

**Е. Н. Ковалёв**

**МОНТАЖ, НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**Практикум**

**Санкт-Петербург  
2022**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет**  
**промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**

**Е. Н. Ковалёв**

**МОНТАЖ, НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**Практикум**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2022

УДК 62-83 (07)  
ББК 31.291я7  
К 560

*Рецензент*

старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета  
промышленных технологий и дизайна

*В. Ю. Кузнецов*

**Ковалёв, Е. Н.**

**К 560** Монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов. Проектирование шкафа управления электроприводом: Практикум / Е. Н. Ковалёв. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — 47 с.

Практикум соответствует программам и учебным планам дисциплины «Монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю подготовки «Электропривод и автоматика». В практикуме собраны основные сведения по проектированию шкафов управления электроприводами.

Практикум предназначен для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения.

УДК 62-83 (07)  
ББК 31.291я7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2022  
© Ковалёв Е. Н., 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1. Типовой состав шкафа регулируемого электропривода.....              | 4  |
| 2. Выбор преобразователя для двигателя заданной мощности.....          | 6  |
| 3. Разработка электрической схемы шкафа электропривода.....            | 9  |
| 3.1. Разработка однолинейной схемы шкафа электропривода.....           | 10 |
| 3.2. Разработка принципиальной электрической схемы.....                | 12 |
| 4. Проектирование конструкции шкафа электропривода.....                | 24 |
| 4.1. Выбор степени защиты шкафа.....                                   | 24 |
| 4.2. Требования электромагнитной совместимости.....                    | 28 |
| 4.3. Выбор шкафного оборудования и компоновка шкафа.....               | 31 |
| 4.4. Выбор оборудование для охлаждения электропривода.....             | 35 |
| 5. Состав документации проекта шкафа регулируемого электропривода..... | 43 |
| 6. Варианты заданий.....   | 44 |
| Библиографический список.....  | 46 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Шкаф регулируемого электропривода, как правило, содержит полный набор оборудования, необходимый для работы привода конкретной технологической установки. Для сложных многодвигательных систем электропривода оборудование размещается в щитах, состоящих из отдельных шкафов электроприводов. Многие производители выпускают свои преобразователи в шкафном исполнении, укомплектованные всем необходимым оборудованием входных и выходных цепей, системой охлаждения, другими опциями. Однако зачастую требуется индивидуальная разработка шкафов электропривода; это обуславливается как техническими, так и экономическими причинами.

Процесс проектирования шкафа электропривода можно разделить на следующие этапы:

- выбор типа и мощности преобразователя;
- разработка однолинейной схемы привода;
- разработка принципиальной схемы и перечня элементов;
- выбор шкафа; разработка монтажной схемы;
- расчёт мощности тепловых потерь и выбор оборудования для охлаждения электропривода;
- подготовка спецификации шкафного оборудования;
- разработка кабельного журнала.

### **1. ТИПОВОЙ СОСТАВ ШКАФА РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Оборудование шкафа можно разделить на следующие составные части:

- силовая часть, включающая цепи подключения силового преобразователя, двигателя, тормозных резисторов и блоков торможения;
- сигнальная часть, включающая цепи релейной автоматики, подключение дискретных и аналоговых сигналов от различных датчиков, от пультов управления, подключения управляющих сетей;
- оперативная часть, включающая цепи оперативного напряжения, предназначенного для питания электроники, релейных схем, освещения и розеток, оборудования вентиляции и кондиционирования.

Обычно оборудование силовых цепей электропривода занимает основной объем шкафа.

1. Преобразователи постоянного или переменного тока; преобразователи небольшой мощности (0,5 – 7,5 кВт) могут размещаться в одном шкафу по несколько штук; преобразователи большей мощности обычно размещают в отдельных шкафах. В системах электропривода большой мощности

может применяться параллельное подключение преобразователей, размещённых в отдельных шкафах щита электропривода.

2. Коммутационное и защитное оборудование. Многие производители преобразователей постоянного и переменного тока рекомендуют во входной цепи преобразователя ставить рубильники и предохранители с быстродействующими плавкими вставками, например, серии aR или gR. Такой способ обустройства входной цепи предпочтительнее установки автоматических выключателей, так как быстродействующие плавкие вставки быстрее отключат повреждённую цепь, чем стандартные автоматические выключатели.

В цепи силового питания преобразователя обычно устанавливают также контактор.

В некоторых случаях, обусловленных требованиями технологии, рубильники, контакторы или автоматические выключатели устанавливают в выходной цепи преобразователей.

3. Входные дроссели. Тиристорные преобразователи постоянного тока должны подключаться к сети через входные (коммутирующие) дроссели для ограничения скорости нарастания тока в тиристорах при их включении. Также входные дроссели преобразователей постоянного и переменного тока снижают уровень гармоник во входном токе преобразователя. В случае питания преобразователя от индивидуального трансформатора входной дроссель можно исключить.

4. Выходные дроссели, фильтры  $du/dt$  и синус-фильтры.

В приводах постоянного тока выходные дроссели в якорной цепи двигателя используются, как правило, со старыми типами двигателей большой мощности (сотни киловатт), не предназначенными для работы с тиристорными преобразователями.

В преобразователях частоты выходные дроссели снижают нагрузку по напряжению на обмотки двигателей. Одновременно снижаются и ёмкостные токи перезаряда, оказывающие дополнительную нагрузку на преобразователь при использовании длинных кабелей двигателя.

5. Входные ЭМС фильтры. Фильтр электромагнитной совместимости (ЭМС) используется для уменьшения электромагнитных помех, излучаемых в сеть при работе преобразователя.

6. Блоки торможения и тормозные резисторы, блоки управления электромагнитным тормозом.

Когда частотный привод должен обеспечить тормозные режимы двигателя и при этом нет возможности рекуперации энергии в сеть, то в этих случаях преобразователь частоты должен быть укомплектован блоком торможения и тормозным резистором. Блоки торможения могут быть встроенными в корпус преобразователя (обычно в преобразователях мощностью до 55 кВт) или внешними; внешние блоки торможения размещаются в непосредственной близости от преобразователя.

Тормозные резисторы для преобразователей малой мощности могут быть встроенными или внешними; для преобразователей большой мощности

используют внешние резисторы. Поскольку при торможении привода на этих резисторах интенсивно выделяется тепло, тормозные резисторы выносят за корпус шкафа, обычно их устанавливают на крыше шкафа.

Во многих технологических установках предусмотрен стояночный тормоз приводного двигателя; часто это электромагнитный тормоз с катушкой постоянного тока. Для управления таким тормозом в шкафу электропривода устанавливается блок управления тормозом.

#### 7. Шинные мосты, оборудование для подключения силовых кабелей.

Входящие и выходящие силовые кабели для мощных приводов (75 кВт и выше) имеют большой вес и большое сечение, поэтому в шкафу должно быть предусмотрено оборудование для механической фиксации таких кабелей, а также предусмотрено оборудование для электрического подключения. Разводка силовых цепей в шкафу с мощным приводом целесообразна с помощью шин, а не монтажного провода.

Оборудование сигнальных и оперативных цепей электропривода может размещаться на выделенном месте основной монтажной панели шкафа, а также на дополнительных монтажных панелях; на дверях шкафа часто устанавливаются фильтрующие вентиляторы охлаждения шкафа, сигнальные лампы, щитовые приборы, органы управления.

## **2. ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ЗАДАННОЙ МОЩНОСТИ**

При выборе преобразователя в первую очередь надо убедиться, что необходимые напряжение и ток двигателя будут обеспечены. Наиболее важные данные преобразователя:

- соответствие параметров рода питающего напряжения, номинального тока, номинального напряжения преобразователя параметром электродвигателя;
- обеспечение перегрузочной способности привода в соответствии с техническим заданием;
- обеспечение требуемых тормозных режимов привода;
- метод управления двигателем в зависимости от конкретной задачи;
- способ охлаждения преобразователя.

Кроме вышеупомянутых характеристик есть много других, но это уже, как правило, для более специфических применений. Например, такие:

- Наличие возможности подключения к промышленной сети (протокол MODBUS, CANOPEN, PROFIBUS и т.п.).
- Вынос панели управления на расстояние.
- Возможность подключения к ПК и управления с него.
- Количество и тип входов-выходов.

- Встроенный программируемый логический контроллер и прочие характеристики.

При выборе преобразователя приходится также учитывать, что часто заказчик предпочитает оборудование определённых производителей. Как правило, это связано с требованиями унификации оборудования на производстве, а также с проводимой заказчиком технической политикой.

Сведения, необходимые для выбора преобразователя, предоставляются в каталогах производителей оборудования. Немного замечаний по выбору преобразователя по каталогу.

1. Выбор по напряжению. Напряжение двигателя должно быть не более максимально возможного выходного напряжения преобразователя; меньшее напряжение двигателя вполне допустимо. Например, максимальное выходное напряжение преобразователя постоянного тока 420 В, а номинальное напряжение якорной цепи двигателя 220 В.

2. Выбор по току. Преобразователи постоянного и переменного тока способны в течение ограниченного времени выдержать некоторую перегрузку по току. В зависимости от тяжести перегрузки в каталоге определяется номинальный ток преобразователя.

Например, в каталогах АВВ даются следующие определения режимов работы преобразователей.

#### **Номинальные значения**

$I_N$  - Длительный номинальный ток без перегрузки при температуре 40 °С.

$P_N$  - Типовая мощность электродвигателя при эксплуатации в условиях работы без перегрузок.

$I_{max}$  - Максимальный выходной ток. Допускается в течение 10 секунд при запуске, а затем столько, сколько позволяет температура привода.

#### **Работа с небольшой перегрузкой**

$I_{Ld}$  - Непрерывный ток, допускающий 110 %  $I_{Ld}$  в течение 1 мин./каждые 5 мин. при 40 °С.

$P_{Ld}$  - Типовая мощность электродвигателя при работе с небольшой перегрузкой.

#### **Работа в тяжёлом режиме**

$I_{Nd}$  - Непрерывный ток, обеспечивающий 150 %  $I_{Nd}$  в течение 1 мин./каждые 5 мин. при 40 °С.

$P_{Nd}$  - Типовая мощность электродвигателя при работе в тяжелом режиме.

Номинальные значения рассчитаны для температуры окружающего воздуха 40 °С. При более высоких температурах (до 55 °С) снижение номинальных характеристик составляет 1 % /1 °С.

В каталогах Mitsubishi Electric режимы перегрузки определены следующим образом.

Лёгкий режим (LD): перегрузка 120 % в течение 60 с, 150 % - в течение 3 с.

Нормальный режим (ND): 150 % в течение 60 с, 200 % - в течение 3 с.



**Замечание.** Преобразователи в первую очередь надо выбирать по номинальному току; значение номинальной мощности даётся в каталогах только для ориентира.

На рисунке 2.1 показан фрагмент каталога АВВ по выбору преобразователя

| Номинальные значения |                |              | Работа с небольшой перегрузкой |                 | Работа в тяжелом режиме |                 | Обозначение типа |
|----------------------|----------------|--------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| $I_N$<br>А           | $I_{max}$<br>А | $P_N$<br>кВт | $I_{Ld}$<br>А                  | $P_{Ld}$<br>кВт | $I_{Hd}$<br>А           | $P_{Hd}$<br>кВт |                  |
| 7,3                  | 12,2           | 5,5          | 6,9                            | 5,5             | 5,6                     | 4               | ACS880-01-07A3-7 |
| 9,8                  | 18             | 7,5          | 9,3                            | 7,5             | 7,3                     | 5,5             | ACS880-01-09A8-7 |
| 14,2                 | 22             | 11           | 13,5                           | 11              | 9,8                     | 7,5             | ACS880-01-14A2-7 |
| 18                   | 30             | 15           | 17                             | 15              | 14,2                    | 11              | ACS880-01-018A-7 |
| 22                   | 44             | 18,5         | 21                             | 18,5            | 18                      | 15              | ACS880-01-022A-7 |
| 26                   | 54             | 22           | 25                             | 22              | 22                      | 18,5            | ACS880-01-026A-7 |
| 35                   | 64             | 30           | 33                             | 30              | 26                      | 22              | ACS880-01-035A-7 |
| 42                   | 74             | 37           | 40                             | 37              | 35                      | 30              | ACS880-01-042A-7 |
| 49                   | 76             | 45           | 47                             | 45              | 42                      | 37              | ACS880-01-049A-7 |
| 61                   | 104            | 55           | 58                             | 55              | 49                      | 45              | ACS880-01-061A-7 |

Рис. 2.1. Фрагмент каталога АВВ для выбора преобразователя

На рисунке 2.2 показан фрагмент каталога Mitsubishi Electric по выбору преобразователя.

| Тип           | Ном. ток преобразователя [А] |                 | Ном. мощность двигателя [кВт] |                 |
|---------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
|               | LD <sup>①</sup>              | ND <sup>①</sup> | LD <sup>①</sup>               | ND <sup>①</sup> |
| FR-A846-00023 | 2.1                          | 1.5             | 0.75                          | 0.4             |
| FR-A846-00038 | 3.5                          | 2.5             | 1.5                           | 0.75            |
| FR-A846-00170 | 16                           | 12              | 7.5                           | 5.5             |
| FR-A846-00250 | 23                           | 17              | 11                            | 7.5             |
| FR-A846-00310 | 29                           | 23              | 15                            | 11              |
| FR-A846-00380 | 35                           | 31              | 18.5                          | 15              |
| FR-A846-00470 | 43                           | 38              | 22                            | 18.5            |

Рис. 2.1. Фрагмент каталога Mitsubishi Electric для выбора преобразователя

**Рекомендация.** Для выбранного преобразователя полезно составить таблицу со следующими данными:

- тип преобразователя, заказной номер, производитель оборудования;
- номинальное напряжение питания;
- номинальная частота питающего напряжения;
- диапазон выходного напряжения преобразователя (и, для преобразователя частоты, диапазон частоты выходного напряжения);
- номинальная величина тока при работе без перегрузок и при работе с перегрузками;
- тип охлаждения;
- тепловые потери при номинальной нагрузке;
- способ охлаждения преобразователя, требуемый расход воздуха или охлаждающей жидкости;
- способ торможения двигателя, оборудование для обеспечения торможения;
- габариты преобразователя, вес.

### **3. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ШКАФА ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

В соответствии с ГОСТ 2.701-2008 п. 4.1 схема – это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Для различных видов схем по ГОСТ 2.701-2008 п. 4.2 определены буквенные коды; электрические схемы имеют код «Э». Виды схем в зависимости от основного назначения подразделяются на типы. Типы схем и их коды для электрических схем представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Типы и коды электрических схем

| <b>Тип схемы</b>              | <b>Определение</b>   | <b>Код типа<br/>схемы</b> |
|-------------------------------|--|---------------------------|
| Схема структурная             | Документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи  | Э1                        |
| Схема функциональная          | Документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки), или изделия (установки) в целом                                     | Э2                        |
| Схема принципиальная (полная) | Документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представление о принципах работы изделия (установки) | Э3                        |

| Тип схемы                    | Определение  | Код типа схемы |
|------------------------------|--|----------------|
| Схема соединений (монтажная) | Документ, показывающий соединения составных частей изделия (установки) и определяющий провода, жгуты, кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода | Э4             |
| Схема подключения            | Документ, показывающий внешние подключения изделия   | Э5             |
| Схема объединённая           | Документ, содержащий элементы различных типов схем одного вида   | Э0             |

### 3.1. Разработка однолинейной схемы шкафа электропривода

На начальной стадии проектирования однолинейная схема системы электропривода позволяет проработать схему соединений силовых элементов (силовая коммутационная аппаратура, коммутационные дроссели, фильтры, преобразователи частоты, преобразователи постоянного тока и т.п.), разработать спецификацию основного оборудования.

На однолинейной схеме отображаются элементы электрической сети объекта с указанием их характеристик и параметров. Термин «однолинейная» означает, что все электрические соединения, существующие на объекте, вне зависимости от их фазности, на схеме отображаются одной линией. Правила оформления однолинейных схем регламентированы ГОСТ 2.702-2011 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем».

Для примера на рисунке 3.1 показана однолинейная схема электроприводов сушильных групп 2, 3, 4 и 5. Шкафы этих сушильных групп входят в состав щита системы электропривода сухой части бумагоделательной машины. Асинхронные двигатели сушильных групп М1, М2 мощностью 160 кВт и двигатели М3, М4 мощностью 132 кВт запитаны от инверторов, размещённых в индивидуальных шкафах +Н01, +Н02, +Н03, +Н04. На схеме показано, что подключение инверторов к общей шине постоянного тока выполнено через рубильники с предохранителями; в цепях подключения инверторов UZ1 установлены также контакторы КМ1 с зарядными сопротивлениями R1; зарядные цепи шунтируются силовыми контакторами КМ2.

На однолинейной схеме показаны только основные силовые цепи приводов; этой информации достаточно для выбора оборудования шкафов, расчёта тепловых потерь и выбора оборудования охлаждения шкафов.

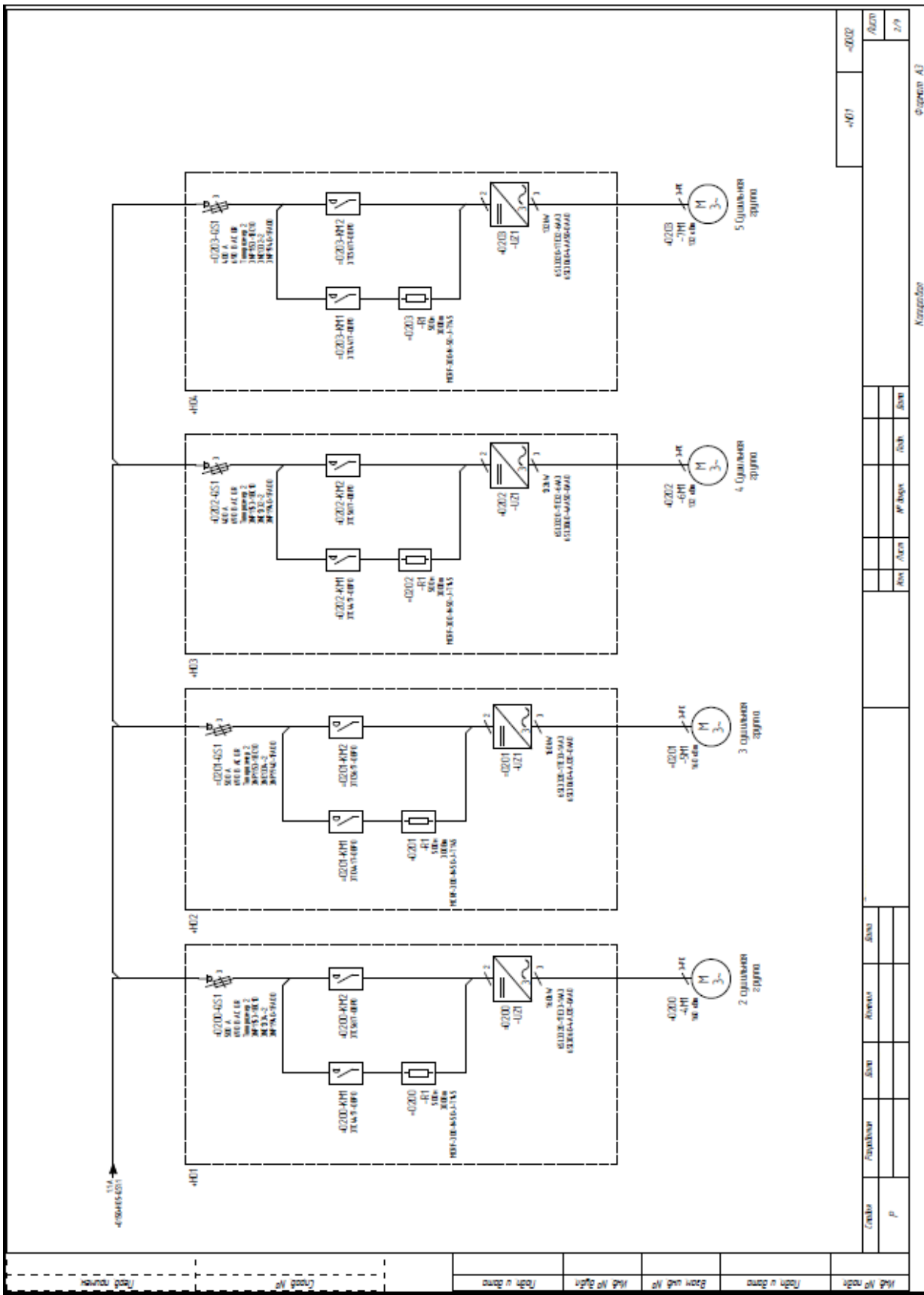


Рис. 3.1. Однолинейная схема электроприводов сушильных групп 2, 3, 4, 5

### 3.2. Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальная электрическая схема шкафа электропривода даёт полное представление о силовых, оперативных и сигнальных цепях. Разработку принципиальной электрической схемы следует проводить с соблюдением требований ГОСТ 2.702-2011, ГОСТ 2.710-81, ГОСТ 2.755-87.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии установленных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т.д.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключённом положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Структура полной схемы системы электропривода представляется в виде иерархии различных уровней. Система обозначений уровней позволяет легко ориентироваться в принципиальных схемах электропривода.

**Пример.** В обозначении элементов принципиальной электрической схемы системы электропривода бумагоделательной машины (см. рис. 3.3 и рис. 3.4) содержится следующая информация:

- устройство системы (приводы сеткоповоротного вала, гауч-вала, пресса, сушильной группы, наката и т.п.);
- составные части привода (цепи силового питания, оперативного напряжения, цепь возбуждения, цепи блокировок, пульт управления приводом и т.п.);
- элементы электрической цепи (преобразователи, дроссели, автоматические выключатели, контакторы и т.п.);
- место размещения элементов привода (шкаф, пульт, электрическая машина, редуктор и т.п.).

Для построения обозначений применяют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры, а также приведённые в таблице 3.2 знаки (квалифицирующие символы).

Таблица 3.2 – Квалифицирующие символы

| Тип условного обозначения                  | Классифицирующий символ | Примечание |
|--|-------------------------|------------|
| 1. Обозначение высшего уровня - устройство | =                       | -          |

| Тип условного обозначения                             | Классифицирующий символ | Примечание                             |
|---|-------------------------|--|
| 2. Обозначение высшего уровня - функциональная группа | ≠                       | Допускается ≠                          |
| 3. Конструктивное обозначение                         | +                       | -                                      |
| 4. Обозначение элемента (позиционное обозначение)     | -                       | -                                      |
| 5. Обозначение электрического контакта                | :                       | -                                      |
| 6. Адресное обозначение                               | ( )                     | Обозначение заключают в круглые скобки |

Условное буквенно-цифровое обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов и их количество в обозначении не устанавливается.

Соседние группы знаков отдельных обозначений, имеющие самостоятельное смысловое значение, разделяют:

- чередованием буквы и цифры (например, КС25, К2, 25КС, 2К);
- точкой, если группы состоят только из букв или только из цифр.

Допускается в обозначении разделять точкой самостоятельные смысловые группы, состоящие из букв и цифр. Допускается цифровую часть, имеющую смысл порядкового номера, записывать с одинаковым количеством разрядов, заполняя старшие разряды нулями.

Составное обозначение должно передавать комплексную информацию о части объекта, обозначение которой указано последним. Количество обозначений, образующих составное обозначение, не устанавливается.

Примеры обозначения мест монтажа элементов:

- +Н - шкаф комплектного распределительного устройства;
- +GT - дверь шкафа распределительного устройства;
- +М - машина.

Примеры обозначения составных частей привода (цепей привода):

- G1 - цепи силового напряжения;
- G2 - цепи оперативного напряжения;
- J1 - цепи воздушного автоматического выключателя;
- H1 - цепи питания преобразователя;
- K1 - цепи двигателя;
- N1 - цепи управления и сигнализации.

На рисунке 3.2 показан пример составления обозначения клеммы 6 вспомогательного контактора К21 цепи сигнализации привода сеткоповоротного вала =A1.N1-K21:6.

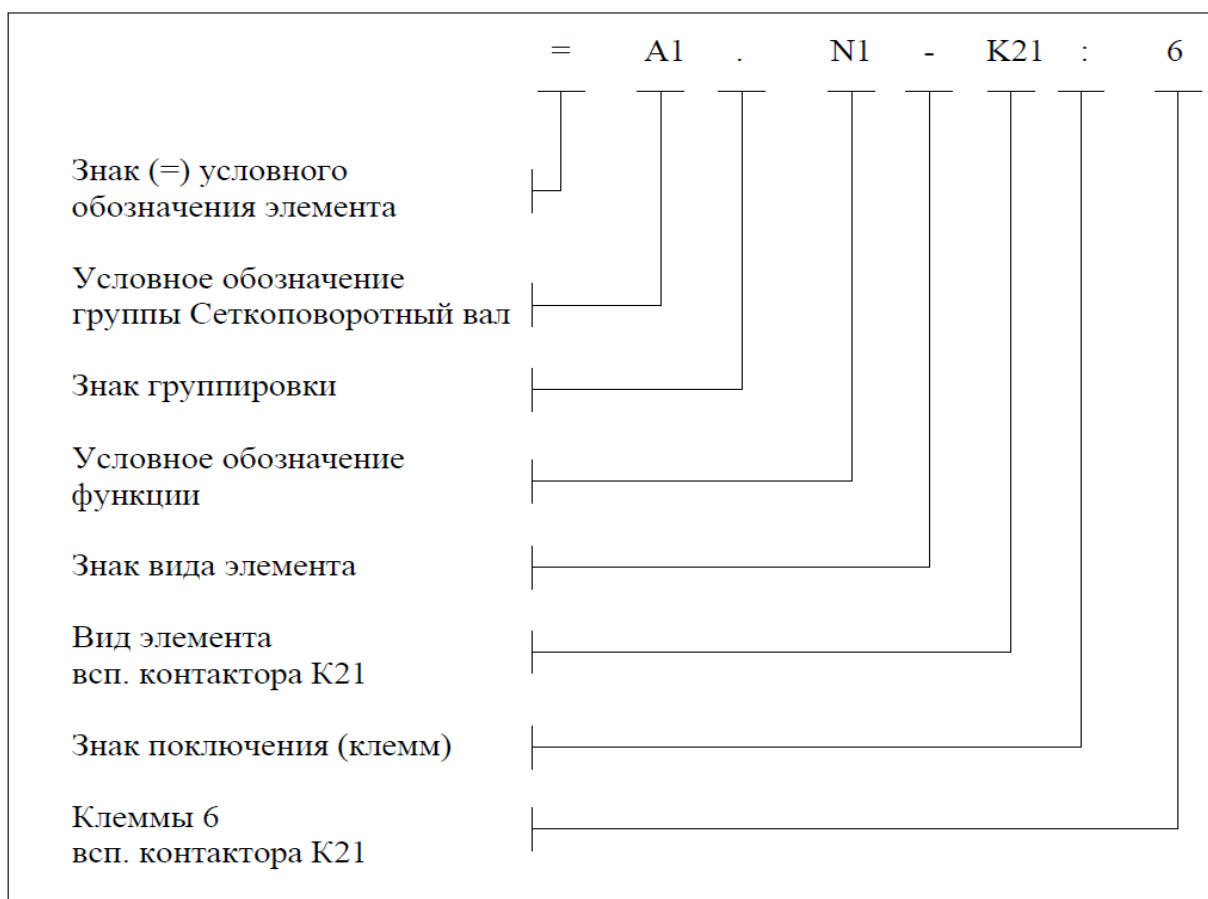


Рис. 3.2. Пример составного обозначения элемента схемы

Буквенные коды наиболее распространённых видов элементов приведены в таблице 3.3. и таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Буквенные коды элементов схемы

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов   | Примеры видов элементов   |
|----------------------------------|--|---|
| А                                | Устройства   | Усилители, приборы телеуправления, лазеры, мазеры                                 |
| В                                | Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) | Громкоговорители, микрофоны, термоэлектрические чувствительные элементы, сельсины |

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов   | Примеры видов элементов  |
|----------------------------------|--|--|
| С                                | Конденсаторы   |  |
| D                                | Схемы интегральные, микросборки  | Схемы интегральные аналоговые и цифровые, логические элементы, устройства памяти               |
| E                                | Элементы разные  | Осветительные устройства, нагревательные элементы  |
| F                                | Разрядники, предохранители, устройства защитные                            | Дискретные элементы защиты по току и напряжению, плавкие предохранители, разрядники            |
| G                                | Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы                       | Батареи, аккумуляторы, электрохимические и электротермические источники                        |
| H                                | Устройства индикационные и сигнальные                                      | Приборы звуковой и световой сигнализации, индикаторы   |
| K                                | Реле, контакторы, пускатели  | Реле токовые и напряжения, реле электротепловые, реле времени, контакторы, магнитные пускатели |
| L                                | Катушки индуктивности, дроссели  | Дроссели люминесцентного освещения   |
| M                                | Двигатели  | Двигатели постоянного и переменного тока   |
| P                                | Приборы, измерительное оборудование  | Показывающие, регистрирующие и измерительные приборы, счётчики, часы                           |
| Q                                | Выключатели и разъединители в силовых цепях                                | Разъединители, короткозамыкатели, автоматические выключатели (силовые)                         |
| R                                | Резисторы  | Переменные резисторы, потенциометры, варисторы, терморезисторы                                 |
| S                                | Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных | Выключатели, переключатели, выключатели, срабатывающие от различных воздействий                |
| T                                | Трансформаторы, автотрансформаторы   | Трансформаторы тока и напряжения, стабилизаторы  |



| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов  | Примеры видов элементов   |
|----------------------------------|---|---|
| U                                | Преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи | Модуляторы, демодуляторы, дискриминаторы, инверторы, преобразователи частоты, выпрямители |
| V                                | Приборы электровакуумные, полупроводниковые                             | Электронные лампы, диоды, транзисторы, тиристоры  |
| W                                | Линии и элементы сверхвысокой частоты                                   | Волноводы, диполи, антенны  |
| X                                | Соединения контактные   | Штыри, гнезда, разборные соединения, токосъёмники   |
| Y                                | Устройства механические с электромагнитным приводом                     | Электромагнитные муфты, тормоза, патроны  |
| Z                                | Устройства оконечные, фильтры, ограничители                             | Линии моделирования, кварцевые фильтры  |

Таблица 3.4 – Двухбуквенные коды элементов схемы

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов  | Примеры видов элементов     | Двухбуквенный код |
|----------------------------------|---|-----------------------------|-------------------|
| A                                | Устройство  |                             |                   |
| B                                | Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения | Громкоговоритель            | BA                |
|                                  |   | Магнитострикционный элемент | BB                |
|                                  |   | Сельсин-приёмник            | BE                |
|                                  |   | Сельсин-датчик              | BC                |
|                                  |   | Тепловой датчик             | BK                |
|                                  |   | Фотоэлемент                 | BL                |
|                                  |   | Микрофон                    | BM                |
|                                  |   | Датчик давления             | BP                |
|                                  |   | Пьезоэлемент                | BQ                |
|                                  |   | Датчик частоты вращения     | BR                |
| Звукосниматель                   | BS  |                             |                   |
| Датчик скорости                  | BV  |                             |                   |
| C                                | Конденсаторы  |                             |                   |

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов   | Примеры видов элементов                                 | Двухбуквенный код |
|----------------------------------|--|---|-------------------|
|                                  | Схемы интегральные, микросборки  | Схема интегральная аналоговая                           | DA                |
|                                  |  | Схема интегральная цифровая                             | DD                |
|                                  |  | Устройства хранения информации                          | DS                |
| E                                | Элементы разные  | Нагревательный элемент                                  | EK                |
|                                  |  | Лампа осветительная                                     | EL                |
| F                                | Разрядники, предохранители, устройства защитные  | Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия  | FA                |
|                                  |  | Дискретный элемент защиты по току инерционного действия | FP                |
|                                  |  | Предохранитель плавкий                                  | FU                |
|                                  |  | Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник      | FV                |
| G                                | Генераторы, источники питания  | Батарея   | GB                |
| H                                | Устройства индикационные и сигнальные  | Прибор звуковой сигнализации                            | HA                |
|                                  |  | Индикатор символьный                                    | HG                |
|                                  |  | Прибор световой сигнализации                            | HL                |
| K                                | Реле, контакторы, пускатели  | Реле токовое  | KA                |
|                                  |  | Реле указательное                                       | KH                |
|                                  |  | Реле электротепловое                                    | KK                |
|                                  |  | Контактор, магнитный пускатель                          | KM                |
|                                  |  | Реле времени  | KT                |
|                                  |  | Реле напряжения   | KV                |
| L                                | Дроссели   | Дроссель освещения                                      | LL                |
| M                                | Двигатели  |   |                   |
| P                                | Приборы, измерительное оборудование<br><br>Примечание. Сочетание PE применять не допускается | Амперметр   | PA                |
|                                  |  | Счетчик импульсов                                       | PC                |
|                                  |  | Частотомер  | PF                |
|                                  |  | Счетчик активной энергии                                | PI                |
|                                  |  | Счетчик реактивной энергии                              | PK                |
|                                  |  | Омметр  | PR                |
|                                  |  | Регистрирующий прибор                                   | PS                |
|                                  |  | Измеритель времени действия                             | PT                |
|                                  |  | Вольтметр   | PV                |
|                                  |  | Ваттметр  | PW                |

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов   | Примеры видов элементов                                 | Двухбуквенный код |
|----------------------------------|--|---|-------------------|
| Q                                | Выключатели и разъединители в силовых цепях  | Выключатель автоматический                              | QF                |
|                                  |  | Короткозамыкатель                                       | QK                |
|                                  |  | Разъединитель   | QS                |
| R                                | Резисторы  | Терморезистор   | RK                |
|                                  |  | Потенциометр  | RP                |
|                                  |  | Шунт измерительный                                      | RS                |
|                                  |  | Варистор  | RU                |
| S                                | Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных<br><br>Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей | Выключатель или переключатель                           | SA                |
|                                  |  | Выключатель кнопочный                                   | SB                |
|                                  |  | Выключатели, срабатывающие:                             |                   |
|                                  |  | от уровня   | SL                |
|                                  |  | от давления   | SP                |
|                                  |  | от положения (путевой)                                  | SQ                |
|                                  |  | от частоты вращения                                     | SR                |
| от температуры                   | SK   |   |                   |
| T                                | Трансформаторы, автотрансформаторы   | Трансформатор тока                                      | TA                |
|                                  |  | Электромагнитный стабилизатор                           | TS                |
|                                  |  | Трансформатор напряжения                                | TV                |
| U                                | Устройства связи<br><br>Преобразователи электрических величин в электрические  | Модулятор   | UB                |
|                                  |  | Демодулятор   | UR                |
|                                  |  | Дискриминатор   | UI                |
|                                  |  | Преобразователь частоты, генератор частоты, выпрямитель | UZ                |
| V                                | Приборы электровакуумные и полупроводниковые   | Диод, стабилитрон                                       | VD                |
|                                  |  | Прибор электровакуумный                                 | VL                |
|                                  |  | Транзистор  | VT                |
|                                  |  | Тиристор  | VS                |
| W                                | Линии и элементы СВЧ   | Ответвитель   | WE                |
|                                  |  | Короткозамыкатель                                       | WK                |
|                                  |  | Вентиль   | WS                |
|                                  | Антенны  | Трансформатор, фазовращатель                            | WT                |
|                                  |  | Аттенюатор  | WU                |
|                                  |  | Антенна   | WA                |
|                                  |  | Штырь   | XP                |

| Первая буква кода (обязательная) | Группа видов элементов                              | Примеры видов элементов        | Двухбуквенный код |
|----------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
| X                                | Соединения контактные                               | Токосъемник,                   | XA                |
|                                  |   | Штырь                          | XP                |
|                                  |   | Гнездо                         | XS                |
|                                  |   | Соединитель высокочастотный    | XW                |
| Y                                | Устройства механические с электромагнитным приводом | Электромагнит                  | YA                |
|                                  |   | Тормоз электромагнитный        | YB                |
|                                  |   | Муфта электромагнитная         | YC                |
|                                  |   | Электромагнитный патрон, плита | YH                |
| Z                                | Устройства оконечные фильтры                        | Ограничитель                   | ZL                |
|                                  | Ограничители  | Фильтр кварцевый               | ZQ                |

На рисунке 3.3 и рисунке 3.4 приведены листы принципиальной схемы подключения преобразователя частоты и принципиальной схемы подключения двигателя сушильной группы 2. На схемах приведён идентификатор привода второй сушильной группы: =0200. Идентификатор места размещения элементов оборудования привода: шкаф +H01. Идентификатор +X (см. рис. 3.4.) определяет размещение двигателя -4M1 в цеху.

Данные об элементах и устройствах, изображённых на принципиальной электрической схеме электропривода, записывают в перечень элементов. Допускается все сведения об элементах помещать рядом с их изображением на свободном поле схемы. Связь между условными графическими обозначениями и перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения. Перечень помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа на листе формата А4 с основной надписью для текстовых документов по форме 2 ГОСТ 2.104-96. Перечень элементов оформляют в виде таблицы и заполняют сверху вниз. Элементы в перечень записывают в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Элементы одного типа с одинаковыми параметрами допускается записывать в перечень в одну строку.

На рисунке 3.5 показан пример листа перечня элементов к принципиальной электрической схеме. В перечне элементов приводятся обозначения элементов электрической схемы, наименование и краткая техническая характеристика элементов.

Кабельный журнал – это таблица, в которой указывают всю необходимую информацию о кабелях: марка, длина, способ прокладки, откуда и куда проложен кабель. На рисунке 3.6 показан фрагмент кабельного журнала привода постоянного тока. ГОСТ 21.608-2014 определяет форму кабельного журнала, приведённую на рисунке 3.7. Силовые и контрольные кабели в кабельном журнале группируют, как правило, по приводам, роду тока, напряжению и т.п. и записывают в порядке возрастания номеров или буквенных кодов. При подходе кабелей к щитам управления в графах «Начало» и «Конец» указывают обозначение щита управления и номер панели, к которой подходит кабель. Длину кабелей, проводов, труб в графах «Длина» в кабельном и кабельнотрубном журналах записывают с учётом надбавки на изгибы, повороты и отходы.

Кабельный журнал надо разрабатывать на стадии проектирования шкафов электропривода. После выполнения проекта следуют электромонтажные работы, по окончании которых данный журнал должен будет заполнить подрядчик в соответствии с фактом выполненных работ и приложить данный журнал в исполнительную документацию.

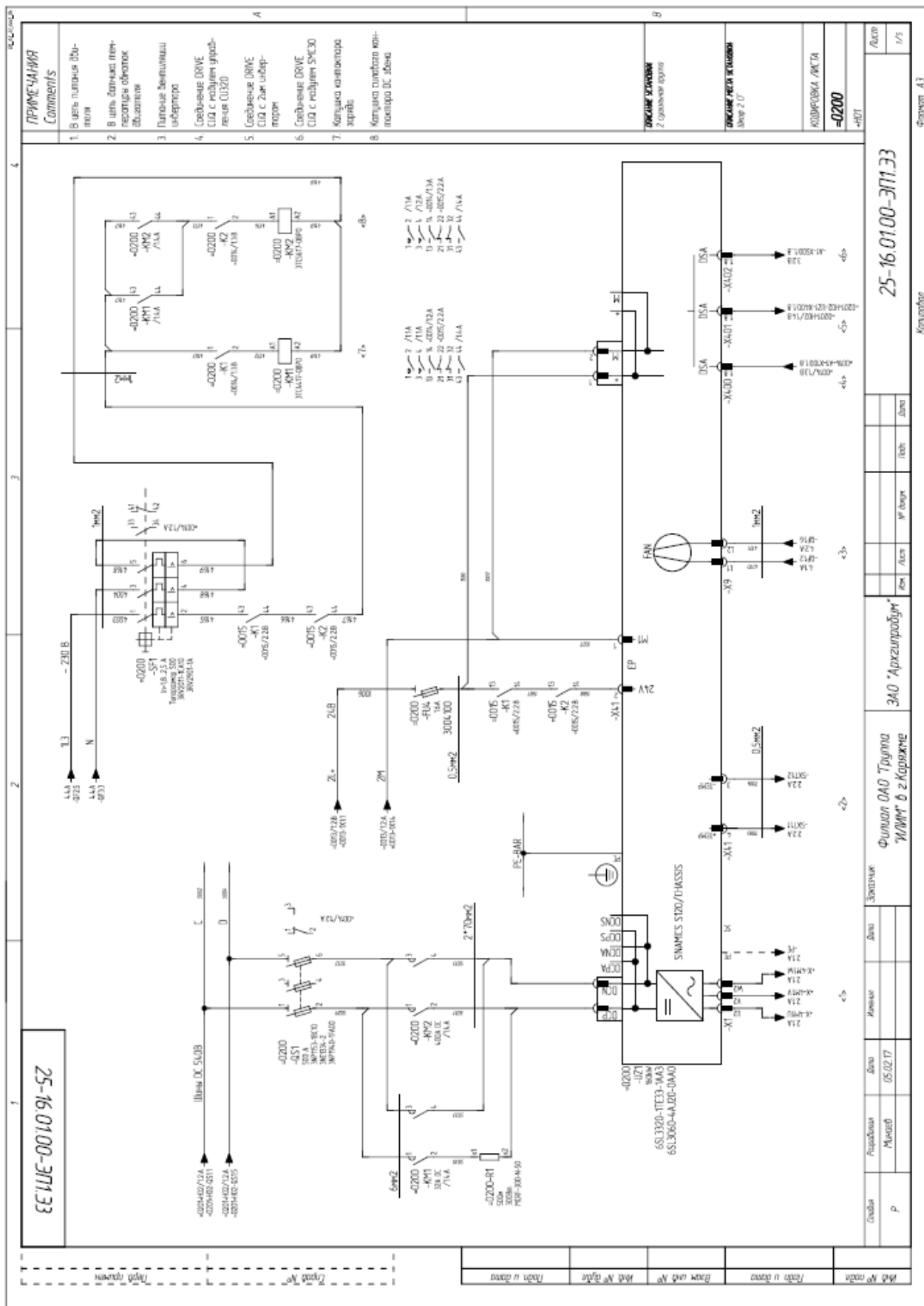


Рис. 3.3. Лист принципиальной схемы подключения преобразователя частоты

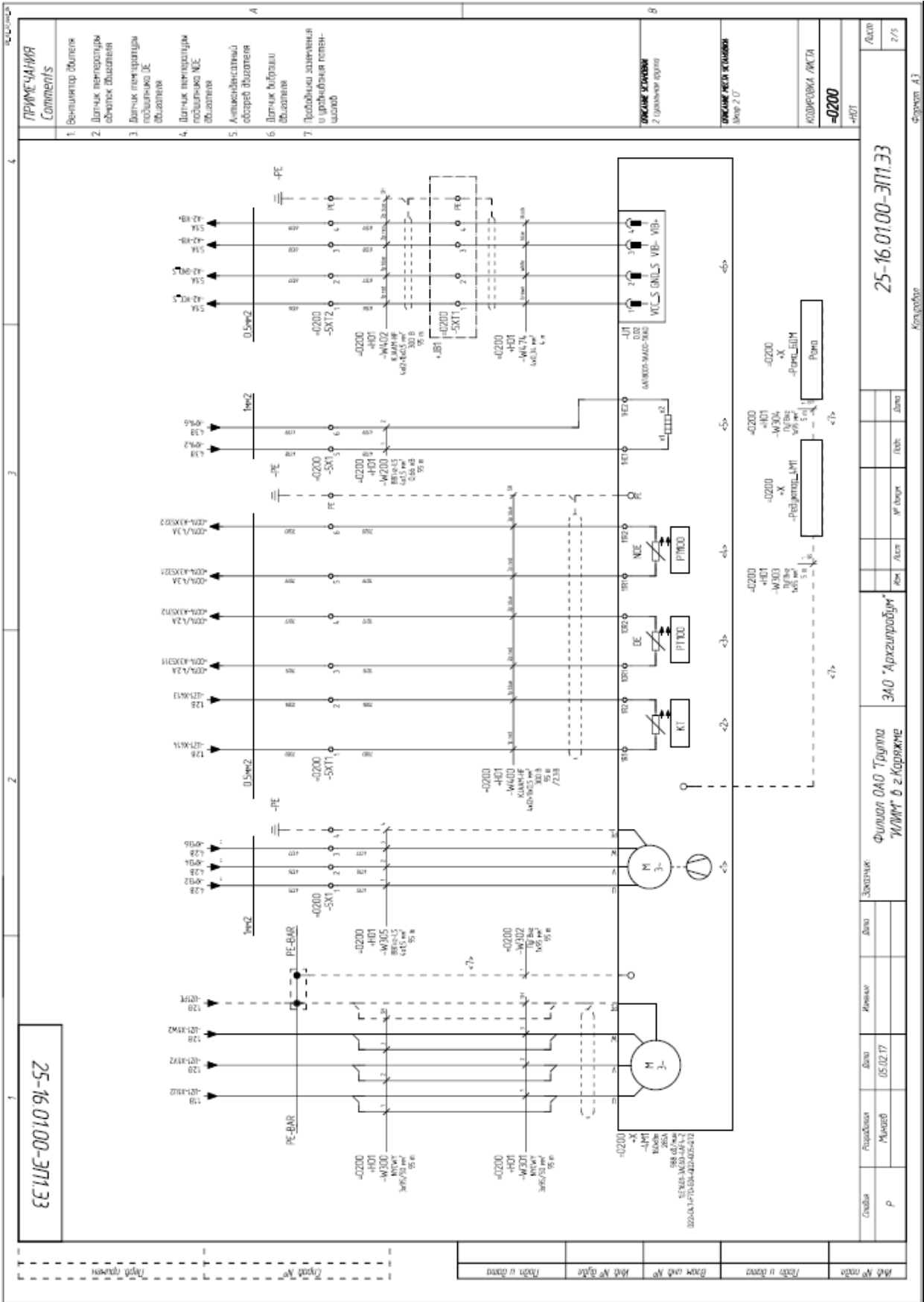


Рис. 3.4. Лист принципиальной схемы подключения двигателя

| Зона                        | Поз. Обозначение | Наименование   | Кол-во | Примечание  |
|-----------------------------|------------------|--|--------|-------------|
| 30: - 32:                   | -QF5,-QF6        | Автоматический выключатель модульный Зр-0,4...0,63А SM1R0063 для защиты двигателей (трансформаторов)       | 2      | Lovato      |
|                             |                  | Блок-контакты 2NO, установка спереди   | 2      | Lovato      |
| 34:                         | -QF7             | Автоматический выключатель модульный Зр-0,16...0,25А SM1R0025 для защиты двигателей (трансформаторов)      | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Блок-контакты 2NO, установка спереди   | 1      | Lovato      |
| 36:                         | -QF8             | Автоматический выключатель модульный Зр-6А/D тип OptiDin BM63-3D20 (арт. 103702)                           | 1      | КЭАЗ        |
| 15:                         | -QF9             | Автоматический выключатель модульный 2р-6А/К тип OptiDin BM63-2К6-DC-УХЛЗ, на постоянный ток (арт. 230327) | 1      | КЭАЗ        |
| 22:                         | -QF10            | Автоматический выключатель модульный Зр-6А/D тип OptiDin BM63-3D20 (арт. 103702)                           | 1      | КЭАЗ        |
| 24:                         | -QF11            | Автоматический выключатель модульный Зр-6А/D тип OptiDin BM63-3D20 (арт. 103702)                           | 1      | КЭАЗ        |
| 05:                         | -QF12            | Автоматический выключатель модульный Зр-6А/D тип OptiDin BM63-3D20 (арт. 103702)                           | 1      | КЭАЗ        |
| 44:                         | Rp               | Разрядное сопротивление обмотки возбуждения 113 Ом   | 1      | сущ-щее     |
| 35: - 37:                   | -SA1, -SA2       | Переключатели в составе светильников -EL1 и EL2  | 2      | Rittal      |
| 26:                         | -SA3             | Ключ 3-х поз. с самовозвратом (2NO) 8LM2TS231  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Монтажный переходник (основание) 8LM2TAU120  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Контакты 1NO 8LM2TC10  | 2      | Lovato      |
| 18:                         | -SB1             | Толкатель кнопки грибовидный красный D40, возврат поворотом 8LM2TB6344                                     | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Монтажный переходник (основание) 8LM2TAU120  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Контакты 1NC 8LM2TC01  | 1      | Lovato      |
| 08:                         | -SB2             | Толкатель кнопки плоский черный 8LM2TB102  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Монтажный переходник (основание) 8LM2TAU120  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Контакты 1NO 8LM2TC10  | 1      | Lovato      |
| 09:                         | -SB3             | Толкатель кнопки плоский красный 8LM2TB104   | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Монтажный переходник (основание) 8LM2TAU120  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Контакты 1NO 8LM2TC01  | 1      | Lovato      |
| 12:                         | -SB4             | Толкатель кнопки плоский черный 8LM2TB102  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Монтажный переходник (основание) 8LM2TAU120  | 1      | Lovato      |
|                             |                  | Контакты 1NO 8LM2TC10  | 1      | Lovato      |
| 36: - 38:                   | -SQ1, -SQ2       | Концевой выключатель двери с оранж. кабелем 0,8 м (арт. 2500460)   | 2      | Rittal      |
| <b>ЭК 921.000.440 ПЭЗ.2</b> |                  |  |        | <i>Лист</i> |
|                             |                  |  |        | 4           |

Рис. 3.5. Лист перечня элементов к принципиальной электрической схеме привода постоянного тока



| № п/п                                  | Маркировка кабеля | Начало | Конец  | Тип кабеля    | Напряжение/род тока | Длина, м | Примечание                  |           |
|--|-------------------|--------|--------|---------------|---------------------|----------|-----------------------------|-----------|
| Существующие кабели привода клетки №13 |                   |        |        |               |                     |          |                             |           |
| 28                                     | H02-M13-2         | T1     | ST13   | АВВГ 3*95     | ~3х560В             |          | Ввод на вентиляльную секцию |           |
| 29                                     | H02-M13-3         | T1     | ST13   | АВВГ 3*95     | ~3х560В             |          | Ввод на вентиляльную секцию |           |
| 30                                     | H02-M13-4         | T1     | ST13   | АВВГ 3*95     | ~3х560В             |          | Ввод на вентиляльную секцию |           |
| 31                                     | H02-M12-29        | SI12   | SI13   | АВВГ 4*6      | ~3х400В +PEN        |          | Собств. нужды               |           |
| 32                                     | H02-M12-30        | SI12   | SI13   | АВВГ 2*2,5    | =220 ВDC            |          | Оперативное питание         |           |
| 33                                     | H02-M12-23        | VN4.1  | SI13   | ВВГ 4*6       | ~3х400В             |          | Питание возбудителя         |           |
| 34                                     | K02-M13-11        | SI13   | OB M13 | ВВГ 2х6       | пост. ток           |          | На об-ку возбуждения M13    |           |
| 35                                     | П02-M13-29        | SI13   | PS22.1 | Liys 2х0,75   |                     |          | На амперметр ПУ             |           |
| 36                                     | П02-M13-18        | SI13   | EN     | КЧПЗВ 4х2х0,5 |                     |          | На энкодер                  |           |
| 37                                     | П02-M13-19        | SI13   | FSL    | КЧПЗВ 2х2х0,5 |                     |          | На FSL (центробежный выкл.) |           |
| 38                                     | K02-M13-37        | TZ1.23 | SI13   | КВВГ 14х1,5   |                     |          | От 23 панели TZ             |           |
| 39                                     | K02-M13-9         | S13    | SI13   | КВВГ 10х2,5   |                     |          | Выкл. быстродействующий     |           |
| 40                                     | K02-M13-33        | VH205  | SI13   | КВВГ 10х2,5   |                     |          | В.В. распред. Устр. VH205   |           |
| 41                                     | K02-M13-38        | TZ1.11 | SI13   | КВВГ 14х1,5   |                     |          | От 11 панели TZ             |           |
|  |                   |        |        | Изм.          | Лист                | N докум. | Погр.                       | Дата      |
| ЭК 921.000.440 КЖ                      |                   |        |        |               |                     |          |                             | Лист<br>3 |

Рис. 3.6. Лист кабельного журнала привода постоянного тока

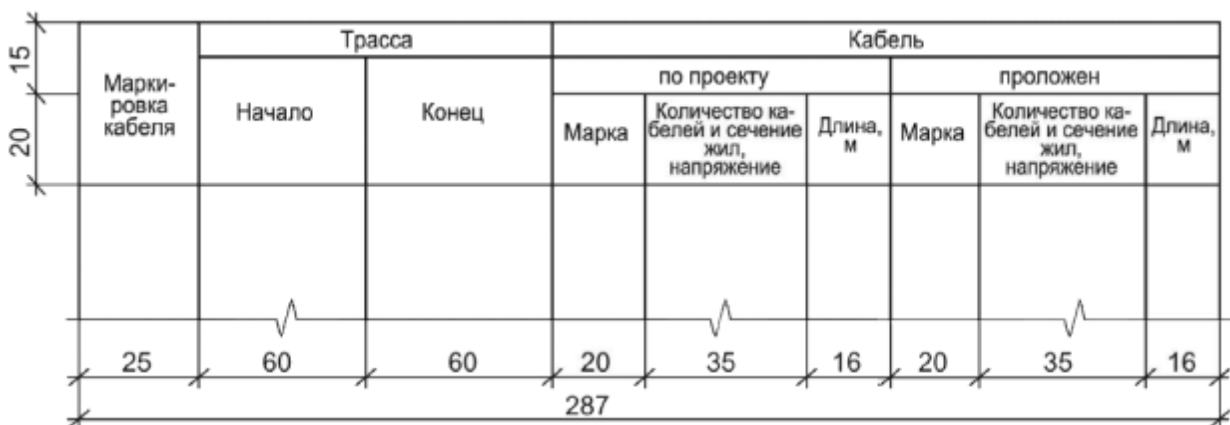


Рис. 3.7. Форма 6. Кабельный журнал для питающей и распределительной сетей по ГОСТ 21.608-2014.

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШКАФА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. Выбор степени защиты шкафа

Главной задачей распределительного шкафа является защита электронных компонентов и приборов от агрессивных сред, например, влаги, воды, частиц

масла в воздухе, агрессивных паров, а также от содержащейся в воздухе пыли. Степени защиты определяются с помощью кодов IP либо с помощью типовых рейтингов NEMA. Аббревиатура "IP" происходит от "Ingress Protection" (в переводе с английского – защита от проникновения). Степень защиты определяется обозначением из двух обязательных букв и двух цифр. Соответствующим стандартом по степеням защиты является DIN EN 60 529 (ГОСТ 14254-96).

Маркировка степени защиты оболочки электрооборудования осуществляется при помощи международного знака защиты (IP) и двух цифр, с необязательным добавлением конкретизирующей буквы, первая из которых означает защиту от попадания твёрдых предметов, вторая — от проникновения воды.

Код имеет вид **IPXX**, где на позициях X находятся цифры либо символ X, если степень не определена. За цифрами могут идти одна или две буквы, дающие вспомогательную информацию.

Максимальная степень защиты по этой классификации — IP68: то есть пыленепроницаемый прибор, выдерживающий длительное погружение в воду под давлением. В данное время максимальная степень защиты — IP69-K: маркировка корпусов изделий, выдерживающих высокотемпературную мойку под высоким давлением.

Первая характеристическая цифра указывает на степень защиты, обеспечиваемой оболочкой (см. табл. 4.1):

- людей от доступа к опасным частям, предотвращая или ограничивая проникновение внутрь оболочки какой-либо части тела или предмета, находящегося в руках у человека;
- оборудования, находящегося внутри оболочки, от проникновения внешних твёрдых предметов.

Таблица 4.1 – Первая характеристическая цифра IP

| Уровень | Защита от посторонних предметов, имеющих диаметр | Описание  |
|---------|--|---|
| X       | —  | X означает, что данные для определения степени защиты по этому критерию отсутствуют |
| 0       | —  | Защита отсутствует  |
| 1       | ≥50 мм   | Большие поверхности тела, нет защиты от сознательного контакта                      |

| Уровень | Защита от посторонних предметов, имеющих диаметр | Описание  |
|---------|--|---|
| 2       | $\geq 12,5$ мм                                   | Пальцы и подобные объекты   |
| 3       | $\geq 2,5$ мм                                    | Инструменты, кабели и т. п.   |
| 4       | $\geq 1$ мм                                      | Большинство проводов, болты и т. п.   |
| 5       | Пылезащищённое                                   | Некоторое количество пыли может проникать внутрь, однако это не нарушает работу устройства. Полная защита от контакта |
| 6       | Пыленепроницаемое                                | Пыль не может попасть в устройство. Полная защита от контакта   |

Вторая классифицирующая цифра указывает степень защиты оборудования от вредного воздействия воды, которую обеспечивает оболочка (см. табл. 4.2):

Таблица 4.2 – Вторая классифицирующая цифра IP

| Уровень | Защита от воды                             | Описание   |
|---------|--|--|
| X       | —  | X означает, что данные для определения степени защиты по этому критерию отсутствуют  |
| 0       | —  | Защита отсутствует   |
| 1       | Вертикальные капли                         | Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства   |
| 2       | Вертикальные капли под углом до $15^\circ$ | Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства, если его отклонить от рабочего положения на угол до $15^\circ$ |
| 3       | Падающие брызги                            | Защита от дождя. Брызги падают вертикально или под углом до $60^\circ$ к вертикали   |
| 4       | Брызги                                     | Защита от брызг, падающих в любом направлении  |

| Уровень | Защита от воды   | Описание  |
|---------|--|---|
| 5       | Струя воды   | Защита от струй воды (сопло 6,3 мм (0,25")) под давлением в 30 кПа на корпус с любого направления   |
| 6       | Мощная струя воды  | Защита от мощных струй воды (сопло 12,5 мм (0,49")) под давлением в 100 кПа на корпус с любого направления  |
| 6К      | Мощная струя воды высокого давления  | Защита от мощных струй воды (сопло 6,3 мм (0,25")) под давлением в 1000 кПа на корпус с любого направления под повышенным давлением   |
| 7       | Кратковременное погружение на глубину до 1 м длительностью не более 30 минут | При кратковременном погружении вода не попадает в количествах, нарушающих работу устройства. Постоянная работа в погружённом режиме не предполагается                         |
| 8       | Погружение на глубину более 1 метра длительностью не более 30 минут          | Устройство может работать в погружённом режиме. Однако для некоторых типов оборудования это может означать, что вода может проникнуть внутрь не оказывая вредного воздействия |
| 9       | Струя воды высокой температуры   | Устройство может работать в условиях высокотемпературной мойки водой высокого давления  |
| 9К      | Мощная струя воды высокой температуры  | Защита от брызг под высоким давлением и высокой температурой с близкого расстояния  |

Дополнительная буква (см. табл. 4.3, табл. 4.4) обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям и указывается в том случае, если:

- действительная степень защиты от доступа к опасным частям выше степени защиты, указанной первой характеристической цифрой;
- обозначена только защита от вредного воздействия воды, а первая характеристическая цифра заменена символом «Х».

Таблица 4.3 – Дополнительная буква к первой классифицирующей цифре IP

| Буква | Значение              |
|-------|-----------------------|
| A     | Тыльной стороной руки |
| B     | Пальцем               |
| C     | Инструментом          |
| D     | Проволокой            |

Таблица 4.4 – Дополнительная буква ко второй классифицирующей цифре IP

| Буква | Значение   |
|-------|--|
| H     | Высоковольтная аппаратура                                |
| M     | Во время испытаний защиты от воды устройство работало    |
| S     | Во время испытаний защиты от воды устройство не работало |
| W     | Защита от погодных условий                               |

#### 4.2. Требования электромагнитной совместимости

Электромагнитная совместимость (ЭМС) характеризует способность устройства устойчиво работать в зоне действия электромагнитного поля, не являясь при этом источником электромагнитных помех, неприемлемых для других устройств, находящихся в данной зоне. Различные устройства не должны создавать друг другу помехи в работе.

Требования ЭМС для «Приводных систем с регулируемой скоростью» описаны в стандарте EN 61800–3 и в аналогичном стандарте ГОСТ Р 51524-2012. Эти требования касаются преобразователей с рабочими напряжениями до 1000 В. В зависимости от места установки приводной системы определены различные типы окружения и категории (см. табл. 4.5.). В зависимости от места установки и мощности привода стандартами EN 61800–3 и ГОСТ Р 51524-2012 определены четыре различные категории C1, C2, C3 и C4 (см. табл. 4.6).

Таблица 4.5 – Определение первого и второго окружения

|                  |   |
|------------------|---|
| Первое окружение | Жилые здания или места, в которых приводная система подключена к коммунальной низковольтной сети без трансформатора |
| Второе окружение | Промышленные зоны, получающие питание через собственный трансформатор от сети среднего напряжения                   |

Таблица 4.6 – Определение категорий С1 до С4

|              |  |
|--------------|--|
| Категория С1 | Номинальное напряжение <1000 В, использование в первом окружении без ограничений   |
| Категория С2 | Стационарные приводные системы, номинальное напряжение <1000 В для использования во втором окружении. Использование в первом окружении при реализации и монтаже квалифицированным персоналом |
| Категория С3 | Номинальное напряжение <1000 В, использование только во втором окружении   |
| Категория С4 | Номинальное напряжение $\geq 1000$ В или для номинальных токов $\geq 400$ А в сложных системах во втором окружении   |

Чтобы обеспечить ЭМС электрических компонентов, необходимо при проектировании и установке шкафов руководствоваться следующими правилами ЭМС.

#### **Монтаж шкафа**

- Соединять окрашенные или анодированные металлические детали, используя фиксирующие зубчатые шайбы, или удалить изолирующее покрытие.
- Использовать неокрашенные обезжиренные монтажные листы.
- Установить центральное соединение между массой и цепью защиты (земля).

#### **Прерывания экранирования**

- Шунтировать прерывания экранирования, например, на клеммах, выключателях, контакторах, по возможности с низким полным сопротивлением и с большим поверхностным контактом.

#### **Использовать большие сечения**

- Изготовить заземляющие кабели и кабели для соединения с корпусом большого сечения, а ещё лучше — из многопроволочных гибких соединений или тонкопроволочного кабеля.

#### **Электропроводку к двигателю проложить отдельно**

- Расстояние от кабеля двигателя до сигнального кабеля должно быть более 20 см. Не прокладывать сигнальный кабель и кабель двигателя параллельно.

#### **Проложить кабель выравнивания потенциалов**

- Рекомендуется проложить кабель выравнивания потенциалов с минимальным сечением в 16 мм<sup>2</sup> параллельно с кабелями цепи управления.

#### **Использовать помехоподавляющие устройства**

- Если подключаются реле, контакторы и индуктивные или ёмкостные нагрузки, то коммутирующие реле или контакторы должны быть оснащены помехоподавляющими устройствами.

## **Монтаж кабелей**

- Прокладывать кабели, испускающие помехи или чувствительные к помехам, на максимально возможном расстоянии друг от друга.
- Все кабели необходимо прокладывать как можно ближе к таким заземлённым частям корпуса, как монтажные листы или рамы шкафа. Это снижает как излучение, так и ввод помех.
- Запасные жилы сигнальных кабелей и информационных кабелей подлежат заземлению с обоих концов для обеспечения дополнительного эффекта экранирования.
- Укоротить длинные кабели или проложить их в помехозащищённых местах. В противном случае могут возникнуть дополнительные контуры связи.
- Если скрещивания неизбежны, провода или кабели, по которым передаются сигналы разного класса, должны пересекаться под прямым углом, особенно когда речь идёт о чувствительных и несущих помехи сигналах.

### **Класс 1:**

- неэкранированные кабели для  $DC \leq 60$  В,
- неэкранированные кабели для  $AC \leq 25$  В,
- экранированные кабели для аналоговых сигналов, экранированные шины и информационные кабели подключения устройств управления, кабели инкрементальных/абсолютных датчиков.

### **Класс 2:**

- неэкранированные кабели для  $DC > 60$  В и  $\leq 230$  В,
- неэкранированные кабели для  $AC > 25$  В и  $\leq 230$  В.

### **Класс 3:**

- неэкранированные кабели для  $AC/DC > 230$  В и  $\leq 1000$  В.

## **Подсоединение экранов**

- Не разрешается использовать экраны для тока. Таким образом, экран не должен одновременно выполнять функцию нулевого провода (N) или защитного провода (PE).
- Подключить экраны с большой площадью контакта. Это можно сделать с помощью заземляющих скоб, клемм заземления или заземляющих резьбовых соединений.
- Избегать удлинения экрана до точки заземления при помощи (гибкой) проволоки, эффективность экранирования уменьшится из-за этого до 90 %.
- Подключить экран непосредственно после входа кабеля в электрошкаф к экранной шине. Полностью удалить изоляцию с экранированного кабеля и довести экран до соединительного элемента устройства, однако не подключать его там повторно.

## **Подсоединение периферийных устройств**

- Установить соединение корпуса с другими электрошкафами, частями установки и децентрализованными устройствами проводниками с

возможно большим (не менее 16 мм<sup>2</sup>) сечением и низким полным сопротивлением.

- Заземлить неиспользованные кабели с одной стороны в электрошкафу.
- Выбрать максимально возможное расстояние между кабелями питания и сигнальными кабелями, однако, не менее 20 см. При этом правило следующее: чем длиннее параллельная проводка, тем больше расстояние. Если невозможно соблюсти расстояние, необходимо предусмотреть дополнительные меры экранирования.
- Не использовать длинные шлейфы кабелей.

#### **Дополнительные фильтры**

- Может возникнуть необходимость в дополнительной установке фильтров для подводки из сети и кабелей питания устройств и модулей в электрошкафу, чтобы уменьшить помехи, входящие или исходящие через кабель.
- Для ограничения излучения помех устройство стандартно оснащено фильтром радиопомех в соответствии с предельными значениями, установленными в категории С3. Для использования в первом окружении (категория С2) опционально возможен фильтр.

#### **Провод защитного заземления**

- Минимальное сечение провода защитного заземления должно отвечать местным предписаниям по технике безопасности для оборудования с высоким током утечки.

На рисунке 4.1 приведён пример выполненного с учётом правил ЭМС проекта электрошкафа с преобразователем Sinamics DCM.

### **4.3. Выбор шкафного оборудования и компоновка шкафа**

Оборудование шкафов для электрооборудования выпускают многие зарубежные и отечественные фирмы, например, Rittal, ДКС, Провенто и др. Инженеру-проектировщику предоставляется широкий выбор вариантов конструкций. Ниже приведён пример подбора шкафного оборудования фирмы Rittal для установки преобразователя частоты (см. табл. 4.7).



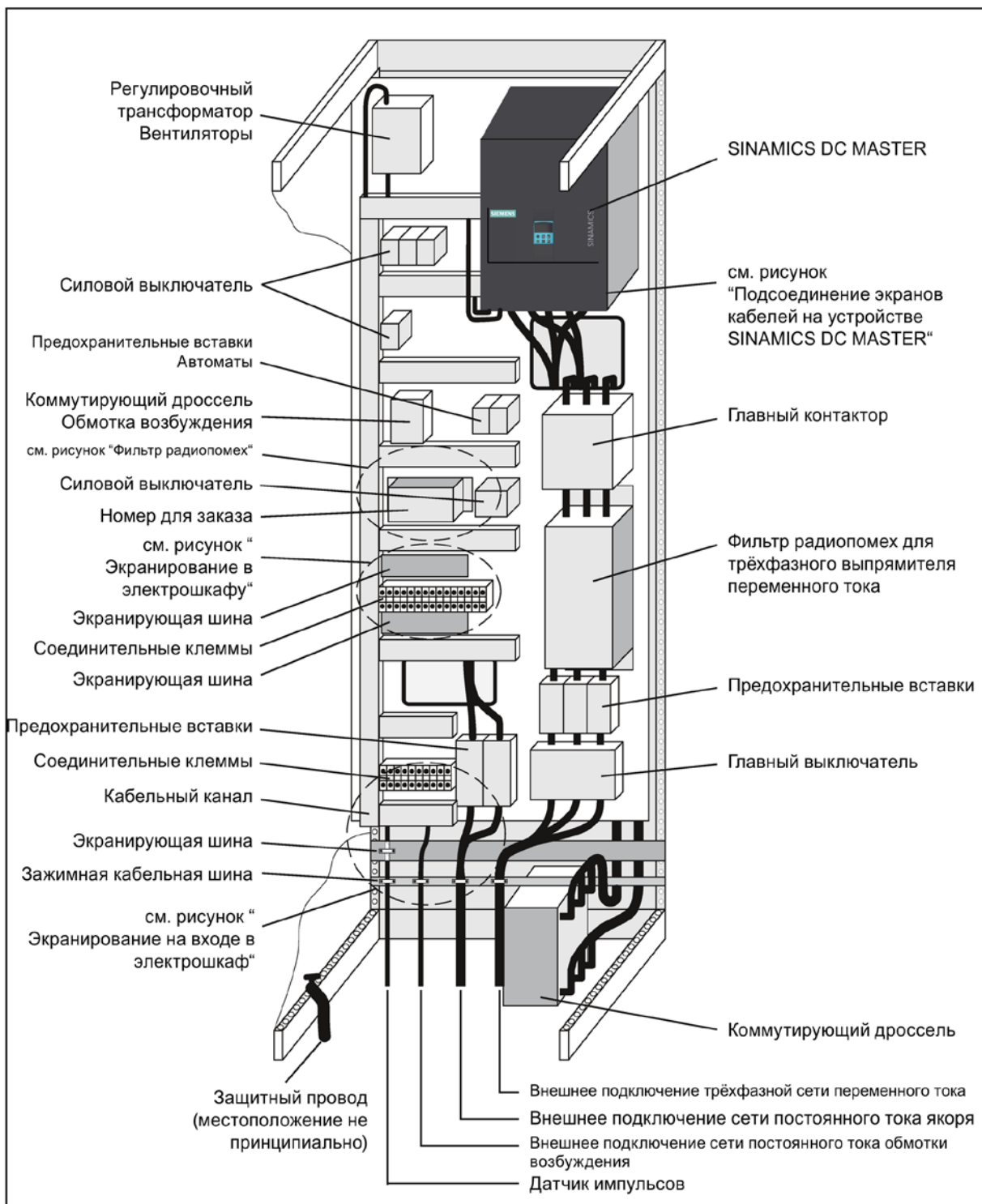


Рис. 4.1. Пример конструктивного исполнения электрошкафа с преобразователем Sinamic DCM

Таблица 4.7 – Шкафное оборудование для преобразователя частоты

| Наименование   | Код     | К-во |
|--|---------|------|
| Распределительный шкаф серии TS 8<br>ШхВхГ=1200х2000х800 мм                                    | 8208500 | 1    |
| Элементы цоколя, передние и задние. Высота 100 мм, для ширины шкафа 1200 мм                    | 8601200 | 1    |
| Элементы цоколя, передние и задние. Высота 100 мм, для ширины шкафа 600 мм                     | 8601600 | 1    |
| Фальш-панели цоколя, боковые. Высота 100 мм, для глубины шкафа 800 мм                          | 8601080 | 1    |
| Боковые стенки, комплект   | 8108235 | 1    |
| С-образные профильные шины 30/15 Для ширины/глубины шкафа 1200 мм, 6 шт./уп.                   | 4947000 | 1    |
| Держатель или распорка для крепления С-образных профильных, несущих и кабельных шин, 6 шт./уп. | 4199000 | 1    |
| Планка с гермовводами, 1200 м, комплект  | 8800120 | 1    |
| Гермовводы на 3 ввода, комплект  | 4317000 |      |
| Гермовводы на 8 вводов, комплект   | 4316000 |      |
| Секционная монтажная панель 700х700 мм   | 8614880 | 1    |
| Рейка монтажная 23х73, комп.   | 8612580 | 1    |
| Держатель комбинированный, комп.   | 4183000 | 1    |
| Рейка монтажная 23х73, комп.   | 4377000 | 1    |
| Монтажные перемычки на дверь, 600  | 4596000 |      |
| Карман для документации  | 4116000 | 1    |
| Рейка для установки трансформатора 1200 мм, комплект   | 4363000 | 1    |
| Кабельные зажимы 12 - 18 мм, комплект  | 7078000 | 1    |
| Кабельные зажимы 42 - 56 мм, комплект  | 7098100 | 1    |
| Светильник 14 Вт, 230 В, 50 Гц (с розеткой)  | 4138140 | 1    |
| Концевой выключатель двери с комплектующими  | 4127010 | 1    |
| Кабель для электропитания 3 м, упаковка по 5 штук  | 4315100 | 1    |
| Фильтрующий вентилятор 230 В, 700 м <sup>3</sup> /ч.   | 3244100 | 4    |
| Выходной фильтр для фильтрующих вентиляторов   | 3243200 | 1    |
| Реле контроля температуры  | 3110000 | 1    |

В состав базового конструктива распределительного шкафа Rittal серии TS 8 (см. рис. 4.2) входит каркас шкафа с дверями и задней стенкой, а также монтажная панель и съёмная крышка пола. Шкафы комплектуются цоколем, дополнительными монтажными панелями и другим оборудованием.

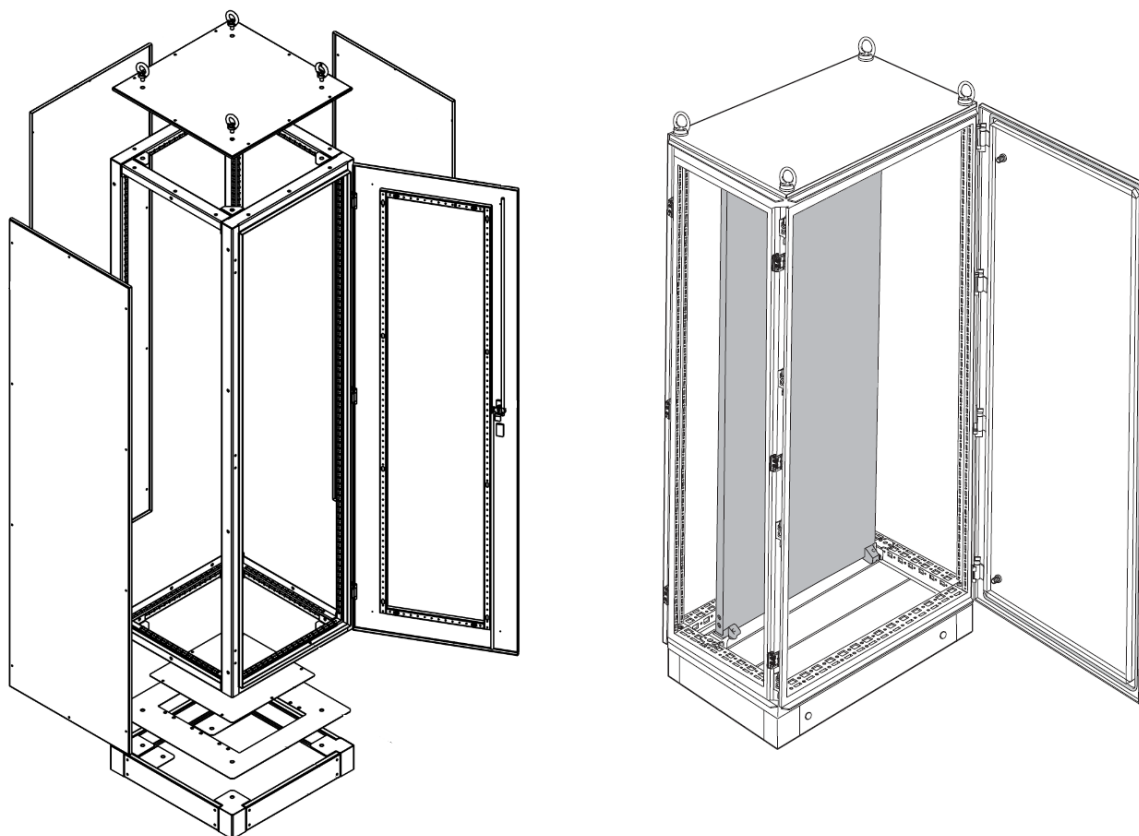


Рис. 4.2. Базовая конструкция электромонтажных шкафов

Шкафы могут быть соединены в общий щит, тогда на все шкафы понадобится только один комплект боковых стенок. Основное оборудование устанавливается в монтажной панели. Тяжёлые трансформаторы и дроссели устанавливаются на полу шкафа, на рейках для установки трансформатора. На рисунке 4.3 показан шкаф с преобразователем частоты, входящий в состав щита управления системой электропривода.

Преобразователь частоты установлен на основной монтажной панели; на этой же панели установлены разъединитель с предохранителями, контактор и входной дроссель. Внизу установлен выходной дроссель; слева, на дополнительной боковой панели, размещены цепи оперативного напряжения; на правой стенке шкафа установлен тормозной блок; ящики с тормозными сопротивлениями, подключённые к тормозному блоку, установлены на крыше шкафа. На дверях шкафа установлен вентилятор и решётки с фильтрами, щитовые приборы и сигнальные лампы.



Рис. 4.3. Шкаф с преобразователем частоты 160 кВт

#### **4.4. Выбор оборудования для охлаждения электропривода**

Для нормальной работы оборудования электропривода необходимо обеспечить внутри шкафа требуемые условия по климатизации.

Для обогрева оборудования в шкафу используются устройства одного типа — нагреватели, в то время как для отвода избыточного тепла из шкафа — множество устройств различных типов. Наиболее широкое практическое применение имеют нагнетательные вентиляторы и холодильные агрегаты.

##### **Расчёт теплового баланса шкафа**

В области систем микроклимата для шкафов действуют несколько стандартов: IEC 60 890 (ранее МЭК 890), EN 60 814, DIN 57660 часть 500 и др. Эти стандарты унифицируют принцип расчёта теплообмена шкафа.

Без оборудования климатизации единственным способом теплообмена шкафа с окружающей средой является естественная конвекция. Следовательно, принципиально важным является понятие эффективной площади теплообмена шкафа. Очевидно, что способ установки шкафа радикально влияет на теплообмен шкафа. Свободно стоящий шкаф может отдавать большее количество тепла в окружающую среду (при положительной разности между внутренней и наружной температурой), чем шкаф, встроенный в нишу или интегрированный в конструкцию машины. Стандартом предусмотрена классификация типов установки шкафов и указана формула для расчёта эффективной площади теплообмена  $A$  для каждого случая (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Формулы для расчёта площади теплообмена - параметра  $A$

| Тип установки   | Формула для расчёта $A$ , м <sup>2</sup>                    |
|---|---|
| Один шкаф, свободно стоящий                                 | $A = 1,8 \cdot H \cdot (W+D) + 1,4 \cdot W \cdot D$         |
| Один шкаф, монтируемый на стену                             | $A = 1,4 \cdot W \cdot (H+D) + 1,8 \cdot D \cdot H$         |
| Крайний шкаф свободно стоящего ряда                         | $A = 1,4 \cdot D \cdot (H+W) + 1,8 \cdot W \cdot H$         |
| Крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену                   | $A = 1,4 \cdot H \cdot (W+D) + 1,4 \cdot W \cdot D$         |
| Не крайний шкаф свободно стоящего ряда                      | $A = 1,8 \cdot W \cdot H + 1,4 \cdot W \cdot D + D \cdot H$ |
| Не крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену                | $A = 1,4 \cdot W \cdot (H+D) + D \cdot H$                   |
| Не крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену, под козырьком | $A = 1,4 \cdot W \cdot H + 0,7 \cdot W \cdot D + D \cdot H$ |

В приведённой таблице использованы следующие обозначения:

$W$  — ширина шкафа, м;

$H$  — высота шкафа, м;

$D$  — глубина шкафа, м.

Для расчётов используются следующие переменные и параметры:

$T_i$  — температура внутри шкафа, К;

$T_a$  — температура окружающей среды, К;

$\Delta T = T_i - T_a$ ;

$Q_v$  — тепловые потери, выделяемые оборудованием внутри шкафа, Вт;

$Q_s$  — тепло, отводимое через поверхность шкафа, Вт;  $Q_s > 0$  при  $\Delta T > 0$ ,  $Q_s < 0$  при  $\Delta T < 0$ ;

$Q_o$  — необходимая мощность охлаждения холодильного агрегата шкафа или тепловая мощность обогревателя шкафа ( $Q_o < 0$ ), Вт;

$V$  — объёмный поток воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$A$  — эффективная площадь теплообмена шкафа, м<sup>2</sup>;

$k$  — коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>К; для листовой стали  $k \approx 5,5$ ; для пластика  $k \approx 3,5$ ; для шкафов с двойными стенками из стального или алюминиевого листа принимают  $k \approx 2,7 \div 3,0$ .

Если шкаф не имеет средств климатизации ( $Q_v = Q_s$ ), то установившаяся разность температур между внутренним пространством шкафа и окружающей средой, описывается известным уравнением теплопроводности:

$$\Delta T = \frac{Q_s}{k \cdot A} \quad (4.1)$$

Если полученное из (1) с помощью выражения  $\Delta T = T_i - T_a$  значение  $T_i$  больше/меньше допустимого, то необходима дополнительная мощность для охлаждения/отопления шкафа:

$$Q_o = Q_v - Q_s.$$

Итак, необходима дополнительная мощность для охлаждения/отопления шкафа:

$$Q_o = Q_v - k \cdot A \cdot (T_i - T_a) \quad (4.2)$$

**Замечание.** Отрицательная величина  $Q_o$  показывает, что требуется нагреватель, а не охладитель.

В зависимости от соотношения температуры окружающей среды ( $T_a$ ) и желаемой температуры внутри шкафа ( $T_i$ ) можно сразу определить, какие возможности по контролю микроклимата доступны (см. табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Критерии выбора контроля микроклимата

| <b>Пассивный контроль микроклимата</b>     | <b>Соотношение температур <math>T_i, T_a</math></b> |
|--|---|
| Естественная конвекция                     | $T_i > T_a$   |
| <b>Активный контроль микроклимата</b>      |   |
| Циркуляция воздуха                         | $T_i > T_a$   |
| Фильтрующие вентиляторы и выходные фильтры | $T_i > T_a$   |
| Воздухо-воздушные теплообменники           | $T_i > T_a$   |
| Воздухо-водяные теплообменники             | $T_i < T_a$   |
| Системы обратного/водяного охлаждения      | $T_i < T_a$   |
| Холодильные агрегаты                       | $T_i < T_a$   |

#### **Теплоотвод принудительной циркуляцией воздуха; $T_i > T_a$ (см. рис. 4.4)**

Для того, чтобы улучшить конвекцию (передачу тепла) изнутри наружу через стенки шкафа, используются так называемые циркуляционные вентиляторы. Эти вентиляторы обеспечивают циркуляцию воздуха внутри шкафа и способствуют более равномерному распределению тепла в шкафу и по его стенкам.



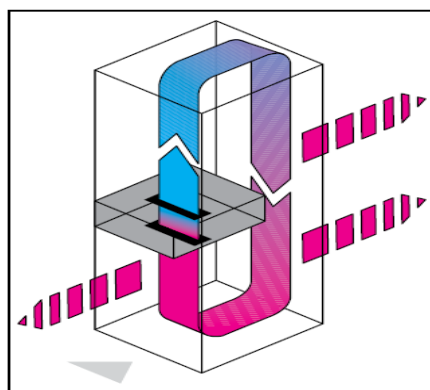


Рис. 4.4. Теплоотвод принудительной циркуляцией воздуха

**Степень защиты:** до IP68.

**Максимальная мощность охлаждения:** 350 Вт.

**Преимущества:** отсутствие скоплений тепла благодаря циркуляции.

**Недостатки:** ограниченная мощность охлаждения.

**Теплоотвод фильтрующими вентиляторами;  $T_i > T_a$  (см. рис. 4.5)**

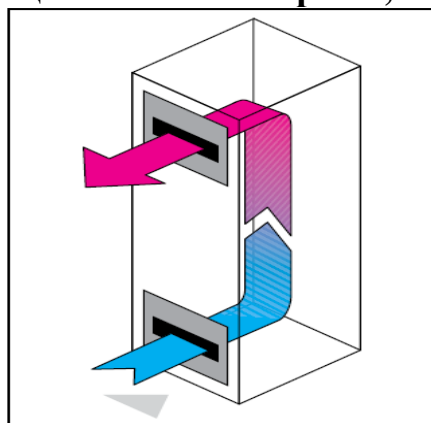


Рис. 4.5. Теплоотвод фильтрующими вентиляторами

В большинстве случаев для поддержания требуемой постоянной температуры внутри шкафа 35°C бывает недостаточно использовать только конвекцию. Простейшее решение обеспечивают фильтрующие вентиляторы.

**Степень защиты:** до IP54/IP55.

**Максимальная мощность охлаждения:** 2000 Вт.

**Преимущества:** недорогой и эффективный метод охлаждения.

**Недостатки:** при загрязнённом воздухе требуется замена прокладок.

Как правило, блоки вентиляторов с фильтром имеют уровень защиты IP54 стандартно. При установке фильтров тонкой очистки, способных задерживать

частицы более 10 мкм, уровень защиты достигает IP55, а при установке ещё и специального брызгозащитного козырька — IP56.

В зависимости от требований вентиляторы можно установить как на "вдув" воздуха в шкаф, так и на "вытяжку" воздуха из шкафа. По возможности рекомендуется установка "на вдув", во избежание пониженного давления внутри шкафа. При пониженном давлении воздух попадает в шкаф неконтролируемо, т. е. не только через фильтр, но и через кабельные вводы и другие негерметичные места. Нефильтрованный воздух и пыль могут привести к проблемам. При установке "на вдув" воздух подаётся в шкаф целенаправленно, неконтролируемое попадание исключено.

Для расчёта объёмного потока  $V$ , необходимого для отвода тепловой мощности  $Q_v$ , применяется следующее выражение:

$$V = f \cdot Q_v / \Delta T, \quad (4.3)$$

где  $f$  — коэффициент, зависящий от высоты над уровнем моря (см. табл. 4.10).

Таблица 4.10 – Коэффициент  $f$

| Высота (м) | $f$ (м <sup>3</sup> /К)/Втч |
|------------|-----------------------------|
| 0          | 3,1                         |
| 500        | 3,3                         |
| 1000       | 3,5                         |
| 1500       | 3,8                         |
| 2000       | 4,1                         |
| 2500       | 4,4                         |
| 3000       | 4,8                         |
| 3500       | 5,2                         |

В характеристиках блоков «вентилятор + фильтр» обычно указывается производительность для свободного потока, без учёта противодавления воздуха, возникающего при установке в шкаф также и выходного фильтра. При установке одного выходного фильтра, совпадающего с блоком «вентилятор + фильтр» размера реальная производительность вентилятора падает в среднем на 25 – 30 %. Уменьшить падение производительности помогает установка двух фильтров или одного фильтра, следующего в модельном ряду типоразмера. Дальнейшее увеличение площади выходного фильтра существенной прибавки производительности не даёт.

Рекомендуется всегда устанавливать вентиляторы так, чтобы они нагнетали воздух в нижнюю часть шкафа, и комплектовать шкаф выходными фильтрами в верхней части.



С помощью диаграммы (см. рис. 4.6) для выбора можно быстро и просто определить необходимую мощность фильтрующего вентилятора по тепловыделению  $Q_v$  и разности температур ( $T_i - T_a$ ).

**Пример:**

Тепловыделение  $Q_v = 600$  Ватт

Разность температур:

$$T_i - T_a = 35 - 25 = 10\text{K}$$

Результат: Необходимый объёмный расход по диаграмме около **180 м<sup>3</sup>/ч**.

Рекомендуется выбрать вентилятор с мощностью на 20 % выше, чем определилось в расчёте, т. е. в нашем примере около 220 м<sup>3</sup>/ч. Таким образом, учитывается загрязнение фильтрующей прокладки окружающим воздухом.

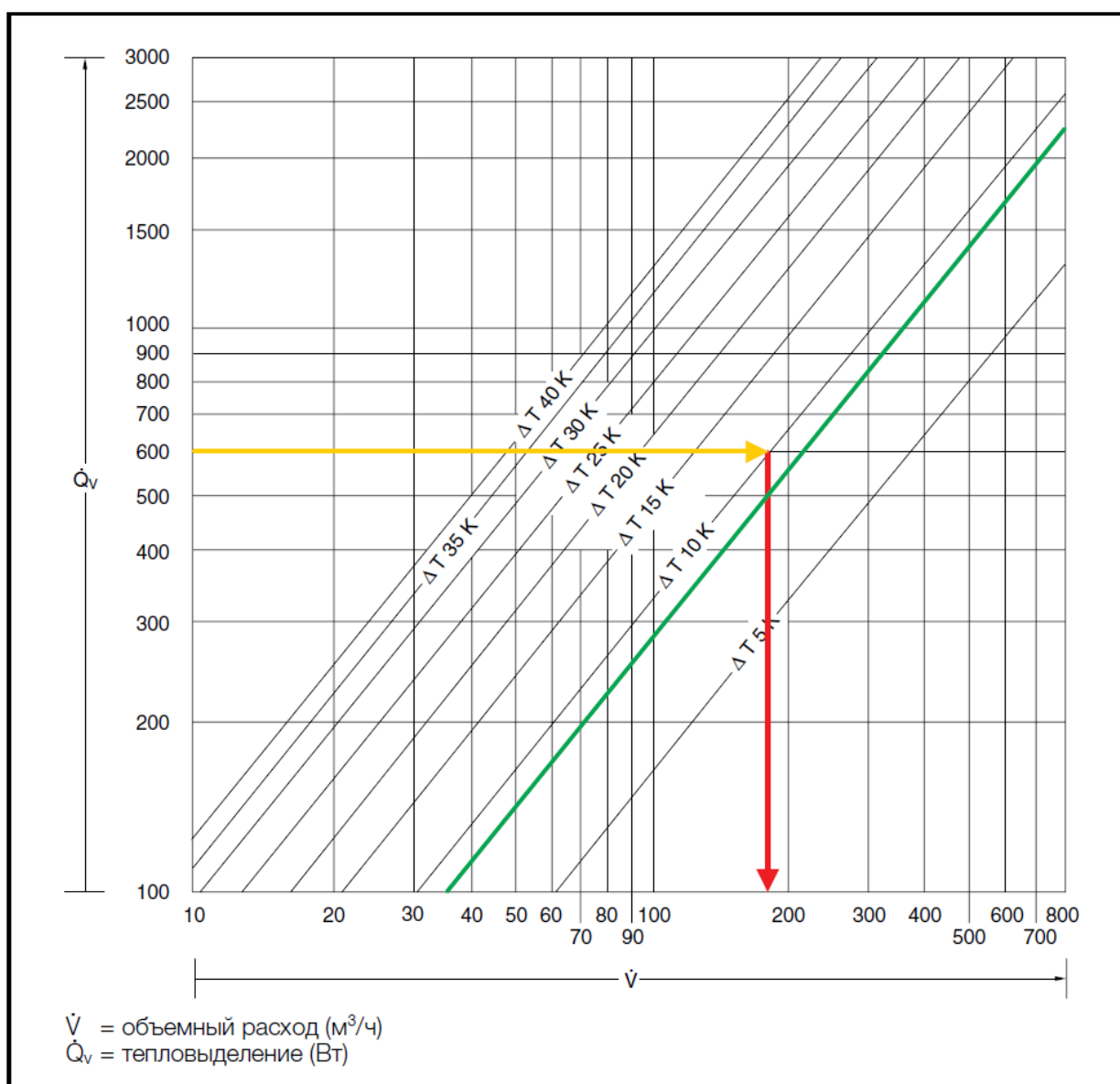


Рис. 4.6. Диаграмма выбора фильтрующего вентилятора

## Теплоотвод воздушно-воздушными теплообменниками $T_i > T_a$ (см. рис. 4.7)

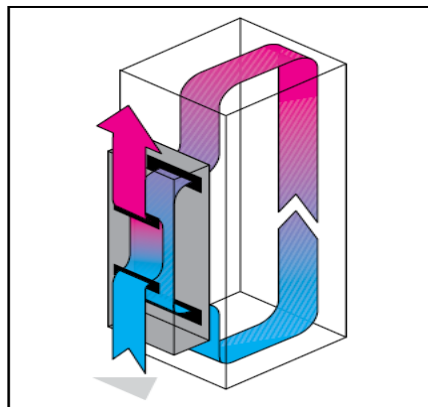


Рис. 4.7. Теплоотвод воздушно-воздушным теплообменником

Если шкаф должен иметь степень защиты не ниже IP54 и имеется положительная разность температур окружающего воздуха и воздуха внутри шкафа ( $T_i > T_a$ ), можно использовать воздушно-воздушные теплообменники. Чем больше разность между внутренней и наружной температурами, тем большую мощность тепловыделения можно отвести из шкафа наружу.

**Степень защиты:** до IP54.

**Максимальная мощность охлаждения:** 1000 Вт.

**Преимущества:** практически не требует обслуживания по сравнению с фильтрующими вентиляторами.

**Недостатки:** КПД меньше, чем у фильтрующих вентиляторов.

Тёплый внутренний воздух шкафа всасывается в верхней части вентилятором и продувается через теплообменник со скрещивающимися потоками воздуха. Более холодный окружающий воздух также всасывается вентилятором и также продувается через теплообменник, без смешения двух потоков воздуха. Поток более холодного окружающего воздуха охлаждает теплообменник и отводит тепло от теплообменника в окружающую среду. Внутренний воздух шкафа охлаждается теплообменником и направляется в нижнюю часть шкафа.

## Теплоотвод воздушно-водяными теплообменниками $T_i < T_a$ (см. рис. 4.8)

Воздушно-водяные теплообменники незаменимы, если:

- необходимо рассеять большое количество избыточного тепла из сравнительно малого объёма, в том числе из шкафов, образующих ряд;
- непосредственное рассеяние тепла в окружающий воздух нежелательно или невозможно из-за малого объёма помещения или экстремальных значений температуры окружающей среды (от +1 до +75°C);

- воздух помещения сильно загрязнён, поэтому использование обычного холодильного агрегата невозможно.

**Максимальная мощность охлаждения:** 10 000 Вт.

**Преимущества:** высокая степень защиты; небольшие затраты на обслуживание.

**Недостатки:** высокие требования к инфраструктуре.

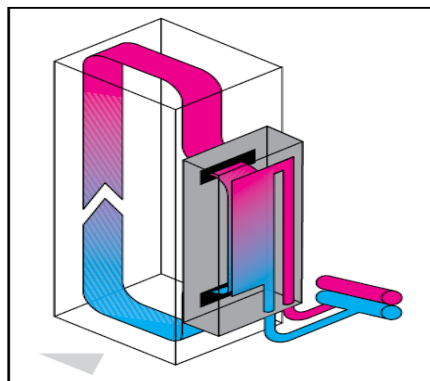


Рис. 4.8. Теплоотвод воздушно-водяным теплообменником

Для того чтобы при установке теплообменника не нарушалась защита шкафа, эти приборы имеют уровень защиты IP55 стандартно, по заказу изготавливаются изделия с уровнем защиты IP65.

### **Системы обратного охлаждения; $T_i < T_a$**

Системы обратного охлаждения (СОО) используются там, где требуется очень высокая мощность охлаждения:

- охлаждение машин и механизмов, приводов, лазеров;
- охлаждение жидкостей, газов;
- рассеяние тепла от воздушно-водяных теплообменников;
- централизованные/интегрированные системы охлаждения.

Системы обратного охлаждения предназначены для обеспечения подачи охлаждённого жидкого теплоносителя (воды с присадками или масла) для воздушно-водяных теплообменников или других потребителей с системой жидкостного охлаждения. Системы обратного охлаждения характеризуются главным параметром — мощностью охлаждения. Согласно стандарту эта характеристика нормируется всегда при фиксированных условиях: температура окружающего воздуха  $+32^{\circ}\text{C}$  и температура на входе  $+18/+20^{\circ}\text{C}$  при использовании в качестве теплоносителя воды/масла соответственно. Серийно в виде готовых к подключению аппаратов поставляются системы мощностью примерно от 1 до 200 кВт.

### **Контроль микроклимата с холодильными агрегатами; $T_i < T_a$**

Наиболее распространённое и удобное решение по отводу тепла из распределительных шкафов и корпусов с электроникой обеспечивают

холодильные агрегаты. Температура внутри шкафа может при этом быть значительно ниже, чем в окружающей среде, например,  $T_a = +45^\circ\text{C}$ ,  $T_i = 35^\circ\text{C}$ . Все холодильные агрегаты имеют два полностью разделённых воздушных контура и обеспечивают степень защиты IP54 во внутреннем контуре. Для применения в промышленности ко всем агрегатам предъявляются высокие технические требования. Условия применения холодильных агрегатов распределительных шкафов определены в DIN EN 14 511. Как правило, максимальная температура окружающей среды не должна быть выше  $+55^\circ\text{C}$ .

### **Пример выбора холодильного агрегата**

Тепловыделение в шкафу  $Q_v = 2000$  Ватт.

Размеры шкафа (Ш x В x Г) = 600 x 2000 x 500 мм, свободно стоящий.

Температура окружающей среды  $T_a = 45^\circ\text{C}$ .

Желаемая температура внутри шкафа  $T_i = 35^\circ\text{C}$ .

#### **Шаг 1**

Расчет поверхности шкафа:

$$A = 1,8 \cdot В \cdot (Ш + Г) + 1,4 \cdot Ш \cdot Г;$$

$$A = 1,8 \cdot 2,0 \cdot (0,6 + 0,5) + 1,4 \cdot 0,6 \cdot 0,5;$$

$$A = 4,38 \text{ м.}$$

#### **Шаг 2**

Расчет поглощаемой вовнутрь ( $+35^\circ\text{C}$ ) мощности из окружающей среды ( $+45^\circ\text{C}$ ,  $T_i < T_a$ ):

$$Q_s = k \cdot A \cdot (T_i - T_a);$$

$$Q_s = 5,5 \cdot 4,38 \cdot (45 - 35);$$

$$Q_s = 242 \text{ Ватт.}$$

$$Q_e = Q_v + Q_s = 2000 + 242;$$

$$Q_e = 2242 \text{ Ватт.}$$

Данная тепловая мощность должна отводиться наружу холодильным агрегатом

#### **Шаг 3, результат**

Необходимо использовать холодильный агрегат с мощностью охлаждения 2242 Ватт при температуре окружающей среды  $+45^\circ\text{C}$  и температуре внутри шкафа  $+35^\circ\text{C}$ .

## **5. СОСТАВ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОЕКТА ШКАФА РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

В состав проекта шкафа электропривода должны быть включены следующие документы.

Пояснительная записка с разделами:

- расчёты по выбору преобразователя и элементов силовой части;

- обоснование выбора шкафного оборудования;
- обоснование выбора оборудования для обеспечения необходимого микроклимата шкафа электропривода.

Однолинейная схема шкафа электропривода.

Принципиальная схема электропривода.

Чертёж компоновки шкафа электропривода.

Спецификация.

Кабельный журнал.

## 6. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Проектирование шкафа электропривода

1. Выбрать электропривод для двигателя заданной мощности.
2. Разработать однолинейную схему.
3. Разработать принципиальную схему шкафа электропривода, включая силовые, оперативные и сигнальные цепи привода.
4. По каталогу Rittal выбрать шкаф для установки привода. Обеспечить степень защиты не ниже IP54.
5. Определить мощность тепловых потерь и выбрать оборудование для охлаждения электропривода – вентиляторы или шкафные кондиционеры.
6. Разработать чертёж компоновки оборудования в шкафу. В качестве силовых проводников в шкафах применить медные шины.
7. Разработать кабельный журнал для подключения шкафов к трансформаторам, к двигателям.

В таблице 6.1 представлены варианты исходных данных для проектирования шкафа электропривода.

Таблица 6.1 – Варианты приводов

| № п/п | Назначение привода | Мощность двигателей                       | Преобразователь |
|-------|--------------------|---|-----------------|
| 1     | Тянущие ролики     | 2x200кВт<br>440В DC                       | Sinamics DCM    |
| 2     | Привод конвейера   | 2x110 кВт<br>400В AC                      | Sinamics G120   |
| 3     | Привод конвейера   | 2x250 кВт<br>400В AC                      | Sinamics G130   |
| 4     | Привод конвейера   | 2x160 кВт<br>400В AC                      | ACS880-01       |
| 5     | Привод кран-балки  | 1x50кВт 1x5,5кВт + 2x4кВт.<br>Все 400В AC | Sinamics G120   |

Продолжение табл. 6.1.

| № п/п | Назначение привода           | Мощность двигателей  | Преобразователь |
|-------|------------------------------|--|-----------------|
| 6     | Перемоточный станок          | 2x110 кВт<br>440В DC   | Sinamics DCM    |
| 7     | Перемоточный станок          | 2x90 кВт<br>400В AC  | ACS880-01       |
| 8     | Главный привод Софт-каландра | Нижний и верхний валы:<br>250кВт + 160кВт 400В AC  | Sinamics S120   |
| 9     | Привод двухвального пресса   | 2x75 кВт<br>440В DC  | Sinamics DCM    |
| 10    | Привод кран-балки            | 1x75кВт 1x7,5кВт +<br>2x5,5кВт. Все 400В AC  | ACS880-01       |
| 11    | Привод отжимной машины       | Uян = 240В DC, Iян =<br>2200А, пн=150об/мин,<br>Uв = 110/220В DC, Iв =<br>72/36А                                   | Sinamics DCM    |
| 12    | Привод сушильной машины      | Uян = 580В DC, Iян =<br>2130А, пн=250об/мин,<br>Uв = 110/220В DC, Iв =<br>88/44А                                   | Sinamics DCM    |
| 13    | Привод пресса                | Верхний вал: Uян = 440В<br>DC,<br>Pн = 160 кВт, Iв = 9А<br>Нижний вал: Uян = 440В<br>DC,<br>Pн = 315 кВт, Iв = 12А | Sinamics DCM    |
| 14    | Привод пресса                | Верхний вал: Uн = 400В AC,<br>Pн = 160 кВт<br>Нижний вал: Uн = 400В AC,<br>Pн = 315 кВт                            | Sinamics S120   |
| 15    | Перемоточный станок          | 2x75 кВт<br>400В AC  | Unidrive M700   |
| 16    | Привод конвейера             | 2x110 кВт<br>400В AC   | Unidrive M700   |
| 17    | Привод двухвального пресса   | 2x75 кВт<br>440В AC  | Unidrive M700   |
| 18    | Главный привод Софт-каландра | Нижний и верхний валы:<br>250кВт + 160кВт, 400В AC   | Unidrive M700   |

|    |                     |                      |           |
|----|---------------------|----------------------|-----------|
| 19 | Перемоточный станок | 2x132 кВт<br>400В АС | ACS880-01 |
| 20 | Привод конвейера    | 2x160 кВт<br>400В АС | ACS880-01 |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем [Текст]. – Введ. 2012-01-01. – М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 29 с.

2. ГОСТ 2.710-81. Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах [Текст]. – Введ. 1981-01-07. Дата актуализации 2021-01-01. – М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 10 с.

3. ГОСТ 2.755-87. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения [Текст]. – Введ. 1988-01-01. Дата актуализации 2021-01-01. – М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 11 с.

4. ГОСТ 21.608-2014. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения [Текст]. – Введ. 2015-01-07.– М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 18 с.

5. ГОСТ 2.104-96. Единая система конструкторской документации. Основные надписи [Текст]. – Дата актуализации 2021-01-01.– М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 14 с.

6. ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP) [Текст]. – Введ. 1997-01-01. Дата актуализации 2021-01-01.– М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 32 с.

7. ГОСТ Р 51524-2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы электрического привода с регулируемой скоростью. Часть 3. Требования ЭМС и специальные методы испытаний [Текст]. – Введ. 1997-01-01. Дата актуализации 2021-01-01.– М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2020. – 97 с.

8. EN 61800-3: 2004. Системы электропривода с регулируемой скоростью. Часть 3. Требования к электромагнитной совместимости и специальные меры испытаний.

9. Sinamics DCM DC Converter. Руководство по эксплуатации. Сименс АО Division Process Industries and Drives / Нюрнберг, 2015.

10. ABB industrial drives ACS880 drive modules. Catalog. / 2017.  
[www.abb.com/drives](http://www.abb.com/drives)

11. FR-A846 Преобразователи частоты. Информация о продукции EBG262-  
RU / Mitsubishi Electric (Russia) LLC /Россия /Москва 2015.

12. Rittal – The System. Системный каталог 36. / 2020. [www.rittal.com](http://www.rittal.com)



Учебное издание

**Ковалёв Евгений Николаевич**

**Монтаж, наладка и эксплуатация  
электроприводов  
Проектирование шкафа управления  
электроприводом**

Редактор и корректор М. Д. Баранова  
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 08.02.2022 г. Изд. № 5252/21

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.