ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЛАТФОРМЫ

АИМ МЕНЕДЖМЕНТ

ЕВРОХИМ

Октябрь 2025

Риск-ориентированный подход. Использование результатов анализа опасности и работоспособности (HAZOP) для опасного технологического объекта

Розаев Николай Сергеевич

Владелец продукта

Управление перспективной автоматизации технологических процессов

Обеспечение функциональной безопасности при создании АСУТП

Методы анализа риска технологических систем

Руководство по безопасности «**Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска** аварий на опасных производственных объектах» (Приказ №387 от 03.11.2022)

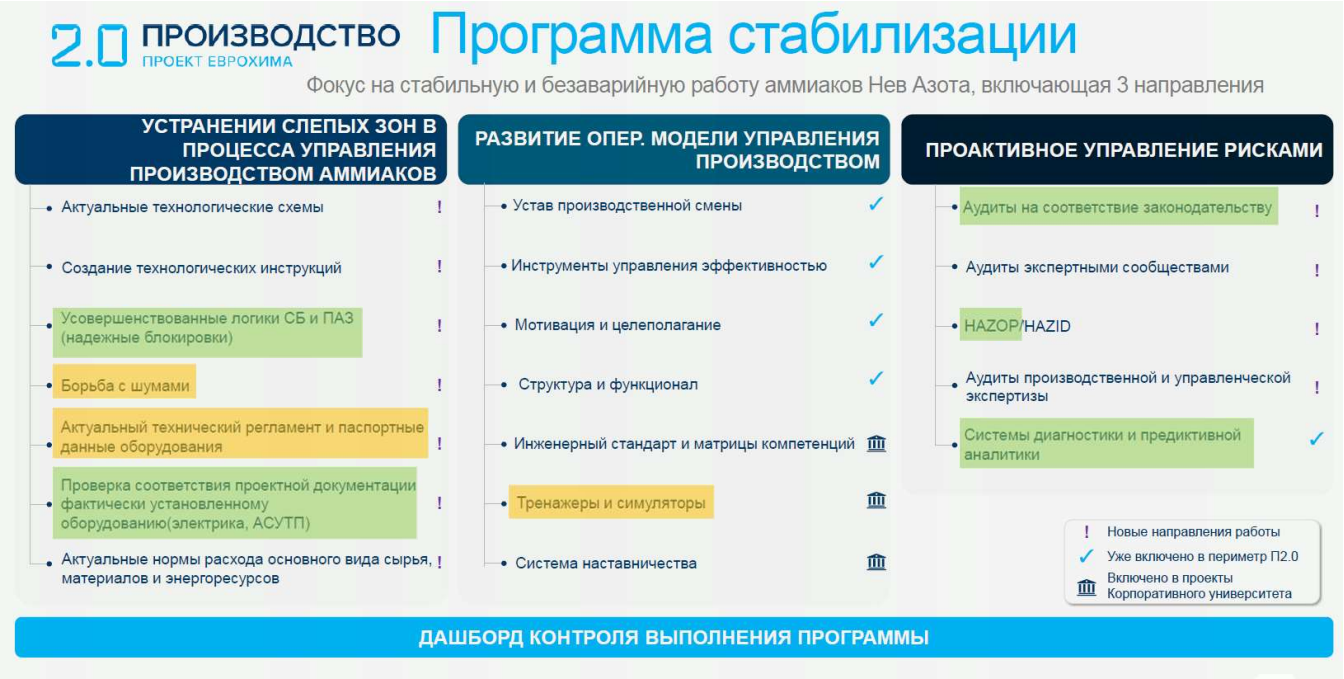
Анализ рисков:

- метод "Проверочного листа" и метод "Что будет, если...?“ (SWIFT);
- метод «Идентификация опасностей технологического объекта» (HAZID);
- метод «Анализ вида и последствий отказов» (FMEA) и метод «Анализ вида, последствий и критичности отказа» (FMECA);
- **метод «Анализ опасности и работоспособности технологической системы» (HAZOP);**
- метод «Анализ дерева отказов» (FTA);
- метод «Анализ дерева событий» (ETA);
- **метод «Анализ барьеров безопасности» (LOPA);**
- количественная оценка риска аварий.

Допускается применять также другие способы и приемы анализа, например, метод "галстук-бабочка" (см. МЭК 31010).

Анализ работоспособности ОПО в рамках программы стабилизации

- выявление возможных отклонений технологических параметров от регламентированных режимов, которые могут создать существенные риски для персонала, технологического процесса и окружающей среды, при эксплуатации цеха производства аммиачной селитры 3А и жидких аммиачных удобрений
- выявление возможных проблем работоспособности цеха, которые могут привести к потере продукции или ее качества,
- выработка рекомендаций для внедрения в проекты дооснащения (перевооружения) цеха дополнительных мер, направленных на снижение выявленных рисков исследуемого объекта.
- формализация функций безопасности, реализуемых существующими приборными системами безопасности (ПАЗ, система контроля загазованности, системы пожарной сигнализации), определение требований к ним;



- оценка соответствия эксплуатируемой системы ПАЗ действующим нормам и правилам, проектной и эксплуатационной документации, определение требований для приведения системы ПАЗ в соответствие действующим нормам и правилам промышленной безопасности;
- Формирование исходных данных для разработки технического задания на модернизацию системы ПАЗ;
- Проверка соответствия проектной документации фактически установленному оборудованию КИП и АСУТП.

Практика применения риск-ориентированного подхода для создания системы ПАЗ действующих ОПО

Сложившаяся практика применения риск-ориентированного подхода для действующих опасных производственных объектов включает:

Анализ опасности и работоспособности

Целью анализа является:

- формирование реестра опасностей
- определение тяжести и возможной частоты проявления.
- определение существующих мер защиты

Анализ слоев защиты

- Определение **требований к надежности** контуров ПСБ (приборных систем безопасности)
- Назначение **УПБ/SIL** для контура защиты.

Анализ проблем работоспособности

- Выявление сценариев развития нарушений работоспособности

Спецификация требований к безопасности

- Формирование Спецификации требований к безопасности **(SRS)** для ПСБ

Аудит контуров

- Проведение аудита **контуров ПСБ** (КИП, контроллерное оборудование, ППО)

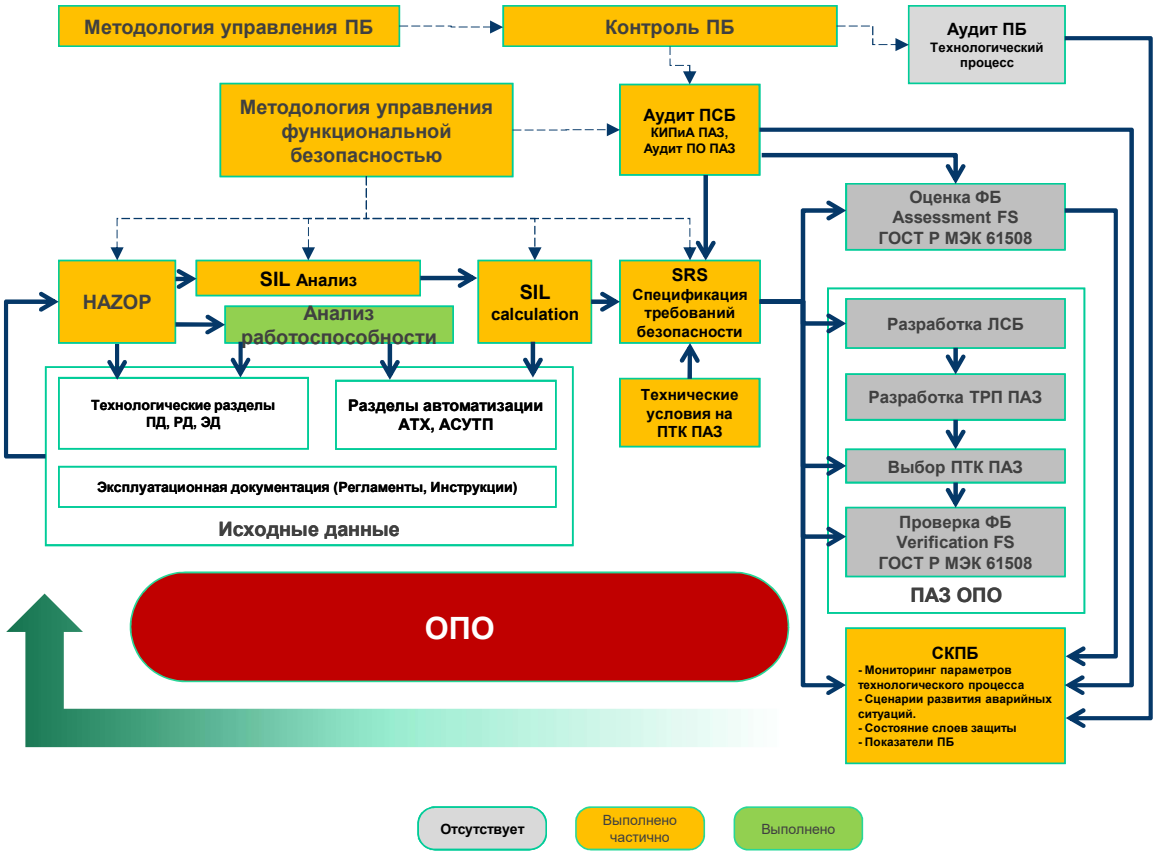
Создание / реконструкция ПСБ (ПАЗ)

- Разработка логических схем блокировок
- Разработка Техно-рабочего проекта (ТРП) на ПСБ (ПАЗ)
- Выбор Программно-технического комплекса для ПСБ (ПАЗ)
- Проверка функциональной безопасности ПСБ

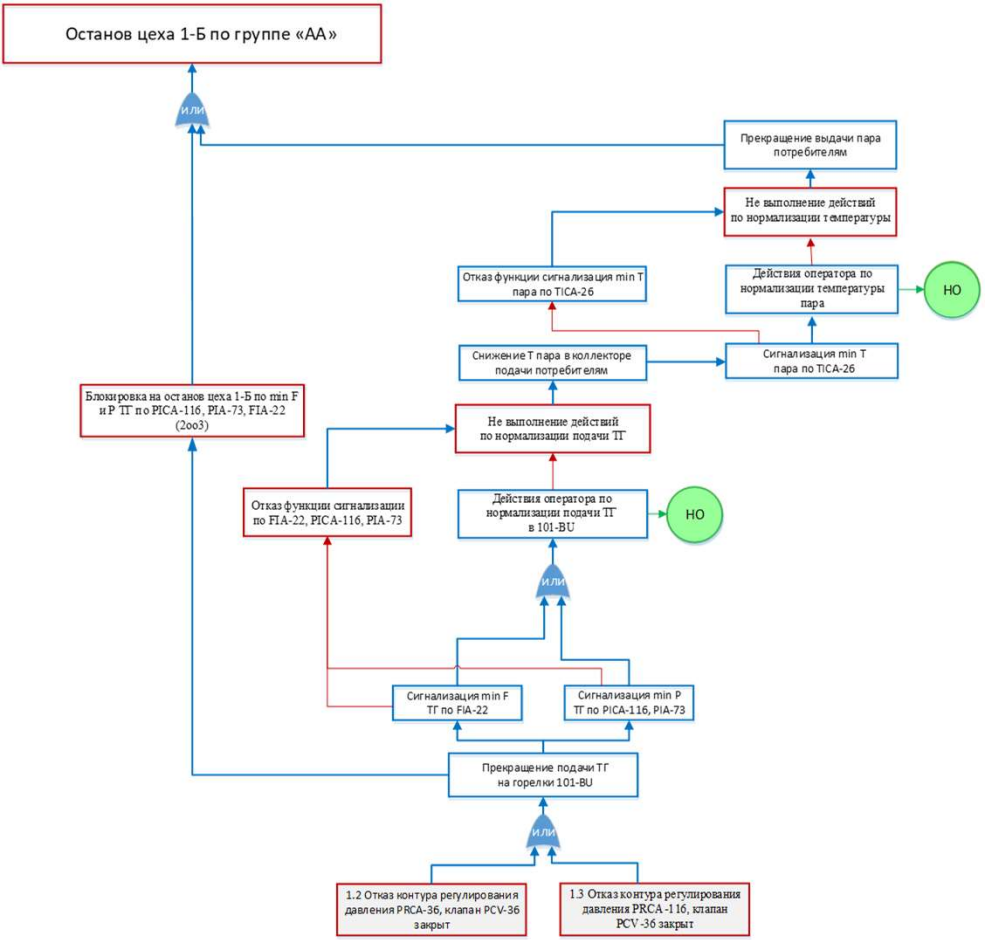
Аудит ПБ

- Аудит ПСБ (ПАЗ)
- Аудит ПБ в части персонала
- Аудит ПБ в части технологического процесса

Создание СКПБ



Сценарии развития негативный событий



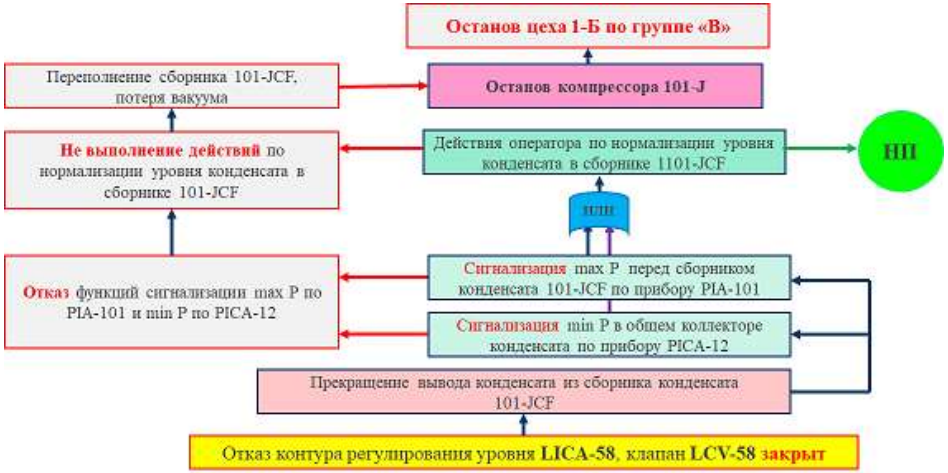
Сценарии развития негативных событий для каждой исходной причины представлены в виде «Дерева событий»;

«Дерево событий» представляет собой логическую цепочку развития отклонений от исходный причины до негативного события – останова цеха.

«Дерево событий» наглядно представляет причины, условия и факторы, которые могут привести к негативному событию, связанному с остановом цеха;

«Дерево событий» позволяет оценить достаточность существующих мер защиты по предотвращению останова цеха и выявить «слабые» места в системе защиты.

Сценарии развития негативный событий



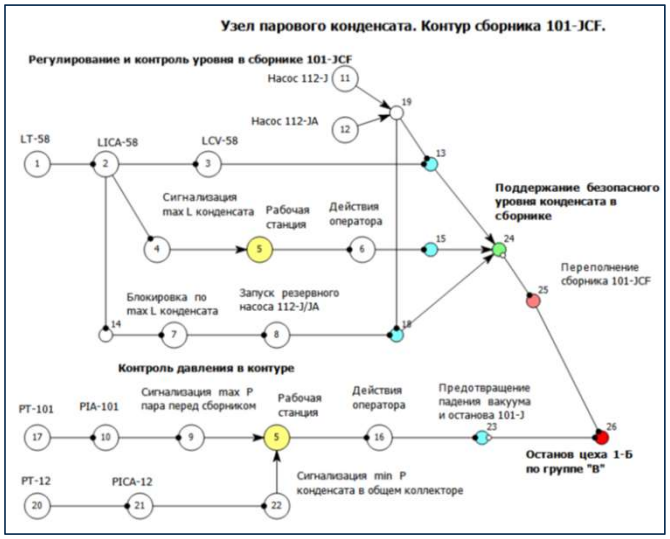
Сценарии развития негативных событий для каждой исходной причины представлены в виде «Дерева событий»;

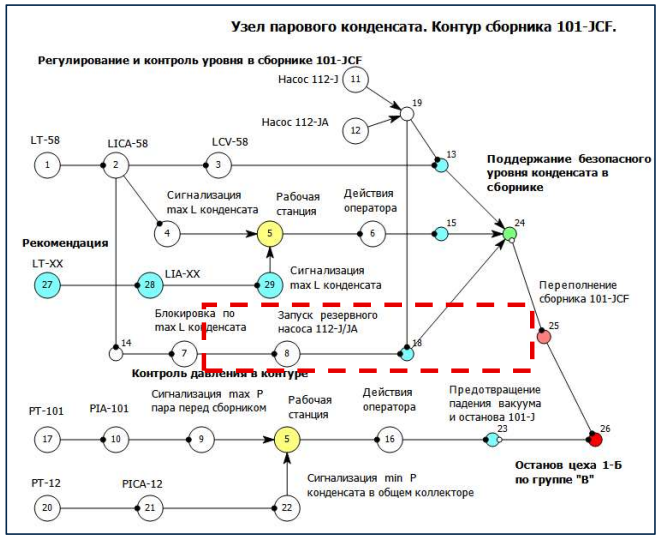
«Дерево событий» представляет собой логическую цепочку развития отклонений от исходный причины до негативного события – останова цеха.

«Дерево событий» наглядно представляет причины, условия и факторы, которые могут привести к негативному событию, связанному с остановом цеха;

«Дерево событий» позволяет оценить достаточность существующих мер защиты по предотвращению останова цеха и выявить «слабые» места в системе защиты.

Оценка снижения риска при внедрении рекомендации





Результаты сравнительного анализа вероятностей реализации событий

Функция	P исход	P реком	KR
y24 - Поддержание уровня	0,979899	0,999227	1,02
y25 – Переполнение сборника	$2{,}01\times10^{-2}$	$7{,}73\times10^{-3}$	2,6
y26 – Останов цеха	$8{,}09\times10^{-3}$	$3{,}32\times10^{-4}$	24,4

Анализ проблем работоспособности

- Результаты расчета вероятности безотказного функционирования основных узлов цеха и вероятности реализации негативных событий, связанных с остановом цеха

№ п/п	Логический критерий функционирования модели (ЛКФ)		Вероятность реализации ЛКФ
	Код	Описание ЛКФ	Р (в год)
Узел № 1 – Узел компремирования природного газа			
1	y42	Обеспечение подачи природного газа в узел смешения с паром	0,992523626431
2	y52	Прекращение подачи природного газа в узел смешения с паром. Останов цеха по группе «А».	$7{,}049\times10^{-3}$
3	y64	Останов компрессора 102-J. Останов цеха по группе «В».	$3{,}136\times10^{-5}$
4	y63	Разгерметизация (выход из строя) компрессора 102-J. Останов цеха по группе «АА».	$2{,}226\times10^{-6}$

- Анализ значений частных показателей «Значимость» и «Положительный вклад» элементов в безотказность функционирования узла № 1 компремирования природного газа:

  - элементы с высокой «Значимостью»: рабочая станция оператора, компрессор 102-J, регулирующие клапана PCV-1, FCV-1, регулятор FRCA-1.

  - элементы с высоким «Положительным вкладом»: компрессор 102-J, регулирующие клапана PCV-1, FCV-1.

- Рекомендуется: повышение качества техобслуживания и регламентных работ, обеспечение резервирования и/или байпасирования для элементов с высокой «Значимостью». Замена элементов с высоким «Положительным вкладом» на элементы с более высокими показателями надежности при проведении технического перевооружения, реконструкции и др.

Анализ проблем работоспособности

Выполнен анализ результатов HAZOP на предмет идентификации отклонений технологических параметров и их причин, которые могут привести к негативным событиям, связанных с экономическими последствиями в результате внепланового останова цеха, прекращением производства аммиака или снижением качества и производительности по аммиаку.

Общее количество причин негативных событий	Распределение негативных событий по степени тяжести последствий				
	A	B	C	D	E
73	7	10	12	44	0
	Распределение причин негативных событий по содержанию				
	Останов цеха по группе «АА»	Останов цеха по группе «А»	Останов цеха по группе «В»	Прекращение выработки аммиака	Снижение качества и производительности аммиака
	7	5	5	12	44

- Выполнен анализ существующих мер защиты, предназначенных для предупреждения, своевременного обнаружения и предотвращения негативных событий;
- На основе качественного анализа достаточности предусмотренных мер защиты выработаны рекомендации, направленные на повышение работоспособности цеха

Функциональная архитектура СКПБ

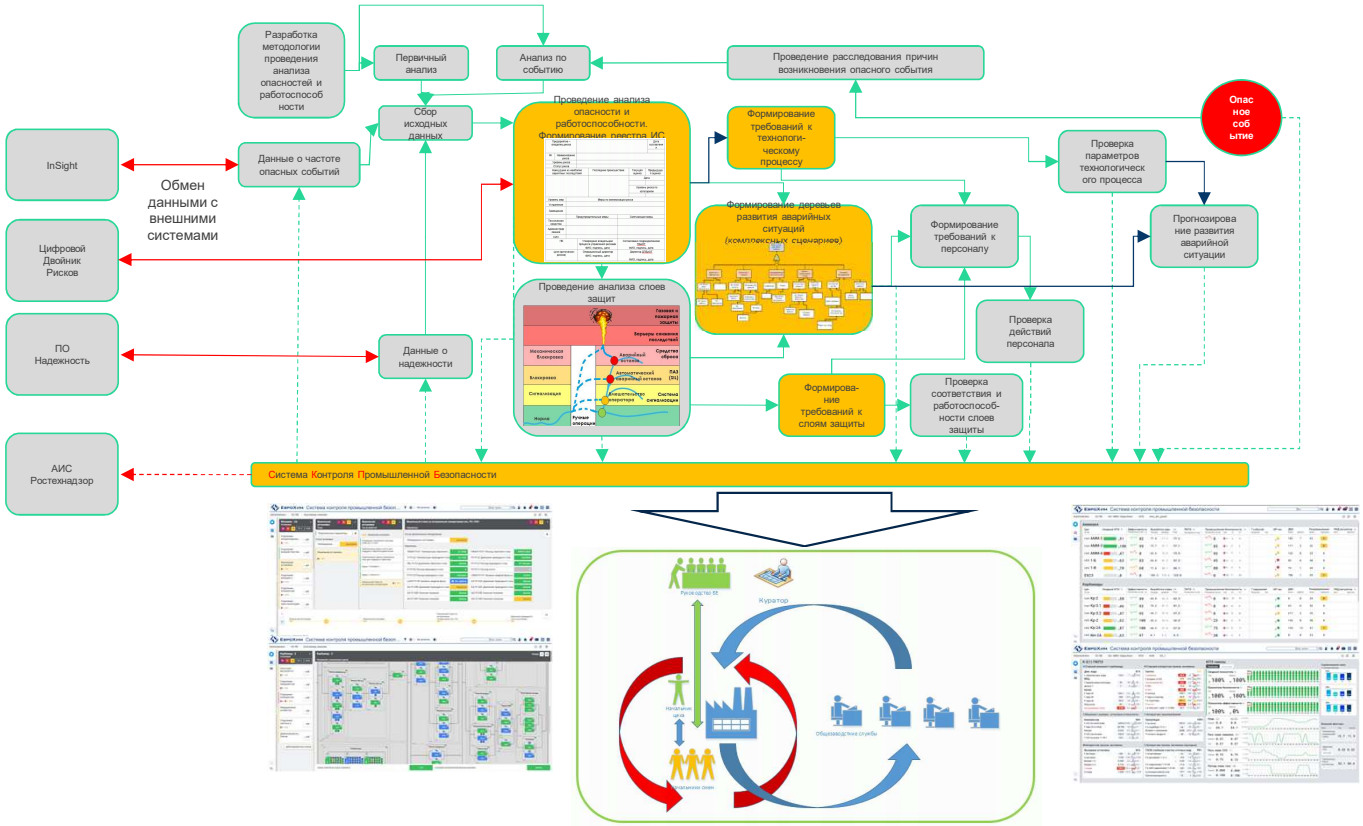
Создание системы **СКПБ** позволяет

- Реализация обмена данными с системами управления ПБ (**InSight**) и управления техническим обслуживанием и ремонтами (**ПО Надежность**), Системой анализа рисков (**Цифровой двойник рисков**)
- Реализация процесса постоянного уточнения параметров деревьев развития аварийных ситуаций, и, соответственно, точности прогнозов.
- Повышение качества ведения технологического процесса за счет уточнения технологических регламентов и инструкций, внедрения практики процедурного управления для уменьшения ручных операций персонала.
- Уменьшение вероятности проявления последствий аварийных ситуаций за счет обоснованного реинжиниринга систем ПАЗ объектов, внедрения системы управления сигнализациями (исключение эффекта «вала сигнализаций» при срабатывании блокировок)

- Результаты проведения анализа позволяют выполнить комплекс работ по формированию требований по функциональной безопасности системы ПАЗ.
- Также в процессе анализа возможен более детальный анализ проблем обеспечения непрерывности производства на ОПО.

Дополнительные эффекты от внедрения СКПБ

- Снижение количества событий
- Снижение времени реагирования на события
- Снижение регуляторной нагрузки – осуществление дистанционного надзора со стороны Ростехнадзора в рамках эксперимента по внедрению СДКПБ (ПП РФ №2415 от 31.12.2020)

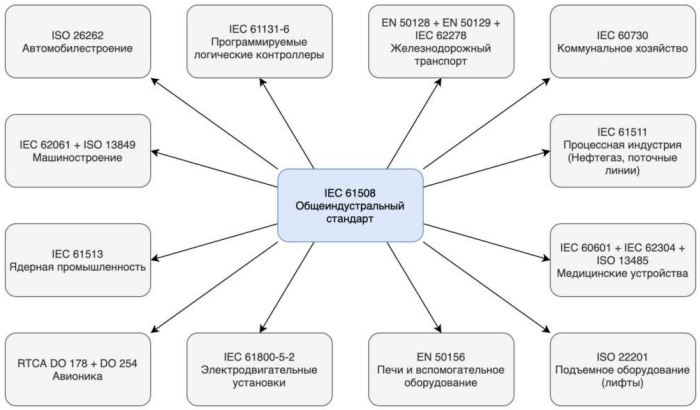


Производственная, промышленная и функциональная безопасность

Промышленная безопасность ОПО - состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий (116-ФЗ «О промышленной безопасности ОПО»)

Производственная безопасность - система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Функциональная безопасность (functional safety) – это часть общей безопасности, относящейся к процессу и системе управления, которая зависит от правильного функционирования систем, связанных с безопасностью, и других средств по снижению риска (ГОСТ Р МЭК 61508/61511).



Комплекс стандартов по функциональной безопасности

Другими словами,
функциональная безопасность:
часть общей безопасности производства,
<u>зависящая от правильного функционирования автоматических систем защит</u>.

Функциональная безопасность – это безопасность функций защит, выполняемых приборными системами безопасности.

Информационное обеспечение функциональной безопасности

Оборудование ПАЗ

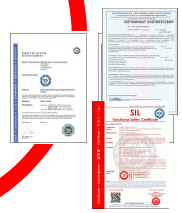
Данные для расчета

SANCTON

OREDA

TÜV Rheinland
Genau. Richtig.

exida



РФ?

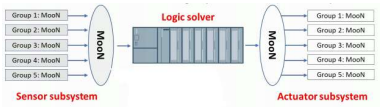
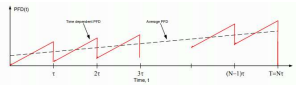
Λsd, Λsu,
Λdd, Λdu

MTTR

TI

Элемент	Структура	
Датчик	1oo2	1.1 1.2
Плата ввода	1oo2	2.1 2.2
Процессор	2oo3	3.1 3.2 3.3
Плата вывода	1oo1	4
Реле	1oo1	5
Соленоид	1oo1	6
Клапан	1oo1	7

Расчет



$$PFDavg\ (MooN) = \frac{N!}{(N-M+1)!.(M-1)!}\left\{\frac{[(1-\beta).\ Cpt.\ \lambda_{DU}.\ TI]^{N-M+1}}{N-M+2} + \frac{[(1-\beta).\ (1-Cpt).\ \lambda_{DU}.\ LT]^{N-M+1}}{N-M+2}\right\} + \frac{\beta.\ Cpt.\ \lambda_{DU}.\ TI}{2} + \frac{\beta.\ (1-Cpt).\ \lambda_{DU}.\ LT}{2}$$