [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bikz.ru/> , свободный.
9. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справочник / под ред. А.Н. Баратова. - М.: Химия, 1987. - 287 с.
10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения: справочник / под ред. А.Н. Баратова. - М.: Химия, 1990. -496 с.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

11. Обеспечение производственной и экологической безопасности:
методические указания и рекомендации по дипломному проектированию / сост.
Ф. М. Гимранов [и др.]; Казан. гос. технол. ун-т. - Казань, 1998. - 60 с.
12. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов и работ: уч.-
метод. пос. / Казан. гос. технол. ун-т; сост. Л.Р. Хуснуллина, И.Н. Терюшов. -
Казань, 2009.-84 с.

					13.03.02.2020.088.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93