МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель ОАР ИШИТР ТТПУ

_____ А. А. Филипас

«_____»_____2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта

Дисциплина	Проектирование систем противоаварийной автоматической защиты
Школа	Информационных технологий и робототехники
Отделение	Автоматизации и робототехники
Направление	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
ООП	Системы промышленной безопасности
Уровень подготовки	Магистр
Курс	2
семестр	1

Заведующий кафедрой - руководитель ОАР	А. А. Филипас
Руководитель ООП	В. В. Курганов
Преподаватель	В. В. Курганов

2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания (МУ) подготовлены с целью выполнения курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем противоаварийной автоматической защиты» магистрантами 2-го курса ООП «Системы промышленной безопасности» направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Курсовой проект является логическим продолжением индивидуального практического задания, выполненного в рамках дисциплины «Основы промышленной безопасности».

В рамках дисциплины «Основы промышленной безопасности» было выполнено исследование HAZOP в отношении условно опасного производственного объекта. В рамках этого исследования проведена идентификация потенциальных отклонений от проектных параметров процесса, анализа их возможных причин и оценки последствий, в том числе создание аварийных ситуаций, нанесение ущерба персоналу, населению, окружающей среде.

Тема курсового проекта

Проектирование систем противоаварийной автоматической защиты

Цель курсового проекта

Целью курсового проекта является освоение методов проектирования систем противоаварийной автоматической защиты, обеспечивающих заданный уровень полноты безопасности

Краткая инструкция по выбору исходных данных для курсового проекта

Исходными данными для выполнения курсового проекта (вариант задания) являются данные индивидуального практического задания, выполненного в рамках курса «Основы промышленной безопасности» (1 курс, 1 семестр).

Содержание курсового проекта

Курсовой проект должен содержать расчетно-пояснительную записку и графическую часть. В соответствии с общеинститутскими требованиями объём неправомочного заимствования результатов работы других авторов для курсовых проектов не должен превышать 15%.

Для выполнения курсового проекта по дисциплине «Проектирование систем ПАЗ» необходимо выполнить следующую работу.

1. Изучить поставленную задачу.

2. На основании результатов анализа HAZOP, выполненного в рамках курса «Основы промышленной безопасности» провести оценку анализа риска.
3. Присвоить уровень полноты безопасности УПБ (SIL) контурам защиты.
4. Произвести выбор технических устройств для контуров защиты с учетом УПБ.
5. Выполнить необходимые расчеты для подтверждения полученного УПБ требуемому значению для каждого контура безопасности.
6. Разработать принципиальные схемы соединений контуров защиты (SIF).
7. Разработать схему управления исполнительным механизмом SIF.

Правила оформления результатов курсового проекта

Объём расчётно-пояснительной записки 15 … 18 стр. Обязательным элементом РПЗ является спецификация оборудования с указанием необходимых показателей безопасности.

Графического материала: по фактическим результатам.

Сроки сдачи: не позднее, чем за две недели до окончания семестра.

Защита курсового проекта:

Штатная защита: в течение 2-х последних недель семестра.

Нештатная

В процессе выполнения студент, при необходимости, может запросить, а преподаватель, по возможности, предоставить дополнительную информацию, необходимую для выполнения проекта.

Все принятые студентом решения должны быть обоснованы.

Глоссарий

АОР/ HAZOP – анализ опасности и работоспособности (АОР)

АСЗ/LOPA – анализ слоев защиты

АСУТП – автоматизированная система технологического процесса

ДВК – датчик взрывоопасных концентраций газов

КАР/QRA – количественный анализ риска

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика

ОПО – опасный производственный объект

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита

ПБ – промышленная безопасность

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПЛК – программируемый логический контроллер

ПСБ – приборная система безопасности (система ПАЗ)

РСУ – распределенная система управления

ТЗ – техническое задание

ФБ – функция безопасности

УПБ/SIL – уровень полноты безопасности

ФНиП – федеральные нормы и правила

ХОПО – химически опасный производственный объект

EXIDA – мировой лидер в области ПСБ

MOS (ДК) – программный байпас обслуживания (деблокировочный ключ)

POS – программный байпас технологический

P&ID – схема автоматизации (технологическая схема с КИПиА)

PHA – анализ опасностей процесса

PFD – вероятность отказа на запрос выполнения ФБ

PFDavg – среднее значение PFD на межпроверочном интервале

ПФБ (SIF) – приборная функция обеспечения безопасности (Safety Instrumented Function)

ПСБ (SIS) – приборная система обеспечения безопасности (Safety Instrumented System)

SRS – Спецификация требований к безопасности (Safety Requirements Specification)

PST – тестирование частичным ходом отсечных клапанов

SDV – отсечной клапан

TMEL – уровень приемлемого риска

Основные термины и определения

Исследование HAZOP (Hazard and Operability Study)	Инструмент (формализованный метод «мозгового штурма») для выявления возможных причин и потенциальных отклонений в технологическом процессе или в работе систем (оборудования), оценки последствий отклонений и, при необходимости, выработки рекомендаций по расширению (усилению) мер безопасности для достижения приемлемого остаточного риска.
Руководитель (Председатель) HAZOP	Специально обученный методике HAZOP высококвалифицированный инженер, который осуществляет руководство сессией HAZOP, управление рабочей группой и предоставляет результаты сессии в формате отчета.
Секретарь HAZOP	Лицо, ведущее протокол и фиксирующее в рабочих таблицах результаты обсуждений в ходе сессии HAZOP.
Сессия HAZOP	Организованная по месту и времени форма совместной работы участников исследования HAZOP с целью и сроками выполнения указанных в Техническом задании.
Заказчик HAZOP	Организация, подавшая запрос на проведение процедуры HAZOP.
Рабочая группа HAZOP	Группа специалистов, состоящая из экспертов в различных областях: технологи, механики, энергетики, специалисты КИПиА, ПЭБ,

	ОТ и ГЗ, представителей Заказчика, проектных организаций, инжиниринговой компании и уполномоченная в проведении исследования (анализа) конкретного проекта (системы).
Управляющее слово	Слово или фраза, которые используются при анализе HAZOP и определяют специфический тип отклонения (например, давление повышение) от назначения технологического узла, выбранного для анализа HAZOP.
Отклонение	В исследовании HAZOP это отступление от регламентированных значений параметров технологического процесса (номинального режима).
Причина	В анализе HAZOP это обстоятельство, которое может вызвать отклонения в работе или изменении технологического параметра анализируемого узла.
Последствия	Результаты отклонений при анализе HAZOP, как для общего технологического процесса, так и для его сегмента (участка технологической схемы или отдельного аппарата), который анализируются. Подразделяются на категории по воздействию на: безопасность, окружающую среду или работоспособность исследуемой системы (оборудования).
Рекомендация	Качественное решение, принятое консолидировано рабочей группой HAZOP при выявлении в процессе сессии HAZOP конструктивных недоработок проекта, которые могут поставить под угрозу безопасность персонала и/или окружающую среду, снижают работоспособность оборудования и указывающее на действие, рекомендованное для исполнения с учетом критичности.
Узел (в HAZOP)	Это сегмент/часть технологической системы или установки (секции или блока), имеющий определенное назначение и выбран-

	ный для анализа HAZOP.
Безопасное состояние	Состояние процесса, в котором достигается безопасность.
Функция безопасности	Функция, реализуемая одним или несколькими защитными слоями, которая предназначена для достижения или поддержания безопасного состояния процесса применительно к определенному опасному событию.
Приборная система безопасности (система ПАЗ)	Система контроля и управления, которая используется для выполнения одной или нескольких функций безопасности и состоит из одного или нескольких датчиков, из одного или нескольких логических устройств и из оного или нескольких исполнительных элементов.
Необходимое снижение риска	Уменьшение риска, которого необходимо достигнуть с помощью ПСБ и/или других слоев защиты, чтобы быть уверенным, что риск снижен до приемлемого уровня.
Уровень полноты безопасности (УПБ/SIL)	Дискретный уровень (принимающий одно из четырех возможных значений), назначаемый для ФБ ПСБ и определяющий требования к полноте безопасности, которая должна быть достигнута реализуемой ПСБ.
Функциональная безопасность	Часть общей безопасности процесса и ОСУП, которая зависит от правильного функционирования ПСБ и других слоев защиты.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1. Спецификация требований к системе ПАЗ

Настоящая спецификация (перечень) требований (SRS) к приборной системе безопасности разработана в соответствии с п.10 ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018

SRS содержит требования к приборным функциям безопасности (SIF), реализуемым в приборной системе безопасности ПСБ (системе противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ)), далее может встречаться сокращение SIS.

Цель разработки SRS – подробно изложить конкретные требования как к ПСБ в целом, так и к каждой приборной функции безопасности SIF в отдельности, исключить пробелы в части отсутствия требований в других проектных документах и нормативных актах, относящихся к ПСБ объекта автоматизации.

2. Нормативно-методические источники информации

Перечень основных нормативных и технических документов, используемых для разработки SRS, представлен ниже.

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 52 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (далее - ФНиП ОПВБ), утверждены приказом Ростехнадзора от 15.12.2020 № 533;
3. ФНиП в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» (далее – ФНиП ХОПО), утверждены приказом Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500.
4. ФНиП в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утверждены приказом Ростехнадзора от 15 декабря 2020 года № 534.
5. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утверждено приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144.
6. Руководство по безопасности «Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса», утверждено приказом Ростехнадзора от 23.08.2016 № 349.

7. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018 Национальный стандарт российской федерации. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 1. Термины, определения и технические требования
8. ГОСТ Р МЭК 61511 (части 1-3) «Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов».
9. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 Национальный стандарт российской федерации. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования
10. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 Национальный стандарт российской федерации. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения
11. ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности.
12. ГОСТ Р МЭК 61508-6—2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 6. — М.: Стандартинформ, 2014. — 104 с.
13. «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утверждено приказом Ростехнадзора № 144 от 11.04.2016 г.
14. «Методика установления допустимого риска аварии при обосновании безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса», утверждено приказом Ростехнадзора №349 от 23.08.2016 г.
15. ГОСТ Р 51901.11—2005 (МЭК 61882:2001). Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. — М.: Стандартинформ, 2005. — 43 с.
16. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
17. ГОСТ Р МЭК 62682-2019 «Системы аварийной сигнализации для обрабатывающей промышленности»
18. ГОСТ Р 27.012-2019 Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP).
19. ТР ТС 016/2011. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности аппаратов, работающих на газообразном топливе».
20. ТР ТС 032/2013. Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».

3. Общие требования к ПСБ

В настоящем разделе описываются требования, предъявляемые к ПСБ (системе ПАЗ). В случае если конкретная приборная функция безопасности SIF имеет дополнительные или отличные требования, они будут указаны в соответствующем подразделе приборных функций безопасности.

3.1. Отказы КИПиА: обнаружение и парирование

Важной задачей является исключение или минимизация возможных ложных остановов технологического процесса, связанных с отказами в ПСБ. В части КИП нужно однозначно разделить уровни срабатывания блокировки HH или LL и отказа прибора.

Для КИП с выходом 4-20 мА с поддержкой HART это возможно сделать:

- на уровне аналогового сигнала, поддержка стандарта Namur NE43;
- на уровне диагностики HART, поддержка стандарта Namur NE107 или стандарта производителя.

На уровне аналогового сигнала разделение уровня срабатывания блокировки и отказа прибора осуществляется путём настройки в КИП уровня токового сигнала, сигнализирующего отказ, см. рисунок 3.1.

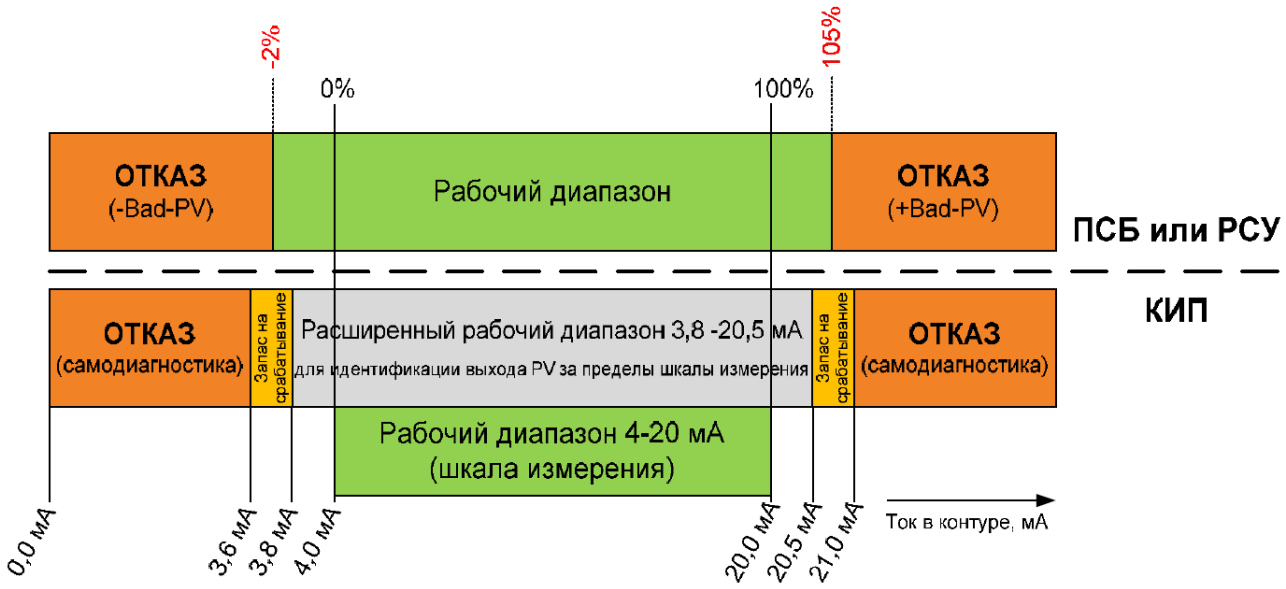


Рисунок 3.1 - Диагностика КИП с токовым выходом, стандарт Namur NE43

Лучшая инженерная практика:

- если блокировка по LL, то отказ в КИП нужно настраивать I ≥ 21 мА;
- если блокировка по HH, то отказ в КИП настраивать I ≤ 3.6 мА;
- если блокировка по LL и HH, то уставка порога детектирования отказа в КИП определяется технологом, момент прохождения порога срабатывания блокировки должен парироваться временной задержкой срабатывания в ПЛК ПСБ, допустимой для конкретной приборной функции защиты.

КИП ПСБ с выходом 4-20 мА должен поддерживать стандарты Namur NE43 и HART. Токовые уровни сигнализации «отказ» должны быть выставлены и проверены на этапе ПНР.

Датчики загазованности с выходом 4-20 мА должны быть с поддержкой HART. Токовые уровни сигнализации «отказ» (меньше 3,6 мА) должны быть выставлены и проверены на этапе ПНР.

Дискретные сигнализаторы уровня должны поддерживать стандарт NAMUR NA 01/МЭК 60947-5-6 или иметь концевые сопротивления для реализации выходного сигнала типа «сухой искробезопасный контакт с контролем на короткое замыкание и обрыв». Выходные цепи указанных сигнализаторов уровня должны подключаться к барьерам искрозащиты, предусматривающим контроль входной цепи на обрыв и короткое замыкание.

Кнопочные посты аварийных отключений (кнопки АО) должны быть нормально замкнутые с диагностикой линии на обрыв и короткое замыкание, рекомендованная схема подключения представлена ниже, см. рисунок 2.

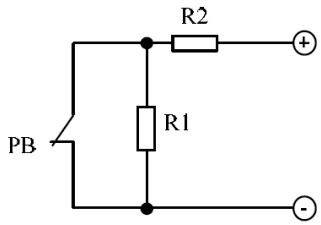


Рисунок 3.2 – Схема подключения кнопки аварийных отключений

3.2 Отказы в ПЛК ПСБ: обнаружение и парирование

ПСБ должна иметь развитые средства непрерывной самодиагностики и достаточный резерв для того, чтобы:

- при отказе входного модуля: обнаружить неисправность, ввести резерв и/или сигнализировать оператору о необходимости замены, отказ входного модуля не должен приводить к останову производства;
- при отказе процессорного модуля: обнаружить неисправность, ввести резерв и сигнализировать оператору о необходимости замены. Отказ процессорного модуля не должен приводить к останову производства;
- при отказе выходного модуля: обнаружить неисправность, ввести резерв и/или сигнализировать оператору о необходимости замены, отказ выходного модуля не должен приводить к останову производства.

В случае полного сбоя (полное обесточивание) ПСБ должен быть выполнен перевод производства в безопасное состояние (автоматический останов технологического процесса установки), при этом отсечная арматура переводится в безопасное состояние в зависимости от исполнения НО/НЗ;

В части взаимодействия с КИП ПЛК ПСБ должен:

- по аналоговому сигналу определять состояние отказа КИП в соответствии с NAMUR NE43;
- по дискретному сигналу типа «сухой искробезопасный контакт с контролем на КЗ и обрыв» определять состояние отказа КИП в соответствии с NAMUR NA 01/МЭК 60947-5-6 или согласно номиналам концевых сопротивлений, установленных в КИП;
- по цифровому диагностическому сигналу HART должна быть следующая сигнализация на АРМ оператора:

а) несоответствие аналогового и цифрового значений измеряемого параметра;

б) выход устройства заморожен;

в) потеря цифрового обмена;

г) неисправность КИП.

Сигнализации о неисправности средств ПСБ должны иметь наивысший приоритет и быт видимы на АРМ оператора.

ПЛК ПСБ должны иметь подтверждённый сертификацией уровень полноты безопасности SIL.

3.3. Отказы в отсечных клапанах: обнаружение и парирование

По статистике компании EXIDA более 50% отказов в ПСБ связаны с исполнительной частью системы.

В ПСБ должно быть предусмотрено:

- для соленоидов с потреблением до 12 Вт (0,5 А) 24 VDC – прямое подключение дискретного выхода ПЛК к соленоидам управления отсечными клапанами с целью диагностики линии на обрыв и короткое замыкание (для цепей до 0,5 А) и исключения дополнительного элемента (реле) в схеме надёжности;
- для соленоидов с потреблением более 24 Вт (1 А) 24 VDC – подключение дискретного выхода ПЛК к соленоидам управления отсечными клапанами через внешнее реле, сертифицированное на уровень полноты безопасности не ниже SIL2;
- для отсечных клапанов – возможность тестирования частичным ходом (PST) во время нормальной работы объекта управления;
- перевод отсечного клапана в безопасное состояние в случае полного отказа выходного канала ПСБ.

Типовые схемы подключения разработать при проектировании с учётом зоны по взрывоопасности, исполнения соленоидов по взрывозащите и технических возможностей ПТК СПАЗ.

Соленоидные клапаны отсечных клапанов, участвующие в функциях защит с назначенным SIL1 и выше, должны иметь сертификат на уровень полноты безопасности не ниже SIL2.

Исполнительные механизмы отсечных клапанов, участвующие в функциях защит с назначенным SIL1 и выше, должны иметь подтверждённый сертификацией уровень полноты безопасности не ниже SIL2.

Сводные данные по исполнительным устройствам ПСБ приведены в Приложении Б.

3.4. Интерфейсы

Интерфейс ПСБ должен предусматривать взаимодействие со следующим оборудованием распределенной системой управления (РСУ):

- АРМ оператора;
- станцией инженера РСУ и ПАЗ;
- Указанный обмен данными должен выполняться по резервированной сети передачи данных (Ethernet) АСУТП, соответствующей следующим требованиям:

- физическая среда – электрический кабель «витая пара» категории 5E или одномодовый волоконно-оптический кабель;
- протокол передачи данных по высокоскоростной резервированной сети Ethernet, реализованный Изготовителем базового комплекса программно-технических средств АСУТП;
- соответствие SIL – не требуется;
- диагностика - watchdog потери обмена данными обязательна, сигнализация потери связи должна иметь высший приоритет. Автоматические функции защит при потере связи не предусматриваются.

Станции оператора должны отображать информацию о функционировании ПСБ в соответствии с проектом и регистрировать последовательность событий (SOE). Доступ к данным о событиях должен осуществляться через стандартную программу просмотра истории процесса на станции оператора. Отметка времени для события должна предоставляться внутренними часами ПЛК ПСБ, которые автоматически синхронизируются с системным временем РСУ.

3.5. Условия эксплуатации

Сейсмичность места расположения объекта 4-5,5 по шкале MSK–64 (шкала Рихтера) при максимальном расчетном землетрясении (4-5,5 самые слабые толчки, приводящие к небольшим разрушениям; 6,0 — умеренные разрушения; 8,5 — самые сильные из известных землетрясений). Сейсмические силы могут иметь любое направление в пространстве, в том числе горизонтальное и вертикальное.

1) Открытые площадки

КИП и исполнительные устройства ПСБ, устанавливаемые на открытых пространствах, должны сохранять свои эксплуатационные характеристики при следующих условиях:

- климатическое исполнение и категория размещения – УХЛ1 (для оборудования, располагаемого на открытых пространствах) по ГОСТ 15150-69;
- температура окружающего воздуха от минус 43 до плюс 38 оС;
- относительная влажность в соответствии – до 83 %
- непрерывной вибрации – с амплитудой перемещения $\pm$ 0,25 мм при частотах от 1 до 14 Гц, с ускорением $\pm$ 5 м/с^2 при частотах от 16 до 150 Гц;

Степень защиты (код IP) оборудования по IEC 60529, устанавливаемого на открытых пространствах – не ниже IP56.

2) Помещения

Центральная часть ПСБ (шкафы управления), размещаемые в контроллерной, должны сохранять свои эксплуатационные характеристики при следующих условиях:

- климатическое исполнение и категория размещения – УХЛ4 (для оборудования,
- располагаемого в помещениях) по ГОСТ 15150-69;
- температура окружающего воздуха – от плюс 10 до плюс 35 оС (нормальная температура плюс 22 ^{o}C);
- относительная влажность – от 40 до 60 % во всем диапазоне рабочих температур;
- непрерывная вибрация – с амплитудой перемещения $\pm$ 0,25 мм при частотах от 1 до 14 Гц, с ускорением $\pm$ 5 м/с2 при частотах от 16 до 150 Гц;
- уровень переменного магнитного поля – не более 30 А/м;
- уровень постоянного магнитного поля – не более 400 А/м;
- прямой разряд статического электричества – не более 4 кВ;
- воздушный разряд статического электричества – не более 8 кВ;
- напряженность электрического поля вблизи оборудования - не более 3 В/м (26 МГц - 1 ГГц).

Степень защиты (код IP) оборудования по IEC 60529, устанавливаемого в помещениях – не ниже IP22.

3) Электропитание

Электропитание оборудования ПСБ должно производиться от резервированных источников бесперебойного питания (ИБП).

Должна быть обеспечена надёжная работа оборудования ПСБ при следующих отклонениях параметров сети, питающей указанные ИБП:

- при отклонении величины питающего напряжения от номинального значения: от плюс 5 до минус 5 % длительно; от плюс 10 до минус 10 % кратковременно;
- при отклонении частоты питающего напряжения от номинального значения: от плюс 0,2 до минус 0,2 Гц длительно; от плюс 0,4 до минус 0,4 Гц кратковременно;
- при отклонении коэффициента гармонических искажений напряжения силовой сети от номинального значения до 10%.

4) Заземление

Должны быть предусмотрены контуры защитного и функционального заземления оборудования ПСБ с выделением отдельных заземляющих устройств (заземлителей) заземления, находящихся не менее 1 метра друг от друга и вне зоны растекания токов короткого замыкания от устройств заземления силовых установок.

3.6. Шкафы ПСБ (SIS)

ПЛК ПСБ и соответствующие вспомогательные приборы должны устанавливаться в помещении контроллерной внутри шкафов. Шкафы должны иметь необходимое оборудование для контроля температуры и соответствующий уровень IP для условий эксплуатации.

Шкафы ПСБ должны иметь минимум 2 ввода электропитания (резервирование) от резервированных ИБП.

3.7. Требования к программному обеспечению системы ПСБ (SIS)

Должны соблюдаться все требования к конфигурации и программированию согласно требованиям стандарта IEC 61508, указанные в руководстве по обеспечению безопасности базового ПТК ПСБ, в том числе:

- использование стандартных функциональных блоков, сертифицированных в составе системного ПО на соответствие ГОСТ Р МЭК 61508-2012;
- использование принципов информационной безопасности: разграничение прав доступа на уровне пользователей, с возможностью модификации прав групп по работе с ПСБ;
- частота работы программных модулей должна быть менее минимально возможной для всех приборных функций безопасности и быть достаточной для выполнения всех сервисных функций и непрерывной диагностики;
- проведение тестирования прикладного ПО на соответствие приборным функциям безопасности SIF;
- наличие возможности выполнять сервисные функции обслуживания и тестирования приборов ПСБ.

3.8. Требования к интерфейсу оператора

Интерфейс оператора должен однозначно отображать следующие состояния процесса и оборудования ПСБ:

- нормальное состояние;
- предупредительная сигнализация;
- аварийная сигнализация (состояние);
- отказ.

На мнемосхемах станции оператора должен быть реализован функционал определения первопричины останова.

3.9. Требования к информационной безопасности

Должен быть разработан раздел проекта по информационной безопасности ПСБ в соответствии с приказом ФСТЭК России от 14.03.2014 №31 «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».

В указанном проекте должны быть учтены следующие основные требования:

- создание гетерогенной (неоднородной) среды (использование в АСУТП различных типов общесистемного, прикладного и специального программного обеспечения для системы управления, и ПСБ (SIS));
- разбиение сети АСУТП на сегменты (зонирование СУ и ПСБ (SIS) и обеспечение защиты периметров сегментов), отказ сети СУ не должен влиять на работоспособность ПСБ (SIS);
- ограничение физического доступа к сетевым компонентам ПСБ (SIS);
- разграничение прав доступа пользователей и обслуживающего персонала;
- защита конфигуратора ПСБ (SIS) антивирусным ПО, имеющим сертификат соответствия Федеральной службы по техническому и экспортному контролю и совместимым с основным ПО конфигуратора ПСБ (SIS);
- использование в автоматизированной системе управления средства защиты информации, прошедших оценку соответствия в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании;

- обеспечение защиты информации от раскрытия, модификации и навязывания (ввода ложной информации) при её передаче (подготовке к передаче) по каналам связи, имеющим выход за пределы контролируемой зоны, в том числе беспроводным каналам связи;
- обеспечение доверенного канала, маршрута между администратором, пользователем и средствами защиты информации в ПСБ (SIS) (функциями безопасности средств защиты информации);
- обеспечение подлинности сетевых соединений (сеансов взаимодействия), в том числе для защиты от подмены сетевых устройств и сервисов;
- реализация защищённых профилей с использованием наборов алгоритмов шифрования, основанных на российских государственных криптографических стандартах (электронная цифровая подпись по ГОСТ Р 34.10, шифрование по ГОСТ Р 34.12, хеширование по ГОСТ Р 34.11);
- контроль (анализ) защищённости информации в применяемых телекоммуникационных технологиях и протоколах системы управления и ПСБ (SIS).

4. Общие требования к приборным функциям безопасности

4.1. Режим работы

Все приборные функции безопасности работают в режиме с НИЗКОЙ частотой запросов (low demand mode) согласно ГОСТ Р МЭК 61508. В этом режиме функция безопасности выполняется только по запросу и переводит управляемый объект (УО) в определенное безопасное состояние, а частота запросов не превышает одного в год.

4.2. Общая концепция защиты

4.2.1 Все автоматические приборные функции безопасности должны быть спроектированы так, чтобы перемещение исполнительного устройства в безопасное положение выполнялось путем отключения питания от элемента (DTT – обесточивание для отключения).

При этом в случае полного сбоя (полное обесточивание) ПСБ должны быть осуществлены следующие действия, приводящие к автоматическому останову технологического процесса:

- отсечная арматура переводится в безопасное состояние в зависимости от исполнения НО/НЗ;
- насосы останавливаются.

4.2.2 Схема управления ETT (подать питание при блокировке) применима для следующих функций:

- останов вентиляции;
- управление электроприводными задвижками.

При этом в случае полного сбоя (полное обесточивание) ПСБ должно быть сохранено последнее состояния управляемого оборудования (электроприводной задвижки).

4.3. Схемы голосования

В логике приборных контуров защиты ПСБ должны быть применены, по необходимости, следующие схемы голосования:

- 1oo1, 1oo2, 1oo3…1ooN;
- 2oo2, 2oo3;
- 1oo2D, 2oo3D.

Сигнализация «отказ КИП ПСБ», «отказ входного модуля ПСБ» должны иметь наивысший приоритет. Сигнализация отказа должна быть чётко, понятно отображена на мнемосхеме станции оператора. Должны быть предусмотрены необходимые организационно-технические мероприятия для восстановления работоспособности в течение определённого числа часов (например, 8 часов).

4.4. Аварийное отключение установки

Должна быть предусмотрена кнопка аварийного останова установки, расположенная на щите в операторной.

Указанная кнопка должны быть подключена к шкафу ПАЗ по каналу физического сигнала с контролем цепи на короткое замыкание и обрыв

Кнопка аварийного отключения должна быть защищена от случайного нажатия.

5.5. Контроль загазованности

Согласно п. 2.36, 2.37, 2.38 ФНиП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» должны быть предусмотрены следующие посты сигнализации о загазованности:

- световое табло в операторной, установленное в хорошо обозреваемом месте, отдельно от сигнализации параметров технологического контроля;
- посты предупреждающей и аварийной сигнализации (лампы, сирены) у входа вне помещений, в которых сработали датчики загазованности;
- посты предупреждающей и аварийной сигнализации (сирены) на открытых площадках по сигналам от каждого датчика загазованности или группы датчиков по месту их установки.

Примечание – Согласно п.2.33 ФНиП ПБНГП в проектной документации должны быть определены приборные контуры защиты, предусматривающие отключение технологического оборудования и включение систем защиты (например, паровые завесы) объектов при достижении 50% от НКПР в соответствующих контролируемых зонах.

2.6. Программные байпасы обслуживания КИПиА (MOS)

Все приборы КИП ПСБ должны иметь возможность установки (активации) байпаса обслуживания MOS (деблокировочный ключ). В любой момент времени должна быть предусмотрена возможность активации неограниченного количества байпасов MOS на входы SIF.

Оператор, имеющий необходимые разрешения и соответствующий уровень доступа, может активировать байпас MOS из операторского интерфейса с мнемосхемы логики SIF.

Активация байпаса MOS должна регистрироваться как СОБЫТИЕ в журнале событий.

Активный байпас MOS может быть снят (отключен) для любого параметра в любой момент времени оператором, имеющим необходимые разрешения, по нажатию на соответствующий элемент мнемосхемы логики SIF.

Ни при каких обстоятельствах байпас MOS не должен быть автоматически снят системой.

В инструкции по эксплуатации и ремонту ПСБ должно быть приведены следующие требования:

1) активировать байпас MOS допускается в исключительных случаях для выполнения технического обслуживания по утвержденным графикам с оформлением соответствующих мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию действующего оборудования, и (или) опробования системы;

2) кратковременные активации байпаса MOS допускаются только в дневную смену;

3) для активации байпаса MOS:

- ответственным лицом должен быть разработан проект плана организации работ с организационно-техническими мероприятиями, обеспечивающими безопасность проведения технологического процесса при кратковременном отключении SIF;
- указанный план организации работ должен быть согласован и подписан в установленном порядке (указывается документ, в соответствии с которым производится согласование и подписание).

4.7. Программные байпасы технологические (пусковые) (POS)

Отдельные приборы КИП ПСБ должны иметь возможность установки технологического байпаса POS на периоды пусковых операций.

Технологический байпас на период пусковых операций может сниматься по таймеру, или по событию, или в ручном режиме.

Пока таймер пусковых операций активен (или событие, по которому технологический байпас сбрасывается, не наступило), выход SIF по уровню блокировки POS принудительно переводится в нормальное состояние.

Если время пусковых операций истекло (или наступило событие, по которому технологический байпас сбрасывается) и соответствующий вход не перешел в нормальное состояние за данный период, будет инициировано срабатывание защиты.

В ручном режиме оператор, имеющий необходимые разрешения, может активировать/снять технологический байпас POS из операторского интерфейса с мнемосхемы логики SIF.

4.8. Режимы работы приборных контуров защит SIF

Каждая из приборных контуров защит SIF может работать в следующих режимах:

- пусковые операции;
- нормальная работа;
- останов (блокировка);
- отказ;
- деградация;

4.9. Сброс блокировок

Для возврата в норму после срабатывания каждой приборной функции защиты SIF ПСБ необходимо предусмотреть программный сброс с мнемосхемы логики SIF при условии, что причина срабатывания блокировки устранена.

4.10. Продолжительность эксплуатации ПСБ (SIS)

Назначенный срок службы ПСБ должен составлять не менее 10 лет (ГОСТ 24.104). В течение указанного срока допускается проведение ремонтов путем замены отдельных устройств, блоков, узлов и деталей.

Предполагаемый срок эксплуатации ПСБ – 20 лет без полной замены шкафного оборудования, но с возможностью модернизации и замены отдельных приборов системы и обновлением системного и прикладного программного обеспечения в соответствии с инструкциями по безопасной эксплуатации и обслуживанию и рекомендациями производителя.

4.11. Время безопасной реакции

Время безопасной реакции ПЛК ПСБ – до 0,250 сек.

Время безопасной реакции приборной функции защиты SIF, включая исполнительную часть – до 12 секунд.

4.12. Интервалы тестирования

Интервалы тестирования принять:

- частичное тестирование КИП – раз в 6 месяцев;

- полное тестирование КИП – по запросу или в соответствии с межповерочным интервалом;
- тестирование частичным ходом PST отсечных клапанов SDV – периодически согласно данным;
- полное тестирование ПЛК ПСБ, проверка полным ходом отсечных клапанов во время остановочного ремонта – принять раз в 4 года.

Процедуры тестирования приборов ПСБ должны быть в чётком соответствии с руководствами по обеспечению безопасности (Safety Manual) для данных устройств.

Типовые процедуры представлены ниже.

Проверка датчиков давления:

Частичная проверка - проверка токовой петли 4-20 мА аналогового выхода по 2-3 точкам. Такая проверка покрывает до 50-65% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Полная проверка - калибровка сенсора образцовым задатчиком давления по 2-3 точкам. Покрывает до 90-98% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Проверка радарных уровнемеров:

Частичная проверка - проверка токовой петли 4-20мА аналогового выхода по 4-6 точкам с одновременным измерением напряжения питания. Покрывает до 45-55% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Полная проверка - проверка качества эхосигнала. Проверка реакции на перелив. Проверка на процессе по 2-3 точкам фиксированного уровня. Покрывает до 85-95% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Проверка сигнализаторов уровня:

Частичная проверка – проверка срабатывания выхода от тестового переключателя. Покрывает до 45-55% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Полная проверка – проверка на процессе по 2 точкам уровня (больше/меньше точки установки сигнализаторы). Покрывает до 85-95% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Проверка датчика температуры

Частичная проверка - проверка токовой петли 4-20мА аналогового выхода по 2-4 точкам. Проверка показаний температуры по соседнему датчику (например, в РСУ). Покрывает до 60-70% опасных не диагностируемых отказов (DU).

Полная проверка - проверка по 2-3 точкам фиксированной температуры совместно с первичным(и) элементами (прямой метод). Покрывает до 92-97% опасных не диагностируемых отказов (DU). Проверка по 2-3 точкам фиксированной температуры при помощи имитатора. Покрывает до 80-86% опасных не диагностируемых отказов (DU).

2.13. Источники общих причин отказов

Отказы по общим причинам – это результат «общих» событий в резервированных системах.

Примером может служить:

- производитель использует одни и те же компоненты при производстве сборных единиц;
- резервированные приборы находятся под воздействием одних и тех же условий окружающей среды.

Нужно использовать лучшие инженерные практики, чтобы минимизировать источники отказов по общим причинам.

Источники отказов по общей причине обязаны быть идентифицированы и учтены при оценке бета (β) фактора.

Факторы, связанные с отказами по общей причине:

Химия

Приборы подвержены тем же или подобным воздействиям окружающей среды, которые могут вызвать коррозию, обмерзание, полимеризацию и т.п.

Механика

Приборы подвержены тому же или подобному механическому напряжению, такому как вибрация и т. д.

Приборы идентичны или используют ту же или подобную технологию.

Электричество

Приборы используют одни и те же источники электропитания или маршруты прокладки кабелей и кроссовое оборудование.

Приборы подвержены тому же или подобному электрическому воздействию, такому как молния и т.д.

Процедуры

Приборы разрабатываются, устанавливаются, поддерживаются и проверяются тем же персоналом и поэтому подвержены человеческому фактору.

Для минимизации отказов по общей причине рекомендуем в проекте придерживаться следующего:

- КИП – индивидуальные точки присоединения к процессу, индивидуальные кабели для резервированных позиций по разным трассам;
- ПЛК – ввод/вывод резервированных позиций КИП и исполнительных устройств должен быть осуществлен через одиночные (негрупповые) барьеры искробезопасности и распределён по разным модулям ввода/вывода, логическая программа приборной функции защиты SIF должна обрабатываться в одном резервированном процессорном модуле, должна быть предусмотрена минимизация пересылок блокировочных параметров между процессорными модулями;
- исполнительные устройства – резервирование схем управление (РСУ и ПСБ), возможность перевода в безопасное состояние по месту;
- электроснабжение – резервирование источников;
- люди – обучение, процедуры и контроль.

4.14. Правила и стандарты

Все приборные функции безопасности SIF должны быть спроектированы в соответствии с требованиями проектной документации.

4.15. Архитектурные ограничения

Для определения архитектурных ограничений функций безопасности SIF в зависимости от назначенных УПБ (SIL) руководствоваться ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012 таблицы 2 и 3 (в зависимости от типа прибора) или ГОСТ Р МЭК 61511-2018 (по выбору).

Архитектурные ограничения должны соответствовать уровню полноты безопасности SIL контура, присвоенному в HAZOP.

Система ПАЗ должна иметь отказоустойчивую архитектуру, основанную на сочетании достаточной избыточности и минимальной доли безопасного отказа (SFF).

Для контуров безопасности не выше SIL 1, необходимо использовать архитектуру 1oo1 (1 out of 1) с минимально необходимым SFF, равным 60%. Такое решение позволит избежать дорогих решений и дорогого оборудования для достижения требуемого уровня SIL в ПАЗ.

4.16. Интервалы межтестовых испытаний

При расчетах вероятностей отказов при запросе (PFDavg) принять 2-х годичный интервал межтестовых испытаний.

4.17. Распределение вероятности отказа при запросе PFD.

Требования PFD распространяются на требования к основным приборам и подсистемами в приборном контуре SIF. Это особенно важно, когда несколько поставщиков поставляют разные элементы/оборудование на один приборный контур ПСБ.

Общий PFD делится между приборами в контуре SIF следующим образом (см. рисунок 4.1):

- КИП – от 10% до 15% общих требований SIL;
- ПЛК – от 5% до 10% общих требований SIL;
- исполнительное устройство (ИУ) – от 75% до 85% общих требований SIL.

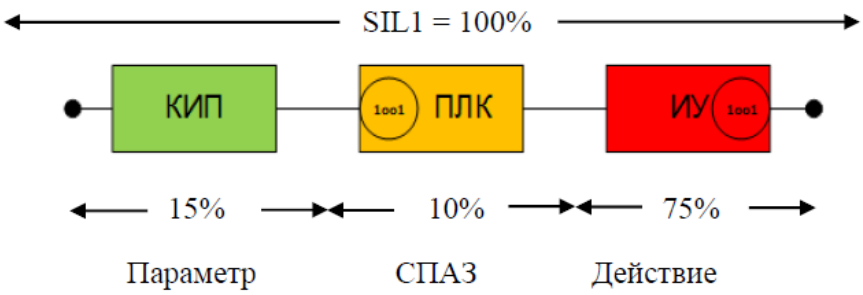


Рисунок 4.1 – Пример блок-схемы SIF

Цветовой код	Прибор
	КИП (зеленый)
	ПЛК (желтый)
	ИУ (красный)

Рисунок 4.2 - Цветовой код блок-схемы

Минимальные требования к вероятности отказа по запросу PFD в зависимости от назначенного уровня полноты безопасности SIL приведены в таблице 4.1.

Таблица 5 – Минимальные требования по вероятности отказа по запросу для контуров SIF

Назначенный SIL	Вероятность отказа по запросу			
	SIF	КИП	ПЛК	ИУ
Нет требований	Нет требований	Нет требований	Нет требований	Нет требований
1	< 0,1	< 0,015	< 0,01	< 0,075
2	< 0,01	< 0,0015	< 0,001	< 0,0075
3	< 0,001	< 0,00015	< 0,0001	< 0,00075

4.18. Проверка достижения SIL (англ.: SIL verification)

Проверки достижения УПБ контуров безопасности проводится с целью подтверждения расчётом назначенных уровней полноты безопасности SIL и осуществляется в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61511-1 (пункт 11.9).

Результаты расчета УПБ (SIL) для каждой функции безопасности (SIF), выполняемой ПСБ (SIS), следует производить с использованием нормативных документов.

Для нового строительства или для проектов по реконструкции ОПО указанное действие проводится после выбора структур контуров защит (функций безопасности (SIF)) и моделей приборов.

Исходными данными для выполнения расчёта УПБ (SIL) являются:

- проектная документация на АСУТП;
- паспорт на ПСБ (SIS) (при наличии);
- результаты работ по назначению УПБ (SIL) контурам защит (функциям безопасности SIF);
- графики и состав ТО по каждому типу оборудования КИП и А;
- структуры контуров защит (функций безопасности SIF) (при наличии);
- данные по надёжности по каждому прибору, включающие значения интенсивности отказов:
- λ_{sd} (безопасные обнаруживаемые отказы);
- λ_{su} (безопасные не обнаруживаемые отказы);

- λ_{dd} (опасные обнаруживаемые отказы);
- λ_{du} (опасные не обнаруживаемые отказы);
- сертификат соответствия средств ПСБ (SIS) требованиям МЭК 61508.
- руководства по обеспечению безопасности (англ.: safety manual) или разделы из документации, относящиеся к применению прибора в ПСБ (SIS) и содержащие ограничения по применению, методы и интервалы тестирования с указанием доли покрытия опасных не обнаруживаемых отказов;
- стандарт, в соответствии с которым определяются архитектурные ограничения;
- предполагаемый срок службы (MT, англ.: mission time) ПСБ (SIS);
- среднее время ремонта MTTR (англ.: mean time to restoration) приборов контура (функции безопасности SIF);
- интервал полного тестирования (контрольного испытания, англ.: proof test);
- интервал частичных проверок приборов контура (в соответствии руководствами по эксплуатации элементов, входящих в приборные контуры защиты (функции безопасности SIF)).

5. Присвоение УПБ контурам безопасности

5.1 Цели исследования

Цель исследования по определению требуемых УПБ контуров безопасности системы ПАЗ заключается в системном анализе существующих приборных слоев защиты, используемых в процессе эксплуатации объекта:

- выявления достаточности существующих мер защиты для предупреждения, своевременного обнаружения и предотвращения опасных событий в пределах объекта исследования, выявленных по результатам процедуры HAZOP и которые могут создать существенные риски для персонала, технологического процесса и окружающей среды;
- определения необходимости дополнительного снижения риска эксплуатации объекта исследования;
- установления требований по надежности выполнения функций безопасности к контурам приборных систем безопасности объекта исследования;
- выработки рекомендаций в случае установления необходимости внедрения на исследуемом объекте дополнительных приборных слоев защиты, направленных на повышение безопасности и снижения риска эксплуатации объекта исследования.

Исследование по определению требуемых уровней полноты безопасности осуществлялось в объеме опасностей (опасных событий) и причин, приводящих к ним, выявленных в результате процедуры «Исследование опасности и работоспособности» (HAZOP), предварительно выполненной в рамках курса «Основы промышленной безопасности».

5.2. Методология определения требуемых уровней полноты безопасности. Вариант 1

Для определения требуемых уровней полноты безопасности (УПБ/SIL) приборных контуров защиты системы ПАЗ используется метод «Анализа слоев защиты» (АСЗ или LOPA) в соответствии с рекомендациями, изложенными в ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018 «Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности».

В соответствие с требованиями ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018 процедура определения требуемых УПБ/SIL методом анализа слоев защиты проводится с использованием результатов «Исследования опасности и работоспособности» (HAZOP). Из результатов процедуры HAZOP в качестве исходных данных для анализа слоев защиты выбираются и используются следующие данные:

- выявленные опасные события;

- причины опасных событий;
- оценка вероятности проявления причин опасных событий;
- уровни тяжести последствий опасных событий;
- существующие меры защиты.

Процедура анализа слоев защиты для определения УПБ/SIL приборных контуров защиты системы ПАЗ заключается в совместном обсуждении рабочей группой HAZOP/SIL достаточности существующих слоев защиты от выявленных опасных событий по результатам HAZOP и включает в себя следующие основные этапы:

- выбор выявленных по результатам HAZOP опасных событий, со значимыми по тяжести последствиями, для человека, оборудования или окружающей среды (уровень тяжести не ниже «E» в соответствии с матрицей оценки рисков, приведенной в таблице 5.1);
- установление для каждого выявленного опасного события, уровня допустимого (приемлемого) риска на основании тяжести последствий этого опасного события (уровень допустимого риска задается в виде максимально допустимого (приемлемого) значения частоты проявления опасных событий (TMEL) согласно данным, приведенным в таблице 5.2);
- выбор из рабочих таблиц HAZOP всех идентифицированных в ходе HAZOP причин, которые могут инициировать рассматриваемое опасное событие;
- оценка вероятности проявления каждой исходной причины (частота запросов на выполнение функции безопасности), инициирующей опасное событие, используя справочные данные по отказам оборудования, КИПиА, инициирующим аварию событиям и др., приведенные в Таблице 5.3;
- выбор из рабочих таблиц HAZOP мер защиты, связанных с конкретной причиной, инициирующей опасное событие, и анализ мер защиты на предмет независимости слоев защиты (НСЗ) друг от друга;

Таблица 5.1 – Матрица оценки рисков

Уровень тяжести	Люди (Р)	Активы (А)	Критерии оценки вероятности происшествия				
			1	2	3	4	5
			Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
			Интерпретация через предположение о наступлении происшествия (на период 1 год, применительно для новых видов деятельности, для которых отсутствуют исторические данные (статистика))				
			Крайне маловероятно, что происшествие может произойти	Происшествие скорее не произойдет, чем произойдёт	Происшествие может произойти	Происшествие скорее произойдёт, чем не произойдет	Происшествие почти точно произойдет и может повториться несколько раз
			Интерпретация через вероятность реализации происшествия (частота, год$^{-1}$)				
			$P \le 10^{-4}$	$10^{-4} < P \le 10^{-3}$	$10^{-3} < P \le 10^{-2}$	$10^{-2} < P \le 10^{-1}$	$10^{-1} < P$
A	Групповой смертельный случай	Крупно-масштабное воздействие					
B	Смертельный случай/полная утеря трудоспособности	Значительное воздействие					
C	Случай с потерей трудоспособности	Умеренное воздействие					
D	Небольшая травма/вред здоровью	Небольшое воздействие					
E	Незначительная травма/вред здоровью	Незначительное воздействие					

Оценки вероятности опасных отклонений, приведенные в сводном перечне рекомендаций и рабочих листах (см. столбец «Вероятность», Приложение 1), представляют собой коды, состоящие из буквы «W» и цифры от 1 до 5, соответствующей номеру категории оценки вероятности происшествия, выбранной согласно матрице оценки рисков.

Используемые в матрице оценки рисков категории имеют следующие последствия:

Ущерб людям (P)

№	Описание
A	**Групповой смертельный случай** Групповой несчастный случай со смертельным исходом (два и более погибших) сотрудников Компании, подрядных организаций и третьих лиц
B	**Смертельный случай/происшествие с полной утратой трудоспособности** Несчастный случай со смертельным исходом. Тяжелый несчастный случай, повлекший непоправимый вред здоровью (полную потерю трудоспособности). Смерть работника, наступившая в результате острого или хронического заболевания (в т.ч. профессионального)
C	**Случай с потерей трудоспособности** Несчастный случай, повлекший временную потерю трудоспособности. Случай острого или хронического профессионального заболевания
D	**Небольшая травма/вред здоровью** Травма на производстве, повлекшая за собой временное ограничение трудоспособности, временный перевод на другую работу или требующая оказания медицинской помощи
E	**Незначительная травма/вред здоровью** Травма на производстве, требующая оказания первой помощи

Ущерб имуществу (активам) и другие косвенные убытки (A)

№	Описание
A	**Крупномасштабное воздействие** свыше 52 млн. руб.
B	**Значительное воздействие** свыше 24 млн. руб. до 52 млн. руб.
C	**Умеренное воздействие**

№	Описание
	свыше 12 млн. руб. до 24 млн. руб. или
D	**Небольшое воздействие** от 3 млн. руб. до 12 млн. руб.
E	**Незначительное воздействие** менее 3 млн. руб.

Таблица 5.2 - Данные по максимальным допустимым (приемлемым) значениям частоты проявления опасных событий (TMEL), соответствующим установленной степени тяжести последствий

Уровень тяжести	**Люди (P)**	**Окружающая среда (E)**	**Активы (A)**	**Репутация (R)**	**Значение TMEL, не более**
A	Групповой смертельный случай	Крупномасштабное воздействие	Крупномасштабное воздействие	Крупномасштабное воздействие	1×10^{-7}
B	Смертельный случай/полная утеря трудоспособности	Значительное воздействие	Значительное воздействие	Значительное воздействие	1×10^{-5}
C	Случай с потерей трудоспособности	Умеренное воздействие	Умеренное воздействие	Умеренное воздействие	1×10^{-3}
D	Небольшая травма/вред здоровью	Небольшое воздействие	Небольшое воздействие	Небольшое воздействие	1×10^{-1}
E	Незначительная травма/вред здоровью	Незначительное воздействие	Незначительное воздействие	Незначительное воздействие	5×10^{-1}

- оценка вероятности отказа каждого, выбранного для анализа независимого слоя защиты, с учетом справочных данных по коэффициентам снижения уровня риска с использованием данных, приведенных в Таблице 5.4;
- оценка вероятности проявления промежуточного события, равной произведению вероятности проявления исходной причины, инициирующей опасное событие, на вероятности отказов выбранных независимых слоев защиты;

- сравнение полученной вероятности проявления промежуточного события с установленным ранее уровнем допустимого (приемлемого) риска TMEL.

Если вероятность проявления промежуточного события меньше допустимого значения, то дополнительных слоев защиты или/и изменения уровней полноты безопасности не требуется. Если вероятность проявления промежуточного события больше допустимого значения риска, то вырабатывается рекомендация о необходимости введения дополнительного слоя защиты и требования к его УПБ/SIL или/и вносятся изменения в УПБ/SIL существующих слоев защиты; оценка конечной вероятность проявления опасного события с учетом отказа дополнительного слоя защиты и/или внесенных изменений в УПБ/SIL существующих слоев защиты;

- аналогичный анализ всех остальных причин проявления данного опасного события повторением предыдущих шагов;

- суммирование конечных вероятностей проявления опасного события для всех выявленных причин, связанных с анализируемым опасным событием и сравнение результата с установленным уровнем допустимого риска TMEL. Если вероятность проявления опасного события меньше допустимого значения, то дополнительных слоев защиты и уточнения УПБ/SIL не требуется. Если наоборот, вероятность проявления опасного события больше допустимого значения, то увеличиваются требуемые УПБ/SIL для дополнительных слоев защиты или/и увеличивается УПБ для существующих независимых слоев защиты.

Таблица 5.3 – Справочные данные по отказам оборудования, КИПиА и инициирующих аварию событиям (частоты запросов по инициирующим событиям)

Событие	Частота	Вероятность в год
Механическое оборудование (отдельные насосы, компрессоры, краны)	1 / 5 лет	0,2
Отказ охлаждения	1 / 10 лет	0,1
Отказ электроснабжения	1 / 10 лет	0,1
Отказ подачи воздуха КИП	1 / 10 лет	0,1
Человеческий фактор	1 / 10 лет	0,1
Реакция оператора на аварийную сигнализацию	1 / 10 лет	0,1
Работа оператора в условиях стресса	1/2 года …1/год	0,5…1,0
Отказ контура регулирования	1 / 10 лет	0,1

Событие	Частота	Вероятность в год
Отказ клапана аварийного останова с переводом в безопасное состояние	1/30 лет ... 1/300 лет	
Утечка из трубопровода/ фланца	1/30 лет ... 1/300 лет	0,0333…0,00333
Открытие клапана дренажа / сдувки	1 / 10 лет	0,1
Разрыв трубы в теплообменнике	1 / 300 лет	0,00333
Утечки из механического оборудования	1 / 10 лет	0,1

Таблица 5.4 – Коэффициенты снижения риска независимыми слоями защиты

Слой защиты	Коэффициент снижение риска	Вероятность отказа слоя защиты
Предохранительный клапан / открытие сдувки	в 100 раз	0,01
Независимая сигнализация	в 10 раз	0,1
Локализация (дренажными клапанами или насосами)	в 100 раз	0,01
Контур КИПиА с уровнем SIL 1	в 10 раз	0,1
Контур КИПиА с уровнем SIL 2	в 100 раз	0,01
Контур КИПиА с уровнем SIL 3	в 1000 раз	0,001
Другие слои защиты (сигнализация загазованности в районе аварии, включение системы аварийной вентиляции, система эвакуации персонала из помещения)	в 10 раз	0,1

Таблица 5.5 – Требования к УПБ: режим работы с низкой частотой запроса

Уровень полноты безопасности (УПБ)	Требуемое снижение риска	Средняя вероятность отказа при наличии запроса PFD_{avg}
4	> 10 000 ... ≤ 100 000	$\geq 10^{-5} \ldots < 10^{-4}$
3	> 1,000 ... ≤ 10 000	$\geq 10^{-4} \ldots < 10^{-3}$
2	> 100 ... ≤ 1 000	$\geq 10^{-3} \ldots < 10^{-2}$
1	> 10 ... ≤ 100	$\geq 10^{-2} \ldots < 10^{-1}$

Алгоритм назначения УПБ

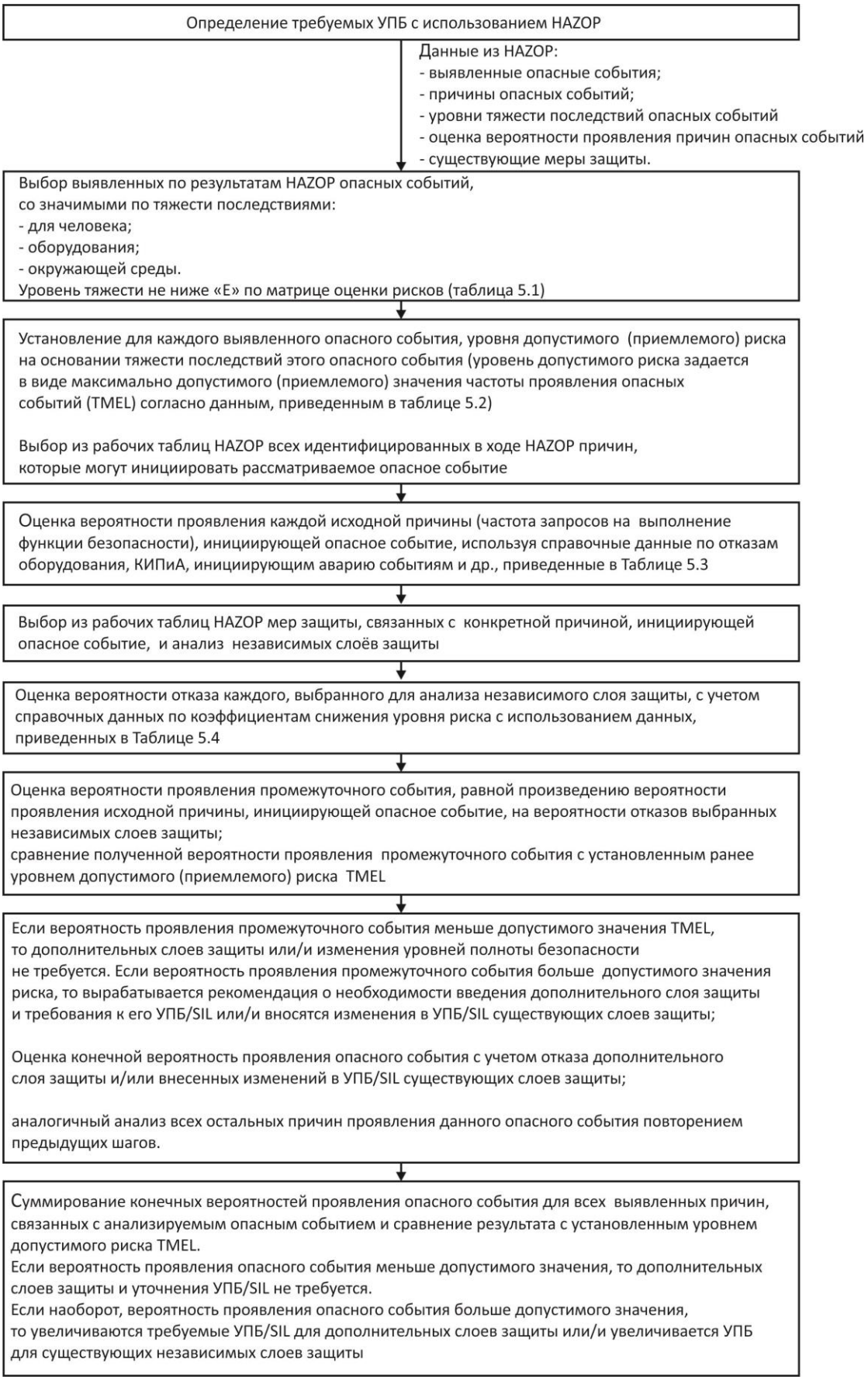


Рисунок 5.1 – Алгоритм назначения УПБ

5.2. Методология определения требуемых уровней полноты безопасности. Вариант 2

Для определения уровней полноты безопасности используется метод графа рисков (Приложением Е ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012 [11]).

Процедура построения графа использует уравнение:

$$R = f * C,$$

где R – риск, если система безопасности отсутствует;

f – частота опасного события, в случае отсутствия системы безопасности;

C – последствия опасного события.

Факторы, влияющие на частоту опасного события f:

- частота и время пребывания в опасной зоне;
- возможность избежать этого события;
- вероятность этого события без системы безопасности.

Эти факторы являются исходными для характеризующих риск параметров:

- C – последствия опасного события;
- F – частота и время пребывания в опасной зоне;
- P – вероятность возможного избежания опасности;
- W – вероятность нежелательного события.

Параметры риска могут быть описаны как качественно, так и количественно. Рассмотрим качественный способ описания риска.

Граф рисков представлен на рисунке 5.2.

Для представленного графа справедливы следующие соотношения:

1. C – последствия опасного события ($C_A < C_B < C_C < C_D$):

   C_A – незначительные травмы

   C_B – серьёзные травмы одного или нескольких работников, возможная смерть одного работника;

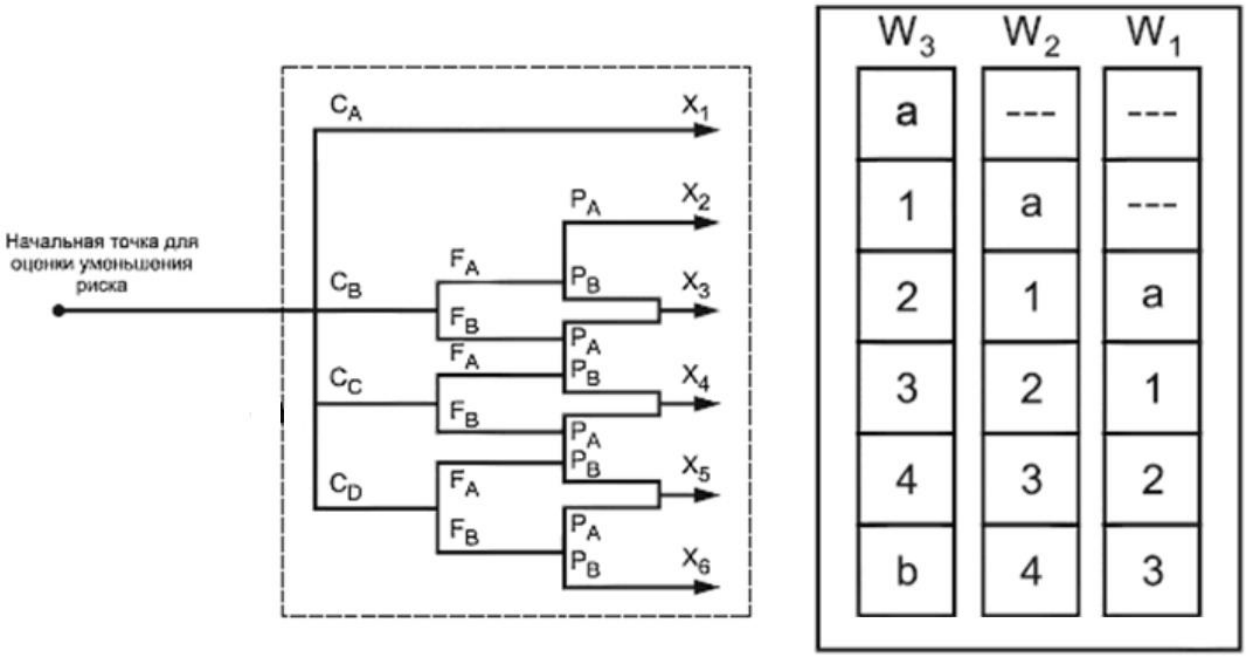
   C_C – смерть нескольких работников;

   C_D – большие потери среди работников, катастрофические последствия.

2. F – частота и время пребывания в опасной зоне ($F_A < F_B$):

   F_A – от редкого до относительно частого;

   F_B – от частого до постоянного.



--- – нет требований безопасности;

a – нет специальных требований безопасности;

b – одной функция безопасности Э/Э/ПЭ не достаточно для достижения требований безопасности;

1, 2, 3, 4 – уровень полноты безопасности УПБ (SIL1 – 4).

Рисунок 5.2 – Граф рисков

3. P – вероятность возможного избежания опасности ($P_A < P_B$):

   P_A – при определённых условиях возможно;

   P_B – почти невозможно.

4. *W* – вероятность нежелательного события ($W_1<W_2<W_3$):

   W1 – очень низкая;

   W2 – низкая;

   W3 – высокая.

Смысл графа риска заключатся в формировании на основании входных параметров *C, F* и *P* выходного параметра *X*, который отображается на одну из трёх шкал *W*, которые, в свою очередь, связаны с конкретным УПБ. Этот уровень должен быть достигнут после внедрения Э/Э/ПЭ системы, связанной с безопасностью.

Смещение шкал W_1, W_2 и W_3 относительно друг друга позволяет учесть уменьшение риска, которое достигается за счет других средств и систем. Для шкалы W_1 вклад других средств и систем максимальный, для шкалы W_2 промежуточный, для шкалы W_3 минимальный.

5.2.1 Определение УПБ для персоналов

Параметр последствий

Пусть N — количество персонала в потенциально опасной зоне, A — доля потенциально опасной зоны во всей площади предприятия, V — коэффициент смертельных исходов, градации параметров последствий приведены в таблице 5.6. Коэффициент смертельных исходов определяется опасностью защищаемой среды, коэффициент смертельных исходов и соответствующий риск приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.6 – Градации параметра последствий

Параметр	Диапазон
C_A	небольшая травма
C_B	$0.01 < N*A*V \le 0.10$
C_C	$0.10 < N*A*V \le 1.00$
C_D	$N*A*V \ge 1.00$

Таблица 5.7 – Коэффициент смертельных исходов и соответствующий риск

Коэффициент смертельных исходов V	Описание
0.01	Накопление органических веществ и других загрязнений
0,10	Опасность обмораживания
0,50	Пожар
1,00	Взрыв

Обычно в опасной зоне находятся два (?) оператора, на долю которых приходится 13% всей установки (конкретные данные по установке). Если есть опасность, это может привести к крупномасштабной утечке опасных веществ. Поэтому параметр последствий

$$C = N * A * V = 2 * 0{,}13 * 0{,}1 = 0{,}026,$$

по диапазону в таблице 5.6, параметр последствий примем равным C_B.

Параметр экспозиции

Каждый оператор находится в опасной зоне 20 минут в день, поэтому параметр экспозиции

$F = 20\,\text{min}/(24 * 60\,\text{min}) = 0{,}013$, что может трактоваться как «от редкого до относительно частого», параметр экспозиции примем F_A.

Параметр избежания

В реальной эксплуатации, после отказа приборной системы безопасности, можно подать оператору сигнал тревоги через систему сигнализации, но интервал времени между оповещением оператора и возникновением опасного события меньше времени, необходимого для остановки или эвакуации. Поэтому параметр избежания примем P_B.

Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ

Для ПСБ в опасной зоне, требуется, чтобы система функционировала 1 раз в 1–10 лет, поэтому интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ примем *W2*.

5.2.2 Определение УПБ для актива

Параметр последствий

При отклонении от технологического режима потребителям может быть подан продукт ненадлежащего качества, это приведёт к массовому браку продукции у конечных производителей (средней потери актива). Параметр последствий для актива примем C_B.

Параметр экспозиции

Параметр экспозиции для актива примем, как и для персонала, F_A.

Параметр избежания

При отклонении температуры подшипников возможна поломка и выход из строя агрегата, но при определённых условиях (например: налаженной системе периодического контроля) можно избежать потери актива, поэтому параметр избежания примем P_A.

Интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ

Для ПСБ в опасной зоне, требуется, чтобы система функционировала 1 раз в 1–10 лет, поэтому интенсивность запросов для рассматриваемой ФБ примем *W2*.

В Приложении 2 содержится информация о технологических параметрах, показателях системы управления и назначенных уровнях ПБ для них.

6. Подтверждение заявленного УПБ контуров безопасности

Подтверждение заявленного УПБ контура безопасности проводится на основании анализа вероятности отказа на запрос выполнения ФБ на межпроверочном интервале PFD_{avg}.

Расчет средней вероятности опасного отказа PFD_{avg} с низкой интенсивностью запросов при условии 2-х годичных межтестовых испытаний для подтверждения заявленного уровня полноты безопасности SIL контура рассмотрен на примере, представленном на рисунке 6.1.

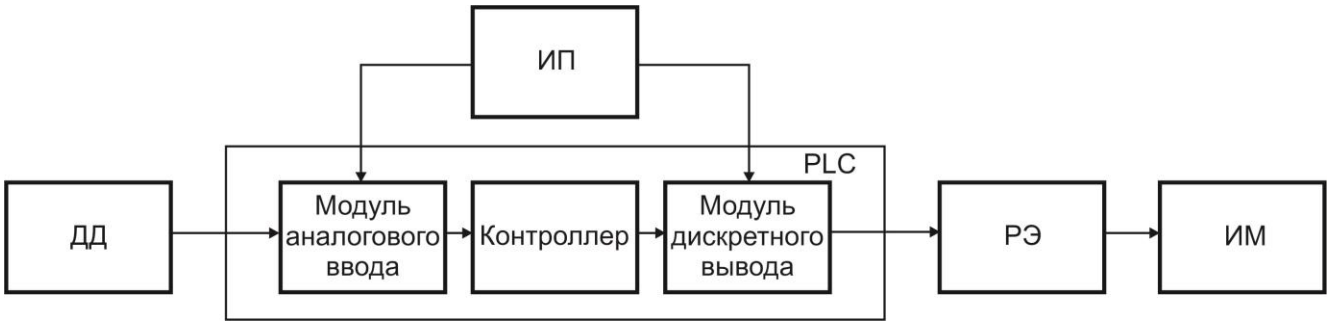


Рисунок 6.1 – Контур безопасности

Назначение контура: перевод исполнительного механизма в безопасное состояние при достижении критического значения давления на входе контура.

В качестве примера рассмотрена одноканальная архитектура контура (конфигурация 1oo1, HFT = 0) с двухгодичным межтестовым интервалом, состоящая из следующих элементов:

- ДД – датчик давления;
- PLC – программируемый логический контроллер в составе: контролер, модуль аналогового ввода, модуль дискретного вывода;
- РЭ – релейный элемент (электромагнитное реле);
- ИМ – исполнительный механизм – многооборотный привод;
- ИП – источник питания постоянного тока входных и выходных цепей PLC.

Контур безопасности реализован с помощью оборудования, представленного в таблице 6.1. Для подтверждения заявленного уровня полноты безопасности SIL контура определяется интегральный уровень безопасности. Связь между интегральным уровнем безопасности SIL и средней вероятностью опасного отказа при низкой интенсивности запросов PFD_{avg} представлена в таблице 6.2.

Таблица 6.1 - Оборудование контура безопасности

Наименование	Тип, марка	Производитель
Датчик избыточного давления	Метран-150CGR	ПГ «Метран», РФ
Программируемый логический контроллер	1. 1756-L71	Rockwell Automation – Allen Bradley, США
	2. БАЗИС-100	АО «Экоресурс», РФ
Электромагнитное реле	PSR-PS20-1NO-1NC-24DC	Phoenix contact, ФРГ
Многооборотный привод	SA.2 с AC 01.2-SIL/ACExC 01.2-SIL	Auma, ФРГ
Источник постоянного тока	QUINT4-PS/1AC/24DC/20	Phoenix contact, ФРГ

Таблица 6.2 - Интегральные уровни безопасности

SIL Интегральный уровень безопасности	PFD_{avg} Средняя вероятность отказа на запрос (низкая интенсивность запросов)
SIL4	$\geq 10^{-5} \cdots < 10^{-4}$
SIL3	$\geq 10^{-4} \cdots < 10^{-3}$
SIL2	$\geq 10^{-3} \cdots < 10^{-2}$
SIL1	$\geq 10^{-2} \cdots < 10^{-1}$

Расчеты выполнены для двух вариантов PLC.

В таблицах 6.3 и 6.4 приведены расчетные данные.

В первом варианте (таблица 6.3) рассмотрен контур безопасности, выполненный на базе PLC 1756-L71 компании Rockwell Automation – Allen Bradley. В технической документации, предоставляемой пользователю компаний производителем можно найти данные для каждого элемента PLC, а именно:

- контроллера 1756-L71;
- модуля ввода аналоговых сигналов 1715-IF16;
- модуля вывода дискретных сигналов 1715-OB8DE.

Во втором варианте (таблица 6.4) используется отечественный ПЛК БАЗИС-100 компании «Экоресурс». Компания «Экоресурс» имеет сертификат о соответствии ПЛК уровню безопасности SIL2 без детализации вероятности опасного отказа PFD_{avg} по компонентам.

При 2-х годичных межтестовых испытаниях $PFD_{avg}(TI)$, где *TI* =2 года, возрастает в 2 раза, по сравнению с $PFD_{avg}(TI)$, где *TI* =1 год.

Результирующая вероятность отказа при запросе $PFD_{avg\Sigma}$ контура безопасности, представленного на рисунке 2, вычисляется следующим образом

$$PFD_{avg\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} PFD_{avgi},$$

где PFD_{avg} - вероятность отказа при запросе i-го компонента контура безопасности;

n – количество компонентов в контуре безопасности.

Таблица 6.3 – Расчетные данные для контура безопасности на базе PLC 1756-L71

Элементы SIF	PFD_{avg} (1 год)	PFD_{avg} (2 года)	Допустимый SIL
ДД – датчик давления	0,142E-03	0,282E-03	SIL2
PLC – программируемый логический контроллер:			
- контроллер 1756-L71	4,50E-04	9,00E-04	SIL3
- модуля ввода 1715-IF16	4,04E-06	8,08E-06	SIL4
- модуля вывода 1715-OB8DE	1,52E-06	3,04E-06	SIL4
РЭ – релейный элемент	2,36E-05	4,72E-05	SIL4
ИМ – исполнительный механизм	1,72E-03	3,44E-03	SIL2
ИП – источник питания постоянного тока	1,30E-03	2,60E-03	SIL2
Общий SIF	**3,64E-03**	**7,28E-03**	**SIL2**

Таблица 6.4 – Расчетные данные для контура безопасности на базе ПЛК БАЗИС-100

Элементы SIF	PFD_{avg} (1 год)	PFD_{avg} (2 года)	Допустимый SIL
ДД – датчик давления	0,142E-03	0,282E-03	SIL2
ПЛК – программируемый логический контроллер	2,76E-03	5,52E-03	SIL2
РЭ – релейный элемент	2,36E-05	4,72E-05	SIL4
ИМ – исполнительный механизм	1,72E-03	3,44E-03	SIL2
ИП – источник питания постоянного тока	1,30E-03	2,60E-03	SIL2
Общий SIF	**5,94E-03**	**1,188E-02**	**SIL2[1]/ SIL1[2]**

[1] – для годовых межтестовых испытаний;

[2] – для 2-х годичных межтестовых испытаний.

Выводы

1. И первый и второй варианты контура безопасности, реализованные на различных PLC, при условии годовых межтестовых испытаний, обеспечивают интегральный уровень полноты безопасности SIL2.

2. При условии 2-х годичных межтестовых испытаний только первый вариант обеспечивают интегральный уровень полноты безопасности SIL2. Вариант контура безопасности на базе ПЛК БАЗИС-100 обеспечивает только SIL1.

Приложение 1

Пример рабочего листа HAZOP

Управляющее слово:	**ПОТОК - ОТСУТСВИЕ**

№	Причина	Последствия	Меры защиты		Рекомендация	Ответственный	Критичность	Вероятность	Уровень тяжести	Примечания
1.1	Несанкционированный останов компрессора КВ-1/2	Эксплуатация: внутрисменное снижение производительности установки		Индикация состояния КВ-1,2		ПБ		W5	A-E P-нет	
		Окружающая среда:	PT-130	Блокировка на останов компрессора						
		Безопасность: не выявлено	LSLL-101	Блокировка на останов компрессора КВ-1						
1.2	Несанкционированное открытие клапана-отсекателя Х-204 на линии сброса воздуха на свечу (нормально открытый)	Эксплуатация: внутрисменное снижение производительности установки		Индикация положения клапана				W5	A-E P-нет	
		Окружающая среда:								
		Безопасность: не выявлено								
1.3	Несанкционированное закрытие электрозадвижки В-101 на линии нагнетания КВ-1,2	Эксплуатация: внутрисменное снижение производительности установки		Индикация положения клапана				W5	A-E P-нет	
		Окружающая среда:								
		Безопасность: не выявлено								

№	Причина	Последствия	Меры защиты		Рекомендация	Ответственный	Критичность	Вероятность	Уровень тяжести	Примечания
1.4	Несанкционированный останов насосов Н-101А/В	Эксплуатация: прекращение поступления оборотной воды в нижнюю часть АП-101, рост температуры воздуха на выходе АП-101	P114A	Сигнализация по понижению давления воды, охлаждённой из насоса Н101А				W5	A-E P-нет	
		Окружающая среда:	P114B	Сигнализация по понижению давления оборотной воды из насоса Н101В						
		Безопасность: не выявлено	F109	Сигнализация по понижению расхода оборотной воды в воздушный скруббер АП101						
				Автоматический запуск резервного насоса Н-101А/В						
1.5	Отказ контура регулирования FIC-109 (клапан-регулятор поз. Др-101 закрыт)	Эксплуатация: прекращение поступления оборотной воды в нижнюю часть АП-101, рост температуры воздуха на выходе АП-101		Индикация положения клапана	Предусмотреть сигнализацию по высокому давлению по поз. PI-114 A/B		средняя	W4	A-C P-нет	

Анализ слоёв защиты

Опасное событие - прекращение циркуляции масла, снижение давления в контуре масла, рост температуры подшипников, рост вибрации роторов, поломка КВ-1,2, останов установки (до 2 недель)

№ п/п	№ причины	Управляющее слово	Последствия	Уровень тяжести	Исходные причины	Вероятность проявления причины	Независимые слои защиты		ОСУП	Сигнализация	Система блокировки	Пред. клапаны	Другие	Коэфф. частотности	Вероятность промежуточного события	Уровень приемлемого риска (TMEL)	Дополнительный слой защиты	Вероятность проявления опасного события
1	1.1.10	ПО-ТОК-ОТСУТ-СВИЕ	Эксплуатация: прекращение циркуляции масла, снижение давления в контуре масла, рост температуры подшипников, рост вибрации роторов, поломка КВ-1,2, останов установки (до 2 недель)	А-С Р-нет	Отказ главного масляного насоса КВ-1,2	1,0E-01	VT-1x **(УПБ1)**	Блокировка по повышению вибрации	-	-	1,0E-08	-	-	-	1,00E-09	1,00E-03	-	1,00E-09
			Окружающая среда:				VT-2x **(УПБ1)**	Блокировка по повышению вибрации										
			Безопасность: не выявлено				VT-3x **(УПБ1)**	Блокировка по повышению вибрации										
							TE-130 **(УПБ1)**	Блокировка по высокой температуре масла на входе масляного насоса КВ-1,2										

№ п/п	№ причины	Управляющее слово	Последствия	Уровень тяжести	Исходные причины	Вероятность проявления причины	Независимые слои защиты		ОСУП	Сигнализация	Система блокировки	Пред. клапаны	Другие	Коэфф. частотности	Вероятность промежуточного события	Уровень приемлемого риска (TMEL)	Дополнительный слой защиты	Вероятность проявления опасного события
							TE-143 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по высокой температуре подшипника на останов компрессора										
							TE-144 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по высокой температуре подшипника на останов компрессора										
							PT-130 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по низкому давлению в контуре масла КВ-1,2										

№ п/п	№ причины	Управляющее слово	Последствия	Уровень тяжести	Исходные причины	Вероятность проявления причины	Независимые слои защиты		ОСУП	Сигнализация	Система блокировки	Пред. клапаны	Другие	Коэфф. частотности	Вероятность промежуточного события	Уровень приемлемого риска (TMEL)	Дополнительный слой защиты	Вероятность проявления опасного события
							Q1226 **(УПБ1)**	Блокировка по понижению загазованности зоны примыкания БРВ продуктами разделения воздуха. Включение В30 и В11										
-2	1.3.3	ДАВЛЕНИЕ-МЕНЬШЕ	Эксплуатация: снижение циркуляции масла, снижение давления в контуре масла, рост температуры подшипников, рост вибрации роторов, поломка КВ-1,2, останов установки (до 2 недель)	А-С Р-нет	Забитие масляного фильтра	2,0E-01	VT-1x **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по повышению вибрации	-	-	1,0E-07	-	-	-	2,00E-08	1,00E-03	-	2,00E-08
			Окружающая среда:				VT-2x **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по повышению вибрации										

№ п/п	№ причины	Управляющее слово	Последствия	Уровень тяжести	Исходные причины	Вероятность проявления причины	Независимые слои защиты		ОСУП	Сигнализация	Система блокировки	Пред. клапаны	Другие	Коэфф. частотности	Вероятность промежуточного события	Уровень приемлемого риска (TMEL)	Дополнительный слой защиты	Вероятность проявления опасного события
			Безопасность: не выявлено				VT-3x **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по повышению вибрации										
							TE-130 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по высокой температуре масла на входе масляного насоса КВ-1,2										
							TE-143 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по высокой температуре подшипника на останов компрессора										

№ п/п	№ причины	Управляющее слово	Последствия	Уровень тяжести	Исходные причины	Вероятность проявления причины	Независимые слои защиты		ОСУП	Сигнализация	Система блокировки	Пред. клапаны	Другие	Коэфф. частотности	Вероятность промежуточного события	Уровень приемлемого риска (TMEL)	Дополнительный слой защиты	Вероятность проявления опасного события
							TE-144 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по высокой температуре подшипника на останов компрессора										
							PT-130 **(УПБ1)**	Сигнализация и блокировка по низкому давлению в контуре масла КВ-1,2										
								Замена фильтров раз в год										
								Контроль персоналом при обходе										

Приложение 2

Протоколы исследования опасности и работоспособности контуров безопасности, оценка требуемого SIL

№	Контур безопасности (функция безопасности)			Управляющее слово	Отклонение в технологической части и причины	Тяжесть последствий отказа функции безопасности	Параметры риска				Назначенный УПБ (SIL) для контура по категориям	Назначенный SIL для контура	Комментарий, рекомендации
	Датчики, логическое устройство	Исполнительные элементы	Описание функции				**C**	**F**	**P**	**W**			
1	QISI1261 - контроллер ПАЗ -	Электрозадвижки поз. 4-85(2), 4-86(2)	Закрытие задвижки 4-85(2), открытие задвижки 4-86(2) при повышении содержания кислорода в азоте	более	Содержание кислорода в азоте поз. QIS1261в трубопроводе азота низкого давления после компрессора ТА 6000 более 15 ppm	При несрабатывании возможна авария – превышение допустимого содержания кислорода в азоте в трубопроводе потребителю	C^1b	F^1a	P^1b	W^12	SIL0[1]	SIL1	Выполнить контур безопасности (газоанализатор кислорода в азоте - контроллер ПАЗ – электрозадвижки 4-85(2), 4-86(2)) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^2b	F^2b	P^2a	W^22	SIL1[2]		
2	QISI1262 - контроллер ПАЗ - выходное реле	Электрозадвижки поз.4-85(1), 4-86(1)	Закрытие задвижки 4-85(1), открытие задвижки 4-86(1) при повышении содержания кислорода в азоте	более	Содержание кислорода в азоте поз. QIS1262 в трубопроводе азота низкого давления после ВРУ А-8-1М более 15 ppm	При несрабатывании возможна авария – превышение допустимого содержания кислорода в азоте в трубопроводе потребителю	C^1b	F^1a	P^1b	W^12	SIL0[1]	SIL1	Выполнить контур безопасности (газоанализатор кислорода в азоте - контроллер ПАЗ – электрозадвижки 4-85(1), 4-86(1)) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1
							C^2b	F^2b	P^2a	W^22	SIL1[2]		
3	PIT 1499 - контроллер ПАЗ - выходное реле	Компрессор ТА 6000	Останов компрессора ТА 6000 при понижении давления азота на всасе компрессора	менее	Давление азота на всасе компрессора ТА 6000 менее 2 КПа	При несрабатывании возможна авария – выдача азота потребителю ненадлежащего качества	C^1b	F^1a	P^1b	W^12	SIL0[1]	SIL1	Выполнить контур безопасности (датчик давления - контроллер ПАЗ – выходное реле) как приборную функцию безопасности с уровнем полноты безопасности не ниже SIL1

Проектирование систем противоаварийной автоматической защиты

Задание и методические указания к выполнению проекта

Составитель Курганов Василий Васильевич

Подписано к печати «___»_____ 2022 г.
Формат 60х84-16. Бумага «Классика»
Печать RISO. Усл. печ. л. 1.16. Уч. – изд. л. 1.05.
Заказ № . Тираж _____ экз.

nqa. ISO 9001 Registered	Томский политехнический университет Система менеджмента качества Томского политехнического университета сертифицирована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000	UKAS QUALITY MANAGEMENT 015
ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.		