



## Аннотация

Целью бакалаврской работы является разработка электрического привода системы дымоудаления пожарной защиты здания.

В пояснительной записке данной работы представлены:

- краткое описание системы пожарной защиты здания;
- принцип действия автоматической системы дымоудаления;
- устройство и принцип действия различных электроприводов фрамуги;
- разработана конструкция штокового привода;
- выполнен электромагнитный расчет электродвигателя штокового привода;
- разработана схема управления приводом штокового типа;
- разработана технология монтажа системы дымоудаления.

Пояснительная записка содержит 58 страниц, 23 рисунка, 1 таблица.

## Abstract

The aim of the bachelor's work is the development of the electric drive of the smoke removal system of the fire protection of the building.

In the explanatory note of this work are:

- a brief description of the fire protection system of the building;
- the principle of the automatic smoke exhaust system;
- arrangement and operating principle of various electric drives of transom;
- the design of the rod drive has been developed;
- electromagnetic calculation of the electric motor of the rod drive;
- the rod drive type drive control scheme has been developed;
- The technology of installation of smoke removal system has been developed.

The explanatory note contains 58 pages, 23 figures, 1 table.

## Содержание

Введение	5
1 Краткое описание системы пожарной защиты здания	7
1.1 Автоматические системы дымоудаления	9
1.2 Электропривода фрамуги	14
1.3 Конструкция штокового привода	20
2 Электромагнитный расчет электродвигателя	26
3 Схема управления приводом штокового типа	51
Заключение	55
Список использованных источников	56

## Введение

Основным документом пожарной защиты зданий является Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изменениями и дополнениями).

В частности, ст. 56 данного закона содержит требования к системам противодымной защиты.

1. Система противодымной защиты здания, сооружения должна обеспечивать защиту людей на путях эвакуации и в безопасных зонах от воздействия опасных факторов пожара в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или всего времени развития и тушения пожара посредством удаления продуктов горения и термического разложения и (или) предотвращения их распространения.

2. Система противодымной защиты должна предусматривать один или несколько из следующих способов защиты:

1) использование объемно-планировочных решений зданий и сооружений для борьбы с задымлением при пожаре;

2) использование конструктивных решений зданий и сооружений для борьбы с задымлением при пожаре;

3) использование приточной противодымной вентиляции для создания избыточного давления воздуха в защищаемых помещениях, тамбур-шлюзах и на лестничных клетках;

4) использование устройств и средств механической и естественной вытяжной противодымной вентиляции для удаления продуктов горения и термического разложения.

Таким образом, разработка электрического привода системы дымоудаления является актуальной задачей.

Работа системы. Противопожарная вентиляция включается при срабатывании пожарной сигнализации. При этом система дымоудаления

устраняет дым и продукты горения из очага возгорания и препятствует их распространению в другие зоны, а вентиляторы подпора подают чистый воздух на пути основных и пожарных выходов, в лифты и лестничные пролеты, давая возможность людям покинуть здание.

Система дымоудаления представляет собой специальную приточно-вытяжную систему вентиляции, основными элементами которой являются вентиляторы дымоудаления, противопожарные клапана и огнестойкие воздуховоды (см. рисунок 1). Системы дымоудаления позволяют очистить большие площади от дыма, пепла, гари и мелких частиц, локализируют токсичные вещества, образующиеся при горении искусственных материалов, не давая им распространиться по всему зданию. Помимо этого, локализация дыма и других продуктов горения помогает не допустить повреждения соседних с горящим помещений и минимизировать общие убытки от возгорания.

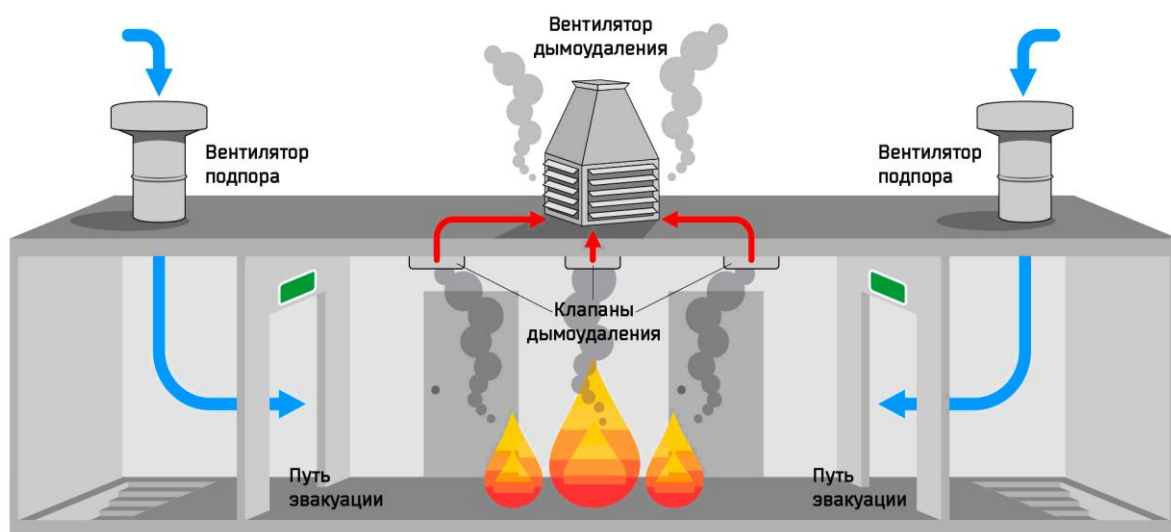


Рисунок 1- Схема дымоудаления

#### Элементы системы дымоудаления

Основным элементом динамической системы дымоудаления являются специальные вентиляторы дымоудаления - большие термостойкие вентиляторы повышенной мощности с минимальным расходом воздуха от 20000 м.куб./ч.

Вентиляторы дымоудаления выкачивают дым и продукты горения из зоны возгорания и способны эффективно работать даже при самых больших температурах. Вентиляторы дымоудаления могут работать попеременно для отвода дыма и подачи чистого воздуха, либо эти функции выполняются ими отдельно. Устанавливаются на крыше здания.

Другой важный элемент динамической системы дымоудаления противопожарные клапаны. Они делятся на 4 категории:

- дымовые клапаны - устанавливаются в системах противодымной вентиляции, используются как в вытяжной, так и в приточной системе в случае возникновения пожара;

- противопожарные нормально открытые клапаны (огнезадерживающие) - устанавливаются в воздуховодах общеобменной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, а также в приточных и вытяжных системах. В нормальных условиях открыты, в случае возникновения пожара закрываются, предотвращая проникновение в помещение продуктов горения;

- противопожарные нормально закрытые клапаны - устанавливаются в системах приточной противодымной вентиляции. В нормальных условиях закрыты, в случае возникновения пожара открываются для удаления дыма и прочих продуктов горения, а также после пожара для выведения дыма и газа из помещений, оснащенных газовым или порошковым пожаротушением;

- противопожарные клапаны двойного действия - устанавливаются в системах основной вентиляции. В нормальных условиях открыты, в случае возникновения пожара закрываются, исполняя роль огнезадерживающего клапана. После пожара открываются для отвода дыма и газа из помещений, оснащенных газовым или порошковым пожаротушением.

В качестве люков дымоудаления могут использоваться зенитные фонари или фрамуги, которые в нормальных условиях служат для естественного освещения и вентиляции. Они устанавливаются на крышах зданий и, в случае

возникновения пожара, автоматически открываются при помощи электрического привода.

В системах противопожарной вентиляции используются специальные воздуховоды дымоудаления - воздуховоды большого сечения, которые изготавливаются из черной стали толщиной не менее 1,2 мм, и способны выдержать высокие температуры. Дымоудаление можно организовать при помощи уже существующих вентиляционных шахт, но наиболее эффективной остается система отдельных коммуникаций, практически исключая попадание дыма в соседние помещения.



## 1 Краткое описание системы пожарной защиты здания

### 1.1 Автоматические системы дымоудаления

В автоматических системах дымоудаления клапана и вентиляторы включаются при срабатывании дымовых датчиков. Такая система может применяться как самостоятельно, так и в комплексе с общей системой пожаротушения. Совместное применение систем пожаротушения и дымоудаления - наиболее эффективный способ избежать жертв и значительного материального ущерба при пожаре, как в жилых, так и в производственных и других зданиях.

Для обеспечения максимальной пожаробезопасности в зданиях, оснащенных большим количеством инженерных систем и оборудования, рекомендуется использовать автоматические системы управления оборудованием совместно с системами пожаротушения и дымоудаления. Такой комплекс практически исключает риск возникновения пожара, давая знать о малейших неисправностях оборудования и предпосылках для возникновения аварийных ситуаций.

Состав системы автоматической пожарной сигнализации и защиты:

- извещатель пожарный дымовой оптико-электронный ИП 212-3СУ;
- прибор приемно-контрольный охранно-пожарный «Сигнал-20П»;
- пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М»;
- резервированный источник питания аппаратуры ОПС «РИП-24»;
- блок сигнально-пусковой «С2000-СП1»;
- привод фрамуги.

Рассмотрим подробнее элементы системы.

Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный ИП 212-3СУ.

Назначение: извещатель пожарный «ИП 212-3СУ» предназначен для обнаружения загораний, сопровождающихся появлением дыма в закрытых помещениях зданий и сооружений различного назначения (см. рисунок 1.1).



Рисунок 1.1- Извещатель пожарный «ИП 212-3СУ»

Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный «Сигнал-20П» (см. рисунок 1.2)



Рисунок 1.2- Прибор приемно-контрольный «Сигнал-20П»

Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М».

ПКиУ "С2000М" предназначен для информационного объединения приборов ИСО «Орион» с целью организации единого центра управления и сбора системных сообщений, объединения шлейфов сигнализации в разделы,

создания перекрестных связей между разделами и выходами разных приборов, расширения возможностей отображения информации (см. рисунок 1.3).



Рисунок 1.3- Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М»

Взаимодействие между пультом "С2000М" и приборами ИСО «Орион» происходит по интерфейсу RS-485 с передачей информации в протоколе «Орион».

Резервированный источник питания аппаратуры ОПС «РИП-24».

Предназначен для работы в составе ИСО «Орион» для питания извещателей, приборов ОПС, СКУД и пожарной автоматики (см. рисунок 1.4). Соответствует Техническому регламенту и сертифицирован по ГОСТ Р 53325-2009. В ИСО «Орион» РИП-24-2/7М4-Р-RS взаимодействует с пультом С2000М или АРМ «Орион Про», передает данные и получает команды управления по интерфейсу RS-485.

Описание:

- передача событий на пульт «С2000М» или АРМ «Орион Про»;
- «Авария сети» (сетевое напряжение питания ниже 150 В или выше 260 В);
- «Перегрузка источника питания» (выходной ток РИП более 2,5 А);

– «Неисправность ЗУ» (ЗУ не обеспечивает напряжение и ток для заряда батарей (АБ) в заданных пределах).



Рисунок 1.4- Резервированный источник питания аппаратуры ОПС «РИП-24»

Далее:

- «Неисправность источника питания» (при выходном напряжении ниже 20 В или выше 28,5 В);
- «Неисправность батарей» (напряжение (АБ) ниже нормы, либо их внутреннее сопротивление выше предельно допустимого);
- «Тревога взлома» (корпус РИП открыт);
- «Отключение выходного напряжения».
- измерение и передача данных по запросу от «С2000М» или АРМ «Орион Про»: напряжения в сети, напряжения на АБ, напряжения на выходе, тока нагрузки;

- расширенный диапазон входного напряжения сети;
- защита с автоматическим восстановлением работоспособности от: превышения выходного напряжения, перегрузок по выходу, «переполусовки» АБ, замыкания клемм подключения АБ;
- интеллектуальный контроль аккумуляторных батарей и управление зарядом: автоматическая проверка состояния АБ тестовой нагрузкой, измерение емкости АБ, расчет времени работы в резервном режиме с учетом реального тока нагрузки, программируемый таймер-счетчик времени наработки АБ, отключение АБ при их разряде и превышении допустимого напряжения, автоматическая регулировка напряжения заряда АБ в зависимости от температуры внутри корпуса, контроль тока и напряжения зарядного устройства (ЗУ);
- световая индикация и звуковая сигнализация: наличие сетевого напряжения в сети, выход сетевого напряжения за пределы нормы (менее 150 В или более 260 В), наличие или нарушение связи по интерфейсу RS-485, короткое замыкание или перегрузка по выходу, заряд АБ, отключение АБ при разряде, неисправность ЗУ, отключение выхода РИП в аварийных ситуациях;
- энергонезависимый буфер событий;
- релейный выход для сигнала «Неисправность»;
- конфигурирование параметров РИП: изменение сетевого адреса, времени задержек передачи событий, времени управления реле с помощью программы UPROG.

Блок сигнально-пусковой «С2000-СП1».

Релейный блок с управлением по интерфейсу RS-485 (релейный расширитель). Предназначен для работы в составе ИСО «Орион» и может выполнять функции управления исполнительными устройствами (лампами, сиренами, электромагнитными замками и т.д.), выдавать тревожные извещения на пульт централизованного наблюдения (ПЦН) путём размыкания контактов реле, а также осуществлять взаимодействие с другими приборами и системами

на релейном уровне (см. рисунок 1.5). В системах пожарной сигнализации блок предназначен для формирования стартового импульса на прибор пожарный управления.

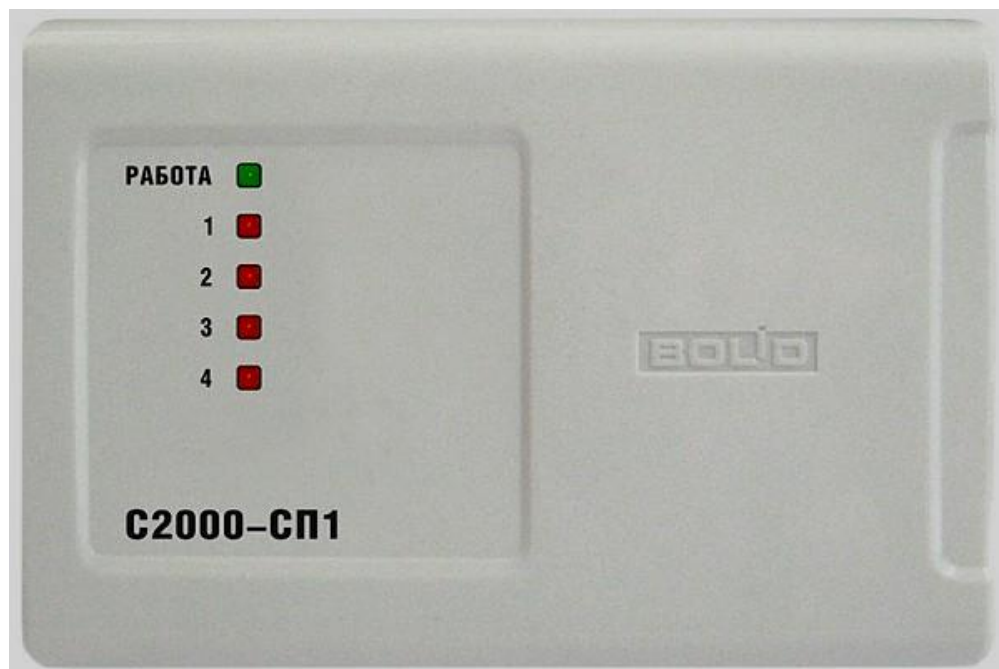


Рисунок 1.5- Блок сигнально-пусковой «С2000-СП1»

## 1.2 Электропривода фрамуги

Фрамуга — горизонтальная верхняя створка окна, боковая или верхняя створка двери. Обычно этот термин применяется для открывающейся верхней оконной рамы

Преимущества электропривода фрамуги.

В первую очередь следует отметить удобство пользования. Намного проще нажать кнопку на пульте дистанционного управления, вместо того, чтобы карабкаться на подоконник с целью приоткрыть фрамугу.

Автоматизированные приводы для открывания-закрывания деревянных окон и окон ПВХ позволяют продлить срок службы фурнитуры, поскольку четко дозируют нагрузки в отличие от ручного управления.

Автоматика может быть дополнена датчиками, реагирующими на дождь или сильный ветер. В этом случае оконные блоки закроются самостоятельно

даже в отсутствии хозяина. Электропривод может быть подключен в общую систему пожарной безопасности. Тогда окна и фрамуги будут открываться автоматически при задымлении помещения.



Рисунок 1.6- Электрический привод фрамуги

Рассмотрим наиболее распространенные на сегодняшний день типы автоматизированных электроприводов для окон и фрамуг.

Цепные приводы (см. рисунок 1.7).

Исполнительным органом привода является специальная цепь, которая может изгибаться только в одном направлении. В верхней части оконного блока на раме крепится корпус устройства, где размещен сам электропривод и цепь, наружный конец которой крепится к верхней части откидной створки. При полностью закрытом окне цепь скрыта внутри корпуса. Закрытое положение отображается световым сигналом индикатора. При необходимости откидывания створки или фрамуги включается привод, и цепь подается из корпуса в сторону откидывания. Приводы выпускаются в стандартном исполнении с величиной рабочего хода от 90 до 400 мм и развитием рабочего усилия до 150 Н (15 кг). Для защиты цепи от коррозии применяются специальные покрытия.



Рисунок 1.7- Цепные приводы

Для оконных створок небольших габаритов и массы достаточно установки одного привода. Если створка по ширине превышает 1500 мм, то следует устанавливать по два привода (в верхних правом и левом углах). В этом случае во избежание перекосов и поломки оконного блока электроприводы необходимо синхронизировать. При сбое работы одного из приводов второй привод отключается автоматически, в противном случае створки могут быть деформированы и даже разрушены.

Автоматические окна с цепным приводом характеризуются высокой скоростью открывания – 40 мм/сек. Электропривод в зависимости от модификации питается от сети переменного тока 220 или постоянного 24 вольта.

Установка цепного привода не требует дополнительной доработки рамы окна, его можно устанавливать как на деревянное окно, так и на пластиковое. Достаточно установить на оконный профиль скобы и затянуть их винтами. Сам механизм крепится уже на скобы. Такое крепление позволяет самостоятельно определять расположение привода и менять его в процессе эксплуатации при возникновении такой необходимости. Механизм уместно смотреться даже на деревянных рамах окна в жилом доме или квартире, не говоря уже об общественных помещениях и производственных площадях.



Цепной привод применяется для окон ниже-, средне- и верхнеподвесных, а также для окон верхнего освещения. Стандартный класс защиты таких приводов – IP20.

Шпиндельные приводы (см. рисунок 1.8)

Шпиндельные приводы применяются при относительно небольшом рабочем ходе створок и фрамуг. Выпускаются в двух стандартных исполнениях с ходом штока 180 и 300 мм. Позволяют открывать фрамуги, деревянные или пластиковые окна среднего веса (развиваемое усилие – 450Н).

В отличие от цепного привода, корпус шпиндельного крепится не к раме окна, а к самой створке посредством направляющих качающихся шин, а рабочий орган (шпиндель) фиксируется на раме. Движение рабочего органа реализуется посредством кинематической пары «винт-гайка».

Шпиндельные приводы удобны для эксплуатации в ограниченном пространстве, компактные размеры и дизайн дают возможность удобного и неброского монтажа.



Рисунок 1.8- Шпиндельный электропривод

Скорость открывания-закрывания створок и фрамуг – 40 мм/сек. Класс защиты – IP55. Питающее напряжение переменного тока -220В. Шпиндельные приводы оптимально подходят для оснащения ленточных и верхнеподвесных окон из дерева и пластика с вертикальными створками.

## Приводы с реечной передачей (см. рисунок 1.9)

Реечные приводы были разработаны специально для сложных условий эксплуатации оконного блока. Характеризуются низкой рабочей скоростью – 8 мм/сек, но большим усилием – до 650Н. Высокий класс защиты IP65 позволяет использовать реечный привод для окон и фрамуг в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации, даже в зоне прямого воздействия климатических и атмосферных факторов. Механические элементы выполнены из анодированного алюминия и оцинкованной стали. Выпускаются в стандартных исполнениях с величиной рабочего хода 170, 230, 350, 550 и 750 мм. Питаются от сети переменного тока 220В или постоянного 24В. На широкие оконные створки или фрамуги могут быть установлены параллельно. При этом требуется электрическая синхронизация приводов.



Рисунок 1.9- Привод с реечной передачей

Также для широких и массивных окон могут быть использованы системы duo или try. В этом случае от одного привода в движение приводится, соответственно, сразу две или три рейки, передача движения происходит посредством дополнительных приводных трубок.

Приводы с реечной передачей в основном применяются на промышленных объектах для автоматизации верхнеподвесных и ленточных алюминиевых или пластиковых окон, окон верхнего освещения, а также

многослойных и куполообразных конструкций. Высокая надежность и отказоустойчивость определяют минимальное обслуживание приводов в процессе длительной эксплуатации.

Существует также отдельная линейка приводов с реечной передачей, ориентированных на подключение к противопожарным системам. Такие приводы дополнительно оснащаются специальной антиреверсивной системой, которая в случае задымления помещения жестко фиксирует створки окна в открытом положении, и обратный ход становится невозможным.

Фрамужные приборы ножничного типа (см. рисунок 1.10)

Такие устройства являются наиболее мощными, рабочее усилие достигает 1400Н. Соответственно, эти конструкции рассчитаны на наиболее массивные и большие окна и фрамуги (с тяжелыми деревянными или металлическими рамами и многокамерным стеклопакетом).



Рисунок 1.10- Фрамужные приборы ножничного типа

Привод питается от сети переменного тока номинальным напряжением 220В либо от источника постоянного тока в 24В.

Отличительным элементом приборов ножничного типа от прочих систем автоматизации является возможность доукомплектовать систему специальным механизмом запирания, который при закрытой створке фиксирует ее по всему

периметру. Приборы ножничного типа могут устанавливаться на оконные блоки как одиночно, так и парами.

Автоматические системы проветривания (см. рисунок 1.11)

Ну и напоследок, оригинальное решение регулярного проветривания помещений без вмешательства человека – автосистемы проветривания. Механизм в виде небольшого блока крепится на откидной створке деревянного или пластикового окна, а рабочий орган в виде штоковой тяги посредством шарнирного соединения фиксируется на неподвижной части рамы. Устройство можно запрограммировать на проветривание через определенные промежутки времени, либо укомплектовав систему погодными датчиками. Такой «интеллектуальный» механизм будет реагировать на изменение влажности и атмосферные воздействия (ветер, дождь, снег).



Рисунок 1.11- Автоматические системы проветривания

### 1.3 Конструкция штокового привода

Наиболее оптимальным представляется использование электропривода штокового типа, обладающего следующими преимуществами:

- высокая прочность и надёжность;
- оптимальное соотношению цена/качество;
- позволяет автоматизировать окна с боковым открыванием;
- переменная длина штока привода;

- предусмотрена возможность использования магнитного концевого выключателя закрытого положения;
- высокий класс защищённости IP55 привода позволяет устанавливать его как внутри помещения, так и снаружи.

Рассмотрим штоковый привод E1500 производства ф. GEZE GmbH, Германия.

Возможные длины штока: 300, 500, 750, 1000 мм. Специальные длины штока на заказ.

Техническое описание:

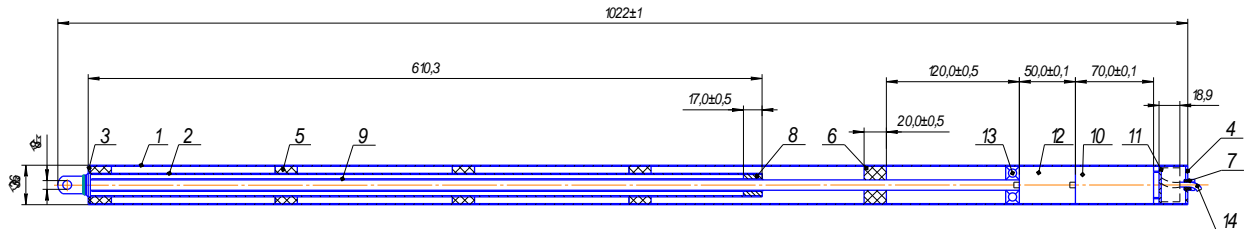
- корпус привода изготовлен из алюминия, покрытие E6/EV1, может быть окрашен в цвет RAL. Шток привода изготовлен из нержавеющей стали;
- шпиндельный привод с планетарной передачей, 24V DC, max. 1,2А, продолжительность включения 30%;
- с электронным модулем отключения, интегрированным в привод, либо с генератором импульсов для использования с блоком синхронизации;
- стойкий к проникновению влаги, к коррозии, к воздействию ультрафиолета;
- встроенное демпфирование граничных положений;
- не требующий обслуживания (двигатель);
- силиконовый кабель питания FRNC-SIHSI-FE90, длина ~2,5 м.

Технические данные:

- максимальное усилие подъема 1500Н (необходимо учитывать ветровую нагрузку);
- скорость движения штока ~ 2,4 mm/s;
- расчетная сила тока ~ 0,7 А;
- максимальный ток отключения ~ 1,2 А;
- параллельное подключение возможно;
- длина (корпус + элементы подвеса) ~ 1000 mm + длина штока;
- рабочий температурный режим - 5°C ... +75°C;

- класс защиты IP 65;
- продолжительность включения на один подъем/опускание ~ 10мин;
- ширина открывания в режиме вентиляции максимум 600 мм;
- расчетное усилие = 2/3 от максимального усилия.

Сборочный чертеж штокового привода представлен на рисунке 1.12.



1- корпус; 2- шток; 3, 4- крышка; 5, 6- втулка; 7- изолятор; 8- гайка грузовая; 9- винт грузовой; 10- электродвигатель; 11- редуктор; 12- блок защиты электродвигателя; 13- подшипник; 14- кабель

Рисунок 1.12- Штоковый привод

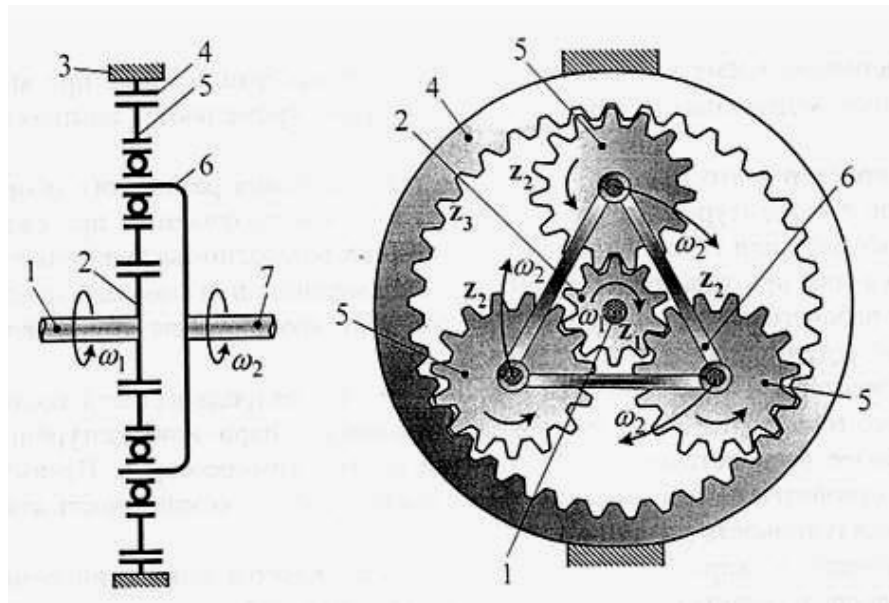
Согласно требованиям, предъявляемым к выходным параметрам штокового привода, скорость вращения винта составляет ~ 28 об/мин. максимальное усилие подъема ~ 150 кг. Средние значения выходных параметров электродвигателей постоянного тока имеющих наружный диаметр 34 мм составляет 3000 об/мин, 0,03 Н·м. Поэтому, передаточное отношение редуктора должно составлять ~ 90-100, причем ограниченное габаритами корпуса штокового привода.

Наиболее предпочтительно применение планетарного многоступенчатого редуктора (см. рисунок 1.13, 1.14).

Основные элементы:

- ведущая (солнечная) шестерня  $z_1$  расположена на ведущем валу;
- сателлиты  $z_2$ , обкатываются между солнечной и коренной шестеренками;
- коренная (венцовая, упорная) шестерня  $z_3$ ;

- водило, жестко соединяет оси сателлитов и ведомый вал.



1- ведущий вал; 2- ведущая (солнечная) шестерня; 3- корпус; 4- коренная шестерня; 5- сателлиты; 6- водило; 7- ведомый вал;

Рисунок 1.13- Схема простого планетарного редуктора

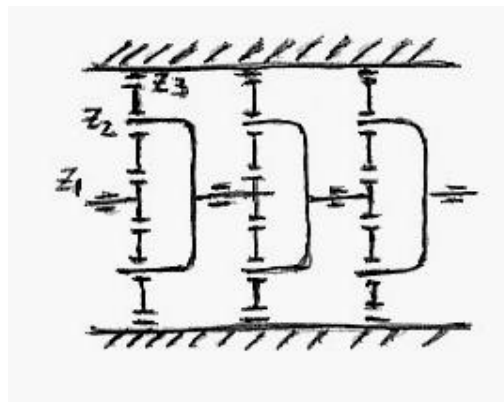


Рисунок 1.14- Схема многоступенчатого планетарного редуктора

Передаточное число  $i_{\Omega} = (z_1 + z_3) / z_1$ . Передаточное отношение не зависит от числа сателлитов и от числа зубцов  $z_2$  на них. Число сателлитов выбирается исходя из возможностей их размещения. Как правило, выбирается равным трем, что способствует равномерному распределению нагрузок.

Достоинства планетарных редукторов.

1) Зацепление происходит не в одном месте, а двух или трех местах, в зависимости от числа сателлитов. Вследствие этого уменьшается нагрузка на зубцы и нейтрализуются разъединяющие силы между отдельными колесами и изгибающие моменты на входном и выходном валах. Это позволяет использовать зубчатые колеса малых размеров для передачи больших усилий.

2) Возможность получения больших передаточных отношений при малых габаритных размерах и массе конструкции.

3) Высокая технологичность. Редукторы с различным передаточным отношением могут быть собраны из одинаковых звеньев, размещенных внутри неподвижного колеса соответствующей длины (см. рисунок 1.14).

Выбираем специализированный многоступенчатый планетарный редуктор модели PLG30 с передаточным числом  $i=91,12$ , моментом на выходном валу  $M=180$  Н-см, частотой вращения выходного вала 7,45 об/мин (при частоте вращения входного вала 2970 об/мин).

Необходимо выбрать механический преобразователь движения, предназначенный для преобразования вращательного движения в поступательное. Наибольшее распространение получили винтовые передачи (винтовые пары). Основными элементами винтовой пары являются винт и стакан с винтовыми канавками на внутренней стенке (см. рисунок 1.15).



Рисунок 1.15- Шариковая винтовая передача

Для уменьшения трения в канавки между винтом и стаканом помещаются шарики или ролики. В теле винта предусматривается возвратный канал,



который создает замкнутую цепь для движения шариков. Такие передачи имеют более высокий КПД (до 0,95), поскольку в этом случае в передаче вместо трения скольжения имеет место трение качения.

Передаточное отношение определяют отношением угловой скорости входного вала (винта) к линейной скорости стакана (выходного штока)  $V_{ш}$ .

Ход винта есть осевое перемещение винта за один оборот. Размерность такого передаточного отношения – рад/м.

## 2 Электромагнитный расчёт электродвигателя

Исходные данные к расчёту

Исходные данные к расчёту электродвигателя:

- номинальное напряжение  $U_H=24$  В;
- расчетная мощность электродвигателя:  $P_a=20$  Вт;
- номинальная частота вращения  $n_H=3000$  об/мин;
- способ возбуждения – от постоянных магнитов;
- режим работы – продолжительный (более 5 мин);
- исполнение – закрытое, область применения – сухие помещения;
- степень защиты – IP65;
- номинальный момент на валу  $M_H= 0,03$  Н·м.

Основные размеры электродвигателя

Полезная мощность на валу  $P_2$ , Вт, определяется по формуле (2.1)

$$P_2 = P_a \cdot \frac{1+2\cdot\eta}{3\cdot\eta}, \quad (2.1)$$

где согласно кривой на рисунке 1.1 [1], к.п.д.  $\eta=0,4$ .

$$P_2 = 20 \cdot \frac{1+2\cdot0,4}{3\cdot0,4} = 13,33 \text{ Вт}.$$

Ток якоря  $I_2$ , А, определяется по формуле (2.2):

$$I_2 = \frac{P_2}{\eta \cdot U}, \quad (2.2)$$

$$I_2 = \frac{13,33}{0,4 \cdot 24} = 1,38 \text{ А}$$

ЭДС якоря  $E$ , В, определяется по формуле (2.3):

$$E = \frac{1+2\cdot\eta}{3} \cdot U, \quad (2.3)$$

$$E = \frac{1+2\cdot0,4}{3} \cdot 24 = 14,4 \text{ В}$$

Машинная постоянная  $C$  определяется по формуле (2.4):

$$C = \frac{6 \cdot 10^4}{\alpha \cdot B_\delta \cdot A_2}, \quad (2.4)$$

где  $\alpha=0,65$  – коэффициент полюсного перекрытия;

$B_\delta$  и  $A_2$  принимаем согласно кривым рис. 1.2 [1] для соотношения

$$\frac{P_2}{n} = \frac{13,33}{3000} = 4,4 \cdot 10^{-3};$$

$B_\delta$ - основная магнитная индукция,  $B_\delta= 0,33$  Тл;

$A_2$ - линейная нагрузка,  $A_2=75$  А/см.

$$C = \frac{6 \cdot 10^4}{0,65 \cdot 0,33 \cdot 75} = 3729$$

Внутренний диаметр полюсов  $D_{n1}$ , см, определяется по формуле (2.5):

$$D_{n1} = 3 \sqrt{\frac{C \cdot P}{\xi \cdot n}}, \quad (2.5)$$

где  $\xi=1,4$ – отношение длины пакета якоря к его диаметру.

$$D_{n1} = 3 \sqrt{\frac{3729 \cdot 13,33}{1,4 \cdot 3000}} = 2,266 \text{ см}$$

Расчетная длина пакета якоря  $l_0$ , см, определяется по формуле (2.6)

$$l_0 = \xi \cdot D_{n1}, \quad (2.6)$$

$$l_0 = 1,4 \cdot 2,266 = 3,17 \text{ см}$$

Окончательно по ГОСТ 6636-69 (приложение 8, [1]) принимаем:

$$D_{n1} = 24 \text{ мм}; \quad D_{H2} = 24 - 2 \cdot 0,25 = 23,5 \text{ мм}; \quad l_0 = 32 \text{ мм}; \quad \delta = 0,25 \text{ мм}.$$

Материал якоря – листовая электротехническая сталь марки 2112 толщиной 0.5 мм (ГОСТ 210427.2-83)

Окружная скорость вращения якоря  $v_2$ , м/с, определяется по формуле (2.7)

$$v_2 = \frac{\pi \cdot D_{H2} \cdot n \cdot 10^{-2}}{60}, \quad (2.7)$$

$$v_2 = \frac{\pi \cdot 2,35 \cdot 3000 \cdot 10^{-2}}{60} = 3,68 \text{ м/с}$$

Полюсный шаг  $\tau_2$ , см, определяется по формуле (2.8)

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot D_{H2}}{2 \cdot p}, \quad (2.8)$$

где  $p$ - число пар полюсов, принимаем  $p = 1$ .

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot 2,35}{2} = 3,68 \text{ см}$$

Расчетная полюсная дуга  $b_0$ , см, определяется по формуле (2.9)

$$b_0 = \alpha \cdot \tau_2, \quad (2.9)$$

$$b_0 = 0,65 \cdot 3,68 = 2,39 \text{ см}$$

Действительная полюсная дуга  $b$ , см, определяется по формуле (2.10)

$$b = 1,02 \cdot b_0, \quad (2.10)$$

$$b = 1,02 \cdot 2,39 = 2,44 \text{ см}$$

Частота перемагничивания якоря  $f_2$ , Гц, определяется по формуле (2.11)

$$f_2 = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (2.11)$$

$$f_2 = \frac{1 \cdot 3000}{60} = 50 \text{ Гц}$$

Расчёт обмотки якоря

Полезное магнитное поле полюса в воздушном зазоре при нагрузке двигателя  $\Phi_\delta$ , Вб, определяется по формуле (2.12)

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot 10^{-4}, \quad (2.12)$$

$$\Phi_\delta = 0,33 \cdot 2,39 \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Число проводников обмотки якоря  $N_2$ , шт, определяется по формуле (2.13)

$$N_2 = \frac{60 \cdot a \cdot E}{p \cdot n \cdot \Phi_\delta}, \quad (2.13)$$

$$N_2 = \frac{60 \cdot 1 \cdot 14,4}{1 \cdot 3000 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}} = 1152 \text{ шт}$$

Число пазов якоря  $Z_2$ , шт, определяется по формуле (2.14)

$$z_2 = (3 \div 4) \cdot D_{H2}, \quad (2.14)$$

$$z_2 = (3 \div 5) \cdot 2,35 = 7 \div 12 \text{шт}$$

Принимаем  $Z_2=13$  пазов.

Число коллекторных пластин  $K$ , шт, определяется по формуле (2.15)

$$K = (1...3) \cdot z_2, \quad (2.15)$$

$$K = 2 \cdot 13 = 26 \text{шт}$$

Число витков в секции обмотки якоря  $\omega'_{c2}$  определяется по формуле (2.16)

$$\omega'_{c2} = \frac{N}{2 \cdot K}, \quad (2.16)$$

$$\omega'_{c2} = \frac{1152}{2 \cdot 26} = 22$$

Окончательно принимаем  $N_2=1152$ .

Число проводников в пазе якоря  $N_{n2}$ , шт, определяется по формуле (2.17)

$$N_{n2} = \frac{N_2}{z_2}, \quad (2.17)$$

$$N_{n2} = \frac{1152}{13} = 88 \text{шт}$$

Шаги обмотки якоря по секциям и коллектору  $y_1$ , шт, для простой петлевой обмотки определяется по формуле (2.18)

$$y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} \pm \varepsilon, \quad (2.18)$$

$$y_1 = \frac{26}{2} \pm 0 = 13$$

Шаги обмотки якоря по секциям и коллектору  $y_2$ , шт, для простой петлевой обмотки определяется по формуле (2.19)

$$y_2 = y_1 - 1, \quad (2.19)$$

$$y_2 = y_1 - 1 = 13 - 1 = 12; \quad y = 1; \quad y_K = 1$$

Окончательная величина линейной нагрузки якоря  $A_{2H}$ , А/см, определяется по формуле (2.20)

$$A_{2H} = \frac{N_2 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot D_{H2}}, \quad (2.20)$$

$$A_{2H} = \frac{1152 \cdot 1,38}{2 \cdot \pi \cdot 2,35} = 77 \text{ A/см.}$$

Отличается от предварительно принятой на 2,6%, что меньше допустимых 5%.

Размеры зубцов, пазов и проводов обмотки якоря

Предварительный выбор плотности тока в обмотке якоря.

Удельная тепловая нагрузка якоря при продолжительном режиме работы двигателя  $q$ , Вт/см<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.21)

$$q = \alpha' \cdot \Delta \vartheta_m \cdot (1 + 0.1 \cdot v) / f(t_p / T_p), \quad (2.21)$$

$$q = 0.0016 \cdot 65 \cdot (1 + 0.1 \cdot 2.98) / 1 = 0.37 \text{ Вт/см}^2$$

Проверим превышение плотности тока над предельным значением  $j_2'$ , А/мм<sup>2</sup>, по формуле (2.22)

$$j_2' = \frac{1700 \cdot q}{A_2} = \frac{1700 \cdot 0,37}{77} = 8,35 \text{ А/мм}^2 \quad (2.22)$$

Предварительно рассчитанная плотность не превышает предельное значение.

Сечение провода обмотки якоря  $q_2'$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.23)

$$q_2' = \frac{I_2}{2 \cdot j_2'}, \quad (2.23)$$

$$q_2' = \frac{1,38}{2 \cdot 8,35} = 0.0826 \text{ мм}^2$$

По ГОСТ 6324-52 окончательно принимаем:

$$q_2 = 0.0855 \text{ мм}^2; \quad d_2 / d_{2И} = 0,33 / 0,38 \text{ мм.}$$

Марка провода ПЭТВ-2.

Окончательная плотность тока в обмотке якоря  $j_2$ , А/мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.24)

$$j_2 = \frac{I_2}{2 \cdot q_2}, \quad (2.24)$$

$$j_2 = \frac{1,38}{2 \cdot 0,0855} = 8,07 \text{ А/мм}^2$$

Площадь сечения паза якоря:

а) площадь паза якоря, занимаемая изолированными проводниками  $Q_{п.п}$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.25)

$$Q_{п.п} = \frac{N_{n2} \cdot d'_{2И}}{f_0}, \quad (2.25)$$

где  $f_0=0,74$  – технологический коэффициент, учитывающий неточности и неплотности укладки проводников в пазы.

$$Q_{п.п} = \frac{88 \cdot 0,38^2}{0,74} = 17,17 \text{ мм}^2,$$

б) площадь паза, занимаемая пазовой изоляцией,  $Q_{п.и}$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.26)

$$Q_{п.и} = \delta_{И} \cdot \Pi, \quad (2.26)$$

где  $\Pi = 0,62 \cdot D_{H2} = 0,62 \cdot 23,5 = 14,57 \text{ мм}$

$$Q_{п.и} = 0,25 \cdot 14,57 \approx 3,64 \text{ мм}^2$$

Толщина пазовой  $\delta_{И}=0,25$  мм изоляции состоит из лакоткани ЛШС – 0,10 мм (ГОСТ 2214 – 60, приложение 2 [1]) и электрокартона ЭВ – 0,15 мм (ГОСТ 2824 – 60, приложение 3 [1]).

в) площадь паза, занимаемая клином,  $Q_{п.к}$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.27)

$$Q_{п.к} = b_{кл} \cdot h_{кл}, \quad (2.27)$$

где  $b_{кл}$ - ширина клина. Принимаем  $b_{кл} = 2 \text{ мм};$  .

$h_{кл}$ - высота клина. Принимаем  $h_{кл} = 0,8 \text{ мм}$

$$Q_{n.к} = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мм}^2$$

г) общая требуемая площадь сечения паза якоря,  $Q_n$ ,  $\text{мм}^2$ , определяется по формуле (2.28)

$$Q_n = Q_{n.n} + Q_{n.И} + Q_{n.к}, \quad (2.28)$$

$$Q_n = 17,17 + 3,64 + 1,6 = 22,41 \text{ мм}^2$$

Коэффициент заполнения паза изолированным проводом  $k_{п.и}$  определяется по формуле (2.29)

$$k_{п.и} = \frac{N_{n2} \cdot q}{2H \cdot Q_{п}}, \quad (2.29)$$

$$k_{п.и} = \frac{88 \cdot (3,14 \cdot 0,38^2 / 4)}{22,41} = 0,44.$$

Полученное значение находится в пределах допустимых 0,3-0,48.

Размеры паза и зубцов якоря.

Максимальная индукция в минимальном сечении зубца  $B_{з2\text{макс}}$ , Тл, определяется по формуле (2.30)

$$B_{з2\text{макс}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{0,93 \cdot b''_{з2}}, \quad (2.30)$$

где  $t_2$ - зубцовый шаг якоря, определяется по формуле (2.31)

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_{H2}}{z_2}, \quad (2.31)$$

$$B_{з2\text{макс}} = \frac{0,33 \cdot 2,35}{0,93 \cdot 1,0} = 0,8 \text{ Тл}$$

$$t_2 = \frac{\pi \cdot 2,35}{13} = 5,78 \text{ мм.}$$

Окончательные размеры паза:

$$h_{n2} = 6,8 \text{ мм}; \quad b'_{n2} = 4,0 \text{ мм}; \quad b''_{n2} = 1,5 \text{ мм}$$

Ширина прорези паза  $a_n$ , мм, определяется по формуле (2.32)

$$a_n = (2 \dots 8) \cdot d_{2и}, \quad (2.32)$$



$$a_n = 4 \cdot 0,38 = 1,52 \text{ мм}$$

Окончательные размеры зубца:  $b'_{32} = 1,2 \text{ мм}$ ;  $b''_{32} = 1,0 \text{ мм}$

Средняя длина одного проводника обмотки якоря  $l_{cp.2}$ , см, определяется по формуле (2.33)

$$l_{cp.2} = l_0 + 1,2 \cdot D_{H2}, \quad (2.33)$$

$$l_{cp.2} = 32 + 1,2 \cdot 23,5 = 6,02 \text{ см}$$

Сопротивление обмотки якоря в нагретом состоянии при  $75^\circ\text{C}$   $r_2$ , Ом, определяется по формуле (2.34)

$$r_2 = \kappa_\theta \frac{N_2 \cdot l_{cp.2}}{5700 \cdot 4 \cdot q_2}, \quad (2.34)$$

$$r_2 = 1,36 \frac{1152 \cdot 0,0602}{5700 \cdot 4 \cdot 0,0855 \cdot 10^{-2}} = 0,3557 \text{ Ом}$$

Падение напряжения в обмотке якоря  $\Delta U_2$ , В, определяется по формуле (2.35)

$$\Delta U_2 = I_2 \cdot r_2, \quad (2.35)$$

$$\Delta U_2 = 1,38 \cdot 0,3557 = 0,49 \text{ В}$$

Это составляет  $(0,49/24)100 = 2,04 \%$  от номинального напряжения, что соответствует допустимым 20% для коллекторных машин малой мощности.

Коллектор и щетки

Предварительная величина диаметра коллектора  $D'_K$ , мм, определяется по формуле (2.36)

$$D'_K = (0,5 \dots 0,9) \cdot D_{H2}, \quad (2.36)$$

$$D'_K = 0,85 \cdot 23,5 = 20,0 \text{ мм}$$

Предварительная величина коллекторного деления  $t'_k$ , мм, определяется по формуле (2.37)

$$t'_k = \frac{\pi \cdot D'_k}{K}, \quad (2.37)$$

$$t_k' = \frac{\pi \cdot 20,0}{26} = 2,41 \text{ мм}$$

Ширина коллекторной пластины  $\beta_K$  для коллекторных машин малой мощности составляет 2...5 мм. Толщина пластмассовой изоляции между коллекторными пластинами  $\beta_{II}$  для напряжения до 30В составляет 0,4...0,6 мм. Принимаем  $\beta_K=2,0$  мм;  $\beta_{II}=0,5$  мм.

Определяем окончательное коллекторное деление  $t_k$ , мм, определяется по формуле (2.38)

$$t_k = \beta_k + \beta_{II}, \quad (2.38)$$

$$t_k = 2,0 + 0,5 = 2,5 \text{ мм}$$

Окончательный диаметр коллектора  $D_k$ , мм, определяется по формуле (2.39)

$$D_k = \frac{K \cdot t_k}{\pi}, \quad (2.39)$$

$$D_k = \frac{26 \cdot 2,5}{\pi} = 20,7 \text{ мм}$$

Окончательная окружная скорость коллектора  $v_k$ , мм, определяется по формуле (2.40)

$$v_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n \cdot 10^{-2}}{60}, \quad (2.40)$$

$$v_k = \frac{\pi \cdot 20,7 \cdot 3000 \cdot 10^{-2}}{60} = 3,24 \text{ м/с}$$

Окружная скорость коллектора составляет  $(3,24/3,68)=0,88$  от величины окружной скорости якоря, что допустимо.

Сорт щеток и плотность тока под щетками.

Принимаем сорт щеток марки МГ, данные этих щеток:

$$j_{щ}' = 20 \text{ А/см}^2; \Delta U_{щ} = 0,2 \pm 0,1 \text{ В}; \mu = 0,20; \rho_{щ} = (1,96...2,35) \text{ Н/см}^2$$

Площадь сечения щетки  $S_{щ}'$ , см<sup>2</sup>, и ее размеры: ширина  $b_{щ}$ , мм, длина  $a_{щ}$ , мм, высота  $h_{щ}$ , мм, определяются по формулам (2.41...2.45)

$$S_{щ}' = \frac{I_2}{p \cdot j_{щ}'}, \quad (2.41)$$

$$b_{щ} = (1...3)\beta_k, \quad (2.42)$$

$$a_{щ} = S_{щ} / b_{щ}, \quad (2.43)$$

$$h_{щ} = (1,5...2,0) \cdot a_{щ}, \quad (2.44)$$

$$S_{щ} = a_{щ} \cdot b_{щ}, \quad (2.45)$$

$$S'_{щ} = \frac{1,38}{1 \cdot 20} = 0,069 \text{ см}^2,$$

$$b_{щ} = 2 \cdot 2,0 = 4 \text{ мм},$$

$$a_{щ} = 0,069 / 0,4 = 1,7 \text{ мм},$$

$$h_{щ} = 2,0 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ см},$$

$$S_{щ} = 1,7 \cdot 4 = 6,7 \text{ мм}^2.$$

Окончательно принимаем в соответствии с ГОСТ 12232-71  $b_{щ}=4,0$  мм;  
 $a_{щ}=6,3$  мм;  $h_{щ}=12,5$  мм;  $s_{щ}=25,2$  мм<sup>2</sup>.

Окончательная плотность тока под щетками  $j_{щ}$ , А/мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.46)

$$j_{щ} = \frac{I_2}{p \cdot S_{щ}}, \quad (2.46)$$

$$j_{щ} = \frac{1,38}{1 \cdot 25,2} = 0,054 \text{ А/мм}^2$$

Данное значение значительно меньше допустимого для данной марки щёток.

Длина коллектора  $l'_k$ , мм, определяется по формуле (2.47)

$$l'_k = (1,5...2,0) \cdot a_{щ}, \quad (2.47)$$

$$l'_k = 2,0 \cdot 6,3 = 12,6 \text{ мм}$$

Ширина коммутационной зоны

$$u_k = K / Z_2 = 26 / 13 = 2 \quad (2.48)$$

Окончательно определяем размеры щёток и коллекторное деление по формулам (2.49...2.51)

$$b_k = b'_{щ} + (u_k + (\frac{K}{2p} - y_1) - \frac{a}{p}) \cdot t'_k, \quad (2.49)$$

$$b'_{ц} = b_{ц} \cdot \frac{D_{n2}}{D_k}, \quad (2.50)$$

$$t'_k = t_k \cdot \frac{D_{n2}}{D_k}, \quad (2.51)$$

$$b_k = 4,7 + (2 + (\frac{26}{2} - 13) - \frac{1}{1}) \cdot 2,93 = 7,63 \text{ мм},$$

$$b'_{ц} = 4,0 \cdot \frac{23,5}{20,0} = 4,7 \text{ мм},$$

$$t'_k = 2,5 \cdot \frac{23,5}{20,0} = 2,93 \text{ мм}$$

Полная длина коллектора по оси вала  $l_k$ , мм, определяется по формуле (2.52)

$$l_k = l'_k + (3 \dots 5) \cdot d_2, \quad (2.52)$$

$$l_k = 12,6 + 4 \cdot 0,33 = 13,92 \text{ мм}$$

Принимаем  $l_k$  равной 14 мм.

Удельная магнитная проводимость для полей рассеяния обмотки якоря для трапецеидального паза  $\lambda_2$ , Вб/(А·см), определяется по формуле (2.53)

$$\lambda_2 = [0,6 \cdot \frac{2 \cdot h_{n2}}{b'_{n2} + b_{n2}} + \frac{1,2 \cdot D_{n2}}{l_0} + 0,92 \cdot \log(\frac{\pi \cdot t_2}{a_n})] \cdot 10^{-8}, \quad (2.53)$$

$$\lambda_2 = [0,6 \cdot \frac{2 \cdot 6,8}{4,0 + 1,5} + \frac{1,2 \cdot 2,35}{3,2} + 0,92 \cdot \log(\frac{\pi \cdot 0,578}{0,355})] \cdot 10^{-8} = 3,82 \cdot 10^{-8} \text{ Вб}/(\text{А} \cdot \text{см})$$

Среднее значение реактивной ЭДС в коммутирующей секции якоря  $e_p$ , В, определяется по формуле (2.54)

$$e_p = 2 \cdot \omega'_{c2} \cdot \lambda_2 \cdot A_2 \cdot l_0 \cdot v_2 \cdot 10^2, \text{ В} \quad (2.54)$$

$$e_p = 2 \cdot 22 \cdot 3,82 \cdot 10^{-8} \cdot 77 \cdot 3,2 \cdot 3,68 \cdot 10^2 = 0,152 \text{ В}$$

ЭДС от поля якоря в коммутирующей секции якоря  $e_a$ , В, определяется по формуле (2.55)

$$e_a = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot \omega'_{c2} \cdot A_2 \cdot \tau_2 \cdot l_0 \cdot v_2 \cdot 10^{-6}}{\delta_0}, \quad (2.55)$$

где  $\delta_0$ - ширина коммутирующей секции, определяемая по формуле (2.56)

$$\delta_0 = \frac{\tau_2 - b_0}{2}, \quad (2.56)$$

$$\delta_0 = \frac{3,68 - 2,39}{2} = 0,645 \text{ см}$$

$$e_a = \frac{0,4 \cdot 3,14 \cdot 22 \cdot 77 \cdot 3,68 \cdot 3,2 \cdot 3,68 \cdot 10^{-6}}{0,645} = 0,142 \text{ В}$$

Результирующая ЭДС в короткозамкнутой секции якоря  $e$ , В, определяется по формуле (2.57)

$$e = e_p + e_a, \quad (2.57)$$

$$e = 0,152 + 0,142 = 0,294 \text{ В}$$

Полученное значение  $e$  вполне допустимо для низковольтных коллекторных машин, так как  $e < 0,5$  В.

Расчет магнитной системы

Принимаем конструкцию магнитной системы проектируемого электродвигателя постоянного тока в виде сплошной стальной станины с цельными отъемными полюсами (постоянными магнитами).

Длина воздушного зазора под полюсом для электродвигателей кратковременного режима работы  $\delta$ , см, определяется по формуле (2.58)

$$\delta = 0,5 \cdot \frac{\tau_2 \cdot A_2}{B_\delta} \cdot 10^{-4}, \quad (2.58)$$

$$\delta = 0,25 \cdot \frac{3,68 \cdot 77}{0,33} \cdot 10^{-4} = 0,0214 \text{ см}$$

Принимаем  $\delta = 0,25$  мм.

Высота сердечника якоря  $h_{c2}$ , мм, определяется по формуле (2.59)

$$h_{c2} = \frac{D_{H2} - (2 \cdot h_{n2} + d_{вЛ})}{2}, \quad (2.59)$$

где  $d_{вЛ}$  - диаметр вала, определяемый по формуле (2.60)

$$d_{вЛ} = (0,18 \dots 0,24) D_{H2}, \quad (2.60)$$

$$d_{вЛ} = 0,24 \cdot 23,5 = 5,64 \text{ мм},$$

$$h_{c2} = \frac{23,5 - (2 \cdot 6,8 + 5,64)}{2} = 2,13 \text{ мм}$$

Проверка индукции в сердечнике якоря.

Индукция в сердечнике якоря  $B_{c2}$ , Тл, определяется по формуле (2.61)

$$B_{c2} = \frac{\Phi_{\delta} \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot l_0 \cdot h_{c2}}, \quad (2.61)$$

$$B_{c2} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot 32 \cdot 2,13} = 0,19 \text{ Тл}$$

Это допустимо, т.к. меньше допустимой максимальной индукции в сердечнике якоря, равной  $B_{C2}=1,3 \dots 1,5$  Тл.

Размеры полюса.

В соответствии с ранее рассчитанными величинами принимаем:

- осевая длина  $l_{II} = l_O = 3,2$  см.
- высота  $h_{II} = (0,25 \dots 0,4) \cdot D_{H2} = 0,3 \cdot 2,35 = 0,705$  см
- индукции  $B_C = B_{II} = 1,5$  Тл;  $\sigma = 1,1$ ;  $K_2 = 1,0$ .

Поперечное сечение сердечника полюса  $Q_{II}$ ,  $\text{см}^2$ , определяется по формуле (2.62)

$$Q_{II} = \frac{\Phi_{\delta} \cdot \sigma \cdot 10^4}{B_n}, \quad (2.62)$$

$$Q_{II} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^4}{1,3} = 2,11 \text{ см}^2$$

Полюса выполняются постоянными магнитами марки 28СА250 (ГОСТ 17.809): магнитотвердый феррит, стронциевый, анизотропный, с магнитной энергией  $28 \text{ кДж/м}^3$ , коэрцитивная сила  $250 \text{ кА/м}$ .

Размер станины

Поперечное сечение станины  $Q_{c1}$ ,  $\text{см}^2$ , определяется по формуле (2.63)

$$Q_{c1} = \frac{\Phi_{\delta} \cdot \sigma \cdot 10^4}{B_{c1}}, \quad (2.63)$$

$$Q_{c1} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^4}{1,5} = 2,11 \text{ см}^2$$

В соответствии с рекомендованными соотношениями размеров микромашин постоянного тока принимаем длину корпуса (осевую длину станины)  $96 \text{ мм}$ , толщину корпуса  $1,2 \text{ мм}$ .

Принимаем материал – корпусная сталь 20 (ГОСТ 1050-88).

Эскиз магнитной системы двигателя представлен на рисунке 2.1.

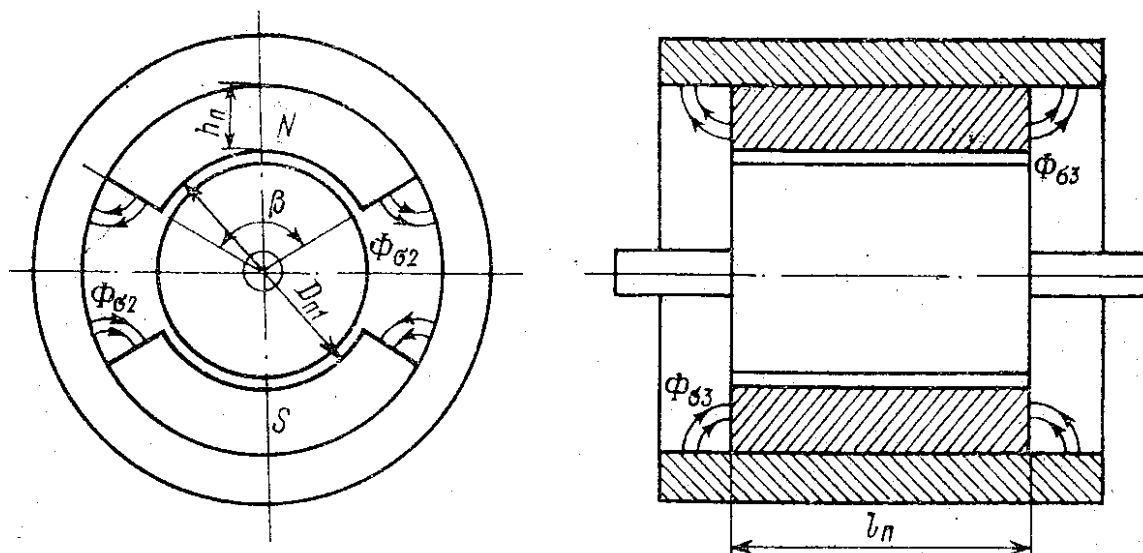


Рисунок 2.1- Эскиз магнитной системы двигателя

Магниты расположены радиально, картина распределения магнитных полей рассеяния содержит потоки рассеяния между боковыми  $\Phi_{\sigma 2}$  и торцевыми  $\Phi_{\sigma 3}$  сторонами магнитов и внутренней поверхностью станины.

Средняя магнитная проводимость для полей рассеяния  $\Phi_{\sigma 2}$  между боковой стороной магнита и станиной  $\Lambda_{\sigma 2}$ , Вб/А определяется по формуле (2.64)

$$\Lambda_{\sigma 2} = \mu_0 \frac{4}{\pi} l_{\Pi}, \quad (2.64)$$

где  $l_{\Pi}$  – длина магнита по оси вала машины, принимаем  $l_{\Pi} = 3,2$  см.

$$\Lambda_{\sigma 2} = 0,4\pi \cdot 10^{-8} \frac{4}{\pi} 3,2 = 5,12 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} / \text{А}$$

Средняя магнитная проводимость для полей рассеяния  $\Phi_{\sigma 3}$  между торцевой стороной магнита и станиной  $\Lambda_{\sigma 3}$ , Вб/А, определяется по формуле (2.65)

$$\Lambda_{\sigma 3} = \mu_0 \frac{2}{\pi} \beta (D_{\Pi} + h_{\Pi}), \quad (2.65)$$

где  $D_{II}$  – осевое расстояние между диаметрально противоположными магнитами, принимаем  $D_{II}=3,23$  см.;

$h_{II}$  – высота магнита,  $h_{II}=0,705$  см.;

$\beta$  – центральный угол радиального магнита,  $\beta= 120^\circ=2,09$  рад.

$$\Lambda_{\sigma_3} = 0,4\pi \cdot 10^{-8} \frac{2}{\pi} 2,09(3,23 + 0,705) = 6,571 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} / \text{А}$$

Полная магнитная проводимость всех воздушных путей замыкания полей рассеяния магнитов в системе на пару полюсов  $\Lambda_\sigma$ , Вб/А, определяется по формуле (2.66)

$$\Lambda_\sigma = 0,5(\Lambda_{\sigma_2} + \Lambda_{\sigma_3}), \quad (2.66)$$

$$\Lambda_\sigma = 0,5(5,12 \cdot 10^{-8} + 6,571 \cdot 10^{-8}) = 5,84 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} / \text{А}$$

Магнитная проводимость воздушного зазора машины на пару полюсов при наличии якоря в магнитной системе и с учётом насыщения последнего  $\Lambda_\delta$ , Вб/А, определяется по формуле (2.67)

$$\Lambda_\delta = \mu_0 \frac{\alpha\pi}{4p} \cdot \frac{D_{II} I_{II}}{\kappa_H \kappa_\delta \delta}, \quad (2.67)$$

где  $\alpha$  – коэффициент полюсного перекрытия, принимаем  $\alpha=0,65$ ;

$\kappa_H$  – коэффициент насыщения магнитной системы машины, принимаем  $\kappa_H=0,25$ ;

$\kappa_\delta$  – коэффициент воздушного зазора, определяемый по формуле (2.68)

$$k_\delta = \frac{t_2 + 10 \cdot \delta}{b'_{32} + 10 \cdot \delta}, \quad (2.68)$$

$$k_\delta = \frac{5,78 + 10 \cdot 0,25}{1,2 + 10 \cdot 0,25} = 0,77,$$

$$\Lambda_\delta = 0,4\pi \cdot 10^{-8} \frac{0,65\pi}{4 \cdot 1} \cdot \frac{2,4 \cdot 3,2}{0,25 \cdot 0,77 \cdot 0,25} = 3,37 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} / \text{А}$$

Полная магнитная проводимость воздушных путей на пару полюсов для всего поля магнитов как в рабочем воздушном зазоре машины, так и вне его  $\Lambda$ , Вб/А, определяется по формуле (2.69)

$$\Lambda = \Lambda_\delta + \Lambda_\sigma, \quad (2.69)$$



$$\Lambda = (3,37 + 5,84)10^{-8} = 9,21 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} / \text{А}.$$

Критерием правильности выбора соотношений между основными размерами магнитной системы машины служит величина магнитной энергии в воздушном зазоре.

Угол наклона прямой полной проводимости системы  $\Lambda$  к оси абсцисс  $tg\alpha$  определяется по формуле (2.70)

$$tg\alpha = \frac{Hc}{Br} \cdot \frac{2h_{II}}{Q_M} \cdot \Lambda \cdot 10^4, \quad (2.70)$$

$$tg\alpha = \frac{250}{0,39} \cdot \frac{2 \cdot 0,705}{7,48} \cdot 9,21 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4 = 0,322,$$

$$\alpha = 17^\circ$$

Угол наклона прямой полной проводимости системы  $\Lambda_\delta$  к оси абсцисс  $tg\alpha_\sigma$  определяется по формуле (2.71)

$$tg\alpha_\sigma = \frac{Hc}{Br} \cdot \frac{2h_{II}}{Q_M} \cdot \Lambda_\sigma \cdot 10^4, \quad (2.71)$$

$$tg\alpha_\sigma = \frac{250}{0,39} \cdot \frac{2 \cdot 0,705}{7,48} \cdot 5,84 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4 = 0,173,$$

$$\alpha = 9,8^\circ$$

Величина полезного магнитного поля магнитов в воздушном зазоре  $\Phi_\delta$ , Вб, определяется по формуле (2.72)

$$\Phi_\delta = B_M \cdot Q_M \cdot \frac{\Lambda_\delta}{\Lambda} \cdot 10^{-4}, \quad (2.72)$$

$$\Phi_\delta = 0,11 \cdot 7,48 \cdot \frac{3,37 \cdot 10^{-8}}{9,21 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^{-4} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Здесь  $B_M=0,11$  Тл – индукция в точке Е на рисунке 2.2.

2.6.15 МДС для зубцов якоря

Индукция в зубце  $B_{з2\text{макс}}$ , Тл, определяется по формуле (2.73)

$$B_{з2\text{макс}} = \frac{B_\delta \cdot t_2}{0,93 \cdot b_{з2}}, \quad (2.73)$$

$$B_{з2\text{макс}} = \frac{0,5 \cdot 0,69}{0,93 \cdot 3,8} = 0,09 \text{ Тл}$$

По кривой намагничивания для стали марки 20  $H_{з2} = 0,82$  А/см.

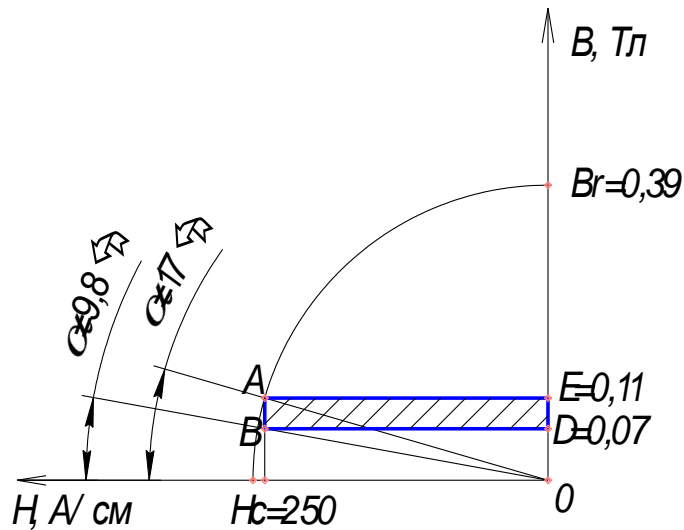


Рисунок 2.2- Проверка правильности выбора соотношений между основными размерами магнитной системы машины

МДС для сердечника якоря.

Индукция в сердечнике якоря  $B_{c2}$ , Тл, определяется по формуле (2.74)

$$B_{c2} = \frac{\Phi_{\delta} \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot l_0 \cdot h_{c2}}, \quad (2.74)$$

$$B_{c2} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot 3,2 \cdot 2,13} = 0,67 \text{ Тл}$$

По кривой намагничивания для стали марки 20  $H_{c2} = 1,07 \text{ А/см}$ .

МДС для станины

Индукция в станине  $B_{c1}$ , Тл, определяется по формуле (2.75)

$$B_{c1} = \frac{\Phi_{\delta} \cdot \sigma \cdot 10^4}{2 \cdot k_2 \cdot h_{c1} \cdot l_1}, \quad (2.75)$$

$$B_{c1} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^4}{2 \cdot 1 \cdot 0,19 \cdot 3,2} = 0,85 \text{ Тл}$$

По кривой намагничивания для стали марки 20  $H_{c1} = 1,22 \text{ А/см}$ .

МДС возбуждения машины на пару полюсов при холостом ходе, которую должны обеспечить постоянные магниты  $F_{\Pi}$ , А, определяется по формуле (2.76)

$$F_{\Pi} = H_{c1} L_{c1} + 1,6 B_{\delta} \delta' \cdot 10^4 + H_{c2} L_{c2} + H_{c2} L_{c2}, \quad (2.76)$$

где  $L_{c1}$ - средняя длина пути магнитного поля через станину, равный длине станины  $L_{c1}=9,6$  см;

$L_{c2}$ - средняя длина пути магнитного поля через зубец якоря,  
 $L_{c2}=2 \cdot h_{c2}=2 \cdot 1,1=2,2$  мм;

$L_{c2}$ - средняя длина пути магнитного поля через сердечник,  
 $L_{c2}=\pi(D_{H2}-2h_{П2}-h_{c2})/(2p)=\pi(2,35-2 \cdot 0,68-0,213)/2=1,21$  см;

$\delta' = k_{\delta} \cdot \delta = 0,77 \cdot 0,25 = 0,192$  мм. – расчётная длина одностороннего воздушного зазора между полюсами и якорем.

$$F_{II} = 1,22 \cdot 9,6 + 1,6 \cdot 0,33 \cdot 0,192 \cdot 10^3 + 0,82 \cdot 2,2 + 1,07 \cdot 1,21 = 116,18A$$

Коэффициент насыщения магнитной системы машины  $K_H$  определяется по формуле (2.77)

$$K_H = \frac{F_{II}}{1,6 \cdot B_{\delta} \cdot \delta' \cdot 10^4}, \quad (2.77)$$

$$K_H = \frac{116,18}{1,6 \cdot 0,33 \cdot 0,192 \cdot 10^4} = 0,114.$$

МДС, действующая между двумя полюсами магнитов системы  $F_M$ , А, определяется по формуле (2.78)

$$F_M = 1,6 B_{\delta} k_H k_{\delta} \delta \cdot 10^4, \quad (2.78)$$

$$F_M = 1,6 \cdot 0,33 \cdot 0,114 \cdot 0,77 \cdot 0,25 \cdot 10^4 = 115,86A$$

Характеристика холостого хода двигателя  $E=f(F_M)$ , представлена на рисунке 2.3.

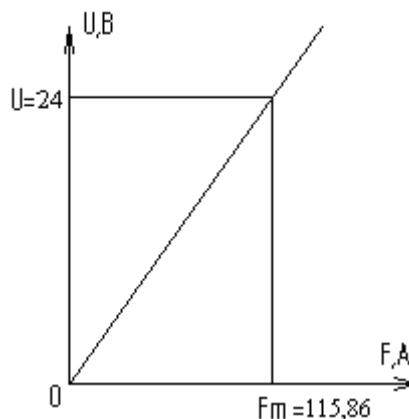


Рисунок 2.3- Характеристика холостого хода

МДС якоря

Поперечная МДС якоря примерно равняется МДС, действующей между двумя полюсами магнитов системы  $F_q=115,86$  А. Продольная МДС якоря  $F_\beta$ , А, определяется по формуле (2.79)

$$F_\beta = 2 \cdot b_\beta \cdot A_2, \quad (2.79)$$

$$F_\beta = 2 \cdot 0,025 \cdot 75 = 3,75 \text{ А.}$$

Коммутационная МДС якоря  $F_k$ , А, определяется по формуле (2.80)

$$F_k = b_k \cdot A_{2H} \cdot \frac{i_2^2 \cdot \omega}{a_0 + b_0 \cdot i_2 + \omega \cdot i_2} \cdot \left(1 + \frac{0,2 \cdot \pi \cdot \tau_2 \cdot 10^{-8}}{\lambda_2 \cdot \delta_0}\right), \quad (2.80)$$

$$F_k = 7,63 \cdot 77 \cdot \frac{1^2 \cdot 1}{6,77 + 0,5 \cdot 1 + 1 \cdot 1} \cdot \left(1 + \frac{0,2 \cdot \pi \cdot 6,9 \cdot 10^{-8}}{3,82 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4}\right) = 23,6 \text{ А}$$

Суммарная МДС якоря для двигателя  $F_R$ , А, определяется по формуле (2.81)

$$F_R = F_q - F_\beta - F_k, \quad (2.81)$$

$$F_R = 115,86 - 3,75 - 23,6 = 88,51 \text{ А}$$

Полная МДС возбуждения двигателя при нагрузке на пару полюсов  $F_B$ , А, определяется по формуле (2.82)

$$F_B = F_\delta + F_R, \quad (2.82)$$

$$F_B = 115,86 + 88,51 = 204,37 \text{ А.}$$

Потери и КПД двигателя

Потери в обмотке якоря  $P_{m2}$ , Вт, определяется по формуле (2.83)

$$P_{m2} = I_2^2 \cdot r_2, \quad (2.83)$$

$$P_{m2} = 1,38^2 \cdot 0,35 = 0,66 \text{ Вт}$$

Переходные потери в контактах щеток и коллектора  $P_{щ,к}$ , Вт, определяется по формуле (2.84)

$$P_{щ,к} = I_2 \cdot \Delta U_{щ}, \quad (2.84)$$

$$P_{ц.к} = 1,38 \cdot 0,2 = 0,27 \text{ Вт}$$

Магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в стали якоря.

Масса стали сердечника якоря  $G_{c2}$ , кг, определяется по формуле (2.85)

$$G_{c2} = 5,5 \cdot (D_{H2} - 2 \cdot h_{n2})^2 \cdot l_0 \cdot 10^{-3}, \quad (2.85)$$

$$G_{c2} = 5,5 \cdot (2,35 - 2 \cdot 0,68)^2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} = 0,062 \text{ кг}$$

Масса стали зубцов якоря  $G_{32}$ , кг, определяется по формуле (2.86)

$$G_{32} = 7,8 \cdot z_2 \cdot b_{32}'' \cdot h_{n2} \cdot l_0 \cdot 10^{-3}, \quad (2.86)$$

$$G_{32} = 7,8 \cdot 13 \cdot 1,0 \cdot 0,68 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} = 0,22 \text{ кг}$$

Удельные потери в сердечнике  $P_{c2}$ , Вт/кг, определяется по формуле (2.87)

$$p_{c2} = 2 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{f_2}{100}\right) + 2,5 \cdot \rho \cdot \left(\frac{f_2}{100}\right)^2, \quad (2.87)$$

$$p_{c2} = 2 \cdot 4,1 \cdot \left(\frac{50}{100}\right) + 2,5 \cdot 5,1 \cdot \left(\frac{50}{100}\right)^2 = 7,28 \text{ Вт/кг}$$

Удельные потери в зубцах якоря  $P_{32}$ , Вт/кг, определяются по формуле (2.88)

$$p_{32} = 1,5 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{f_2}{100}\right) + 3 \cdot \rho \cdot \left(\frac{f_2}{100}\right)^2, \quad (2.88)$$

$$p_{32} = 1,5 \cdot 4,1 \cdot \left(\frac{50}{100}\right) + 3 \cdot 5,1 \cdot \left(\frac{50}{100}\right)^2 = 6,9 \text{ Вт/кг}$$

Потери в сердечнике якоря  $P_{c2}$ , Вт, определяются по формуле (2.89)

$$P_{c2} = p_{c2} \cdot B_{c2}^2 \cdot G_{c2}, \quad (2.89)$$

$$P_{c2} = 7,28 \cdot 0,19^2 \cdot 0,062 = 1,6 \text{ Вт}$$

Потери в зубцах якоря  $P_{32}$ , Вт, определяются по формуле (2.90)

$$P_{32} = p_{32} \cdot B_{32}^2 \cdot G_{32}, \quad (2.90)$$

$$P_{32} = 6,9 \cdot 0,8^2 \cdot 0,22 = 6,7 \text{ Вт}$$

Полные потери на гистерезис и вихревые токи в стали якоря  $\Sigma P_c$ , Вт, определяются по формуле (2.91)

$$\Sigma P_c = P_{c2} + P_{32} = 1,6 + 6,7 = 8,3 \text{ Вт} \quad (2.91)$$

Масса якоря  $G_a$ , кг, определяется по формуле (2.92)

$$G_a = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{H2}^2 \cdot l_0 + D_k^2 \cdot l_k) \cdot \gamma_a \cdot 10^{-3}, \quad (2.92)$$

$$G_a = \frac{\pi}{4} \cdot (2,35^2 \cdot 3,2 + 2,0^2 \cdot 1,4) \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} = 0,155 \text{ кг}$$

Средняя удельная масса якоря и коллектора  $\gamma_a = \gamma_k = 8,5 \text{ г/см}^3$ .

Механические потери в двигателе.

Механические потери в щётках  $P'_{т.щ}$ , Вт, определяется по формуле (2.93)

$$P_{м.щ} = \mu \cdot p_{щ} \cdot S'_{щ} \cdot v_k, \quad (2.93)$$

$$P_{м.щ} = 0,2 \cdot 2,0 \cdot 25,0 \cdot 2,13 \cdot 10^{-3} = 0,21 \text{ Вт}$$

Механические потери в подшипниках  $P_{т.п}$ , Вт, определяется по формуле (2.94)

$$P_{м.п} = k_m \cdot G_a \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (2.94)$$

где  $k_m = 1...3$  - опытный коэффициент.

$$P_{м.п} = 2 \cdot 0,155 \cdot 3000 \cdot 10^{-3} = 0,93 \text{ Вт}$$

Потери на трение якоря о воздух  $P_{т.в}$ , Вт, определяется по формуле (2.95)

$$P_{м.в} = 2 \cdot D_{H2}^3 \cdot n^3 \cdot l_0 \cdot 10^{-14}, \quad (2.95)$$

$$P_{м.в} = 2 \cdot 2,35^3 \cdot 3000^3 \cdot 3,2 \cdot 10^{-14} = 0,024 \text{ Вт}$$

Механические потери без вентиляции  $P_{т.в}$ , Вт, определяется по формуле (2.96)

$$P_{мх} = P_{м.щ} + P_{м.п} + P_{м.в}, \quad (2.96)$$

$$P_{мх} = 0,21 + 0,93 + 0,024 = 1,16 \text{ Вт}$$

Общие потери в двигателе  $\Sigma P$ , Вт, определяется по формуле (2.97)

$$\Sigma P = \zeta \cdot (P_{м2} + P_{щ,к} + \Sigma P_c + P_{мх}), \quad (2.97)$$

$$\Sigma P = 1,1 \cdot (0,66 + 0,27 + 8,3 + 1,16) = 11,42 \text{ Вт}$$

КПД при номинальной нагрузке двигателя  $\eta$ , %, определяется по формуле (2.98)

$$\eta = \frac{U \cdot I - \sum P}{U \cdot I} \cdot 100, \quad (2.98)$$

$$\eta = \frac{24 \cdot 1,38 - 11,42}{24 \cdot 1,38} \cdot 100 = 65,5\%$$

### Рабочие характеристики

Расчёт рабочих характеристик сведён в таблицу 2.1, построенные графики – на рисунке 2.4.

Таблица 2.1- Расчёт рабочих характеристик электродвигателя

Величины	Размерность	Значения тока якоря			
		$0,5 \cdot I$	$0,8 \cdot I$	$1,0 \cdot I$	$1,2 \cdot I$
$I_2$	А	0,69	1,1	1,38	1,65
$\Delta U_2 = I_2 \cdot r_2$	В	0,24	0,38	0,49	0,57
$\Delta U_{щ}$	В	0,2	0,2	0,2	0,2
$\Delta U_2 + \Delta U_{щ}$	В	0,44	0,58	0,69	0,77
$E = U - (\Delta U_2 + \Delta U_{щ})$	В	23,56	23,42	23,31	23,23
$\Phi_\delta$	Вб	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$0,25 \cdot 10^{-4}$
$n = \frac{60 \cdot a \cdot E}{p \cdot N_2 \cdot \Phi_\delta}$	мин <sup>-1</sup>	2908	2879	2856	2839
$P_{\text{м}2} = I_2^2 \cdot r_2$	Вт	0,16	0,42	0,66	0,95
$P_{\text{щ.к}} = I_2 \cdot \Delta U_{щ}$	Вт	0,13	0,22	0,27	0,33
$\sum P_c = P_{c2} + P_{\text{з}2}$	Вт	2,42	4,64	8,3	10,96
$P_{\text{м.щ}} = \mu \cdot p_{щ} \cdot S_{щ}' \cdot v_k$	Вт	0,11	0,16	0,21	0,25
$P_{\text{м.н}} = k_m \cdot G_a \cdot n \cdot 10^{-3}$	Вт	0,47	0,74	0,93	1,11
$P_{\text{м.с}} = 2 \cdot D_{\text{H}2}^3 \cdot n^3 \cdot l_0 \cdot 10^{-14}$	Вт	0,03	0,028	0,024	0,006
$P_{\text{мх}} = P_{\text{м.щ}} + P_{\text{м.н}} + P_{\text{м.с}}$	Вт	0,56	0,88	1,16	1,21

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6
$\sum P = \zeta \cdot (P_{м2} + P_{ц,к} + \sum P_c + P_{мх})$	Вт	3,26	7,76	11,42	14,79
$P_1 = U \cdot I_2$	Вт	16,56	23,4	33,12	39,6
$P_2 = P_1 - \sum P$	Вт	13,3	17,64	21,7	23,83
$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100$	%	55,4	62,1	65,5	65,0
$M = 955 \cdot P_2 / n$	Н·см	3,2	5,6	6,9	7,75

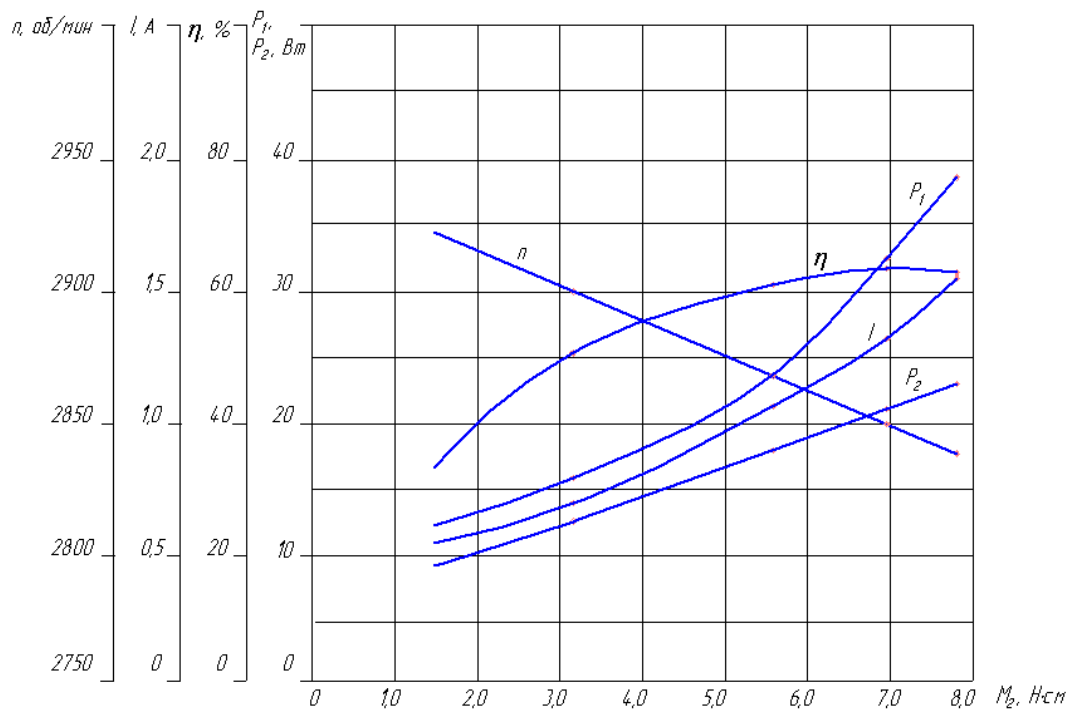


Рисунок 2.4- Рабочие характеристики электродвигателя

Тепловой расчет электродвигателя

Превышение температуры якоря двигателя.

Удельные потери в обмотке якоря, приходящиеся на один паз  $\omega_{м2}$ , Вт/см, определяется по формуле (2.99)

$$\omega_{м2} = \frac{I_2^2 \cdot r_2}{z_2 \cdot l_{cp2}}, \quad (2.99)$$



$$\omega_{м2} = \frac{1,38^2 \cdot 0,35}{13 \cdot 6,02} = 0,008 \text{ Вт/см}$$

Удельные потери в стали якоря, приходящиеся на один паз  $\omega_c$ , Вт/см, определяется по формуле (2.100)

$$\omega_c = \frac{\sum P_c}{z_2 \cdot l_0}, \quad (2.100)$$

$$\omega_c = \frac{0,987}{13 \cdot 3,2} = 0,023 \text{ Вт/см}$$

Результирующий коэффициент теплоотдачи наружной поверхности якоря  $\alpha_a$ , Вт/см<sup>2</sup>·град, определяется по формуле (2.101)

$$\alpha_a = \alpha' \cdot (1 + 0,1 \cdot \nu_2), \quad (2.101)$$

$$\alpha_a = 0,002 \cdot (1 + 0,1 \cdot 3,24) = 0,0026 \text{ Вт/(см}^2 \cdot \text{град)}$$

Полученный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности якоря  $\alpha_a=0,0026$  Вт/см<sup>2</sup>·град находится в допустимом пределе для коллекторных машин закрытого исполнения.

Коэффициент теплопроводности междувитковой изоляции проводов в пазу и пазовой изоляции принимаем равным  $\lambda'=0,0013$  Вт/см<sup>2</sup>·град.

Коэффициент, учитывающий диаметры проводов обмотки якоря  $k_c$ , см, определяется по формуле (2.102)

$$k_c = 1 + 4 \cdot \left( \frac{d_2}{d_{2И}} - 0,4 \right), \quad (2.102)$$

$$k_c = 1 + 4 \cdot \left( \frac{0,33}{0,38} - 0,4 \right) = 2,87$$

Эквивалентная междувитковая изоляция проводников в пазу  $\beta_2$ , см, определяется по формуле (2.103)

$$\beta_2 = \frac{m_a \cdot d_{2И}}{4 \cdot k_c}, \quad (2.103)$$

$$\beta_2 = \frac{5 \cdot 0,38}{4 \cdot 2,87} = 0,165 \text{ см}$$

Общая толщина изоляции от меди до стенки паза  $\beta$ , см, определяется по формуле (2.104)

$$\beta = \beta_1 + \beta_2, \quad (2.104)$$

$$\beta = 0,025 + 0,165 = 0,19 \text{ см}$$

Среднее превышение температуры обмотки якоря над окружающей средой  $\Delta t_a$ , °C, определяется по формуле (2.105)

$$\Delta t_a = \frac{(1 + \alpha_a \cdot b'_{32} \cdot \frac{\beta}{\lambda' \cdot \Pi}) \cdot \omega_{M2} + \omega_c}{\alpha_a \cdot b'_{32}}, \quad (2.105)$$

$$\Delta t_a = \frac{(1 + 0,0026 \cdot 1,2 \cdot \frac{0,19}{0,0013 \cdot 1,49}) \cdot 0,008 + 0,023}{0,0026 \cdot 1,2} = 10,72^\circ \text{C}$$

Данное значение допустимо.

Превышение температуры коллектора двигателя.

Полные потери на коллекторе  $P_k$ , Вт, определяется по формуле (2.106)

$$P_k = P_{щ.к} + P_{м.щ}, \quad (2.106)$$

$$P_k = 0,27 + 0,21 = 0,48 \text{ Вт}$$

Поверхность охлаждения коллектора  $S_k$ , см<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.107)

$$S_k = \pi \cdot D_k \cdot l_k^2, \quad (2.107)$$

$$S_k = \pi \cdot 2,07 \cdot 1,4^2 = 12,73 \text{ см}^2$$

Среднее превышение температуры коллектора над окружающей средой  $\Delta t_k$ , °C, определяется по формуле (2.108)

$$\Delta t_k = \frac{P_k}{\alpha_k \cdot (1 + 0,1 \cdot \nu_k) \cdot S_k}, \quad (2.108)$$

$$\Delta t_k = \frac{0,48}{0,006 \cdot (1 + 0,1 \cdot 3,24) \cdot 12,73} = 4,74^\circ \text{C}$$

Данное значение допустимо.

3 Схема управления приводом штокового типа

Схема электрических соединений электропривода системы дымоудаления представлена на рисунке 3.1, электрическая схема подключения электродвигателя привода фрамуги – на рисунке 3.2.

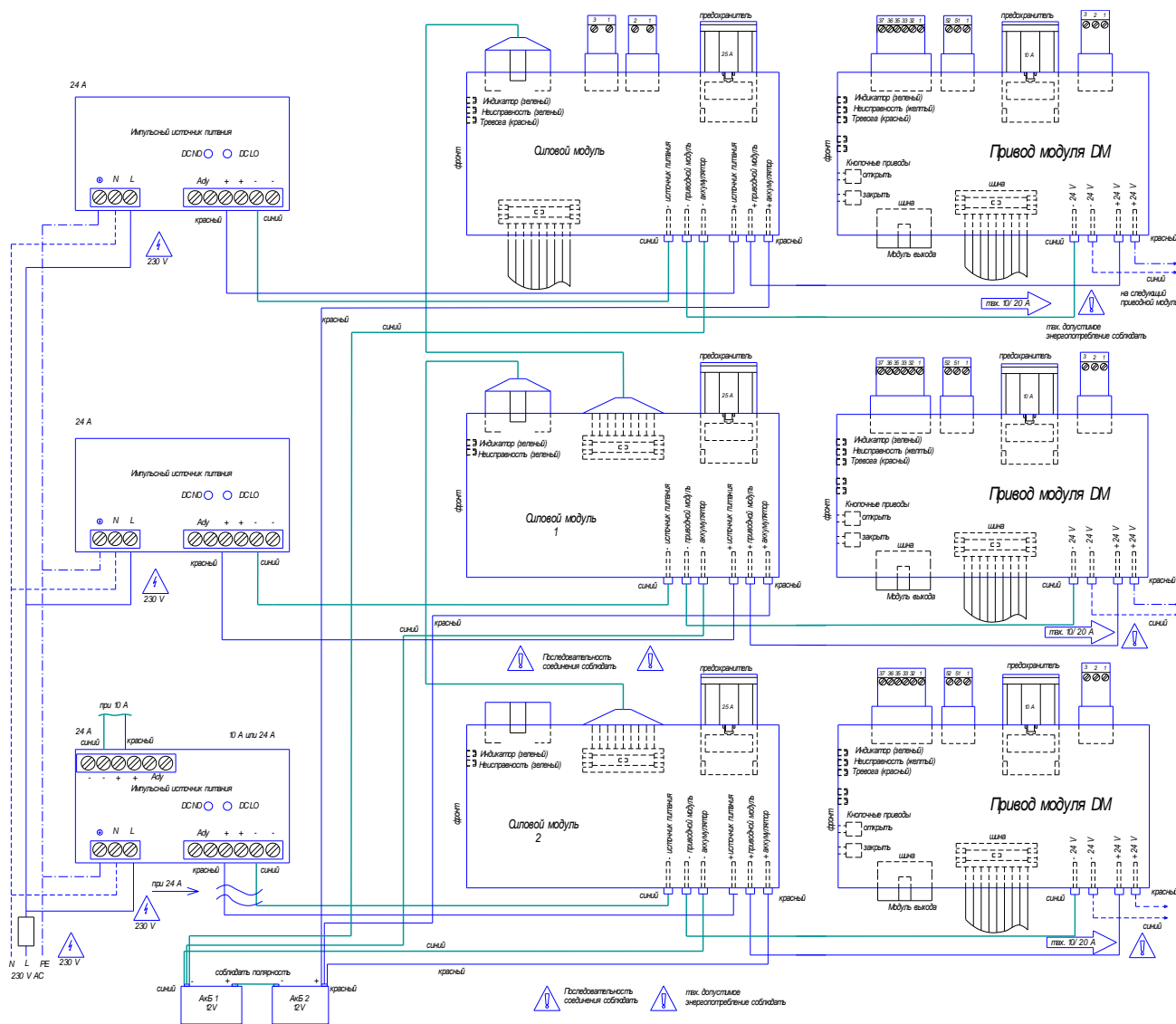


Рисунок 3.1- Схема электрических соединений электропривода системы дымоудаления

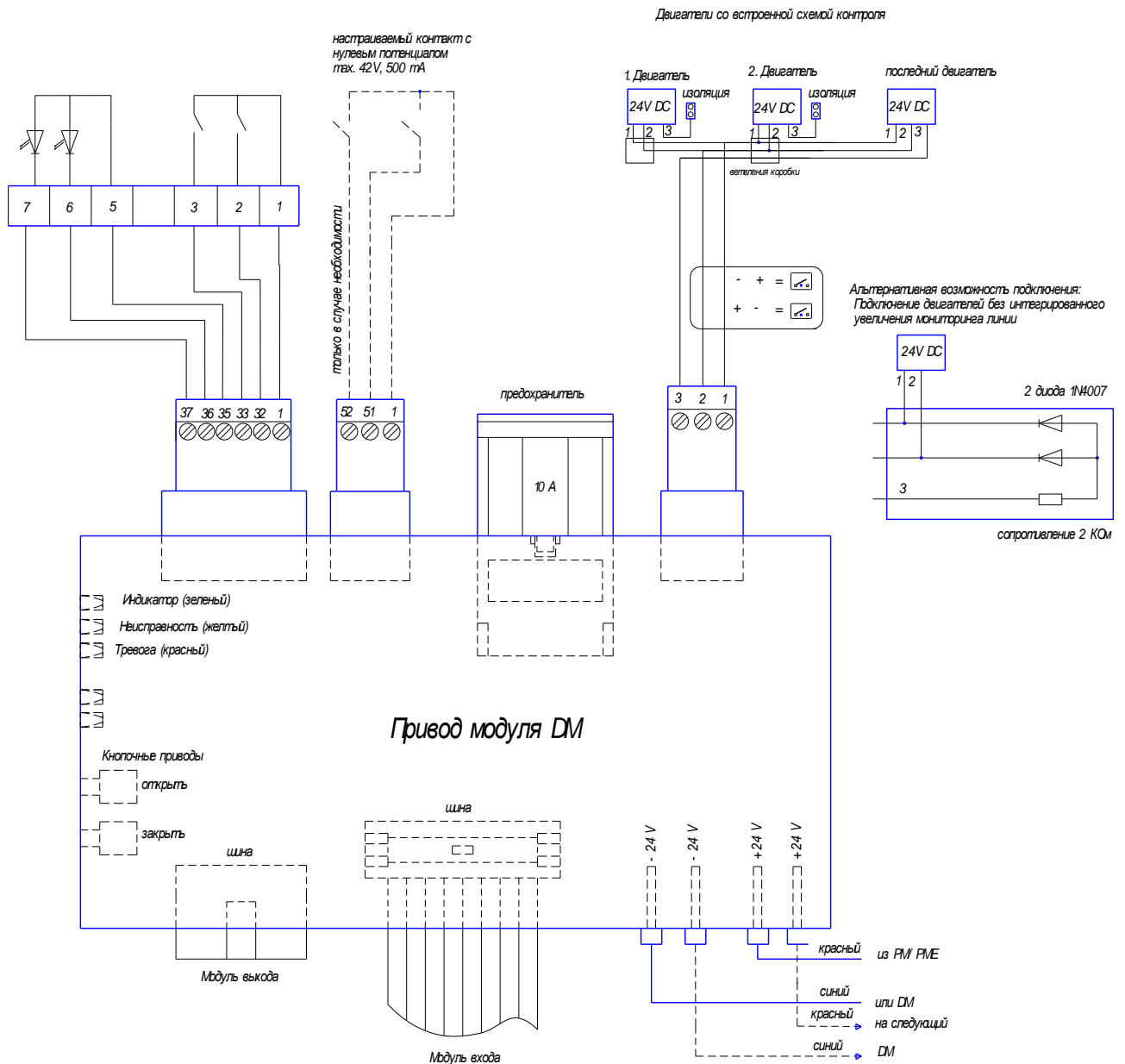


Рисунок 3.2- Электрическая схема подключения электродвигателя привода фрауги

Если необходимо подключить несколько штоковых приводов в параллельную работу, то это необходимо сделать с помощью блока синхронизации, обеспечивающего параллельную безопасную работу приводов (см. рисунок 3.3). Обязательно при первом пуске проверьте направление движения приводов и в случае необходимости перекоммутируйте BR / BL.

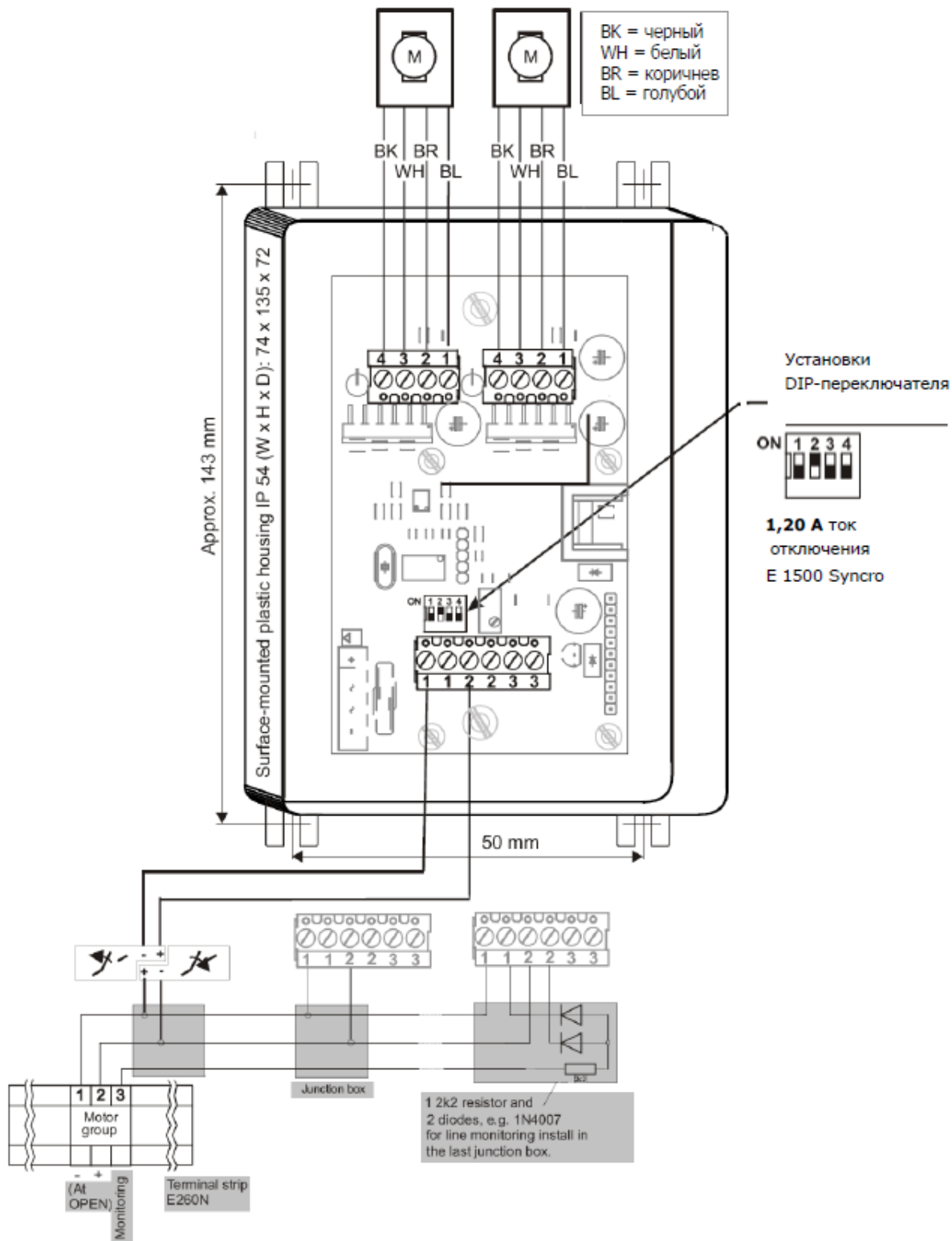


Рисунок 3.3- Блок синхронизации

Электропривод (см. рисунок 3.1) состоит из:

- а) блока аккумуляторных батарей, предназначенных для резервного питания электропривода при отключении основного питания (~230В, 50Гц).

Блок состоит из двух последовательно соединенных аккумуляторных батарей 12В 12А-ч каждая;

б) импульсного источника питания, предназначенного для преобразования основного питания  $\sim 230\text{В}$  в постоянное 24В, с номинальным током 10А, пиковым током 24А, для питания электроприводов и систем их управления;

в) силового модуля (Power-Modul PM) предназначенного автоматического управления электроприводом по сигналам срабатывания детекторов дыма, для непосредственного контроля за уровнем работы приводного модуля, автоматического переключения питания с основного на аварийный, возможность подключения автоматических детекторов с линий мониторинга, использование светодиодов для обеспечения простоты установки системы и её обслуживания;

г) силового модуля 1 и 2 (Power-Modul-Extension PME) предназначенного для

расширения общего тока потребления электроприводами и индикации их состояния;

д) приводного модуля (Drive-Modul DM) предназначенного для управления одновременно 10-ю электроприводами 24 В постоянного тока. Его особенности:

- электронное программирование режимов работы;
- в качестве блокирующего входа для последовательного управления;
- для предварительной обработки обратной связи конечных положений окна (открыто или закрыто);
- светодиодная индикация состояния системы (режима работы) – включен, неисправность, тревога;
- ручное управление включением / отключением привода;
- защита от короткого замыкания плавкими предохранителями.

## Заключение

В бакалаврской работе разработан электрический привод системы дымоудаления пожарной защиты здания.

В процессе работы над бакалаврской работой проведено краткое описание системы пожарной защиты здания; рассмотрен принцип действия автоматической системы дымоудаления; рассмотрено устройство и принцип действия различных электроприводов фрамуги; разработана конструкция штокового привода; выполнен электромагнитный расчет электродвигателя штокового привода, по результатам которого определены размеры электродвигателя и его рабочие характеристики; разработана схема управления приводом штокового типа; разработана технология монтажа системы дымоудаления.

## Список использованных источников

1. Аникеев, С.В. Справочник инспектора пожарного надзора [Электронный ресурс] . Ч. 1 / С. В. Аникеев, О. Н. Найденков, С. В. Собурь. - 3-е изд., перераб. - Москва : ПожКнига, 2013. - 431 с.
2. Рыжова, В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Рыжова. - Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2013. - 156 с.
3. Пожарная безопасность общественных и жилых зданий [Электронный ресурс] : справочник / под ред. С. В. Собуря. - 4-е изд., перераб. - Москва : ПожКнига, 2012. - 157 с. : ил.
4. Семёхин, Ю.Г. Организация противопожарной охраны на предприятии / Ю. Г. Семёхин. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2014. - 126 с.
5. Автоматизированные системы управления и связь [Электронный ресурс] : учеб. пособие / сост. С. А. Сазонова [и др.]. - Воронеж : ВГАСУ : ЭБС АСВ, 2014. - 171 с.
6. Полякова, Л.А. Средства инженерно-технического обеспечения охраны объектов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л. А. Полякова, В. Г. Прожерин, Я. И. Савченко. - Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. - 56 с.
7. Радоуцкий, И.Ю. Пожарная и аварийно-спасательная техника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. Ю. Радоуцкий, Н. В. Нестерова, Ю. В. Ветрова. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова : ЭБС АСВ, 2014. - 225 с.
8. Собурь, С.В. Пожарная безопасность электроустановок [Электронный ресурс] : [учеб.-справ. пособие] / С. В. Собурь. - 10-е изд., с изм. - Москва : ПожКнига, 2015. - 265 с. : ил.
9. Блэзи, В.В. Справочник проектировщика : Строительная физика : учеб. пособие для студентов, обуч. по направлению подготовки "Строительство" / В. Блэзи ; пер. с нем. под ред. А. К. Соловьева. - Москва : Техносфера, 2012. - 614 с. : ил.



10. Собурь, С.В. Установки пожарной сигнализации [Электронный ресурс] : [учеб.-справ. пособие] / С. В. Собурь. - 7-е изд., с изм. - Москва : ПожКнига, 2015. - 256 с. : ил.

11. Неменко, А.В. Механические компоненты электропривода машин : расчет и проектирование : учеб. пособие / А. В. Неменко. - Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2015. - 342 с.

12. Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев ; Томский политехнический университет. - 2-е изд. - Томск : ТПУ, 2015. - 210 с.

13. Князевский, Б.А. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2013

14. Прибор приемно-контрольный (адресный расширитель шлейфов) охранно-пожарный ППКОП 01121-20-1 «Сигнал-20П исп.01». Руководство по эксплуатации.

15. Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М». Руководство по эксплуатации.

16. Пожарный дымовой извещатель оптико-электронный ИП 212-70 (ДИП-ИС) ТУ-4371-004-59069151-2003

17. Фролов, Ю. М. Проектирование электропривода промышленных механизмов : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 446 с.

18. Регулируемый электропривод. Статические и динамические характеристики [Электронный ресурс] : метод. указания к курсов. проекту и практ. занятиям / Липецкий государственный технический университет ; сост. А. М. Башлыков, В. Н. Мещеряков. - Липецк : ЛГТУ, 2014. - 53 с.

19. Управление электроприводами [Электронный ресурс] : метод. указания к курсовой работе для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и

автоматика» очной и очно-заочной форм обучения / сост. П. Н. Левин. - Липецк : Липец. гос. техн. ун-т : ЭБС АСВ, 2014. - 80 с.

20. Никитенко, Г.В. Электропривод производственных механизмов : учеб. пособие для студентов вузов / Г. В. Никитенко. - Изд. 2-е, испр. и доп. ; гриф УМО. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2013. - 224 с.

21. Дементьев, Ю.Н. Электрический привод [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев ; Томский политехнический университет. - 2-е изд. - Томск : ТПУ, 2013. - 223 с.

22. Experimental determination of magnetic characteristics of electrical machines / P.Andrada, E.Martinez, J.I.Perat, J.A.Sanchez, M.Torrent // Industry Applications Conference. - 2012. - P. 10.

23. Investigation of total harmonic distortion of a three-phase Cúk rectifier / S.M.Faruk, M.M.Hossain, A.A.Mansur, M.H.Bhuyan // Informatics, Electronics and Vision (ICIEV). - 2016. - P. 13-15.

24. Ara Nerses Knaian, “Electropermanent Magnetic Actuators: Devices and Their Application in Programmable Matter”/ [Electronic resource] <https://pdfs.semanticscholar.org/30d6/69156d10fdde217f83397d0dae0e9c2adb94.pdf> /Massachusetts Institute of TechnologyPublished June 2012

25. Deepthi P., Padmaja Mrs.S.M. Adjustable speed system of induction motor using vector controlled// International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)/ Vol. 1 Issue 6. August – 2012. .- 275 с

26. Scarpino, M . Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines / M. Scarpino // 1st Edition - USA: Pearson Education. - 2016. - №1. – P. 10-12.