

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем
электроснабжения
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Разработка системы электроснабжения АСУ химическим производством

Студент

В.А. Паршин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.А. Кувшинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2019 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2019 г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Организация бесперебойного электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена ООО «СИБУР-Тольятти».....	10
1.1. Общие положения регламентов безопасности РФ относящиеся к электроснабжению АСУТП.....	10
1.2. Общие требования к качеству электропитания АСУТП.....	12
1.3. Требования к времени удержания электропитания при полном пропадании питания по основным вводам 0,4кВ.....	13
1.4. Требования к показателю надежности электропитания АСУТП.....	14
1.5. Основные концепции организации надежного электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена.....	18
1.6. Вывод по первой главе.....	25
2. Проектирование электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена.....	26
2.1. Зона проектирования системы.....	26
2.2. Общая структура электропитания КТС АСУТП.....	26
2.3. Схема нагрузок.....	29

электропитания.....	
2.4. Расчет параметров нагрузок КТС АСУТП установки И-6 производства	29
Изопрена.....	
2.5. Вывод по второй главе.....	35
3. Расчет параметров и выбор ИБП для КТС АСУТП установки И-6 производства	36
Изопрена.....	
3.1. Температурный режим эксплуатации системы электроснабжения КТС АСУТП.....	36
3.1.1. Зависимость частоты отказов электронных устройств от температуры.....	36
3.1.2. Зависимость времени службы электронных устройств от температуры.....	37
3.1.3. Зависимость температуры электронных устройств от условий эксплуатации.....	41
3.2. Определение эксплуатационных запасов основных параметров ИБП..	44
3.3. Расчет максимальной мощности ИБП.....	45
3.4. Выбор ИБП и батарейного блока.....	47
3.4.1. Общие требования к ИБП.....	47
3.4.2. Выбор модели ИБП.....	49

3.4.3.	Выбор	блока	батарей	53
ИБП.....				
3.4.4.	Итоговая		комплектация	53
ИБП.....				
3.5.	Расчет системы АВР	системы	электропитания	КТС 53
АСУТП.....				
3.6.	Определение параметров автоматических выключателей нагрузок электропитания			КТС 57
АСУТП.....				
3.7.	Вывод по третьей главе.....			58
4.	Проверка показателей	надежности	электропитания	КТС 59
АСУТП.....				
4.1.	Применяемая методика расчета надежности и основные допущения в			расчете 59
надежности.....				
4.2.	Структурная схема узлов системы электропитания для расчета надежности.....			62
4.3.	Расчет надёжности системы электропитания КТС АСУТП для расчета надежности.....			63
4.3.1.	Расчет	показателей	Группы	63
А.....				
4.3.2.	Расчет	показателей	Группы	64
В.....				
4.3.3.	Расчет	показателей	Группы	65
С.....				
4.3.4.	Расчет	показателей	Группы	67
D.....				

4.3.5.	Расчет	показателей	итоговой	Группы	68
Е.....					
4.4.	Оценка	итогового	расчетного	показателя	68
надежности.....					
4.5.	Требования к эксплуатации и ТО системы электропитания КТС АСУТП для обеспечения проектных показателей надежности.....				69
4.6.	Требования к температурному режиму эксплуатации системы электропитания АСУТП.....				КТС 69
4.7.	Перечень задач ТО системы электропитания АСУТП.....				КТС 73
4.8.	Задачи ТО поиска потенциальных отказов системы электропитания КТС АСУТП.....				73
4.9.	Задачи ТО поиска скрытых отказов системы электропитания КТС АСУТП.....				76
4.10.	Планово-предупредительные задачи ТО системы электропитания КТС АСУТП.....				77
4.11.	Вывод	по	четвертой	главе.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....					78
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ИЛИ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....					80
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....					83

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире крупная часть мирового рынка промышленности приходится на нефтехимические предприятия. Продукты их производства являются неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. И уже сложно представить нашу жизнь без использования этих вещей.

В большинстве случаев это аварийно-опасные и вредные для здоровья человека производства. Зачастую, чтобы получить итоговый неопасный для человеческой жизни продукт, перед этим надо провести ни одну химическую реакцию между различными опасными для здоровья веществами. Что ставит перед производителями важную задачу: постоянной контроль и наблюдение за ведением процесса.

Практически до конца прошлого столетия большая часть управления производствами осуществлялась без компьютеризированной помощи и нуждалась в огромном объеме «человеко-работ» в пределах производственных установок. Поскольку большая часть данных объектов относятся к первому и второму классу опасности производственных объектов, наносят непосредственный ущерб окружающей среде и здоровью человека, то долговременное нахождение сотрудников предприятий в пределах производственных установок пагубно сказывается на их состоянии здоровья.

На текущем этапе развития, человеком разработана цифровая автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП). Она во многом сокращает трудоемкость рабочего персонала различных подразделений, уменьшая время контакта человека с вредной средой для его организма, и значительно увеличивает производительность предприятий по выработке продукции.

Данные системы представляют из себя сложную структуру цифровых инструментов и объектов на всех этапах производства. Их разработками

зачастую занимаются крупные компании. Проектирование и внедрение АСУТП под конкретное производство предприятия очень дорогой и трудоемкий процесс. Высокая цена обусловлена качеством продукта, который должен будет безотказно работать на протяжении многих лет. Поскольку любой сбой может привести к непоправимым последствиям, как для самого предприятия, так и для прилегающих к нему населенных пунктов.

Ряд производств нефтехимической промышленности характеризуется большим потреблением электрической энергии, это определяет повышенные требования к организации качественного энергоснабжения предприятия для обеспечения его четкого и бесперебойного функционирования.

Важной частью стабильной работы автоматизированной системы управления (АСУ) является постоянное диагностирование отдельных ее узлов. Это позволяет своевременно выявлять различные неисправности в техническом оборудовании АСУ, а также проблемы связанные с источниками питания и целостности проводки.

Для корректной работы отдельных составляющих АСУТП единой системой необходимо обеспечить бесперебойное питание для всех узлов. Отказ работы любой компьютерной составляющей системы даже на секунды может повлечь за собой непоправимые последствия для процесса, здоровья рабочего персонала и окружающей среды в целом.

Ввиду вышеперечисленных факторов возникает важная задача по обеспечению непрерывного электроснабжения модулей АСУ, которое зачастую основывается на резервировании источников электропитания.

За несколько последних десятков лет накоплен огромный опыт в данной области, однако, крайне мало работ, которые напрямую касаются данной проблемы.

Актуальность: пожаро-взрывоопасные производства за редким исключением не являются источником потенциальной опасности для здоровья и

жизни людей, а также для экологии и окружающей среды. Причем в зависимости от типа технологического процесса и массы обращающихся в нем пожаро-взрывоопасных веществ степень опасности может варьироваться от травм и ожогов средней тяжести вплоть до катастрофических последствий в виде массовой гибели людей, включая гражданское население и/или в виде химического заражения значительных территорий, включая грунтовые и сточные воды. Немаловажным фактором так-же является потенциальная опасность повреждения технологического оборудования при возникновении нештатных ситуаций на подобных производствах, а также прости и косвенные потери от невыпуска товарной продукции и т.п. факторы.

Прямые и косвенные потери от аварий могут составить вплоть до нескольких миллиардов долларов США. Одной из показательных в этом плане недавних аварий является взрыв на плавучей полупогружной буровой установке Deepwater Horizon с общим количеством погибших 13 человек, экологической катастрофой в Мексиканском заливе и общими финансовыми потерями для British Petroleum около 56 миллиардов долларов США к концу 2016г [1].

В связи этим для пожаро-взрывоопасных производств основными ключевыми взаимосвязанными факторами являются безопасность и надежность.

Безопасность пожаро-взрывоопасных производств в части систем электроснабжения и автоматики регламентируется в РФ ГОСТ-Р МЭК 61508-2012 [2] и регламентом безопасности - Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Серия 09. Выпуск 37 [3].

Надежность для систем электроснабжения пожаро-взрывоопасных производств регламентируется в РФ регламентом безопасности - Федеральные

нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Серия 09. Выпуск 37 со ссылкой на разделы 1.2.17÷1.2.19 Правил Эксплуатации Электроустановок [4].

Помимо этого производитель может сам улучшать показатели надежности электроснабжения и автоматики своего технологической установки или производства от требований регламентов безопасности по резонам экономической целесообразности по следующему критерию - затраты на мероприятия по повышению надежности и их последующей эксплуатации против потенциальных экономических потерь если мероприятия по повышению надежности не были бы внедрены.

Цель работы: обеспечение заданных показателей надежности и бесперебойности работы локальной системы электроснабжения КТС АСУТП производства Изопрена ООО “СИБУР-Тольятти” для минимизации экономических потерь от незапланированных остановов и предотвращения аварийных ситуаций.

Основными задачами при разработке локальной системы электроснабжения КТС АСУТП изопрена являются:

1. Обеспечение соответствия требованиям действующих регламентов безопасности РФ.
2. Обеспечение заданных проектных показателей надежности при разработке.
3. Разработка регламента эксплуатации для обеспечения проектных показателей надежности при эксплуатации.

Новизна работы: Автором проработан раздел, связанный с температурным режимом эксплуатации системы электроснабжения КТС АСУТП и его влиянием на показатели надежности в течение всего заданного срока службы. В известных автору публикациях данный раздел отсутствует.

Практическая значимость: Отказ системы электроснабжения КТС АСУТП являются причиной функционального отказа всей автоматики технологических установок пожаро-вызрывоопасных производств. Согласно мировой статистике примерно 50% полных функциональных отказов АСУТП происходит из-за отказов в их системах электроснабжения. В связи с этим сложно переоценить значимость системы электроснабжения для КТС АСУТП особенно на том фоне, что традиционно аппаратная надежность даже 100% резервированной системы электроснабжения как минимум на порядок ниже, чем аппаратная надежность верхнего и среднего уровня АСУТП. Использование методик и рекомендаций данной работы позволит существенно повысить надежность систем электроснабжения КТС АСУТП.

Объект исследования: локальная система электроснабжения КТС АСУТП производства Изопрена.

В работе определены следующие **предметы исследования:**

1. Влияние резервирования и способов резервирования компонентов электроснабжения на общую надежность КТС АСУТП производства Изопрена.
2. Влияние температурного режима эксплуатации на общую надежность для заданного срока эксплуатации КТС АСУТП производства Изопрена.
3. Влияние организации ТО при эксплуатации системы электроснабжения на общую надежность КТС АСУТП производства Изопрена.

1. Организация бесперебойного электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена ООО «СИБУР-Тольятти»

1.1. Общие положения регламентов безопасности РФ относящиеся к электроснабжению АСУТП

Для объекта первой (I) категории взрывоопасности в требованиях «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [3] имеются следующие указания:

1. раздел 6.5.1. - системы контроля, управления и ПАЗ объектов с технологическими блоками I категории взрывоопасности по обеспечению надежности электроснабжения относятся к особой группе электроприемников I категории в соответствии с требованиями нормативно-технических документов к устройству электроустановок.
2. раздел 6.5.2. - мощность третьего независимого источника электроснабжения, предназначенного для питания систем контроля, управления и ПАЗ объектов с технологическими блоками I категории взрывоопасности, должна обеспечить работу всех элементов системы, задействованных в безаварийной остановке технологического объекта.
3. раздел 7.2. - электроснабжение объектов, имеющих в своем составе технологические блоки I категории взрывоопасности, должно осуществляться по I категории надежности. При этом должна быть обеспечена возможность безаварийного перевода технологического процесса в безопасное состояние во всех режимах функционирования производства, в том числе при одновременном прекращении подачи электроэнергии от двух независимых взаиморезервирующих источников питания.

В соответствующем разделе ПУЭ 1.2.19 для особой группы электроприемников I категории регламентируется следующее - Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п. Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийного останова технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения. Электроснабжение электроприемников первой категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Технологические блоки производства Изопрена ООО “СИБУР-Тольятти”, согласно его технологическому регламенту, относятся к объектам I (первой) категории взрывоопасности. В связи с этим электроснабжение производства Изопрена осуществляется от двух независимых вводов 6/0,4кВ, которые в свою очередь подключены к двум независимым подстанциям 110/6кВ запитанных от разных, несвязанных между собой источников генерации. Для динамического электрооборудования производства Изопрена (электроприводы) с целью обеспечения его бесперебойной работы осуществляется автоматическое переключение на резервный ввод 6 или 0,4 кВ в случае пропадания напряжения на основном вводе. Переключение производится при помощи схем релейной автоматики.

Для системы управления и ПАЗ согласно действующим регламентам безопасности РФ используется третий источник электропитания на базе бесперебойных источников электропитания (ИБП).

1.2. Общие требования к качеству электропитания АСУТП

На установке И-6 основу КТС АСУТП составляют РСУ и ПАЗ DeltaV производства Emerson. Контроллеры, системные блоки питания (БП) и сетевые коммутаторы РСУ и ПАЗ DeltaV имеют следующие требования к качеству электропитания и характеристики согласно данным DeltaV Bulk Power Supplies [5]:

- a. Диапазон допустимого номинального напряжения питания составляет $100\div 240\text{VAC}$ при допустимом диапазоне $85\div 264\text{VAC}$.
- b. Частота переменного тока $43\div 67$ Гц.
- c. Допустимое прерывание электропитания не более чем на 20мс.
- d. Коэффициент мощности (активная коррекция) – 0,92.
- e. КПД не хуже 92%.

Системные блоки и мониторы рабочих станций операторов КТС УСУТП производства DELL имеют следующие требования к качеству электропитания и характеристики [6]:

- a. Диапазон допустимого номинального напряжения питания составляет $100\div 240\text{VAC}$.
- b. Частота переменного тока $50 \pm 3\text{Гц}$.
- c. Допустимое прерывание электропитания не более чем на 10мс.
- d. Коэффициент мощности (активная коррекция) – 0,9.
- e. КПД не хуже 88%.

Таким образом результирующие требования к качеству электропитания на основании более строгих показателей, следующие:

- a. Диапазон допустимого номинального напряжения питания составляет $100\div 240\text{VAC}$.
- b. Частота переменного тока $50 \pm 3\text{Гц}$.
- c. Допустимое прерывание электропитания не более чем на 10мс.
- d. Коэффициент мощности нагрузок (активная коррекция) – не хуже 0,9.

1.3. Требования к времени удержания электропитания при полном пропадании питания по основным вводам 0,4кВ

Согласно требованиям технологического регламента установки И-6 производства Изопрена [7] минимально допустимое время удержания электропитания при полном пропадании питания по двум основным вводам 0,4кВ составляет не менее 30 минут для обеспечения действия алгоритма безаварийного экстренного останова технологического процесса с управлением всеми исполнительными устройствами.

1.4. Требования к показателю надежности электропитания АСУТП

Требования к показателю надежности определяются на основании анализа рисков возникающих при полном функциональном отказе системы электропитания КТС АСУТП установки И-6. Безопасность при полном функциональном отказе системы электропитания КТС АСУТП обеспечивается обесточиванием контуров управления и защит идущих на исполнительные устройства в результате чего они переводятся в безопасное положение, однако при полном функциональном отказе системы электропитания КТС АСУТП возникают следующие риски:

1. Отсутствие контроля срабатывания исполнительных и защитных устройств. Оперативный персонал не видит срабатывания концевых датчиков положения исполнительных устройств. Есть высокая вероятность, что хотя-бы одно из исполнительных устройств И-6 заклинит или неплотно сядет на “седло” клапана и не полностью перекроет проходное сечение. Контроль возможен только визуально по месту и будет потеряно время в случае сопутствующей разгерметизации технологических аппаратов в результате чего взрывоопасная среда через не закрытый (не полностью закрытый) клапан будет подаваться в атмосферу с образованием взрывоопасного облака. Это относится к основной причине объемного взрыва на пожаро-взрывоопасных производствах.
2. Полное отсутствие контроля за состоянием технологического процесса. Оперативный персонал не видит показания давлений и уровней взрывоопасных сред в аппаратах и емкостях, а самое главное тенденцию как они изменяются во время останова и после него. По этим признакам можно судить о наличии перетоков, в случае заклинивания обратного клапана, и разгерметизаций, которые могут

привести к повреждению оборудования или к взрыву. Проконтролировать давления и уровни по местным показаниям манометров или “стекло” в процессе и после аварийного останова для сменного персонала И-6 невозможно ввиду большого количества точек контроля и их территориального распределения.

3. Полное отсутствие контроля показаний датчиков загазованности на предмет образования взрывоопасных смесей на территории И-6 в случае выбросов в результате аварийного останова. Контроль возможен только визуально по месту выброса или по запаху, что приведет к значительной потере времени для принятия действий по минимизации и ликвидации выброса – перекрытие ручной арматурой прилегающих трубопроводов, полное обесточивание территории с выбросом, постановка паровых завес, вывод не задействованного и смежного персонала в безопасное место. А также, вызова пожарных и газоспасательной команды.
4. Отсутствие возможности оперативного дистанционного останова динамического оборудования. Останавливать часть электроприводов насосов не подключенных к ПАЗ придется по месту, что приведет к большой потере времени и создает существенный риск повреждения данного оборудования ввиду нештатного для него режима работы.

Кроме этого, после аварийного останова неизбежна потеря времени на ликвидацию его последствий, пуск установки и вывод ее на режим. В результате обязательно возникают потери связанные с невыпуском продукта и потери сырья и энергоресурсов на время пуска вплоть до выхода на стабильный технологический режим. Останов И-6 приводит к останову всего производства Изопрена с переводом смежных установок на рециркуляции во время, которых потребление сырья минимально, но потребление энергоресурсов составляет около 30% от номинала (работают практически все насосы, подается пар в

ребойлеры и реакторы), что вызывает постоянные потери в смежных установках.

В среднем оценочно общие потери от аварийного останова И-6 при полном функциональном отказе ее системы электропитания КТС АСУТП составят около 15 миллионов рублей. В случае маловероятного аварийного развития событий со значительным повреждением технологического оборудования во время такого останова, оценочно потери могут составить до 900 миллионов рублей.

Планируемый срок эксплуатации действующего производства Изопрена 25 лет.

На ООО «СИБУР Тольятти» действует Процедура по управлению надежностью основных фондов Предприятий ПАО «СИБУР Холдинг» [8]. В процедуре есть матрица качественной оценки рисков для производства (см. Таблица 1). Приемлемый индекс риска не выше 250 пунктов. В случае если индекс риска больше 250 пунктов требуется разработать и внедрить мероприятия или технические решения по его снижению до требуемого уровня менее 250 пунктов. В нашем случае тяжесть последствий по колонкам таблицы это – «Потери более 750 млн рублей совокупно». Для получения приемлемого индекс риска вероятность события должна быть – «Маловероятно (Может произойти за значительно больший интервал времени, чем срок службы)». Иными словами, вероятность полного функционального отказа системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 не должна быть чаще, чем один отказ в 300 лет.

Таблица 1 – Матрица производственных рисков Предприятий ПАО «СИБУР Холдинг»

Вероятность события (Частота возникновения последствия)		Уровень тяжести последствий (упущенный маржинальный доход, перерасход энергоресурсов, потери на брак, затраты на ремонт и ликвидацию последствий и т.д.)				
		Потери менее 5 млн рублей совокупно	Потери более 5 млн рублей, но менее 75 млн. рублей совокупно	Потери более 75 млн рублей, но менее 375 млн. рублей совокупно	Потери более 375 млн рублей, но менее 750 млн. рублей совокупно	Потери более 750 млн рублей совокупно
		Незначительный	Низкий	Средний	Крупный	Катастрофический
		1	10	100	500	1800
5	Часто (Может произойти два и более раза за <i>срок службы</i>)	5	50	500	2500	9000
1	Вероятно (Может произойти за <i>срок службы</i>)	1	10	100	500	1800
0,3	Возможно (Может произойти за 2-3-4 <i>срока службы</i>)	0,3	3	30	150	540
0,1	Маловероятно (Может произойти за значительно больший интервал времени, чем <i>срок службы</i>)	0,1	1	10	50	180
0,05	Крайне маловероятно (Может произойти в принципе, но	0,05	0,5	5	25	90

Вероятность события (Частота возникновения последствий)		Уровень тяжести последствий (упущенный маржинальный доход, перерасход энергоресурсов, потери на брак, затраты на ремонт и ликвидацию последствий и т.д.)				
		Потери менее 5 млн рублей совокупно	Потери более 5 млн рублей, но менее 75 млн. рублей совокупно	Потери более 75 млн рублей, но менее 375 млн. рублей совокупно	Потери более 375 млн рублей, но менее 750 млн. рублей совокупно	Потери более 750 млн рублей совокупно
		Незначительный	Низкий	Средний	Крупный	Катастрофический
		1	10	100	500	1800
	крайне маловероятно)					

Таким образом среднее время наработки до отказа для системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 должно быть не менее $MTTF = 2628000$ часов.

Среднее время восстановления работоспособности после отказа для компонентов системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 от момента отказа до его обнаружения и устранения по опыту эксплуатации данных систем на ООО “СИБУР Тольятти” составляет $MTTR = 72$ часа.

Таким образом целевой показатель надежности для системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 $MTTF = 2628000$ часов при $MTTR = 72$ часа.

Полным функциональным отказом системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 считается – пропадание электропитания на шкафах РСУ и ПАЗ раньше чем через 30 минут после пропадания электропитания на обоих питающих вводах системы электропитания КТС АСУТП установки И-6.

1.5. Основные концепции организации надежного электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена

Emerson, на базе большого опыта эксплуатации и анализа отказов, были разработаны следующие основные концепции организации надежного электропитания КТС АСУТП DeltaV power and grounding [9] и Planning and Designing Your DeltaV Digital Automation Systems and DeltaV SIS Process Safety Systems [10]:

1. Применение 100% резервированной системы электропитания.
2. Отсутствие общих точек отказа в резервированной системе электропитания.
3. On-line диагностика всех критических параметров системы электропитания для своевременного устранения неисправностей.
4. Возможность безопасного вывода в ремонт любого компонента системы электропитания без прекращения электроснабжения КТС АСУТП.
5. Обеспечение оптимального температурного режима компонентов системы электропитания.
6. Правильная регламентированная эксплуатации и ТО системы электропитания.

Основой резервированного электропитания являются компоненты КТС АСУТП DeltaV, которые имеют вводы для подключения резервированного электропитания. Исключение составляют только операторские рабочие станции на базе рабочих станций DELL 5810 у которых только один ввод 220VAC. Рабочие станции всегда резервируются и подключаются к одному из вводов питания по схеме – основные к вводу №1, резервные к вводу №2. Таким образом при отказе по одному из вводов питание сохраняется на половине рабочих станций. Это делается для обеспечения отсутствия общих точек отказа

по питанию рабочих станций в виде общего блока быстродействующего электронного АВР, в результате полного функционального отказа, когда питание пропадет на всех рабочих станциях. Опыт реальной эксплуатации Emerson подобных устройств (общего блока электронного АВР) выявил их недостаточную надёжность для применения на пожаро-взрывопасных процессах.

Примеры питания компонентов DeltaV (см. Рисунок 1, Рисунок 2, Рисунок 3, Рисунок 4).

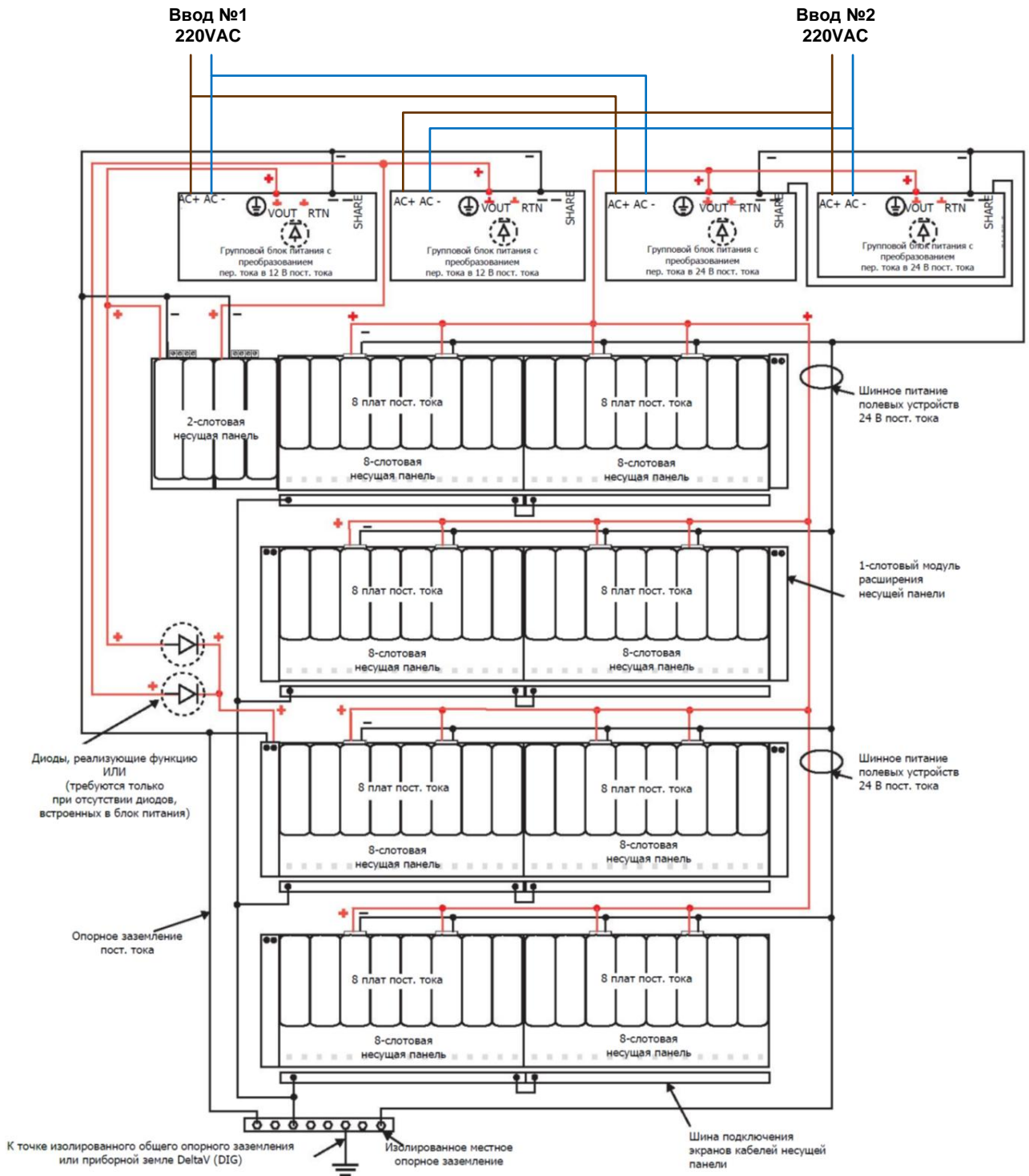


Рисунок 1 – Схема электропитания контроллера РСУ

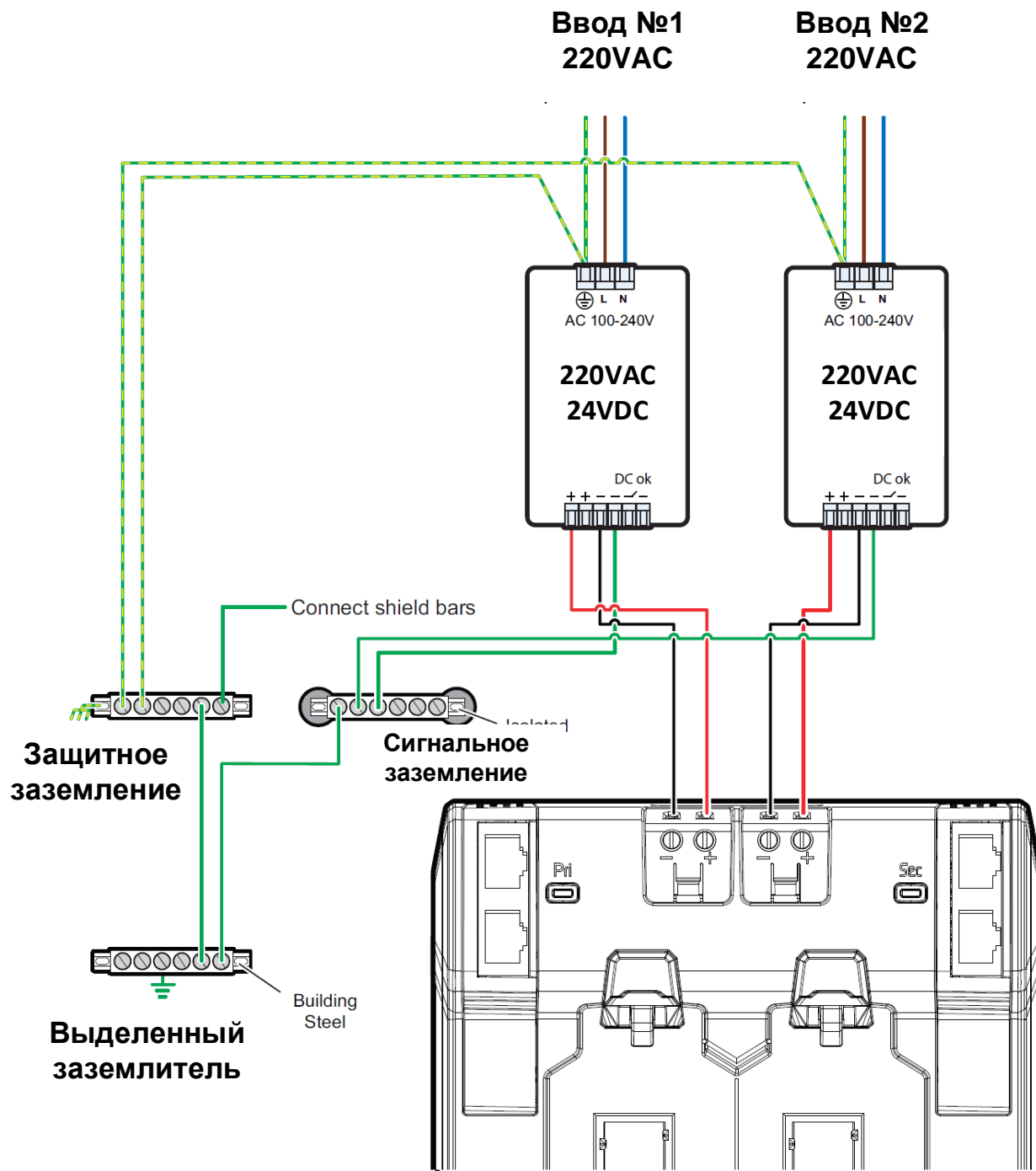


Рисунок 2 – Схема электропитания модуля ввода-вывода системы электронной кроссировки CIOC и CSLS

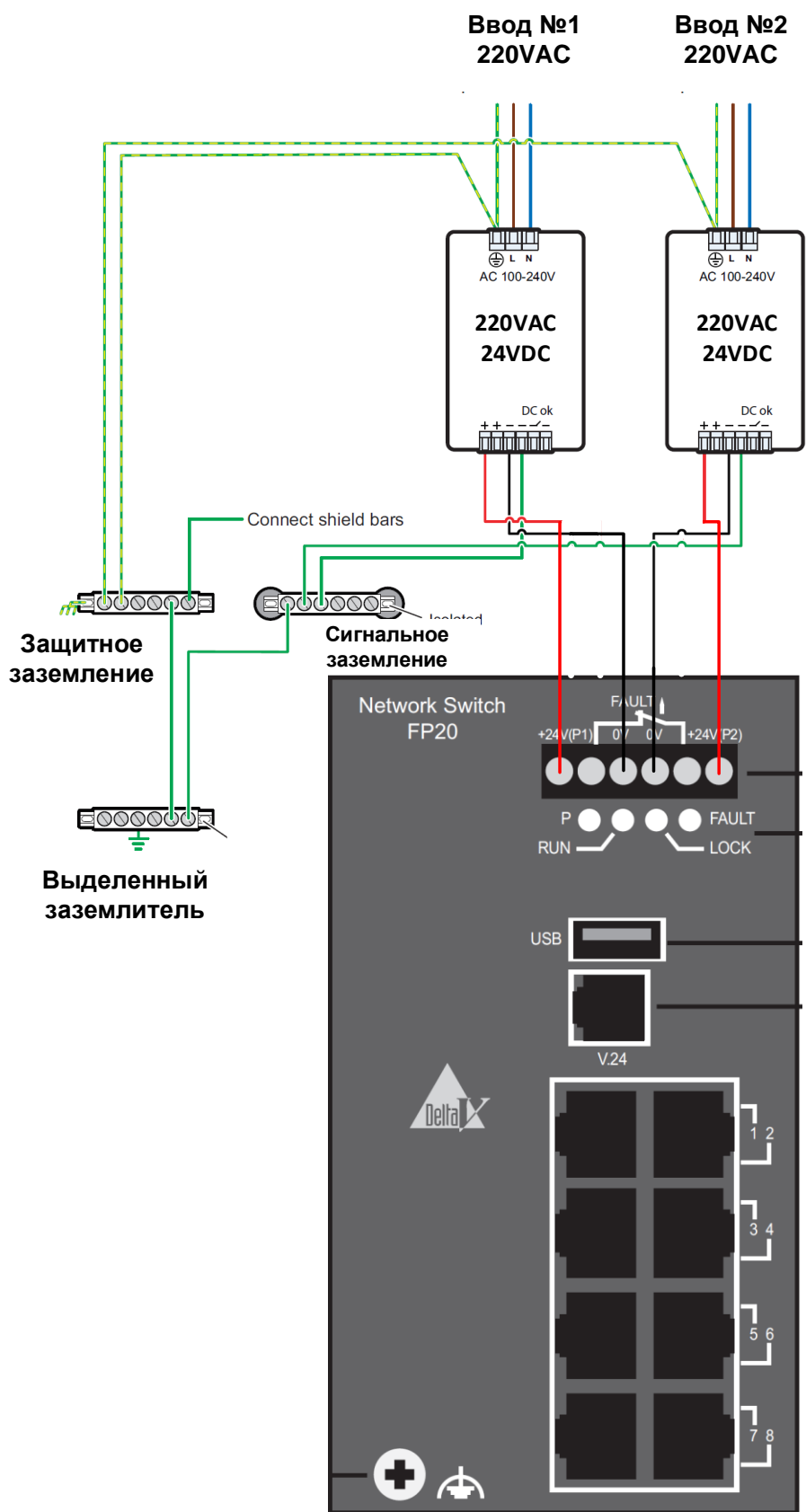


Рисунок 3 – Схема электропитания сетевого коммутатора

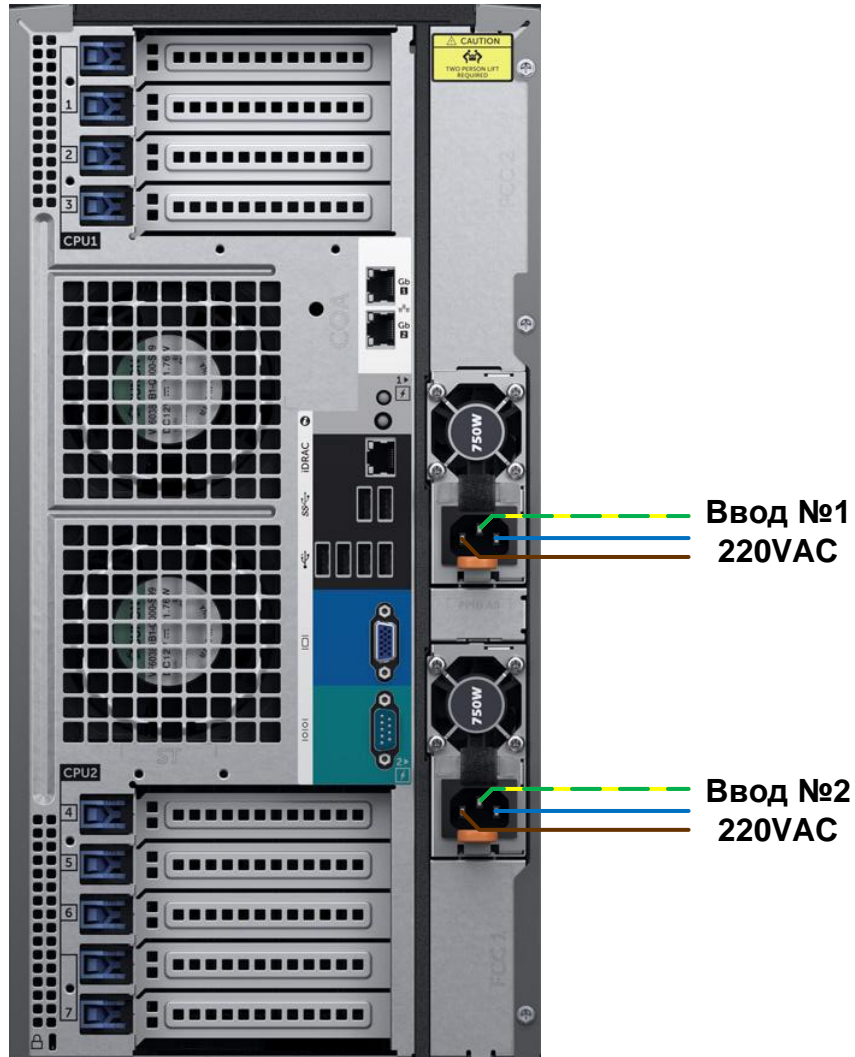


Рисунок 5 – Схема электропитания сервера DELL PowerEdge T630 с двумя БП и двумя вводами 220VAC

Применение данных компонентов позволяет использовать комплектные шкафы управления с двумя независимыми вводами 220VAC (см. Рисунок 5).

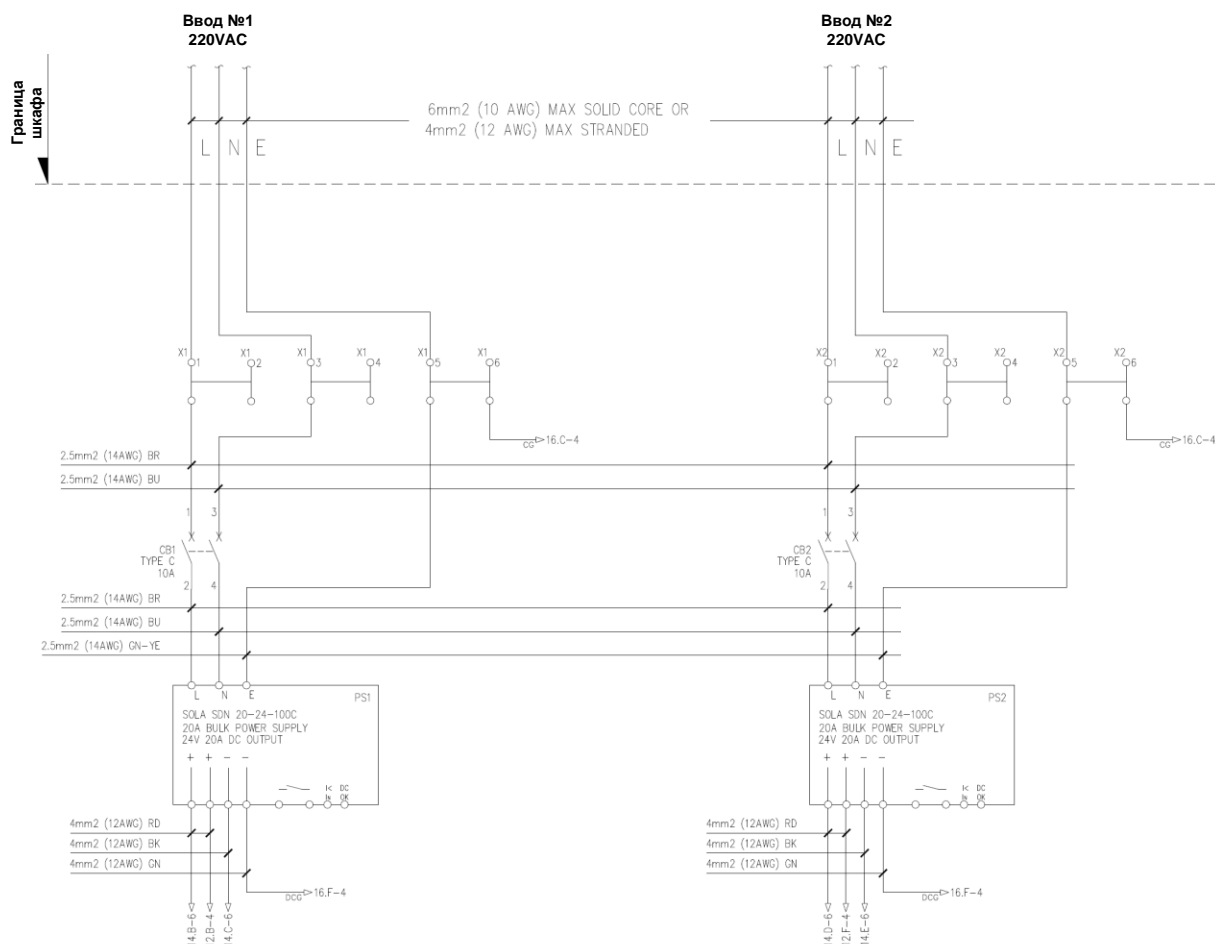


Рисунок 5 – Схема питания шкафа PCU

Отключение нагрузок в шкафах в случае КЗ в БП и системных БП выполняется селективно автоматическими выключателями и плавкими вставками. Внутренняя структура питания компонентов DeltaV выполнена следующим образом, что все критические узлы управления по своему внутреннему резервированному электропитанию не имеют общих точек отказа, которые могут вызвать полный функциональный отказ узла управления из-за его электропитания в случае отказа одной из линий питания, отказа системного БП или КЗ в любом компоненте узла управления. Для компонентов, имеющих два ввода питания, но не имеющих резервированного системного БП, таких как сетевые коммутаторы применяется резервирование самих компонентов. Таким образом в случае КЗ внутри такого компонента он селективно отключается от

питания, но его функция при этом передается его резервной паре. Селективное отключение узлов КТС АСУТП по каждому их вводу выполняется последовательно соединенными дублирующими автоматическими выключателями таким образом, чтобы при отказе одного из них в случае КЗ по одному из вводов в узле второй обеспечил отключение линии. Обычно один из автоматических выключателей расположен в общем шкафу распределения питания, а второй в самом узле (например, в шкафу управления). В случае отказа обоих автоматических выключателей может произойти полное отключение одного из вводов, однако в этом случае питание будет подаваться по второму вводу вплоть до устранения неисправности.

1.6. Вывод по первой главе

Ввиду архитектурной особенности современных КТС АСУТП в части резервирования электропитания принята структура системы электропитания с двумя полностью независимыми вводами и ИБП для обеспечения максимальной надежности электропитания за счет отсутствия общих точек отказа. Определены на базе качественного анализа рисков целевые показатели надежности системы электроснабжения КТС АСУТП.

2. Проектирование электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена

2.1. Зона проектирования системы

Зона проектирования системы электропитания КТС АСУТП установки И-6: от клемм вводов 0,4 кВ в помещении аппаратной до выходных клемм шкафа распределения питания по нагрузкам в помещении аппаратной.

2.2. Общая структура электропитания КТС АСУТП

Ввиду того что целевое значение для системы электропитания $MTTF = 2628000$ часов данный показатель надежности невозможно реализовать при помощи одного ИБП, поскольку их показатели надежности в разы ниже даже для схемы N+1. Схема представляет из себя внутреннее резервирование ИБП, в котором используются идентичные взаиморезервирующие блоки в количестве равном N для обеспечения требуемой мощности и плюс один блок для резерва. Главный недостаток подобной схемы наличие большого количества общих точек отказа, хотя безусловно надежность подобной схемы намного выше, чем у традиционного ИБП. По этой причине требуется применение по одному независимому ИБП по каждому вводу.

Количество резервированных БП и системных БП внутри КТС АСУТП таково, что всегда есть существенная вероятность, что один из них находится в отказе, хотя бы ввиду того, что его просто еще не успели заменить на исправный. На работоспособности КТС АСУТП это не отражается поскольку все БП резервированные. Однако, в случае одновременного отказа питания по вводу по которому находится резервирующий БП отказавшему БП узла КТС АСУТП, узел будет обесточен, что может привести к частичному

функциональному отказу КТС АСУТП, который в свою очередь потенциально может остановить технологический процесс с сопутствующими последствиями. Поэтому принципиально важно, чтобы готовность по каждому из вводов питания КТС АСУТП была максимально возможной, что должно быть отражено в структуре электропитания КТС АСУТП.

Поскольку прерывание электроснабжения по любому из вводов 6кВ установки И-6 в течение года возможно на период значительно больший чем 30 минут (проектное время удержания ИБП) например, для проведения ремонтных работ, то для каждого ИБП требуется обеспечить электроснабжение от резервного ввода установки И-6. Для этого чтобы исключить человеческий фактор требуется применение АВР по вводам ИБП. При этом для исключения общих точек отказа требуется использование индивидуального АВР для каждого ИБП, чтобы при отказе и последующей замене одного из АВР электроснабжение могло идти по резервной линии.

Для вывода в ремонт или замене любого из ИБП требуется обеспечить подачу питания по вводу на котором установлен данный ИБП на время замены или ремонтных операций. Для этой цели требуется применения внешнего байпаса для каждого ИБП.

Для подключения нагрузок КТС АСУТП после ИБП по каждому из вводов требуется применение шкафов распределения электропитания (ШРП) по нагрузкам. Для минимизации влияния ошибочных действий обслуживающего персонала или последствий от потенциально возможного КЗ в ШРП требуется применение идентичных отдельных ШРП по каждому вводу.

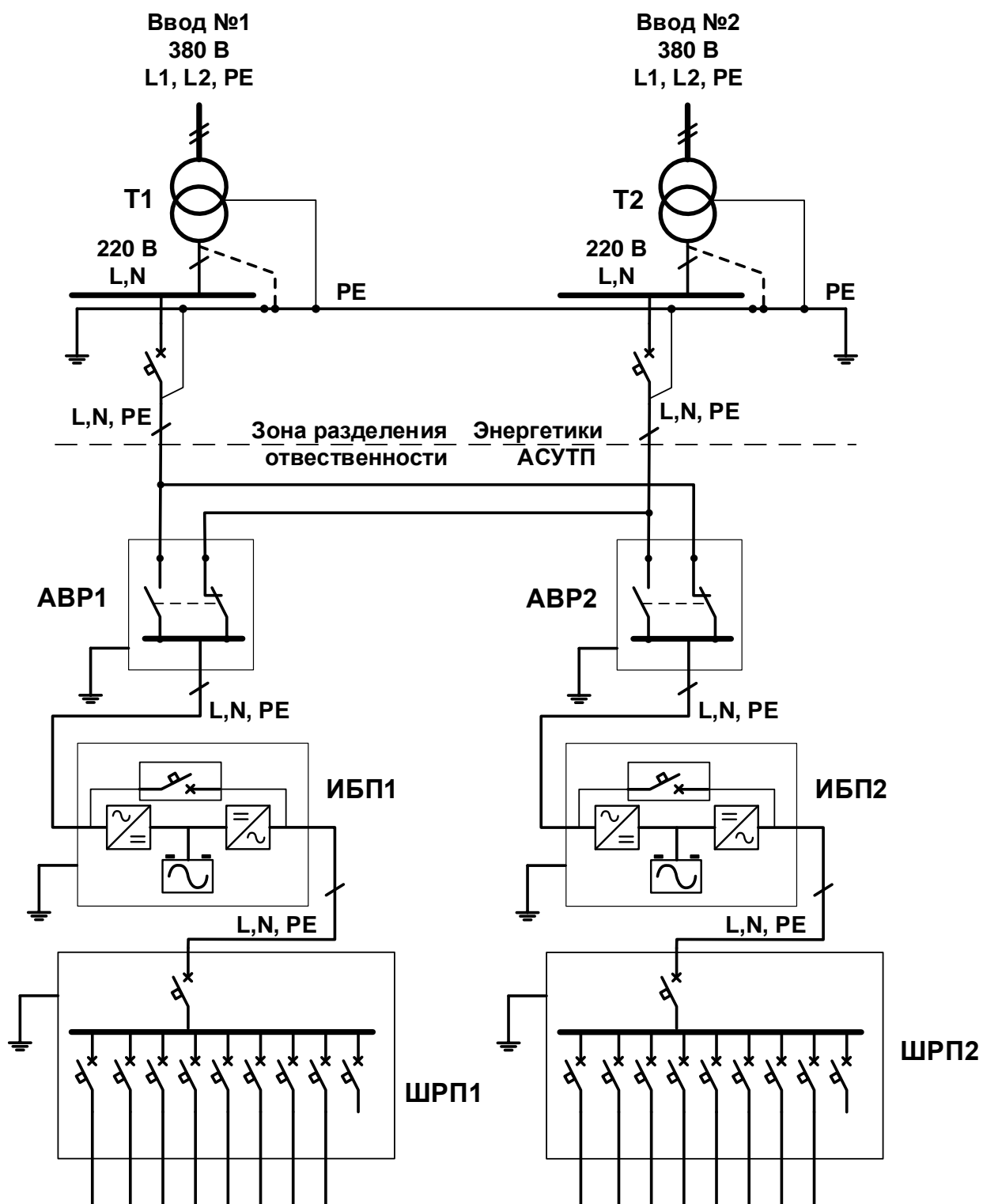
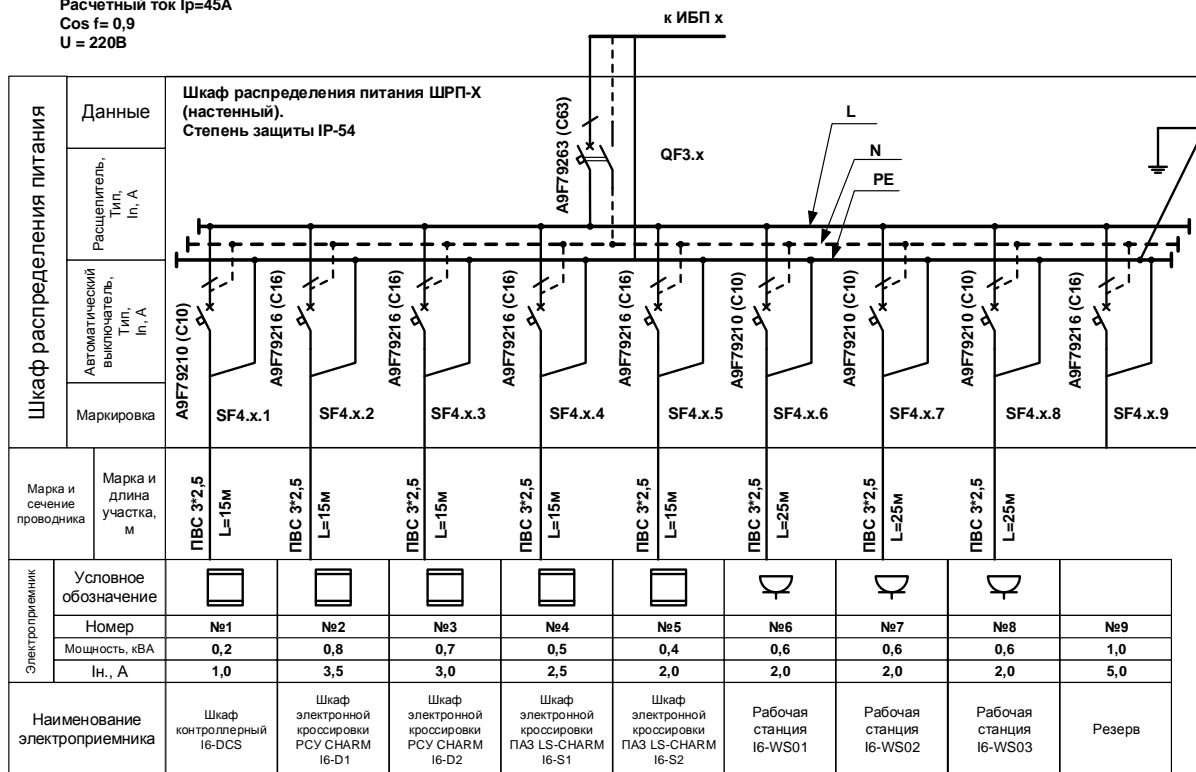


Рисунок 6 – Схема однолинейная электропитания КТС АСУТП И-6

2.3. Схема нагрузок электропитания

Установленная мощность $P_y=5$ кВт
 Единовременная мощность $P_{ед}=4$ кВА
 Расчетный ток $I_p=45A$
 $\cos \phi = 0,9$
 $U = 220V$



Примечание: x – обозначает на схеме номер ввода. 1 или 2

Рисунок 7 – Схема однолинейная нагрузок КТС АСУТП установки И-6

2.4. Расчет параметров нагрузок КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена

Потребляемая мощность постоянного тока 24VDC для каждой нагрузки КТС АСУТП определяется как сумма мощностей модулей КТС АСУТП входящих в состав нагрузки (1):

$$P_{DCNx} = \sum_{i=1}^n P_{Mi} = \sum_{i=1}^n U_{Mi} * (I_{Mi} + I_{Fi}) * m_i, \quad (1);$$

где:

P_{DCNx} – суммарная потребляемая мощность постоянного тока нагрузки с №=x, Вт;

n – количество модулей КТС АСУТП с питанием 24VDC в одной нагрузке, шт.;

P_{Mi} – мощность питания одного модуля i КТС АСУТП, Вт;

U_{Mi} – напряжение питания одного модуля i КТС АСУТП, В;

I_{Mi} – ток питания одного модуля i КТС АСУТП, А;

I_{Fi} – ток питания внешней нагрузки одного модуля i КТС АСУТП, А;

m_i – количество однотипных модулей i , шт.

Расчет потребляемой мощности постоянного тока 24VDC для каждой нагрузки КТС АСУТП был выполнен при помощи MS Excel. Результат расчета (см. Таблица 2). Данные по токам потребления для расчёта взяты из:

- DeltaV S-series and CHARMs Hardware Reference [11].
- Delta Smart Switches [12].
- DeltaV SIS Safety Network Components [13].
- DeltaV SIS with Electronic Marshalling Hardware Reference Guide [14].
- TopTherm Filter Fan Units – SK 3241.124 [15].

Таблица 2 – расчет потребляемой мощности постоянного тока 24VDC нагрузок по потребителям КТС АСУТП установки И-6

i	Наименование модуля КТС АСУТП	Модель модуля	Кол-во модулей m_i	Ток питания 24VDC для одного модуля I_{Mi} , А	Суммарный ток питания 24VDC для всех модулей, А	Ток питания внешней нагрузки одного модуля I_{Fi} , А	Суммарный ток питания внешних нагрузок для всех модулей, А
1	2	3	4	5	6	7	8
Нагрузка №1. Шкаф контроллерный № I6-DCS							
1	Контроллер SQ	SE3008	2	0,3	0,6	0	0
2	Резервированный контроллер SZ	SS3001	1	0,575	0,575	0	0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
3	DI 24DCV 32 канала	SE4001S2T2B4	1	0,2	0,2	0	0
4	Сетевой коммутатор сети CAN	VE6041F03C1	2	0,271	0,542	0	0
5	Сетевой коммутатор LCN	SS6041F01C1	2	0,221	0,442	1	2
6	Вентилятор RITTAL	SK 3241.124	2	0,8	1,6		
Всего ток в А:					3,959		2
Итого ток питания и нагрузок шкафа в А:					5,959		
Итого мощность потребления нагрузки P_{DCN1} от БП $U_M=24VDC$ в Вт:					143,02		
<u>Нагрузка №2. Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D1</u>							
1	CHARM I/O Carrier (Redundant CIOC)	SE6501T01	6	0,28	1,68	0	0
2	IS AI 4-20 mA HART	SE4307T01	194	0,06	11,64	0	0
3	IS AO 4-20 mA HART	SE4308T01	83	0,056	4,648	0	0
4	IS DI NAMUR	SE4305T01	6	0,028	0,168	0	0
5	AI 4-20 mA HART, 2-wire configuration	SE4303T01	31	0,036	1,116	0	0
6	DO 24 VDC Isolated	SE4302T02	77	0,022	1,694	0,03	2,31
7	DI 24 VDC Isolated	SE4302T07	92	0,012	1,104	0,01	0,92
8	Вентилятор RITTAL	SK 3241.124	4	0,012	0,048		
Всего ток в А:					22,098		3,23
Итого ток питания и нагрузок шкафа в А:					25,328		
Итого мощность потребления нагрузки P_{DCN2} от БП $U_M=24VDC$ в Вт:					607,87		
<u>Нагрузка №3. Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D2</u>							
1	CHARM I/O Carrier (Redundant CIOC)	SE6501T01	6	0,28	1,68	0	0
2	IS AI 4-20 mA HART	SE4307T01	180	0,06	10,8	0	0
3	IS AO 4-20 mA HART	SE4308T01	70	0,056	3,92	0	0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	IS DI NAMUR	SE4305T01	12	0,028	0,336	0	0
5	AI 4-20 mA HART, 2-wire configuration	SE4303T01	19	0,036	0,684	0	0
6	DI 24 VDC Low Side (Dry Contact)	SE4301T02	65	0,022	1,43	0	0
7	DI 24 VDC Isolated	SE4302T07	26	0,012	0,312	0,01	0,26
8	Вентилятор RITTAL	SK 3241.124	4	0,8	3,2		
Всего ток в А:					22,362		0,26
Итого ток питания и нагрузок шкафа в А:					22,622		
Итого мощность потребления нагрузки P_{DCN3} от БП $U_M=24VDC$ в Вт:					542,93		
Нагрузка №4. Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S1							
1	CSLS Assembly (redundant, includes power modules)	SS6501T01	3	0,7	2,1	0	0
2	LS IS AI 4-20 mA HART CHARM	SS4307T01	45	0,06	2,7	0	0
3	LS IS DI NAMUR	SS4305T01	46	0,028	1,288	0	0
4	LS AI 4-20 mA HART CHARM (2- wire)	SS4303T01	29	0,036	1,044	0	0
5	LS AI 4-20 mA HART CHARM (3- wire)	SS4303T01	16	0,012	0,192	0,2	3,2
6	LS DI 24 VDC low- side sense CHARM	SS4301T02	14	0,022	0,308	0	0
7	LS DO 24 VDC DTA CHARM	SS4302T01	61	0,036	2,196	0,03	1,83
8	Вентилятор RITTAL	SK 3241.124	2	0,8	1,6		
Всего ток в А:					11,428		5,03
Итого ток питания и нагрузок шкафа в А:					16,458		
Итого мощность потребления нагрузки P_{DCN4} от БП $U_M=24VDC$ в Вт:					394,99		
Нагрузка №5. Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S2							
1	CSLS Assembly (redundant, includes power modules)	SS6501T01	2	0,7	1,4	0	0
2	LS IS AI 4-20 mA HART CHARM	SS4307T01	84	0,06	5,04	0	0
3	LS IS DI NAMUR	SS4305T01	24	0,028	0,672	0	0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	LS DO 24 VDC DTA CHARM	SS4302T01	45	0,036	1,62	0,03	1,35
5	Вентилятор RITTAL	SK 3241.124	2	0,8	1,6		
Всего ток в А:					10,332		1,35
Итого ток питания и нагрузок шкафа в А:					11,682		
Итого мощность потребления нагрузки P_{DCN5} от БП $U_M=24VDC$ в Вт:					280,37		

Потребляемая мощность переменного тока 220VAC для каждой нагрузки КТС АСУТП определяется как сумма мощностей модулей постоянного тока 24VDC и переменного тока 220VAC КТС АСУТП входящих в состав нагрузки (2):

$$P_{ACNx} = \frac{P_{DCNx}}{\eta} + \sum_{i=1}^k P_{ACMi}, \quad (2);$$

где:

P_{ACNx} – суммарная потребляемая мощность переменного тока 220VAC нагрузки с №=x, Вт;

k – количество модулей КТС АСУТП с питанием 220VAC в одной нагрузке, шт.;

P_{ACMi} – мощность питания одного модуля 220VAC КТС АСУТП, Вт;

P_{DCNx} – суммарная потребляемая мощность постоянного тока 24VDC нагрузки с №=x, Вт;

η – КПД БП 220VAC/24VDC.

Расчет полной потребляемой мощности переменного тока 220VAC нагрузок по потребителям КТС АСУТП установки И-6 был выполнен при помощи MS Excel. Результат расчета (см. Таблица 3). Данные по потребляемой мощности для расчёта взяты из: Rittal compact light [16]. КПД приведен в п. 1.2.

Таблица 3 – расчет потребляемой мощности переменного тока 220VAC нагрузок по потребителям КТС АСУТП установки И-6

i	Наименование модуля КТС АСУТП	Модель модуля	Кол-во модулей k	Потребляемая мощность от 220VAC для одного модуля, А	Потребляемая мощность, Вт
1	2	3	4	5	7
Нагрузка №1 (P_{ACN1}). Шкаф контроллерный № I6-DCS					
1	Освещение шкафа	SZ4140.110	2	8	16
Итого мощность потребления нагрузок 220VAC в Вт:					16
Суммарная мощность потребления нагрузки P _{DCN1} от БП 24VDC в Вт:					143,02
КПД БП 220VAC/24VDC:					0,92
Суммарная потребляемая мощность в цепи 220VAC от БП 220VAC/24VDC:					155,45
Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN1} от 220VAC в Вт:					171,45
Нагрузка №2 (P_{ACN2}). Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D1					
1	Освещение шкафа	SZ4140.110	2	8	16
Итого мощность потребления нагрузок 220VAC в Вт:					16
Суммарная мощность потребления нагрузки P _{DCN2} от БП 24VDC в Вт:					607,87
КПД БП 220VAC/24VDC:					0,92
Суммарная потребляемая мощность в цепи 220VAC от БП 220VAC/24VDC:					660,73
Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN2} от 220VAC в Вт:					676,73
Нагрузка №3 (P_{ACN3}). Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D2					
1	Освещение шкафа	SZ4140.110	2	8	16
Итого мощность потребления нагрузок 220VAC в Вт:					16
Суммарная мощность потребления нагрузки P _{DCN3} от БП 24VDC в Вт:					542,93
КПД БП 220VAC/24VDC:					0,92
Суммарная потребляемая мощность в цепи 220VAC от БП 220VAC/24VDC:					590,14
Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN3} от 220VAC в Вт:					606,14
Нагрузка №4 (P_{ACN4}). Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S1					
1	Освещение шкафа	SZ4140.110	2	8	16
Итого мощность потребления нагрузок 220VAC в Вт:					16
Суммарная мощность потребления нагрузки P _{DCN4} от БП 24VDC в Вт:					394,99
КПД БП 220VAC/24VDC:					0,92
Суммарная потребляемая мощность в цепи 220VAC от БП 220VAC/24VDC:					429,34
Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN4} от 220VAC в Вт:					445,34

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	7
---	---	---	---	---	---

Нагрузка №5 (P_{ACN5}). Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S2					
1	Освещение шкафа	SZ4140.110	2	8	16
Итого мощность потребления нагрузок 220VAC в Вт:					16
Суммарная мощность потребления нагрузки P_{DCN5} от БП 24VDC в Вт:					280,37
КПД БП 220VAC/24VDC:					0,92
Суммарная потребляемая мощность в цепи 220VAC от БП 220VAC/24VDC:					304,75
Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN5} от 220VAC в Вт:					<u>320,75</u>

2.5. Вывод по второй главе

Разработана схема электроснабжения потребителей КТС АСУТП на базе общей архитектуры выбранной в п. 1. Для выбора ИБП и автоматических выключателей определены итоговые мощности всех потребителей КТС АСУТП для варианта питания по одному из любых вводов, на случай отказа одного из вводов.

3. Расчет параметров и выбор ИБП для КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена

3.1. Температурный режим эксплуатации системы электроснабжения КТС АСУТП

3.1.1. Зависимость частоты отказов электронных устройств от температуры

Согласно данным Military handbook reliability prediction of electronic equipment (базовая методика USA по которой практически все мировые производители рассчитывают надежность своих электронных блоков) [17]:

- 1) Для полупроводниковых компонентов (микросхемы, диоды, транзисторы). частота отказов зависит от температуры полупроводникового перехода T_J . Экспоненциальная зависимость частоты отказов. Увеличение частоты отказов примерно в 10 раз на 100 °С.
- 2) Для пассивных элементов (резисторы, конденсаторы) частота отказов зависит от температуры окружающей их среды T_A (температура окружающей среды вокруг самого элемента. Если он расположен внутри корпуса, то это будет температура внутри корпуса). Экспоненциальная зависимость частоты отказов. Увеличение частоты отказов примерно в 10 раз на 100 °С.
- 3) Для индуктивностей, трансформаторов и катушек с обмотками частота отказов зависит от температуры горячей точки обмотки T_{HS} . Экспоненциальная зависимость частоты отказов. Увеличение частоты отказов примерно в 2 раза на 100 °С.

- 4) Для коннекторов (разъемы) частота отказов зависит от температуры контактов T_0 . Экспоненциальная зависимость частоты отказов. Увеличение частоты отказов примерно в 10 раз на $100\text{ }^\circ\text{C}$.
- 5) Для механических реле частота отказов зависит от температуры окружающей их среды T_A . Экспоненциальная зависимость частоты отказов. Увеличение частоты отказов примерно в 2 раза на $50\text{ }^\circ\text{C}$.

Помимо этого, для каждого конкретного компонента есть предельная температура из перечисленного выше списка при превышении которой его работоспособность не гарантируется, и частота отказов растет лавинообразно.

3.1.2 Зависимость времени службы электронных устройств от температуры

Временной отказ, связанный с временем эксплуатации электронных устройств связан с внутренними механизмами износа электронных компонентов.

Рассмотрим, как это выглядит на базе механизмов износа CMOS интегральных микросхем. Основные механизмы износа:

- Целостность затвора (GOI)
- Электромиграция (EM) – явление переноса вещества в проводнике за счёт постепенного дрейфа ионов, возникающее благодаря обмену количеством движения при столкновениях между проводящими носителями и атомной решёткой. Этот эффект играет существенную роль в тех прикладных областях, где используются постоянные токи большой плотности — например, в микроэлектронике. Чем меньше становятся интегральные схемы, тем более заметную практическую роль играет этот эффект. Эффект электромиграции влияет на надёжность работы интегральных схем. В худшем случае он приводит к необратимому нарушению функциональности схемы вследствие разрыва

(перегорания) одного или нескольких контактов или межсоединений, либо, наоборот, замыкания между разными частями схемы.

- Диэлектрический пробой, зависящий от времени (TDDB)

Кроме того, еще существуют механизмы, которые влияют на срок службы микросхем, такие как отрицательная нестабильность температуры смещения (NBTI) и каналные горячие носители (CHC).

Для большинства технологий современных интегральных микросхем на базе кремния наиболее критическим механизмом износа является электромиграция (EM).

Влияние температуры на электромиграцию.

Электромиграция является одним из доминирующих механизмов износа в полупроводниках. Наиболее важной переменной в отношении интенсивности электро-миграции является температура перехода (T_J) кремния. Предполагая, что устройство работает в пределах указанного напряжения (U) в техническом паспорте, критической переменной, влияющей на срок службы кремния при электрическом смещении, является температура перехода (T_J) кремния.

Рисунок 8 показывает, как наступление электромиграции изменяется с T_J для микроконтроллеров Texas Instruments [18]. Обратите внимание, что характеристики электромиграции могут отличаться в зависимости от технологии, но принцип зависимости частоты отказов от температуры не поменяется.

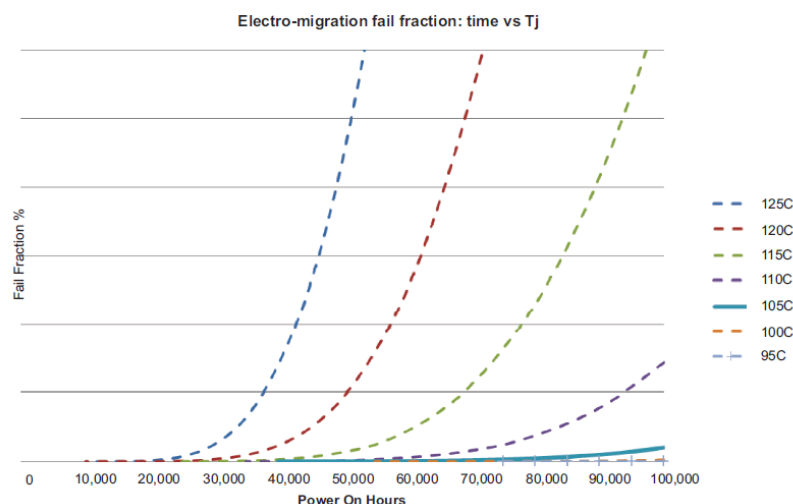


Рисунок 8 – Вероятность отказа из-за электромиграции на заданный момент времени наработки (семейство характеристик для разных T_J)

Часто упоминаемое эмпирическое правило надежности электроники для конденсаторов заключается в том, что при повышении температуры на каждые 10 °C срок службы уменьшается примерно вдвое. Для полупроводников примерно аналогичная зависимость, но при более высоких температурах наблюдается отклонение от этой закономерности. Есть критическая точка T_J закономерности изменения срока службы, выше которой и ниже отличаются.

Для температур ниже критической точки (T_{stress}) зависимость срока эксплуатации, следующая:

$$AF = e^{\frac{E_a}{k} \frac{1}{T_{use}} \frac{1}{T_{stress}}} , \quad (3);$$

где:

AF – фактор увеличения срока эксплуатации;

E_a – энергия активации, эВ;

k – постоянная Больцмана, $8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/К;

T_{use} – рабочая температура полупроводникового перехода в К;

T_{stress} – критическая температура полупроводникового перехода в К.

T_{stress} это не предельно допустимая температура эксплуатации для электронного компонента. Предельно допустимая температура эксплуатации может быть значительно выше T_{stress} . T_{stress} это температура ниже которой частота отказов и время службы имеют экспоненциальную зависимость.

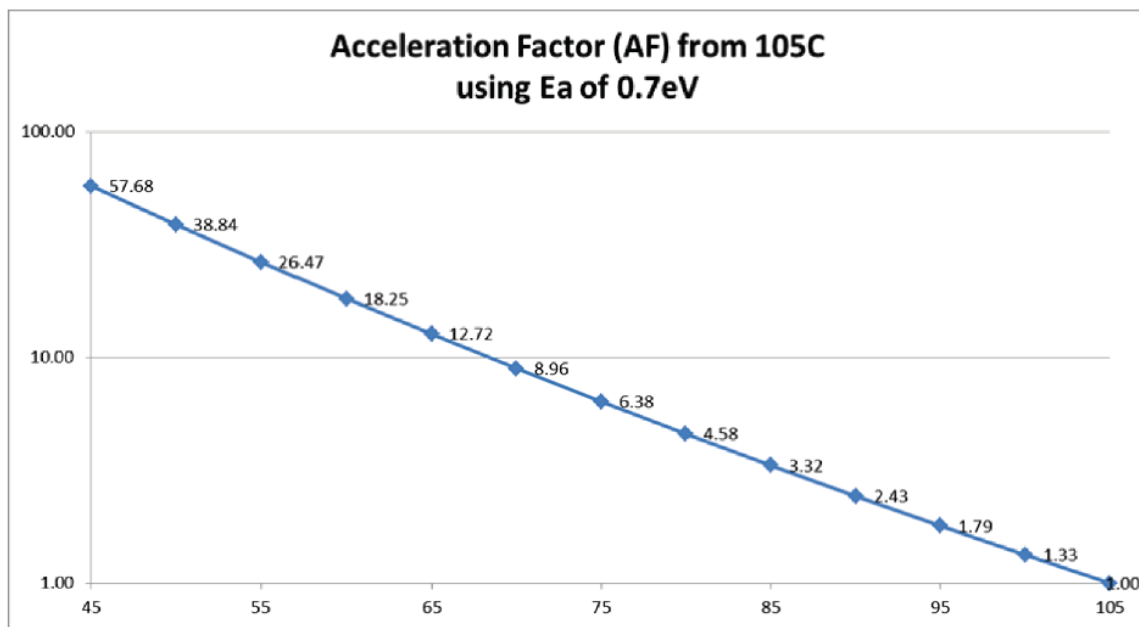


Рисунок 9 – пример изменения АФ для микросхемы с $T_{\text{stress}}=105^{\circ}\text{C}$ и $E_a=0,7\text{эВ}$

Согласно рисунку 9, если микроконтроллер все время работает при $T_j=90^{\circ}\text{C}$, то его время службы вырастет примерно в два раза по сравнению с $T_j=T_{\text{stress}}=105^{\circ}\text{C}$.

При температуре выше критической T_{stress} срок службы не может быть вычислен по (3) и резко сокращается с ростом температуры. Например, в 5÷10 раз при превышении T_{stress} на 20°C .

3.1.3. Зависимость температуры электронных устройств от условий эксплуатации

Очевидно, что зависимость частоты отказов и времени службы электронных модулей от температуры огромная и поэтому задача проектировщиков и службы эксплуатации заказчика обеспечить как можно более низкие температуры для электронных модулей ПТК АСУТП.

Кроме этого как мы видим хотя в документации любых производителей на электронные модули (блоки питания, ИБП, контроллеры, модули ввода-вывода, IS изоляторы и т.п.) в условиях эксплуатации указаны границы температуры окружающей среды в реальности частота отказов зависит от других температур, которые уже косвенно зависят от температуры окружающей среды модулей. Это очень важный момент для понимания как конструировать ПТК АСУТП и далее эксплуатировать его с обеспечением проектных показателей надежности в течение всего жизненного цикла.

Как мы видим наиболее критичными в части отказов, являются температуры полупроводниковых переходов. Во-первых, это всегда активные элементы, которые греются от выделяемой в них мощности. Кроме этого у микросхем микроконтроллеров являющихся “ядром” электронных модулей как правило предельная температура полупроводниковых переходов примерно равна 105°C, что существенно ниже чем для простых микросхем и полупроводниковых элементов у которых эта температура обычно не меньше 150 °C. Помимо этого в микросхемах БП и ИБП как правило имеется встроенная тепловая защита от перегрева, которая обесточивает выход с ИБП и БП при перегреве. Это очень существенный факт из-за того, что микросхемы электропитания есть практически во всех электронных модулях и при избыточном нагреве в модуле может сработать тепловая защита по

электропитанию. Очень часто микросхемы электропитания являются наиболее нагруженные по тепловыделению компонентами электронных модулей.

В упрощенном виде температуру полупроводниковых переходов компонентов электронного модуля можно описать следующей формулой:

$$T_J = \Delta T_W + T_A = W * \theta_{JIA} + \frac{h_c}{S * \lambda_c} + \frac{1}{\alpha_A * S} + T_A, \quad (4);$$

где:

ΔT_W – увеличение температуры из-за тепловыделения, °С;

T_A – температура окружающей среды для электронного модуля, °С;

W – выделяемая тепловая мощность в модуле, Вт;

θ_{JIA} – температурное сопротивление между полупроводниковыми переходами и окружающей их средой, °С/Вт. Это величина индивидуальная постоянная для каждого типа модуля и со временем не меняется;

h_c – толщина отложений (грязь, пыль) на охлаждаемой поверхности, мм;

λ_c – коэффициент теплопроводности отложений на охлаждаемой поверхности, Вт/(мм*°С);

α_A – коэффициент теплоотдачи с охлаждаемой поверхности, Вт/(мм²*°С);

S – площадь охлаждаемой поверхности, мм².

Из (4) следует:

- 1) Температура полупроводникового перехода изменяется на столько °С на сколько °С изменяется температура окружающей среды.
- 2) Прирост температуры полупроводниковых переходов относительно температуры окружающей среды прямо пропорционален выделяемой тепловой мощности в модуле. То же утверждение верно и для любого шкафа АСУТП. Прирост температуры внутри шкафа относительно

температуры в помещении прямо пропорционален выделяемой тепловой мощности всех модулей, установленных в шкафу.

- 3) Температура полупроводниковых переходов зависит от толщины паразитных отложений на охлаждаемых поверхностях модуля и от их теплопроводности. Например, пыль обладает очень низкой теплопроводностью и способна со временем (с увеличением толщины отложений) увеличить прирост температуры полупроводниковых переходов относительно температуры окружающей среды в несколько раз.
- 4) Прирост температуры полупроводниковых переходов обратно пропорционален площади охлаждаемых поверхностей. Соответственно если мы уменьшаем эту площадь за счет особенности установки или взаимного расположения модулей, то пропорционально прирастет температура полупроводниковых переходов. Например, если модули собраны «бутербродом», то в центре «бутерброда» отводится тепло только с торцевых поверхностей модулей.
- 5) Наиболее существенный фактор, влияющий на охлаждение это коэффициент теплоотдачи с охлаждаемой поверхности - α_A . Он фактически на 90% зависит от скорости воздухообмена непосредственно около охлаждаемой поверхности. Поэтому на него влияют следующие факторы:
 - a. Ориентация модуля в пространстве относительно воздушных потоков.
 - b. Конвекционное охлаждение или обдув.
 - c. Скорость воздушного потока непосредственно около охлаждаемой поверхности модуля.

- d. Высота над уровнем моря, поскольку на больших высотах воздух более разреженный. Требуется применение поправочного коэффициента для высот более 1000м.

Именно α_A непрерывно меняется в процессе эксплуатации и за счет этого изменяются условия теплопередачи.

3.2. Определение эксплуатационных запасов основных параметров ИБП

Общее эмпирическое правило для определения максимальной мощности ИБП таково, что максимальная нагрузка ИБП при его работе без резерва не должна превышать 50% от его максимальной мощности. Таким образом при работе в штатном режиме в составе резервированной пары нагрузка на каждом ИБП не будет превышать 25% от номинала.

Вышеуказанный запас мощности нужен для решения следующих задач:

1. Понижение температуры полупроводниковых переходов компонентов ИБП примерно на 25 °С от номинальной за счет как минимум трёхкратного снижения выделяемого тепла в ИБП. Это снизит частоту отказов и продлит срок службы примерно в 3÷4 раза.
2. Для создания запаса по нагреву при повышении температуры в помещении аппаратной И-6 в летний период за случай отказа системы кондиционирования. ИБП как правило автоматически и без предупреждения выключается при перегреве. При номинальной нагрузке это может произойти уже при температуре в помещении в 35 °С.
3. Для создания запаса мощности при включении питания на КТС АСУТП после ИБП. В этот момент примерно на 20 мс идет

стартовый ток (Inrush Current) на импульсные БП, который примерно в три раза больше номинального.

Эмпирическое правило для определения времени удержания ИБП таково, что время удержания ИБП при его работе без резерва при максимальной нагрузке должно быть в два раза больше установленного регламентом в п. 1.3. Данный запас нужен для учета деградации батарей до их регламентной замены через 3 года. Таким образом требуемое время удержания для новых батарей при максимальной нагрузке и работе без резерва должно быть для И-6 не менее 60 минут.

3.3. Расчет максимальной мощности ИБП

Формула для расчета полной максимальной мощности ИБП:

$$Q_{UPS\ max} = \frac{Q_{max}}{1-P_s} = \frac{x P_{ACNi}}{1-P_s \lambda_i}, \quad (5);$$

где:

$Q_{UPS\ max}$ – требуемая максимальная полная мощность ИБП с запасом, ВА;

Q_{max} – максимальная полная мощность нагрузок, ВА;

x – общее количество нагрузок ИБП, шт.;

P_{ACNi} – суммарная потребляемая мощность переменного тока 220VAC нагрузки с №=i, Вт;

P_s – требуемый запас мощности по п. 3.2, %;

λ_i – коэффициент мощности нагрузки с №=i по п. 1.2.

Расчет полной максимальной мощности ИБП был выполнен при помощи MS Excel. Результат расчета (см. Таблица 4).

Таблица 4 – расчет полной максимальной мощности ИБП установки И-6

N нагрузки	Описание нагрузки	Потребляемая мощность
1	2	3
1	Нагрузка №1 (P_{ACN1}). Шкаф контроллерный № I6-DCS	
	Мощность потребления нагрузки P _{ACN1} от 220VAC в Вт:	171,45
	Коэффициент мощности нагрузки i=1	0,92
	Мощность потребления нагрузки P_{ACN1} от 220VAC в ВА:	186,36
2	Нагрузка №2 (P_{ACN2}). Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D1	
	Мощность потребления нагрузки P _{ACN2} от 220VAC в Вт:	676,73
	Коэффициент мощности нагрузки i=2	0,92
	Мощность потребления нагрузки P_{ACN2} от 220VAC в ВА:	735,58
3	Нагрузка №3 (P_{ACN3}). Шкаф электронной кроссировки PCY CHARM № I6-D2	
	Мощность потребления нагрузки P _{ACN3} от 220VAC в Вт:	606,14
	Коэффициент мощности нагрузки i=3	0,92
	Мощность потребления нагрузки P_{ACN3} от 220VAC в ВА:	658,85
4	Нагрузка №4 (P_{ACN4}). Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S1	
	Мощность потребления нагрузки P _{ACN4} от 220VAC в Вт:	445,34
	Коэффициент мощности нагрузки i=4	0,92
	Мощность потребления нагрузки P_{ACN4} от 220VAC в ВА:	484,06
5	Нагрузка №5 (P_{ACN5}). Шкаф электронной кроссировки ПАЗ LS-CHARM № I6-S2	
	Мощность потребления нагрузки P _{ACN5} от 220VAC в Вт:	320,75
	Коэффициент мощности нагрузки i=5	0,92
	Мощность потребления нагрузки P_{ACN5} от 220VAC в ВА:	348,64
6	Нагрузка №6 (P_{ACN6}). Рабочая станция I6-WS01	
	Мощность потребления системного блока DELL T3600 от 220VAC в ВА:	450,00
	Мощность потребления двух мониторов DELL P2213 от 220VAC в ВА:	100
	Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN6} от 220VAC в ВА:	550,00
7	Нагрузка №7 (P_{ACN7}). Рабочая станция I6-WS02	
	Мощность потребления системного блока DELL T3600 от 220VAC в ВА:	450,00
	Мощность потребления двух мониторов DELL P2213 от 220VAC в ВА:	100
	Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN7} от 220VAC в ВА:	550,00

Продолжение таблицы 4

1	2	3
	Нагрузка №8 (P_{ACN8}). Рабочая станция I6-WS03	
8	Мощность потребления системного блока DELL T3600 от 220VAC в ВА:	450,00
	Мощность потребления двух мониторов DELL P2213 от 220VAC в ВА:	100
	Итого мощность потребления нагрузки P_{ACN8} от 220VAC в ВА:	550,00
	Максимальная полная мощность нагрузок Q _{max} в ВА	4063
	Ps – требуемый запас мощности	50%
	Максимальная полная мощность ИБП с запасом в ВА	8127

Итого, требуемая максимальная полная мощности ИБП не должна быть меньше 8127ВА.

3.4. Выбор ИБП и батарейного блока

3.4.1. Общие требования к ИБП

- 1) Иметь однофазный ввод для питания от существующих однофазных разделительных трансформаторов питания КИПиА установки И-6.
- 2) В штатном режиме работы – питание выхода только от инвертора синусоидального переменного тока со стабилизацией выходных параметров напряжения и частоты переменного тока.
- 3) Обеспечивать по вводу работу от напряжений питания в диапазоне 180÷ 268VAC (ввиду наличия большого количества силовых нагрузок в И-6 с их частой коммутацией и возможными КЗ в них, качество напряжения питания в И-6 невысокое) и частотой 50±3 Гц. Иметь по вводу защитный фильтр от импульсных и радиочастотных помех периодически возникающих в сети И-6 при отключении мощных индуктивных нагрузок И-6.

- 4) Обеспечивать однофазное выходное рабочее напряжение $230\text{VAC}\pm 5\%$ с частотой 50 ± 2 Гц при штатном режиме работы от инвертора. Для такой низкой расчетной полной максимальной мощности экономически нецелесообразно применение ИБП с трехфазным выходом. Лимитирующим фактором при этом выступают рабочие станции DELL (см. п. 1.2).
- 5) Провалы напряжения по выходу при любых переключениях в ИБП не более 5 мс. Лимитирующим фактором при этом выступают рабочие станции DELL (см. п. 1.2).
- 6) Иметь как минимум полуторакратную перегрузочную способность для обеспечения стартового тока импульсных БП нагрузок КТС АСУТП в течение 1 периода сети 50Гц.
- 7) Иметь блок Power Factor Correction для коррекция коэффициента мощности и компенсации реактивной мощности для предотвращения дополнительных потерь в магнитороводах существующих однофазных разделительных трансформаторах питания КИПиА установки И-6, которые могут привести к их преждевременному износу из-за избыточного нагрева.
- 8) Длительно работать при температуре окружающей среды до 38°C – при отказе системы кондиционирования в помещении аппаратной И-6 в летний период времени.
- 9) Наличие встроенного прямого аварийного байпаса с ввода на выход ИБП с автоматическим переходом на байпас в случае неисправности электронных блоков и батарей ИБП, которые не позволят обеспечить работу выхода ИБП от инвертора. Байпас должен иметь быстродействующие электронные ключи. Наличие данного байпаса позволяет временно обеспечить бесперебойное электропитание при

наличии напряжения по вводу при отказе ИБП вплоть до ремонта или замены ИБП.

- 10) Иметь встроенную мощную систему диагностики потенциальных отказов с возможностью ее отображения на локальном дисплее и доступом к ней из заводской сети АСУТП.
- 11) Обеспечивать заданное время удержания.

3.4.2. Выбор модели ИБП

На производственной площадке ООО “СИБУР Тольятти” традиционно уже более 10 лет используются ИБП серии Liebert® GXT. Для обеспечения преемственности, унификации ЗИП и ТО рассмотрим текущую серию Liebert® GXT4 на применимость под требования п. 3.4.1.

Согласно инструкции по эксплуатации на серию Liebert® GXT4 [19] данные ИБП обладают следующими характеристиками:

- 1) Однофазный ввод с номинальным напряжением $220\div 240\text{VAC VAC}$.
- 2) В штатном режиме работы – питание выхода только от инвертора синусоидального переменного тока со стабилизацией выходных параметров напряжения и частоты переменного тока.
- 3) Диапазон напряжений питания по вводу $176\div 280\text{VAC}$.
- 4) Диапазон частоты по вводу $40\div 70\text{Гц}$.
- 5) КПД – 92%.
- 6) Рабочий диапазон температур $0\div 40^{\circ}\text{C}$.
- 7) Защитный фильтр по вводу от импульсных и радиочастотных помех.
- 8) Выходное синусоидальное рабочее напряжение $230\text{VAC}\pm 2\%$ с частотой 50 Гц при штатном режиме работы от инвертора.

- 9) Провалы напряжения по выходу при любых переключениях в ИБП не более 5 мс. Лимитирующим фактором при этом выступают рабочие станции DELL (см. п. 1.2).
- 10) Перегрузочная способность по выходу 200% от максимальной мощности в течение 5 периодов сети 50Гц.
- 11) Наличие по вводу блока - Power Factor Correction для коррекции коэффициента мощности и компенсации реактивной мощности.
- 12) Наличие встроенного прямого аварийного байпаса с ввода на выход ИБП с автоматическим переходом на байпас в случае неисправности электронных блоков и батарей ИБП, которые не позволят обеспечить работу выхода ИБП от инвертора.
- 13) Наличие встроенную системы диагностики потенциальных отказов с отображением на локальном дисплее и доступом к ней из заводской сети АСУТП.

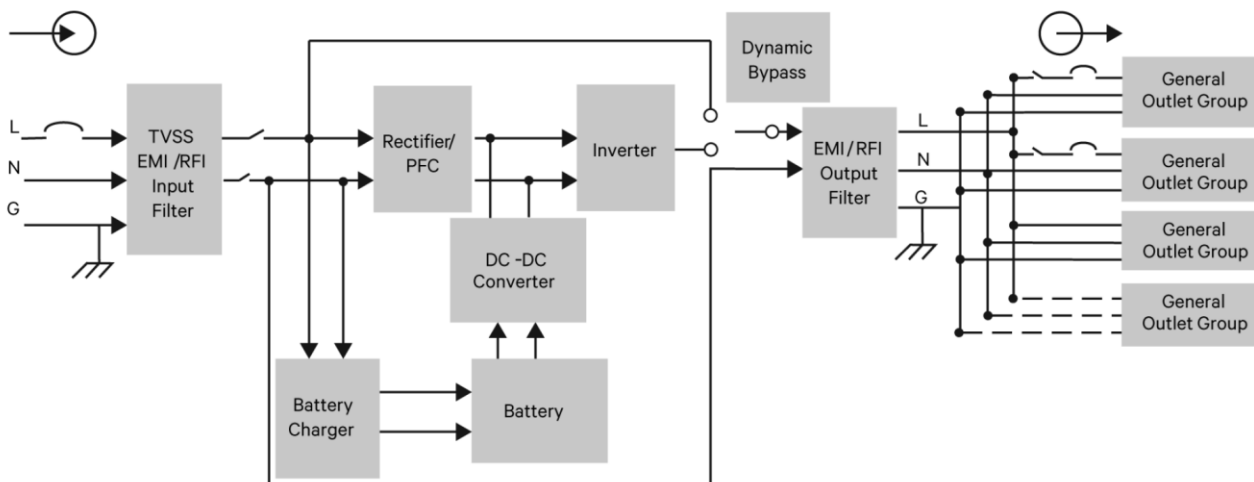


Рисунок 10 – Структурная схема ИБП серии Liebert® GXT4

Перечень структурных компонентов ИБП:

- 1) (TVSS) и EMI/RFI Input Filter – эти компоненты ИБП обеспечивают защиту от перенапряжений и фильтрацию электромагнитных и

радиочастотных помех. Они сводят к минимуму любые перенапряжения или помехи, присутствующие в сети питания.

- 2) Rectifier/PFC - в нормальном режиме работы, выпрямитель/контур коррекции коэффициента мощности (PFC) преобразует переменный ток сети в регулируемый постоянный ток для преобразователя, обеспечивая при этом форму входного тока, используемого ИБП близкую к синусоидальной, повторяющую форму входного напряжения. Благодаря этому минимизируется количество высших гармоник тока и обеспечивается имитация резистивной нагрузки.
- 3) Inverter - в нормальном режиме работы инвертор использует выходное постоянное напряжение контура коррекции коэффициента мощности и преобразует его в регулируемое синусоидальное выходное переменное напряжение. При отказе сетевого питания инвертор получает необходимую энергию от батареи через преобразователь DC-DC. В обоих режимах работы инвертор ИБП функционирует постоянно и генерирует на выходе стабильное, регулируемое переменное напряжение с точными параметрами.
- 4) Battery Charger - зарядное устройство использует энергию из электросети и точно регулирует ее для постоянного подзаряда батареи. Батареи постоянно подзаряжаются, если Liebert GXT4 подключен к электросети и параметры ее входного напряжения находятся в пределах допустимого.
- 5) DC-DC Converter - конвертер DC-DC использует энергию от батарейной системы и повышает напряжение постоянного тока до оптимального входного рабочего напряжения инвертера. Это позволяет инвертору работать с оптимальной эффективностью.
- 6) Battery - в Liebert GXT4 используются необслуживаемые свинцово-кислотные батареи с клапаным регулированием. Расчетный срок

службы батареи определен для эксплуатации ИБП при температуре окружающей среды от 15 °С до 25 °С. Для увеличения продолжительности работы батареи можно использовать дополнительные внешние батарейные отсеки.

- 7) EMI/RFI Output Filter – эти компоненты ИБП обеспечивают фильтрацию электромагнитных и радиочастотных помех возникающих при работе инвертера. Они сводят к минимуму любые помехи, для выходной сети питания.
- 8) Dynamic bypass - в случае неисправности ИБП Liebert GXT4 обеспечивает альтернативную подачу сетевого питания к подключенной нагрузке. В случае перегрузки, перегрева или другого состояния неисправности ИБП он автоматически передает подключенную нагрузку на байпас. На байпас можно переключаться принудительно, вручную, например для технического обслуживания ИБП.
- 9) Ремонтный байпас - Liebert GXT4 имеет ручной ремонтный байпас, который находится в съемной части задней панели ИБП. Это позволяет производить полную замену ИБП в случае его неисправности, не прерывая при этом электропитание подключенного оборудования.

Таким образом серия Liebert® GXT4 полностью удовлетворяет требованиям п. 3.4.1.

Из серии Liebert® GXT4 нам по расчетной максимальной мощности подходит ближайшая модель на 6кВА. Выбираем для проекта ИБП модели Liebert® GXT4-10000RT230.

3.4.3. Выбор блока батарей ИБП

По таблице 9.4 [19] нам для времени удержания 60 минут согласно п. 3.2. и для максимальная расчетной полной мощности нагрузок $Q_{max}=4063$ ВА согласно п. 3.3., что составляет 41% от полной мощности ИБП, требуется два дополнительных блока батарей модели GXT4-240VBATT. При этом ориентировочное время удержания в не резервированной режиме на свежих батареях составит не менее 70 минут с учетом разброса емкости батарей $\pm 5\%$.

3.4.4. Итоговая комплектация ИБП

Итоговая комплектация ИБП И-6:

- 1) ИБП модели Liebert® GXT4-10000RT230 – 2шт.
- 2) Внешний блок батарей модели GXT4-240VBATT – 4шт.
- 3) Liebert IntelliSlot Web Card модели S-WEBCARD – 2шт. (Сетевой Ethernet модуль для удаленной развернутой диагностики с WEB протоколом HTTPS. И с протоколом SNMP для отправки по E-mail превентивных диагностических сообщений обслуживающему персоналу.)

3.5. Расчет системы АВР системы электропитания КТС АСУТП

Назначение системы АВР указано в п.2.2. АВР по выходу подключается в вводу ИБП, поэтому параметры АВР определяются по параметрам ввода ИБП.

Параметры ввода ИБП указанные в п.9. и таблице 3.1. [19] имеют следующие значения:

- 1) Однофазный ввод L-N с допустимым диапазоном напряжений - $176\div 280$ ВАС.

2) Максимальный входной ток при 176VAC – 60А.

3) Требуемый внешний автоматический выключатель - 63А, характеристика D (Ток КЗ срабатывания автоматического выключателя $10...20 I_n$).

Таким образом АВР должен обеспечивать переключение вводов питания установки И-6 на ИБП с номинальным током 60А и выдерживать КЗ с кратностью тока 20.

Согласно установившейся в отрасли практике АВР для КТС АУСУТП собираются на базе одно или трехфазных релейных контакторов. Как показала практика это самое надежное исполнение. От АВР устанавливаемого перед ИБП не требуется высоких показателей быстродействия или узких границ допусков переключения по напряжению по его вводам ввиду того, что все огрехи в переключении АВР компенсируется ИБП, который на время переключения АВР переходит на работу от батареи и в виду этого на характеристиках и форме выходного напряжения после ИБП это никак не отражается.

Нам требуется выбрать модель и номинал силового контактора для типовой схемы ИБП (см. Рисунок 11).

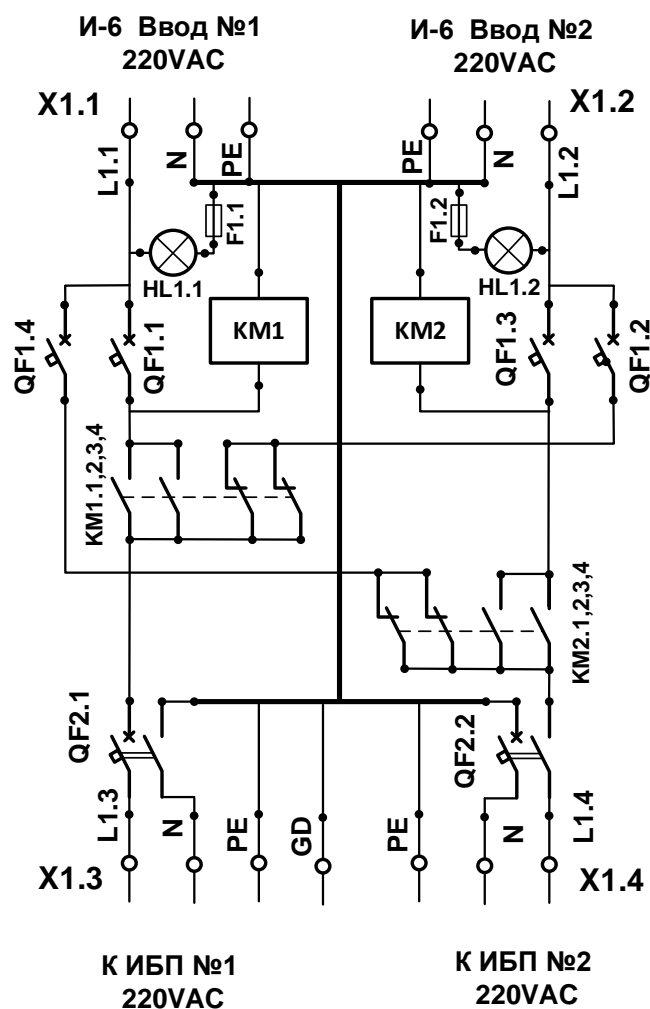


Рисунок 11 – Схема принципиальная типового однофазного АВР

По каталогу Schneider Electric [20] из серии TeSys D выбираем контактор модели LC1-D65008P5 с дополнительным клеммным блоком LAD-N11 (1NO и 1NC) для индикации положения контактора.

Контактор имеет удовлетворяющие описанным выше требованиям и имеет следующие параметры:

- 1) Номинальный коммутируемый ток из расчета на одну группу контактов - до 80А переменного тока при температуре меньше 60 °С и напряжении меньше 440VAC.
- 2) Количество силовых групп контактов – 2 NO и 2 NC.

- 3) Перегрузочная способность - до 900А в течение 1 сек при температуре меньше 40 °С.
- 4) Время переключения:
 - a. включение – 12÷26 мс;
 - b. отключение – 4÷19 мс.
- 5) Катушка управления с параметрами:
 - a. номинальное напряжение - 230VAC;
 - b. напряжение включения – от 184VAC;
 - c. напряжение отключения – в диапазоне 69÷138 VAC.
 - d. мощность втягивания – 160VA при 20 °С, Cos φ ~ 0,75;
 - e. мощность удержания – 15VA при 20 °С Cos φ ~ 0,3;
 - f. тепловыделение – до 5 Вт.
- б) Показатели надежности:
 - a. механическая часть – до 6 миллионов циклов переключений;
 - b. электрическая часть при номинальном токе и Cos φ=1 - до 1,3 миллионов циклов переключений;
 - c. допустимая частота переключений – не чаще 1 раз в сек. при температуре до 60 °С.
 - d. МТBF катушки управления – 180 лет при температуре до 40 °С.

Если распараллелить группы контактов 2 NO и 2 NC и то их перегрузочная способность вырастет примерно в полтора раза. Это позволит обеспечить отключение внешнего автоматического выключателя (63А, характеристика D) в случае КЗ на вводе ИБП без повреждения контактных групп контактора АВР поскольку при характеристике D максимальный кратковременный (менее 1 сек.) ток отключения будет не более чем 20ти кратный и равный приблизительно 1260А.

Таким образом выбранный нами для АВР контактор серии TeSys D модели LC1-D65008P5 полностью удовлетворяет всем требованиям.

3.6. Определение параметров автоматических выключателей нагрузок электропитания КТС АСУТП

В ШРП устанавливаются автоматические индивидуальные выключатели нагрузок по каждому из вводов для отключения питания от любой нагрузки (например, для ТО) и для индивидуального отключения нагрузки в случае КЗ в нагрузке или на линии, идущей к нагрузке.

Общие принципы выбора автоматических выключателей:

- 1) Обеспечение пускового тока нагрузки без отключения.
- 2) Гарантированное отключение в случае КЗ.
- 3) Обеспечение запаса для подключения резерва к нагрузке.
- 4) Унификация номиналов для обеспечения универсальности подключения нагрузок.

Расчет номиналов автоматических выключателей нагрузок КТС АСУТП И-6 был выполнен при помощи MS Excel. Результат расчета (см. Таблица 5). Данные по потребляемой мощности нагрузок для расчёта взяты из таблицы 4. Данные по кратности пускового тока нагрузки по данным DeltaV Bulk Power Supplies [5]. Типовые токи и по данным на выбранную серию автоматических выключателей Acti9 производства Schneider Electric «Модульное оборудование на ток до 125 А» [21].

Таблица 5 – расчет номиналов автоматических выключателей нагрузок КТС АСУТП установки И-6

№ нагрузки	Потребляемая мощность, ВА	Номинальный ток, А	Пусковой ток нагрузки с кратностью=5 не более 20мс, А	Ближайший номинал автоматического выключателя с характеристикой С, А	Итоговый унифицированный номинал автоматического выключателя с характеристикой С, А
1	2	3	4	5	6
1	Нагрузка №1 Шкаф контроллерный № I6-DCS				
	186,36	0,85	4,24	6	10
2	Нагрузка №2 Шкаф электронной кроссировки РСУ CHARM № I6-D1				
	735,58	3,34	16,72	16	16
3	Нагрузка №3 Шкаф электронной кроссировки РСУ CHARM № I6-D2				
	658,85	2,99	14,97	16	16
4	Нагрузка №4 Шкаф электронной кроссировки ПА3 LS-CHARM № I6-S1				
	484,06	2,20	11,00	10	16
5	Нагрузка №5 Шкаф электронной кроссировки ПА3 LS-CHARM № I6-S2				
	348,64	1,58	7,92	10	16
6	Нагрузка №6 Рабочая станция I6-WS01				
	550,00	2,50	12,50	10	10
7	Нагрузка №7 Рабочая станция I6-WS02				
	550,00	2,50	12,50	10	10
8	Нагрузка №8 Рабочая станция I6-WS03				
	550,00	2,50	12,50	10	10

3.7. Вывод по третьей главе

Определены эксплуатационные зависимости надежности от температурных условий эксплуатации для ИБП. На основе данных зависимостей и данных расчетов из п. 2 произведен выбор номинала и батарей ИБП с учетом эксплуатационных запасов на старение батарей и пусковые токи КТС АСУТП.

4. Проверка показателей надежности электропитания КТС АСУТП

4.1. Применяемая методика расчета надежности и основные допущения в расчете надежности

Для расчета надежности системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена была выбрана упрощённая методика расчета надежности, применяемая в АСУТП разработки Yokogawa Electric Corporation - Reliability Manual [22]. Также использовались указания «Основы расчета надежности систем электроснабжения» [23]. Суть методики а разбиении объекта на структурные блоки с известными показателями частоты отказов с последующим расчетом общего показателя надежности. Преимущество методики – простота в использовании для оценки порядка показателя надежности в результате чего она широко распространена в инженерных расчетах АСУТП для оценки показателей надежности примененных технических решений. Недостаток методики – не используются модели Маркова (марковские модели позволяют описать последовательности отказов-восстановлений в системах с учетом вероятностей переходов в эти состояния, описываемых при помощи графа состояний), в результате чего ограниченная применимость и получение только оценочных результатов.

Основные термины методики:

1) $MTTF$ – среднее время наработки до отказа в часах.

2) λ - частота отказов в 10^{-9} в час. $\lambda = \frac{1}{MTTF}$

3) $MTTR$ – среднее время восстановления после отказа в часах.

4) $MTBF$ - среднее время наработки между отказами в часах. $MTBF = MTTF + MTTR$

5) A – расчетная средняя готовность. Средняя доля времени, в течение которой объект находится в рабочем состоянии.

Готовность определяется как отношение $MTTR$ к $MTBF$ (6).

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}, \quad (6);$$

Из (6) зная показатель готовности и $MTTF$, можно найти требуемый $MTTR$ для ТО для обеспечения заданного показателя готовности (7).

$$MTTR = \frac{MTTF * (1 - A)}{A}, \quad (7);$$

При расчете структурные блоки комбинируются в последовательные и параллельные схемы. Последовательное соединение блоков отражает тот факт, что при отказе любого из блоков выходит из строя вся цепь. Параллельное соединение блоков показывает, что блоки взаимно-резервированы и при отказе любого из блоков работоспособность обеспечивает второй блок если он в этот момент времени не находится в ремонте (время $MTTR$). На время ремонта одного из блоков схема фактически работает в не резервированном режиме.

Схема с последовательно соединенными блоками (см. Рисунок 12).

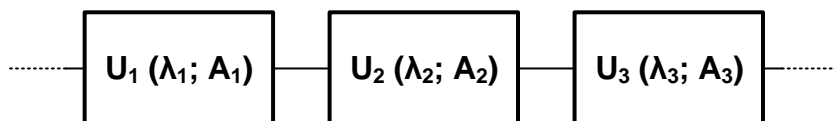


Рисунок 12 – Последовательно соединенные блоки

Расчет частоты отказов схемы с последовательно соединенными блоками (8)

$$\lambda_S = \sum_i^n \lambda_i, \quad (8);$$

где:

λ_S – суммарная частота отказов последовательно соединенных блоков, в час;

λ_i – частота отказов блока i , в час.

Расчет готовности схемы с последовательно соединенными блоками (9).

$$A_S = \prod_i^n A_i, \quad (9);$$

где:

A_S – суммарная готовность последовательно соединенных блоков;

A_i – готовность блока i .

Схема с параллельно соединенными блоками (см. Рисунок 13).

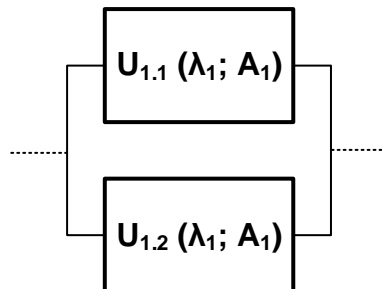


Рисунок 13 – Параллельно соединенные (резервированные) блоки

Расчет частоты отказов схемы с параллельно соединенными блоками (10).

$$\lambda_S = 2 * \lambda_1^2 * MTTR, \quad (10);$$

где:

λ_S – суммарная частота отказов параллельно соединенных блоков, в час;

λ_1 – частота отказов блока 1.1, в час;

MTTR – среднее время восстановления после отказа в часах.

Расчет готовности схемы с последовательно соединенными блоками (11).

$$A_S = 1 - 1 - A_1^2, \quad (11);$$

где:

A_S – суммарная готовность последовательно соединенных блоков;

A_1 – готовность блока 1.1.

4.2. Структурная схема узлов системы электропитания для расчета надежности

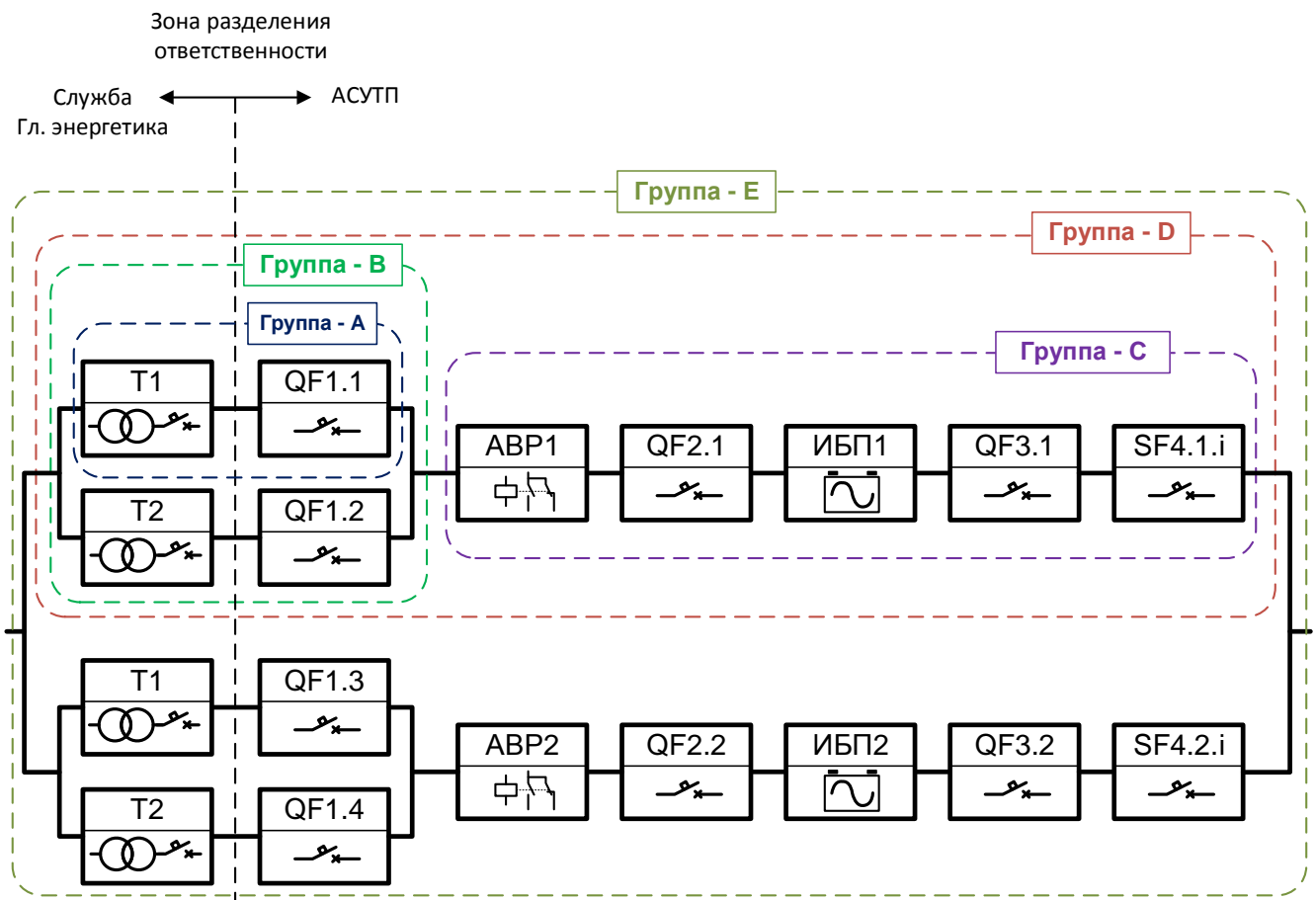


Рисунок 14 - Структурная схема узлов системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 производства Изопрена для расчета надежности

Перечень узлов структурной схемы:

- 1) T1 и T2 – вводы электропитания;
- 2) АВР1 и АВР2 – автоматический ввод резерва по основному и резервному вводам;
- 3) QF1 – автоматические выключатели по вводам АВР1 и АВР2;
- 4) QF2 – автоматические выключатели по выходам АВР1 и АВР2;
- 5) ИБП1 и ИБП2 – источники бесперебойного электропитания;
- 6) QF3 – групповые автоматические выключатели ШРП1 и ШРП2;
- 7) SF4 – автоматические выключатели нагрузок в ШРП1 и ШРП2.

4.3. Расчет надёжности системы электропитания КТС АСУТП для расчета надежности

Для удобства выполнения расчета структурная схема узлов системы электропитания КТС АСУТП установки И-6 (см. Рисунок 14) разбита на пять групп:

- А. – схема из последовательных элементов Т и QF1;
- В. – схема из параллельных (резервированных) элементов Группы А;
- С. – схема из последовательных элементов: АВР; QF2; ИБП; QF3 и SF4;
- Д. – схема из последовательных элементов Группы В и Группы С;
- Е. – схема из параллельных (резервированных) элементов Группы Д.

4.3.1. Расчет показателей Группы А

Рассчитаем показатели частоты отказов и готовности для Группы А по (8) и (9). Показатели надежности и готовности для составляющих элементов группы, следующие:

1. T1 и T2 – по накопленной статистике отказов И-6: $MTTF_T = 1 \text{ год} = 8760 \text{ часов}$, соответственно $\lambda_T = 0,000114 \text{ в час}$; $MTTR_T = 4 \text{ часа}$, соответственно $A_T = 0,99954$;
2. QF1 – по декларации производителя Declaration of Conformity MTTF Acti9 [24]: $MTTF_{QF1} = 100 \text{ лет} = 8760 \text{ часов}$, соответственно $\lambda_{QF1} = 11415 \cdot 10^{-9} \text{ в час}$; $MTTR_{QF1} = 24 \text{ часа}$, соответственно $A_{QF1} = 0,99997$.

Расчет частоты отказов для Группы А (12)

$$\lambda_A = \lambda_{T1} + \lambda_{QF1} = 0,000114 + 11415 * 10^{-9} = 0,000115, \quad (12);$$

где:

λ_A – суммарная частота отказов элементов Группы А, в час;

λ_{T1} – частота отказов ввода T1, в час;

λ_{QF1} – частота отказов автоматического выключателя QF1, в час.

Расчет готовности для Группы А (13)

$$A_A = A_{T1} * A_{QF1} = 0,99954 * 0,99997 = 0,99951, \quad (13);$$

где:

A_A – суммарная готовность элементов Группы А;

A_{T1} – готовность ввода T1;

A_{QF1} – готовность автоматического выключателя QF1.

4.3.2. Расчет показателей Группы В

Рассчитаем показатели частоты отказов и готовности для Группы В по (10) и (11). Показатели надежности и готовности для составляющих элементов группы были рассчитаны в п. 4.3.1.

Расчет частоты отказов для Группы В (14)

$$\begin{aligned}
 \lambda_B &= 2 * \lambda_A^2 * MTTR_A = 2 * \lambda_A^2 * \frac{MTTF_A * 1 - A_A}{A_A} \\
 &= 2 * \lambda_A^2 * MTTF_A \frac{A_A}{1 - A_A} \\
 &= 2 * \lambda_A^2 * \frac{1}{\lambda_A} * \frac{1 - A_A}{A_A} = 2 * \lambda_A * \frac{1 - A_A}{A_A} \\
 &= 2 * 0,000115 * \frac{1 - 0,99951}{0,99951} = 1128 * 10^{-9},
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

где:

λ_B – суммарная частота отказов элементов Группы В, в час;

λ_A – частота отказов Группы А, в час;

$MTTR_A$ – частота отказов Группы А, в час;

A_A – готовность Группы А.

Расчет готовности для Группы В (15)

$$A_B = 1 - 1 - A_A^2 = 1 - 1 - 0,99951^2 = 0,99999, \tag{15};$$

где:

A_B – суммарная готовность элементов Группы В;

A_A – готовность Группы А.

4.3.3. Расчет показателей Группы С

Рассчитаем показатели частоты отказов и готовности для Группы С по (8) и (9). Показатели надежности и готовности для составляющих элементов группы, следующие:

1. АВР – по декларации производителя Declaration of Conformity MTTF TeSys [25]: $MTTF_T = 200000$ часов, соответственно $\lambda_T = 0,000005$ в час; $MTTR = 24$ часа, соответственно $A_T = 0,99988$;
2. ИБП – по листу технических данных производителя [26]: $MTTF_T = 150000$ часов, соответственно $\lambda_T = 66667 * 10^{-9}$ в час; $MTTR = 72$ часа, соответственно $A_T = 0,99952$;
3. QF2, QF3 и SF4 – по декларации производителя Declaration of Conformity MTTF Acti9 [24]: $MTTF_{QF} = 100$ лет = 876000 часов, соответственно $\lambda_{QF} = 114,15 * 10^{-9}$ в час; $MTTR_{QF} = 24$ часа, соответственно $A_{QF} = 0,99997$.

Расчет частоты отказов для Группы С (16)

$$\lambda_C = \lambda_{ABP} + \lambda_{QF2} + \lambda_{ИБП} + \lambda_{QF3} + \lambda_{SF4} = 0,000005 + 114,15 * 10^{-9} + 66667 * 10^{-9} + 114,15 * 10^{-9} + 114,15 * 10^{-9} = 0,0001059, \quad (16);$$

где:

λ_C – суммарная частота отказов элементов Группы С, в час;

λ_{ABP} – частота отказов контактора АВР, в час;

λ_{QF2} – частота отказов автоматического выключателя QF2, в час;

$\lambda_{ИБП}$ – частота отказов ИБП, в час;

λ_{QF3} – частота отказов автоматического выключателя QF3, в час;

λ_{SF4} – частота отказов автоматического выключателя SF4, в час.

Расчет готовности для Группы С (17)

$$\begin{aligned}
A_C &= A_{ABP} * A_{QF2} * A_{ИБП} * A_{QF3} * A_{SF4} \\
&= 0,99988 * 0,99997 * 0,99952 * 0,99997 \\
&* 0,99997 = 0,99931,
\end{aligned} \tag{17};$$

где:

A_C – суммарная готовность элементов Группы С;

A_{ABP} – готовность контактора АВР;

A_{QF2} – готовность автоматического выключателя QF2;

$A_{ИБП}$ – готовность ИБП;

A_{QF3} – готовность автоматического выключателя QF3;

A_{SF4} – готовность автоматического выключателя SF4.

4.3.4. Расчет показателей Группы D

Рассчитаем показатели частоты отказов и готовности для Группы D по (8) и (9). Показатели надежности и готовности для составляющих элементов группы были рассчитаны в п. 4.3.2. и п. 4.3.3.

Расчет частоты отказов для Группы D (18)

$$\lambda_D = \lambda_B + \lambda_C = 1128 * 10^{-9} + 0,0001059 = 0,0001070, \tag{18};$$

где:

λ_D – суммарная частота отказов элементов Группы D, в час;

λ_B – частота отказов Группы В, в час;

λ_C – частота отказов Группы С, в час.

Расчет готовности для Группы D (19)

$$A_D = A_B * A_C = 0,99999 * 0,99931 = 0,9993, \tag{19};$$

где:

A_D – суммарная готовность элементов Группы D;

A_B – готовность Группы В;

A_C – готовность Группы С.

4.3.5. Расчет показателей итоговой Группы Е

Рассчитаем показатели частоты отказов и готовности для Группы Е по (14) и (11). Показатели надежности и готовности для составляющих элементов группы были рассчитаны в п. 4.3.4.

Расчет частоты отказов для Группы Е (20)

$$\begin{aligned}\lambda_E &= 2 * \lambda_D * \frac{1 - A_D}{A_D} = 2 * 0,0001070 * \frac{1 - 0,9993}{0,9993} \\ &= 1499 * 10^{-9},\end{aligned}\quad (20);$$

где:

λ_E – суммарная частота отказов элементов Группы Е, в час;

λ_D – частота отказов Группы D, в час;

A_D – готовность Группы D.

Расчет готовности для Группы Е (21)

$$A_E = 1 - (1 - A_A)^2 = 1 - (1 - 0,9993)^2 = 0,99999, \quad (21);$$

где:

A_E – суммарная готовность элементов Группы Е;

A_D – готовность Группы D.

4.4. Оценка итогового расчетного показателя надежности

В результате расчетов в п. 4.3.5. мы получили следующие показатели надежности для системы электропитания КТС АСУТП И-6:

1) Частота отказов (λ_E) – $1499 \cdot 10^{-9}$ в час.

2) Готовность (A_E) – 0,99999

3) $MTTF = \frac{1}{\lambda_E \cdot 365 \cdot 24} = 761$ год.

Это подтверждает с большим запасом, что для выбранных технических решений и оборудования мы достигли заданных исходных показателей надежности указанных в п. 1.4.

4.5. Требования к эксплуатации и ТО системы электропитания КТС АСУТП для обеспечения проектных показателей надежности

Поскольку система электропитания КТС АСУТП установки И-6 имеет высшую степень критичности по отношению к технологическому процессу процедуры ТО для нее должны разрабатываться на основе системы международных стандартов SAE JA 1012 [27], NAVIAIR 00-25-403 [28] и систематизированных рекомендаций из них в Reliability Centered Maintenance [29].

4.6. Требования к температурному режиму эксплуатации системы электропитания КТС АСУТП

Общее правило такое – чем ниже температура полупроводниковых переходов, тем меньше отказов и, тем больше жизненный цикл электронных модулей. Для достижения этого требуется:

- 1) Поддерживать температуру в помещениях с КТС АСУТП как можно ниже. Естественно, в помещениях с постоянным пребыванием людей температура ограничивается санитарными нормами. Для других помещений температура не должна быть ниже предельной

допустимой для всех электронных модулей, установленных в помещении.

- 2) Обеспечивать высокую эффективность работы систем принудительного охлаждения шкафов и блоков КТС АСУТП. А именно, все вентиляторы должны быть исправными, фильтрующие элементы своевременно заменяться в зависимости от скорости их загрязнения (степени запыленности помещения).
- 3) Проводить периодическую уборку всех помещений промышленным пылесосом. Обязательно провести капитальную уборку после окончания СМР и ПНР в помещениях, включая подпольное пространство если помещение с двойным полом. Основным источником пыли это скопившаяся пыль в помещениях.
- 4) Рекомендуется применять в помещениях приточную вентиляцию (в помещении должно быть незначительное избыточное давление, чтобы не было подсоса пыли) с системой периодически заменяемых фильтров на входе. Данная система вентиляции создает небольшое избыточное давление в помещениях, что препятствует проникновению пыли через щели, двери, окна и т.п. Для помещений аппаратных без постоянного присутствия людей воздухообмен в помещении должен быть минимально допустимый по действующим нормам для уменьшения притока пылевых частиц и соответственно меньшей скорости загрязнения фильтров.
- 5) Закрывать электронные блоки от воздействия прямой солнечной радиации (применять глухие жалюзи, навесы и т.п. Это же относится к КИП и т.п. оборудованию). В летний день на освещаемой стороне температура поверхности может дополнительно увеличиваться на $10\div 20$ °С.

б) Для модулей, находящихся в горячем нагруженном резерве, нужно выравнивать нагрузку для модулей, чтобы в них выделялась одинаковая тепловая мощность. За счет этого в данных модулях будет примерно одинаковая температура (снижение мощности любого электронного блока от максимальной, также способствует снижению частоты отказов, поскольку для большинства электронных компонентов есть зависимость частоты отказов от степени их нагрузки по отношению к максимально допустимой). В первую очередь это относится к блокам питания 24/12 VDC. В этом случае в штатном режиме работы в каждом БП и соответственно резервированном ИБП будет выделяться примерно половина тепловой мощности, что существенно уменьшит нагрев каждого БП, а также ИБП и соответственно как минимум в три раза снизит частоту отказов БП, ИБП и существенно продлит их срок службы. Проверять равномерность нагрузки ИБП нужно не реже одного раза в квартал в его сервисном меню или при помощи ПО, идущего в комплекте с ИБП. При необходимости находить причины вызывающие перекосы в нагрузках и устранять их.

С точки зрения контроля температуры для обеспечения оптимальных и безаварийных условий эксплуатации рекомендуется следующее:

- 1) Непрерывный контроль температуры воздуха в помещении с ИБП, поскольку температура внутри ИБП изменяется на столько °C на сколько °C изменяется температура в помещении.
- 2) Непрерывный контроль температуры внутри ИБП, поскольку коэффициент теплоотдачи с охлаждаемой поверхности - α_A электронных блоков напрямую зависит от эффективности работы принудительной вентиляции (см. п. 3.1.3). α_A – это основной фактор,

влияющий в итоге на температуру полупроводниковых переходов. В ИБП при этом контролируется не только температура (сама температура используется как сигнализация предельной допустимой температуры), а также ее разница относительно температуры помещения. Именно разница температур является показателем эффективности работы принудительного охлаждения.

- 3) Требуется обеспечить минимальное количество грязе-пылевых частиц в помещениях с ИБП.
- 4) Требуется обеспечить контроль за работоспособностью вентиляторов охлаждения в ИБП. В современных промышленных ИБП есть соответствующая автоматическая диагностика. Контроль можно осуществлять периодически на еженедельной основе при обходе либо удаленно при помощи ПО, идущего в комплекте с ИБП при наличии сетевой карты в ИБП.
- 5) Требуется периодическая очистка электронных модулей, блоков и шкафов ПТК АСУТП от пыли и грязи, замена фильтрующих элементов. Очень важно, что периодичность очистки и замены фильтров зависит от скорости загрязнения, поэтому периодичность для каждого помещения и шкафа требуется установить и назначить опытным путем. Очень хорошая практика выполнять эти работы по изменению неких граничных условий, например по превышению прироста температуры в шкафах относительно температуры в помещении или по превышению прироста температуры в модуле относительно температуры в шкафу или корпусе электронного блока (при наличии датчика температуры внутри электронного модуля).
- 6) Расположение контрольных датчиков температуры: для помещений контрольные датчики температуры следует устанавливать на уровне

воздухозабора шкафов и блоков ПТК АСУТП в непосредственной близости от шкафов.

- 7) Использовать в качестве дополнительных датчиков температуры, показания температуры внутри электронных модулей ИБП если это возможно и доступно. Данная температура более близка к температуре полупроводниковых переходов и учитывает большее количество факторов (например, загрязнение), а как было описано ранее частота отказов зависит именно от температуры полупроводниковых переходов. В принципе можно используя температуру в помещении, температуру в ИБП и температуру внутри модуля(ей) вывести зависимость для степени загрязнения охлаждаемых поверхностей модулей.

4.7. Перечень задач ТО системы электропитания КТС АСУТП

Система электропитания КТС АСУТП И-6 работает в режиме постоянно нагруженного резерва. Это означает, что все ее компоненты работают в режиме штатной нагрузки. Этот режим на порядки снижает вероятность возникновения скрытых отказов, которые являются наиболее опасными видами отказов.

Согласно рекомендациям Reliability Centered Maintenance [29] был проведен анализ возможных отказов системы электропитания КТС АСУТП и их последствий. Для разных видов отказов по диаграмме решений RCMII были разработаны следующие задачи ТО:

- 1) Поиска потенциальных отказов.
- 2) Поиска скрытых отказов.
- 3) Планово-предупредительное.

4.8. Задачи ТО поиска потенциальных отказов системы электропитания КТС АСУТП

Основная часть задач связанных с поиском потенциальных отказов выполняется удалённо при помощи встроенных в ИБП Web серверов [30], через которые можно производит конфигурирование, проверять диагностические сообщения и смотреть их текущее состояние.

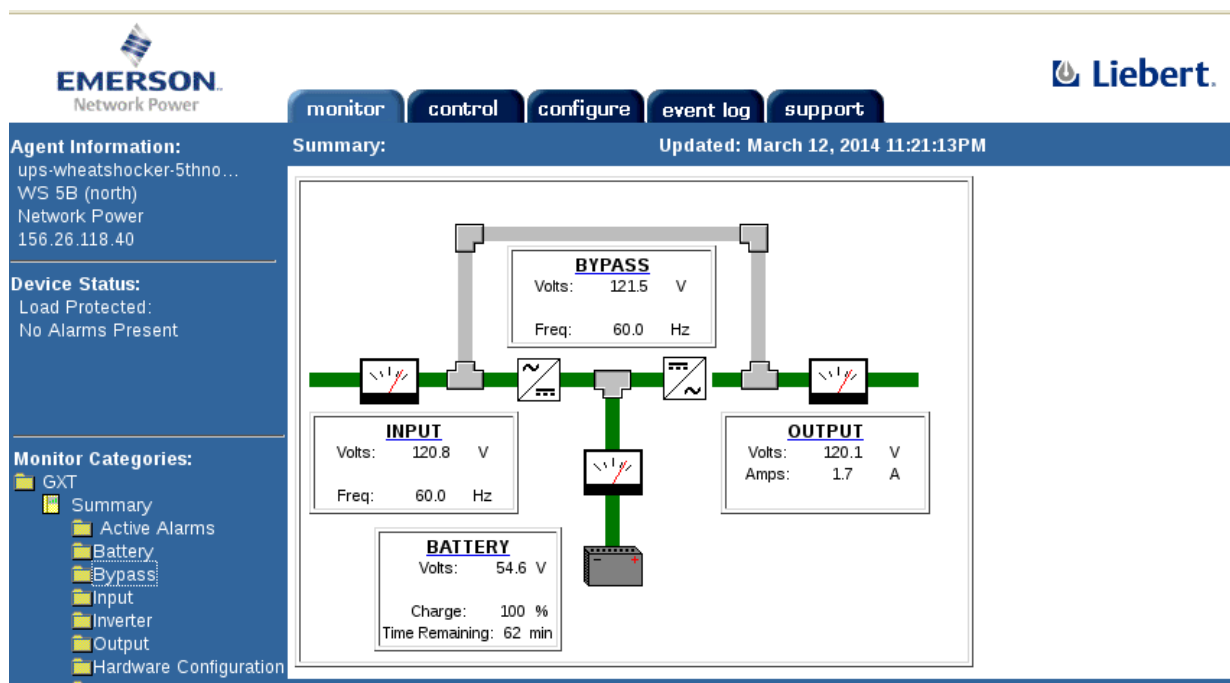


Рисунок 15 – Обзорный экран технического состояния Web сервера ИБП Liebert

К задачам ТО поиска потенциальных отказов системы электропитания КТС АСУТП относятся следующие задачи в основном связанные с системой встроенной диагностики:

- 1) Отказ любого из вентиляторов ИБП. Удалённый контроль из ЦПУ один раз в неделю при помощи встроенного Web сервера в ИБП. Корректирующее ТО – замена вентилятора в течение 24 часов.

- 2) Расчетное время удержания батарей менее 100 минут в резервированном режиме работы ИБП. Удалённый контроль из ЦПУ один раз в квартал при помощи встроенного Web сервера в ИБП. Корректирующее ТО – подача заявки на приобретение комплекта батарей с последующей их заменой в ближайший остановочный период.
- 3) Различие в нагрузках ИБП в штатном резервированном режиме более 30%. Удалённый контроль из ЦПУ один раз в неделю при помощи встроенного Web сервера в ИБП. Корректирующее ТО – поиск причины перекоса в нагрузках с последующим устранением. Приведение разницы в нагрузках до уровня не хуже 15%. Время на выполнение корректирующего ТО - в течение 1 недели.
- 4) Повышенная внутренняя температура ИБП. Удалённый контроль из ЦПУ один раз в неделю при помощи встроенного Web сервера в ИБП. Корректирующее ТО – поиск причины повышенной температуры и ее устранение. Время на выполнение корректирующего ТО - в течение 8 часов.
- 5) Работа через встроенный байпас при наличии напряжения на вводах ИБП. Непрерывный контроль на АСУТП от соответствующего «сухого контакта» на ИБП. Корректирующее ТО – поиск причины перехода на байпас на детальных экранах Web сервера в ИБП и ее устранение. Время на выполнение корректирующего ТО - в течение 8 часов.
- 6) Пропадание напряжения по одному из вводов И-6. Непрерывный контроль на АСУТП от соответствующего «сухого контакта» в АВР. Корректирующее ТО:
 - а. проверка переключения АВР на резервный ввод, если не переключился принудительное переключение по месту;

б. выяснение причины пропадания напряжения и ее устранение в самое короткое время.

Время на выполнение п.а - в течение 10 минут силами местного оперативного персонала.

- 7) Общая индикация о неисправности. Непрерывный контроль на АСУТП от соответствующего «сухого контакта» в АВР. Корректирующее ТО – поиск причины неисправности на детальном экране Web сервера в ИБП и ее устранение. Время на выполнение корректирующего ТО - в течение 8 часов.
- 8) Контроль температуры в помещении аппаратной, где установлены ИБП. Непрерывный контроль на АСУТП от соответствующего датчика температуры в помещении. Корректирующее ТО – при наличии сигнализации превышения температуры свыше 27 °С, поиск причины повышения и ее устранение. Время на выполнение корректирующего ТО - в течение 24 часов.
- 9) Визуальный осмотр системы электропитания КТС АСУТП раз в квартал на предмет поиска других причин потенциального отказа (например проблем в контактных соединениях и т.п.).

4.9. Задачи ТО поиска скрытых отказов системы электропитания КТС АСУТП

Поиск скрытых отказов выполняется в остановочный период во время капитального ремонта.

К задачам ТО поиска скрытых отказов системы электропитания КТС АСУТП относятся следующие задачи:

- 1) Проверка срабатывания АВР путем принудительного снятия напряжения по вводам И-6.

- 2) Визуальный контроль эффективности работы всех вентиляторов ИБП при помощи компактного анемометра.
- 3) Поиск проблемных силовых контактных соединений при помощи тепловизора.
- 4) Проверка распределения токов в дублирующих проводных линиях при помощи токовых клещей (проверка потери контакта).
- 5) Проверка работоспособности всех автоматических выключателей (отсутствие заедания и “легкость” в переключении). Проверка проблемных позиций в лаборатории на соответствие характеристикам срабатывания при необходимости.

4.10. Планово-предупредительные задачи ТО системы электропитания КТС АСУТП

Планово-предупредительные задачи ТО выполняются в остановочный период во время капитального ремонта.

К планово-предупредительным задачам ТО системы электропитания КТС АСУТП относятся следующие задачи:

- 1) Очистка от пыли внутренних блоков ИБП.
- 2) Выравнивание нагрузок в АСУТП по вводам.
- 3) Замена батарей ИБП.

4.11. Вывод по четвертой главе

Выполнен проверочный расчет показателей надежности для выбранной системы электроснабжения КТС АСУТП с подтверждением достижения целевых показателей надежности из п. 1. Разработаны мероприятия по техническому обслуживанию для обеспечения расчетных показателей надежности на время всего жизненного цикла КТС АСУТП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был произведен анализ электропитания автоматизированной системы управления технологическим процессом DeltaV™ компании Emerson на территории тольяттинской производственной площадки ООО «Сибур Тольятти». Были рассмотрены регламенты безопасности пожаро-взрывоопасных производств, требования качества электропитания установки И-6, показатели надежности для конкретной установки и необходимое время удержания работоспособности системы при полном пропадании питания по двум основным вводам 0,4кВ. На основе этого были проанализированы и подобраны концепции по организации надежного электропитания для рассматриваемой площадки.

Основной проблемой эксплуатации является обеспечение установленных показателей надежности и бесперебойности работы локальной системы электроснабжения КТС АСУТП для минимализации экономических потерь от незапланированных остановов и предотвращения аварийных ситуаций.

Для решения данной проблемы была обозначена зона проектирования системы электропитания для КТС АСУТП установки И-6. Произведен расчет электрических нагрузок системы и дальнейший подбор ИБП для установки И-6 производства изопрена.

Выявлена зависимость температурного режима на время эксплуатации системы электропитания АСУТП и самой системы в целом.

В работе достигнуты заданные результаты по надежности системы электропитания АСУТП с показателями:

1. Готовность $A = 99,999\%$
2. Среднее время наработки до отказа $MTTF = 761$ год

Примененная в работе 100% резервированная структура системы электропитания АСУТП с отсутствием общих точек отказа обеспечивает требуемые показатели надёжности для технологических блоков I категории взрывоопасности.

Обеспечены обязательные требования регламентов промышленной безопасности РФ.

Определены ключевые эксплуатационные критерии и рекомендации на их основе обеспечивающие расчетные показатели надёжности для системы электропитания АСУТП.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ИЛИ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КТС АСУТП	– Комплекс Технических Средств Автоматизированной Системы Управления Технологическим Процессом.
Производство Изопрена	– цех по производству изопрена на ООО “СИБУР-Тольятти”.
Функциональный отказ (Functional Failure)	— это неспособность устройства выполнять определенную функцию в заданных пределах производительности. Незначительный выход за границы производительности выполнения основной функции устройством это частичный функциональный отказ. Значительное отклонение от заданных пределов производительности или невыполнение функции — это полный функциональный отказ.
АСУТП	- Автоматизированная Система Управления Технологическим Процессом. Включает в себя три уровня: 1 верхний уровень в виде рабочих станций с операторским интерфейсом; 2 средний уровень состоящий их управляющих контроллеров и их подсистемы ввода-вывода 3 нижний уровень состоящий из измерительных датчиков и исполнительных устройств.

ТО	– Техническое Обслуживание во время эксплуатации.
PCU	– Распределенная Система Управления.
ПАЗ	– Противоаварийная защита.
DeltaV™	– Торговая марка системы управления и ПАЗ производства компании Emerson.
ИБП	– Источник Бесперебойного Питания.
И-6	– технологическая установка И-6 цеха по производству изопрена на ООО “СИБУР-Тольятти”.
MTTF	- среднее время наработки до отказа в часах.
MTTR	- среднее время восстановления работоспособности в часах.
АВР	- автоматический ввод резерва.
БП	- внешний блок питания КТС АСУТП 220VAC/24VDC.
Системный БП	- встроенные блоки питания: DeltaV, сетевых коммутаторов, серверов и рабочих станций.
ШРП	- шкаф распределения питания по нагрузкам.
λ	- частота отказов в 10^{-9} в час
MTBF	- среднее время наработки между отказами в часах.
RCM	- Reliability Centered Maintenance, обслуживание, направленное на обеспечение надежности оборудования — стратегия управления основными производственными фондами (ОПФ), главным принципом которой

является недопущение отклонения
параметров состояния оборудования
до значений, которые приводят к нарушению
функционирования объекта или системы
в конкретном производственном окружении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Взрыв нефтяной платформы Deerwater Horizon. Материал из Википедии. [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Взрыв_нефтяной_платформы_Deerwater_Horizon (дата обращения: 24.10.18)
2. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения полноты безопасности [Текст]. Москва : ФГУП «Стандартинформ», 2014. 27с.
3. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [Текст]. Москва : Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. 126с.; Т. 09, 37.
4. Правила Эксплуатации Электроустановок 7-е издание [Текст] : Министерство энергетики. Москва : б.н., 2003. 692 с.
5. DeltaV™ Bulk Power Supplies [Текст] : Лист технических данных. Austin : Emerson, 2019. 74с.
6. DeltaV™ Workstation and Server Hardware [Текст] : Лист технических данных. Austin, TX : Emerson, 2018. 183с.
7. Постоянный технологический регламент производства диметилдиоксана из изобутилена и формальдегида [Текст]. Тольятти : ООО "СИБУР Тольятти", 2012. 142с.

8. Процедура функции по управлению надежностью основных фондов Предприятий ПАО «СИБУР Холдинг» [Текст]. Стандарт предприятия. Москва, 2017. 78с.
9. Emerson Automation Solutions. DeltaV power and grounding [Текст]. Round Rock: TX 78681, 2018. 351с.
10. Emerson. Planning and Designing Your DeltaV Digital Automation Systems and DeltaV SIS Process Safety Systems [Текст]. Round Rock: TX 78681, 2019. 284с.
11. DeltaV S-series and CHARMs Hardware Reference [Текст]. Round Rock, TX 78681, 2016. 94с.
12. DeltaV Smart Switches. Лист технических данных (PDS) [Текст]. Round Rock, TX 78681, 2017. 97с.
13. DeltaV SIS Safety Network Components. Лист технических данных (PDS) [Текст]. Round Rock, TX 78681, 2016. 181с.
14. DeltaV SIS with Electronic Marshalling Hardware Reference Guide [Текст]. Round Rock, TX 78681, 2013. 175с.
15. Rittal GmbH & Co. TopTherm Filter Fan Units – SK 3241.124 [Текст]. Herborn, D35726, 2018. 135с.
16. Rittal. Compact light. Руководство по эксплуатации [Текст]. Москва, 123007, 2009 г. 162с.
17. Department of Air Force USA. Military handbook reliability prediction of electronic equipment [Текст]. NY 13441-5700 : Griffiss AFB, 1991. 150с.
18. Texas Instruments Incorporated. Calculating Useful Lifetimes of Embedded Processors [Текст]. Dallas, Texas 75265, 2017. 83с. .
19. Vertiv Co. Liebert GXT4 Installer/User Guide [Текст]. Columbus, OH43085, USA, 2017. 447с. SLI-23197_REV3_5-17/590-1367-501B.
20. Schneider Electric. Пускорегулирующая аппаратура TeSys [Текст]. Schneider Electric Inc., 2014 г. 791с.

21. Модульное оборудование на ток до 125 А [Текст]. Schneider Electric Inc., 2016. 451с.
22. Yokogawa Electric Corporation. Reliability Manual [Текст]. Nakacho, Musashino-sh. Токуо, Japan, 2004. 225с.
23. Слышалов, В.К. Основы расчета надежности систем электроснабжения Конспект лекций для студентов специальностей 140205 и 140211 факультета заочного обучения [Текст]. Учебное пособие. Иваново : Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина (ИГЭУ), 2012. 80с.
24. Schneider Electric. Declaration of Conformity MTTF Acti9 [Текст]. Eybens F38320 : Schneider Electric, 2012. 451с.
25. Declaration of Conformity MTTF TeSys contactors [Текст]. Eybens F38320 : Schneider Electric, 2011. 57с.
26. Vertiv Co. Liebert GXT4. Technical Data [Текст]. Columbus, OH 43085, USA, 2016. 94с.
27. Society of Automotive Engineers, Inc. SAE JA1012. A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM) [Текст]. Society of Automotive Engineers Inc, 2002. 131с.
28. Guidelines for the naval aviation reliability–centered maintenance process [Текст]. Naval air systems command, USA, 2005. 195с.
29. Зырянов К.А. Техническое обслуживание, ориентированное на надежность [Текст]. Екатеринбург : Надежная книга, 2018. 113с.
30. Liebert IntelliSoft Web Cards [Текст]. Dearborn Drive, Emerson, 2009. 42с.