

# ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Головченко С.С.<sup>1</sup>, Гительман В.С.<sup>2</sup>, Громаков Е.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8ТМ22, e-mail: ssg17@tpu.ru

<sup>2</sup> АО «ТомскНИПИнефть», отдел АСУ ТП, инженер II категории, e-mail: gitelmanvs@tomsknipi.ru

<sup>3</sup> Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru

## Аннотация

В данной работе на примере конкретного технического задания на разработку ПАЗ центробежного насоса, осуществляется проектирование и создание алгоритмов защиты динамического оборудования, применяемых с целью уменьшения риска возникновения аварийных ситуаций на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, что позволит уменьшить количество финансовых потерь предприятий, снизить процент травматизма и число жертв среди работников.

**Ключевые слова:** противоаварийная защиты (ПАЗ), авария, таблица истинности, функциональный блок (ФБ), центробежный насос.

## Введение

Основываясь на важности системы противоаварийной защиты для динамического оборудования, разрабатываемый проект направлен на решение проблемы снижения риска возникновения аварийных ситуаций, способных привести к человеческим жертвам и значительным финансовым убыткам. Это особенно актуально в контексте соблюдения требований ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [1]. Данные требования подчеркивают необходимость разработки и применения алгоритмов защиты для предотвращения внештатных ситуаций.

Алгоритмы ПАЗ представляют собой программное обеспечение, написанное на языке непрерывных функциональных схем [2] с использованием требований ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Для повышения стабильности и уменьшения сложности кода были разработаны функциональные блоки на графическом языке программирования СFC.

Представлены графики аварий объектов нефтепереработки и нефтехимии по видам технологического оборудования [3] с 2007 по 2016 гг. (рис. 1) и по проценту аварий, произошедших на таких объектах вследствие различных причин [10] за период с 2011 по 2020 гг. (рис. 2).

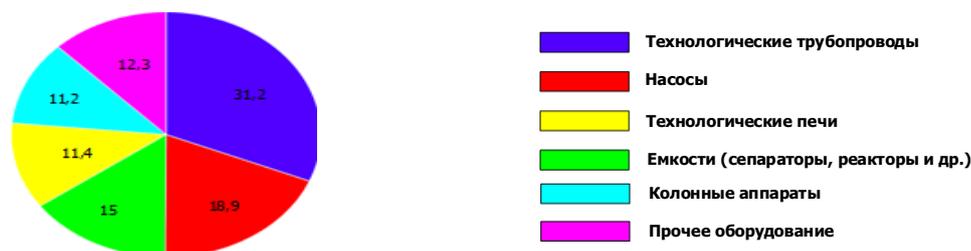


Рис. 1. График аварий по видам технологического оборудования с 2007 по 2016 гг.



Рис. 2. График аварий по различным причинам за период с 2011 по 2020 гг.

В соответствии со статистикой, динамическое насосное оборудование на предприятиях нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности занимает 2-е место по аварийности среди другого технологического оборудования (18,9 %). Процент аварий по причине разгерметизации и разрушения технических устройств составляет 52,41 %. Данная причина аварий занимает лидирующее место в статистике. Таким образом, актуальной является задача снижения аварийности, связанной с работой насосного оборудования, разрушением технических устройств. Для решения данной задачи, в соответствии с требованиями ФНиП [1] в данном проекте разработаны функциональные блоки, позволяющие реализовать систему ПАЗ насосного оборудования.

### **Разработка алгоритмов противоаварийной защиты центробежного насоса**

Поставленная задача стоит следующим образом. На особо опасном производственном объекте имеющим в своем составе блоки I и II взрывоопасности поставлен центробежный насос оснащенный комплектным оборудованием КИПиА в составе:

1. Датчик температуры переднего подшипника электродвигателя – 2 шт.
2. Датчик температуры заднего подшипника электродвигателя – 2 шт.
3. Датчик температуры обмотки (u,v,w) электродвигателя – 6 шт.
4. Датчик температуры переднего подшипника насоса – 2 шт.
5. Датчик температуры заднего подшипника насоса 2 шт.

Необходимо разработать логическую схему противоаварийной защиты (ПАЗ) с учетом требований ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Изучен и приведен список требований с ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»:

– Для взрывоопасных технологических процессов должны предусматриваться системы ПАЗ, предупреждающие возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивающие безопасную остановку или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе.

– В помещениях управления должна предусматриваться световая и звуковая сигнализация, срабатывающая при достижении предупредительных значений параметров процесса, определяющих его взрывоопасность.

– Для объектов, имеющих в составе технологические блоки I и II категорий, системы управления ПАЗ должны использовать собственные датчики.

– В дополнение к логическому контроллеру допускается предусматривать ручные средства инициирования системы ПАЗ (отдельных контуров ПАЗ), например, кнопки аварийного останова, подключенные непосредственно к контроллеру ПАЗ.

– В системах ПАЗ и управления технологическими процессами любых категорий взрывоопасности должно быть исключено их срабатывание от кратковременных сигналов нарушения нормального хода технологического процесса, в том числе и в случае переключений на резервный или аварийный источник электропитания.

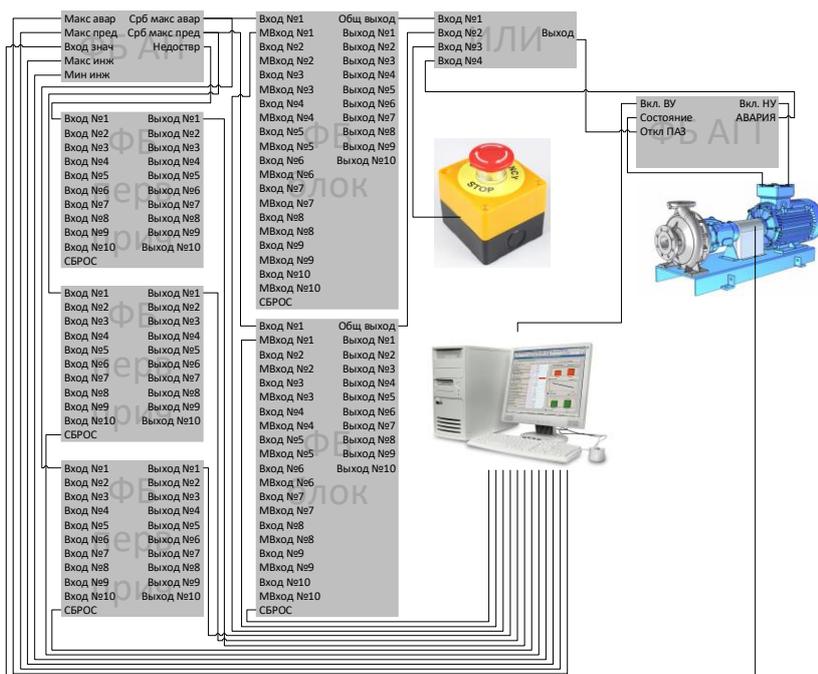
– Команды управления, сформированные алгоритмами защит (блокировок), должны иметь приоритет по отношению к любым другим командам управления технологическим оборудованием, в том числе к командам, формируемым оперативным персоналом АСУТП.

– На периоды пуска, останова и переключений технологических режимов установок при соответствующем обосновании в проектной документации (документации на техническое перевооружение) и технологических регламентах на производство продукции должны быть предусмотрены специальные алгоритмы (сценарии) работы системы ПАЗ, при которых допускается ручное или автоматическое отключение отдельных блокировок. Контроль, индикация и регистрация параметров отключению не подлежат.

– Не допускается эксплуатация компрессорных установок и насосных агрегатов при отсутствии или неисправном состоянии средств автоматизации, контроля и системы блокировок, указанных в технической документации производителя и предусмотренных конструкцией установки.

– Автоматическое определение первопричины и последовательности срабатывания системы ПАЗ.

Приведена общая схема алгоритма с одним датчиком (рис. 2).



ФБ обработки АП – функциональный блок предназначен для обработки аналогового значения.

ФБ первопричины – функциональный блок предназначен для определения исходной причины аварии.

ФБ блок блокировки – функциональный блок предназначен для обработки причин возникновения аварии.

ФБ АГТ – функциональный блок предназначен для взаимодействия с насосом.

Рис. 2. Структурная схема алгоритма ПАЗ

Приведен листинг ФБ обработки аналогового параметра (рис. 3).

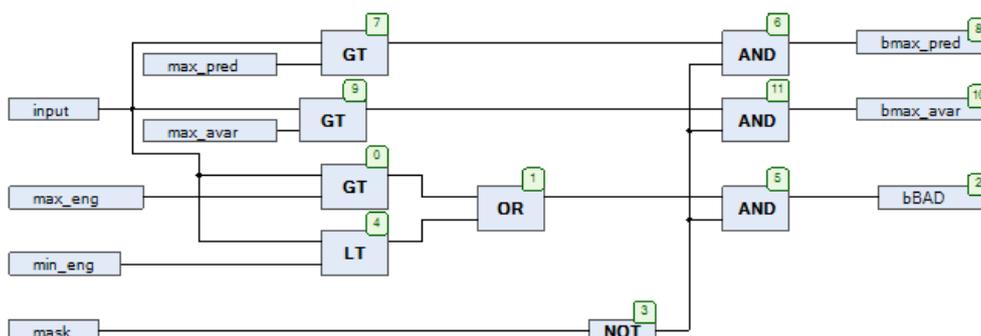


Рис. 3. Функциональный блок обработки аналогового параметра

Функциональный блок обработки аналогового параметра предназначен для обработки входного аналогового сигнала. Перечень входных и выходных сигналов блока представлен в таблице 1. Таблица истинности позволяет оценить работу алгоритма обработки аналогового параметра (Таблица 2).

Таблица 1

Перечень входных и выходных сигналов ФБ обработки аналогового параметра

Сигнал	Наименования входных сигналов	Тип сигнала
<i>Input</i>	Значение с датчика температуры на насосе	Входной
<i>max_eng</i>	Максимальное инженерное значение	Входной
<i>min_eng</i>	Минимальное инженерное значение	Входной
<i>max_avar</i>	Максимальная аварийная уставка	Входной
<i>max_pred</i>	Максимальная предупредительная уставка	Входной
<i>mask</i>	Маскирование выходных сигналов	Входной
<i>bmax_pred</i>	Сработка максимальной предупредительной уставки	Выходной
<i>bmax_avar</i>	Сработка максимальной аварийной уставки	Выходной
<i>bBad</i>	Недостоверность измерения	Выходной

Таблица истинности ФБ обработки аналогового параметра

input	max_avar	max_pred	max_eng	min_eng	mask	bmax_avar	bmax_pred	bBAD
1	85	80	150	10	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
70	85	80	150	10	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
84	85	80	150	10	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
86	85	80	150	10	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE
151	85	80	150	10	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE
151	85	80	150	10	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE

Реализован ФБ насоса (рис. 4).

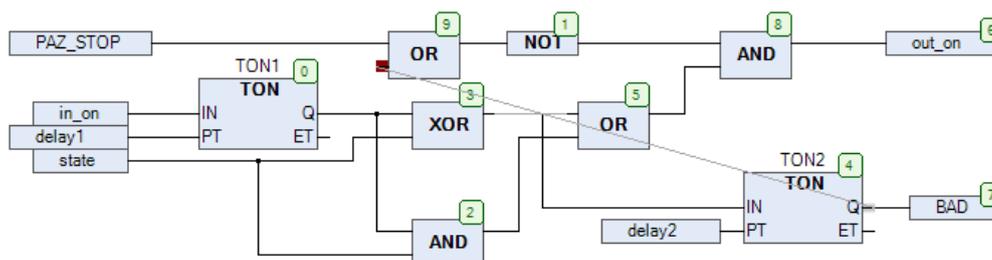


Рис. 4. Функциональный блок насосного оборудования

Функциональный блок насоса предназначен для обработки входящих команд, контроля обратной связи по состоянию насоса, взаимодействия с системой ПАЗ и выдачи команд управления на насосное оборудование. Команда *PAZ\_STOP* имеет наивысший приоритет по сравнению с *in\_on*. Перечень входных и выходных сигналов блока представлен в Таблице 3. Таблица истинности позволяет оценить работу алгоритма ФБ насоса (Таблица 4).

Таблица 3

Перечень входных и выходных сигналов ФБ насоса

Входные сигналы	Наименования входных сигналов	Тип сигнала
<i>PAZ_STOP</i>	Аварийный останов насоса с приоритетом	Входной
<i>in_on</i>	Пуск насоса	Входной
<i>state</i>	Состояние насоса	Входной
<i>delay1</i>	Время задержки для подтверждения подачи команды	Входной
<i>delay2</i>	Время задержки для ожидания состояния с насоса	Входной
<i>out_on</i>	Команда для насоса	Выходной
<i>BAD</i>	Насос в аварии	Выходной

Таблица 4

Таблица истинности ФБ насоса

in_on	state	PAZ_stop	out_on	BAD
TRUE T#2s	TRUE T#2s	FALSE	TRUE T#2s	FALSE
TRUE T#2s	TRUE T#100s	FALSE	FALSE	TRUE
TRUE T#2s	TRUE T#2s	TRUE	FALSE	FALSE

Приведен листинг ФБ определения первопричины аварии (рис. 5). Данный блок способствует определению первоначальной причины аварии. В результате на выходе ФБ вырабатывается сигнал, характеризующий первую аварийную ситуацию.

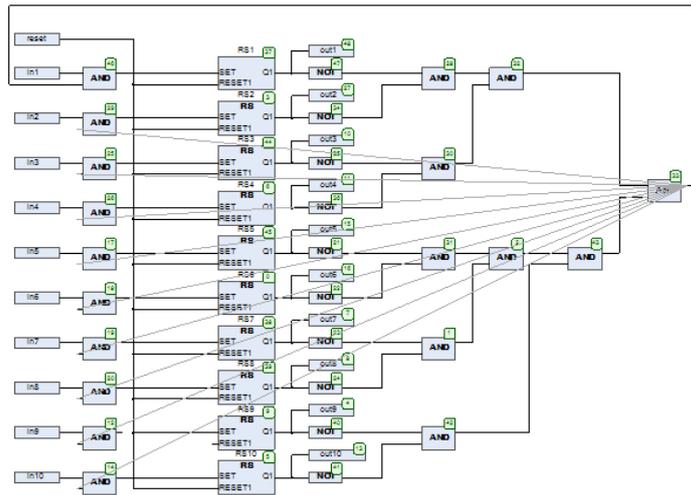


Рис. 5. Функциональный блок определения первопричины аварии

Функциональный блок определения первопричины предназначен для установления исходной причины аварии. Часть перечня входных и выходных сигналов блока представлена в таблице 5. Таблица истинности позволяет оценить работу алгоритма ФБ определения первопричины (Таблица 6).

Таблица 5

Часть перечня входных и выходных сигналов ФБ определения первопричины

Входные сигналы	Наименования входных сигналов	Тип сигнала
<i>in1</i>	Входной сигнал №1	Входной
<i>inN</i>	Входной сигнал №N	Входной
<i>reset</i>	Сброс первопричины	Входной
<i>out1</i>	Выходной сигнал №1	Выходной
<i>outN</i>	Выходной сигнал №N	Выходной

Таблица 6

Таблица истинности ФБ определения первопричины

<b>in1</b>	<b>in1msk</b>	<b>inN</b>	<b>inNmsk</b>	<b>RESET</b>	<b>out</b>	<b>out1</b>	<b>outN</b>
TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Представлен листинг ФБ блокировки насосного оборудования (рис. 6).

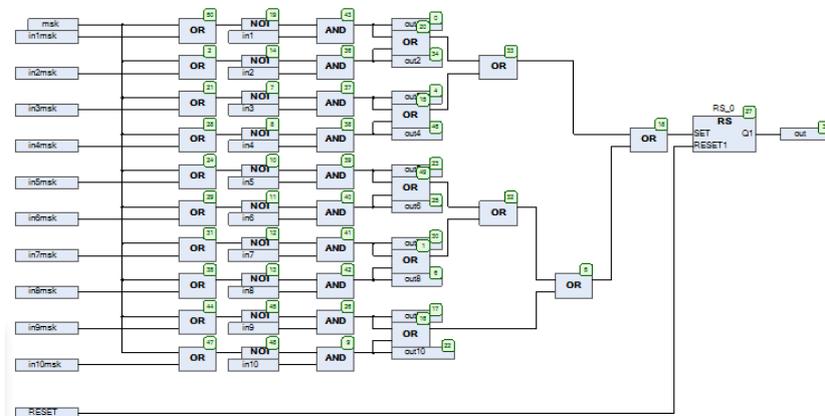


Рис. 6. Функциональный блок для блокировки насосного оборудования

ФБ блокировки насоса предназначен для отключения насосного оборудования при появлении аварийной ситуации. Часть перечня входных и выходных сигналов блока приведена в Таблице 7. Таблица истинности позволяет оценить работу алгоритма ФБ блокировки насосного оборудования (Таблица 8).

Таблица 7

*Часть перечня входных и выходных сигналов ФБ блокировки насосного оборудования*

Входные сигналы	Наименования входных сигналов	Тип сигнала
<i>in1</i>	Входной сигнал №1	Входной
<i>in1msk</i>	Маскирование входного сигнала №1	Входной
<i>inN</i>	Входной сигнал №N	Входной
<i>inNmsk</i>	Маскирование входного сигнала №N	Входной
<i>reset</i>	Сброс первопричины	Входной
<i>out1</i>	Выходной сигнал №1	Входной
<i>outN</i>	Выходной сигнал №N	Входной
<i>out</i>	Общий выходной сигнал	Входной

Таблица 8

*Таблица истинности ФБ блокировки насосного оборудования*

<b>in1</b>	<b>in2</b>	<b>in3</b>	<b>inN</b>	<b>reset</b>	<b>out1</b>	<b>out2</b>	<b>out3</b>	<b>outN</b>
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

## Заключение

В результате реализации проекта осуществлена разработка алгоритмов ПАЗ динамического оборудования в соответствии с ФНиП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» Приведена структурная схема алгоритмов ПАЗ. Разработаны функциональные блоки обработки аналогового параметра, запуска насоса, определения первопричины, блокировки насоса. Представлен разработанный программный код каждого функционального блока и таблицы истинности. Созданные алгоритмы могут быть использованы на нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводах для сокращения риска возникновения аварий, происходящих вследствие выхода из строя динамического насосного оборудования. Применение алгоритмов для защиты центробежного насоса позволит добиться сокращения финансовых убытков и травматизма, возникающих в результате аварийных ситуаций.

## Список использованных источников

1. ФНиП от 15 декабря 2020 года N 533. "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств" // Электронный фонд правовых и нормативно технических документов «Консорциум кодекс»: сайт. – 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200380?ysclid=ltmz0m19st865682096>.
2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. // М.: СОЛОН-ПРЕСС. – 2007. – 256 с.
3. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг / А.В. Краснов, З.Х. Садыкова, Д.Ю. Пережогин, И.А. Мухин // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2017. – № 6. – С. 179-191. – EDN ZXRAFT.
4. Ивушкина Е.Б. Анализ статистических данных об аварийных ситуациях на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли / Е.Б. Ивушкина, В.И. Красюков // Электронный научный журнал «Дневник науки». – 2022. – № 11. – DOI 10.51691/2541-8327\_2022\_11\_8.