

Пегушин С.Л., Шумихин А.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕДИНОЙ БАЗЫ ПРОЕКТНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ АСУТП

Надежность организационных и технических автоматизированных управляющих систем является важной составляющей их качества и необходимым условием обеспечения безопасности опасных производственных объектов нефтепереработки. Оценка надежности и ремонтпригодности автоматизированных систем управления предусмотрена национальными и международными стандартами и другими нормативными документами. Цель такой оценки – получение количественной информации о свойствах систем, необходимой для выработки и реализации обоснованных, эффективных проектных и эксплуатационных решений по обеспечению надежности и безопасности производственных объектов.

Формирование единой базы данных стадий жизненного цикла автоматизированных систем, в том числе проектных и эксплуатационных данных, например АСУТП, по отказам технических и программных средств дает возможность определить реальные показатели надежности состояния эксплуатируемого оборудования с учетом проектных решений и особенностей монтажа.

Ключевые слова: нефтепереработка, производственный процесс, автоматизированная система управления, надежность, причины и последствия отказов, анализ.

Расчет показателей надежности при эксплуатации оборудования ПАЗ следует вычислять по реальным статистическим данным.

К типовым отказам в период эксплуатации КТС ПАЗ можно отнести: отказ электроники, обрыв линии связи, метрологический отказ, заклинивание штока отсечной трубопроводной арматуры, потерю питания электрического и пневматического.

В таблице 1 приведены типовые виды причин отказов элементов системы ПАЗ, приводящие к их отказам в период эксплуатации.

Структурная модель обеспечения надежности АСУТП представлена на рис. 1.

Выражения для вычисления вероятностей отказа и безотказной работы для элементов, представленных в таблице 1, полученные на основе логических функций работоспособности (надежности), будут следующими:

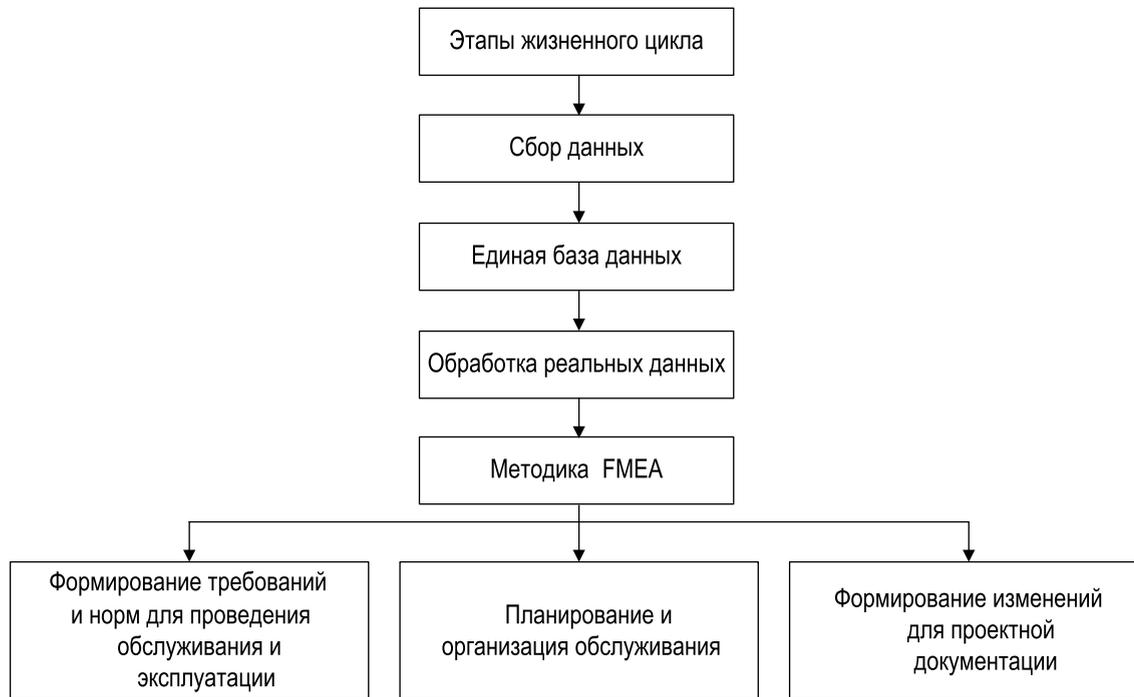


Рис. 1. Структурная модель обеспечения надежности АСУТП

Таблица 1. Виды причин отказов элементов систем ПАЗ

Элемент системы \ Причины отказа	Отказ электроники	Обрыв линии связи	Метрологический отказ	Заклинивание штока	Потеря электро- и пневмопитания
Датчик измерения	+	+	+		+
Барьер	+	+	+		+
Клапан	+	+	+	+	+
Модуль ввода/вывода	+	+	+		+
Контроллер	+	+	+		+
Блок питания	+				+

1. Для датчика:

$$Q_{\text{датчик}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_1q_4 - q_2q_3 - q_2q_4 - q_3q_4 + q_1q_2q_3 + q_1q_2q_4 + q_1q_3q_4 + q_2q_3q_4 - q_1q_2q_3q_4;$$

$$P_{\text{датчик}} = 1 - Q_{\text{датчик}} = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 + q_1q_2 + q_1q_3 + q_1q_4 + q_2q_3 + q_2q_4 + q_3q_4 - q_1q_2q_3 - q_1q_2q_4 - q_1q_3q_4 - q_2q_3q_4 + q_1q_2q_3q_4,$$

где q_1, q_2, q_3, q_4 – вероятности отказов электроники, линии связи, метрологического, отказа в результате потери питания соответственно, P – вероятность безотказной работы, Q – вероятность отказа.

2. Для барьера искрозащиты:

$$Q_{\text{барьер}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_1q_4 - q_2q_3 - q_2q_4 - q_3q_4 + q_1q_2q_3 + q_1q_2q_4 + q_1q_3q_4 + q_2q_3q_4 - q_1q_2q_3q_4;$$

$$P_{\text{барьер}} = 1 - Q_{\text{барьер}} = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 + q_1q_2 + q_1q_3 + q_1q_4 + q_2q_3 + q_2q_4 + q_3q_4 - q_1q_2q_3 - q_1q_2q_4 - q_1q_3q_4 - q_2q_3q_4 + q_1q_2q_3q_4,$$

где q_1, q_2, q_3, q_4 - вероятности отказов электроники, линии связи, метрологического, отказа в результате потери питания соответственно, P – вероятность безотказной работы, Q – вероятность отказа.

3. Для отсечного клапана с электропневматическим позиционером:

$$Q_{\text{клапан}} = q_1 \vee q_2 \vee q_3 \vee q_4 \vee q_5 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_1q_4 - q_1q_5 - q_2q_3 - q_2q_4 - q_2q_5 - q_3q_4 - q_3q_5 - q_4q_5 + q_1q_2q_3 + q_1q_2q_4 + q_1q_2q_5 + q_1q_3q_4 + q_1q_3q_5 + q_1q_4q_5 + q_2q_3q_4 + q_2q_3q_5 + q_2q_4q_5 + q_3q_4q_5 - q_1q_2q_3q_4 - q_1q_2q_3q_5 - q_1q_2q_4q_5 + q_1q_2q_3q_4q_5;$$

$$P_{\text{клапан}} = 1 - Q_{\text{клапан}} = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 + q_1q_2 + q_1q_3 + q_1q_4 + q_1q_5 + q_2q_3 + q_2q_4 + q_2q_5 + q_3q_4 + q_3q_5 + q_4q_5 - q_1q_2q_3 - q_1q_2q_4 - q_1q_2q_5 - q_1q_3q_4 - q_1q_3q_5 - q_1q_4q_5 - q_2q_3q_4 - q_2q_3q_5 - q_2q_4q_5 - q_3q_4q_5 + q_1q_2q_3q_4 + q_1q_2q_3q_5 + q_1q_2q_4q_5 - q_1q_2q_3q_4q_5,$$

где q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 - вероятности отказов электроники, линии связи, метрологического, отказа в результате потери питания, заклинивания штока соответственно, P – вероятность безотказной работы, Q – вероятность отказа.

4. Для модуля ввода/вывода:

$$Q_{I/O} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_1q_4 - q_2q_3 - q_2q_4 - q_3q_4 + q_1q_2q_3 + q_1q_2q_4 + q_1q_3q_4 + q_2q_3q_4 - q_1q_2q_3q_4;$$

$$P_{I/O} = 1 - Q_{I/O} = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 + q_1q_2 + q_1q_3 + q_1q_4 + q_2q_3 + q_2q_4 + q_3q_4 - q_1q_2q_3 - q_1q_2q_4 - q_1q_3q_4 - q_2q_3q_4 + q_1q_2q_3q_4,$$

где q_1, q_2, q_3, q_4 - вероятности отказов электроники, линии связи, метрологического, отказа в результате потери питания соответственно, P – вероятность безотказной работы, Q – вероятность отказа.

5. Для контроллера:

$$Q_{\text{контроллер}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_1q_4 - q_2q_3 - q_2q_4 - q_3q_4 + q_1q_2q_3 + q_1q_2q_4 + q_1q_3q_4 + q_2q_3q_4 - q_1q_2q_3q_4;$$

$$P_{\text{контроллер}} = 1 - Q_{\text{контроллер}} = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4 + q_1q_2 + q_1q_3 + q_1q_4 + q_2q_3 + q_2q_4 + q_3q_4 - q_1q_2q_3 - q_1q_2q_4 - q_1q_3q_4 - q_2q_3q_4 + q_1q_2q_3q_4,$$

где q_1, q_2, q_3, q_4 - вероятности отказов электроники, линии связи, метрологического, отказа в результате потери питания соответственно, P - вероятность безотказной работы, Q - вероятность отказа.

6. Для блока питания:

$$Q_{\text{питание}} = q_1 + q_2 - q_1q_2;$$

$$P_{\text{питание}} = 1 - Q_{\text{питание}} = 1 - q_1 - q_2 + q_1q_2,$$

где q_1, q_2 - вероятности отказов электроники, отказа в результате потери питания соответственно, P - вероятность безотказной работы, Q - вероятность отказа.

Для оценки надежности по статистическим данным относительная частота отказов за каждый месяц определяется по следующей формуле [1]:

$$q_i = \frac{n_i}{N},$$

где n_i - количество отказавших элементов по i -му виду отказов, N - общее количество эксплуатируемых на установке элементов.

Вероятность отказа элементов за год можно оценить на основе следующей формулы для интенсивности отказов:

$$\lambda_i = \frac{N_1 - N_2}{N_{cp} \Delta t},$$

где N_1 - количество работающих элементов в момент времени t_1 , N_2 - количество работающих элементов в момент времени t_2 , $\Delta t = t_1 - t_2$, N_{cp} - среднее количество работающих элементов, i - индекс, соответствующий типу элемента.

Вычисленная интенсивность отказов позволяет вместе с интенсивностью восстановлений планировать техническое обслуживание автоматических систем ПАЗ [2].

Вероятность отказа всех элементов КТС можно найти по формуле полной вероятности:

$$Q(A) = \sum_{K=1}^N Q(H_K) \cdot Q(A | H_K),$$

где H_1, H_2, \dots, H_K - полная группа гипотез, $Q(H)$ - вероятность отказа элемента КТС (гипотезы). Следовательно, если система включает в себя датчик измерения, барьер искрозащиты, клапан мо-

дуль ввода/вывода, контроллер, блок питания, то формула полной вероятности при условии того, что все элементы могут отказать равновероятно, будет иметь вид:

$$Q = \frac{1}{6} \cdot Q_{датчик} + \frac{1}{6} \cdot Q_{барьер} + \frac{1}{6} \cdot Q_{клапан} + \frac{1}{6} \cdot Q_{I/O} + \frac{1}{6} \cdot Q_{контроллер} + \frac{1}{6} \cdot Q_{питание};$$

Вероятность безотказной работы в этом случае равна $P = 1 - Q$.

В таблице 2 в качестве примера применения единой базы данных АСУТП представлен фрагмент расчета надежности системы ПАЗ установки 37-10 нефтеперерабатывающего производства за 12 месяцев 2010 г. с использованием данных по отказам оборудования системы.

Таблица 2. Расчет показателей надежности системы ПАЗ

Наименование оборудования	Общее количество оборудования N	Количество отказавшего оборудования n	Относительная частота (вероятность) отказов	Относительная частота (вероятность) безотказной работы	Интенсивность потока отказов	Относительная частота (вероятность) отказов в системе ПАЗ	Относительная частота (вероятность) безотказной работы системы ПАЗ	Интенсивность потока отказов системы ПАЗ
Датчики измерения давления	14	0	0	1	0	0	1	0
Датчики измерения расхода	2	0	0	1	0			
...								
Запорно-регулирующие клапаны и отсекатели	8	0	0	1	0			

Из данных таблицы 2 следует, что отказы системы ПАЗ в течение месяца отсутствуют, что можно объяснить достаточностью технического обслуживания.

Для формирования рекомендаций и норм по обслуживанию систем автоматизации можно воспользоваться методологией FMEA (анализ причин и последствий отказов). На основе таблиц FMEA оцениваются рейтинги частот возникновения отказов и их обнаружения, разрабатываются нормы по обслуживанию систем автоматизации, позволяющие повысить их надежность.

В качестве примера в таблицах 3 и 4 приведены результаты определения по методологии FMEA рейтингов частоты возникновения отказов и вероятностей их обнаружения для системы ПАЗ печи подогрева экстрактного раствора установки селективной очистки масел 37-10.

Таблица 3. Рейтинг частоты возникновения отказов

Рей- тинг	Частота возникновения	Интервал между отказами, час.	Критерий
10	Почти всегда	Менее 2	
9	Очень высокая	2 – 10	
8	Высокая	11 – 100	Простой более 8 час.
7	Достаточно высокая	101 – 400	Простой более 4 час.
6	Средняя вероятность	401 – 1000	Простой 1 – 4 час.
5	Низкая вероятность	1001 – 2000	Простой 0,5 – 1 час.
4	Редко	2001 – 3000	Простой менее 30 мин. Без потери продукции
3	Очень редко	2001 – 3000	Процесс требует регулирования
2	Единичные случаи	3001 – 6000	Процесс находится под контролем, но требуется некоторая регулировка
1	Почти никогда не возникают	6001 – 10000	Процесс находится под контролем

Таблица 4. Рейтинг вероятности обнаружения отказов

Рей- тинг	Вероятность обнаружения	Критерий
10	Практически не обнаруживается	Планово-предупредительное обслуживание (ППО) не позволяет выявить потенциальные причины отказа
9	Очень редко обнаруживается	Ничтожны шансы, что ППО позволит выявить причины отказа
8	Редко обнаруживается	Чрезвычайно малы шансы обнаружения при ППО причин отказа
7	Очень малая вероятность	Очень малы шансы обнаружения отказа при ППО
6	Малая вероятность	Малы шансы обнаружения отказа при ППО
5	Умеренная вероятность	Умеренные шансы обнаружения отказа при ППО
4	Средняя вероятность	Средние шансы обнаружения отказа при ППО
3	Высокая вероятность	Большие шансы обнаружения отказа при ППО
2	Очень высокая вероятность	Очень большие шансы обнаружения отказа при ППО
1	Практически всегда обнару- живается отказ	ППО позволяет практически всегда выявить потенциальные причины отказа

Таким образом, в статье показана целесообразность создания единой базы проектных и эксплуатационных данных по отказам технических средств систем управления и применения ее для анализа причин и последствий отказов и выработки мероприятий по их предупреждению.

Литература

1. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003 – 463 с.
2. Планирование технического обслуживания автоматических систем противоаварийной защиты производственных объектов с учетом оценки надежности и ремонтпригодности. Пегушин С.Л., Шумихин А.Г. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2012. № 14. С. 13-21.