

С.Л. Пегушин, А.Г. Шумихин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

На примере автоматической системы противоаварийной защиты (ПАЗ) автоматизированного нефтеперерабатывающего производства рассмотрена методика планирования технического обслуживания (ТО) системы ПАЗ, учитывающая надежность и ремонтпригодность, связанная с расчетом численности обслуживающего персонала и количества элементов замены в ЗИП для систем с восстановлением, формированием графика проведения ТО.

В основе методики лежит проектная оценка характеристик надежности и ремонтпригодности автоматической системы противоаварийной защиты (ПАЗ). В качестве примера применения методики рассмотрена автоматическая система ПАЗ печи технологической установки.

Фрагмент алгоритма срабатывания системы ПАЗ печи приведен на рис. 1.

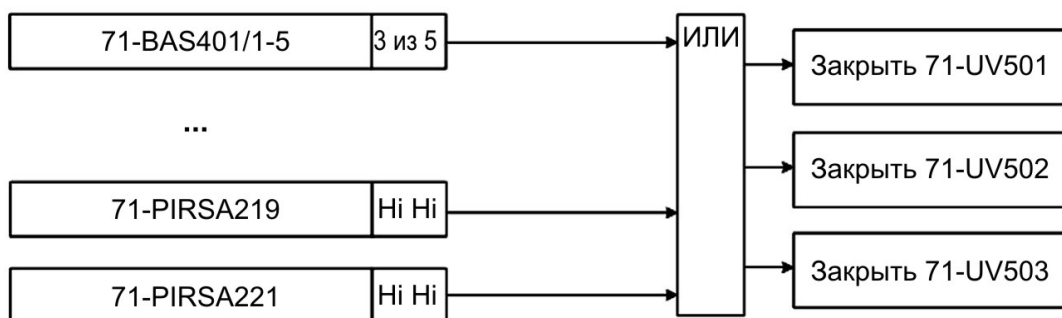


Рис. 1. Алгоритм срабатывания системы ПАЗ

Представим в виде таблицы фрагмент перечня позиций автоматической системы ПАЗ:

Наименование позиции	Дескриптор
PIRSA204	P на перевале П-2/3-1
...	...
UV506	Пар на паровую завесу

Система ПАЗ будет иметь 2^N состояний (N – количество элементов, входящих в КТС ПАЗ), т.е. в случае отказа одного из элементов КТС ПАЗ система переходит в новое состояние.

Примем ряд допущений, учитывая при этом назначение ПАЗ – обеспечение промышленной безопасности защищаемого объекта:

- ♦ система находится в работоспособном состоянии в случае, если все элементы КТС, входящие в один канал системы ПАЗ, работоспособны. В данном случае под каналом подразумевается позиция блокировки, например, PIRSA204;

- ♦ каналы системы не являются взаимозаменяемыми, т.е. каждый канал выполняет свою функцию, и если канал неисправен, то данная функция не выполняется;

- ♦ при расчете характеристик надежности системы используются характеристики надежности только элементов, входящих в структуру АСУ ТП;

- ♦ режим функционирования защищаемого объекта нормальный установившийся;

- ♦ элементы системы прошли период приработки.

Таким образом, надежность системы ПАЗ будет определяться работоспособностью каналов ПАЗ.

Можно выделить по типу канал измерения и канал воздействия. Канал измерения имеет структуру, представленную на рис. 2.

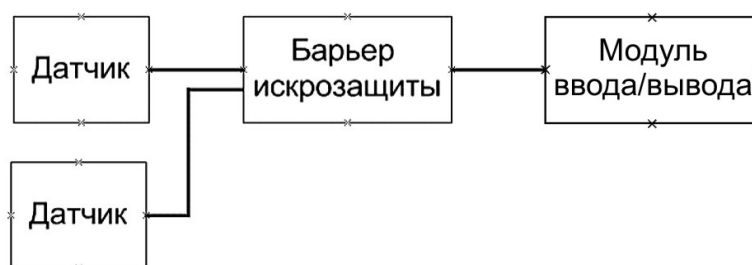


Рис. 2. Схема канала измерения

Вероятность безотказной работы канала измерения без резервирования элементов определяется следующим выражением:

$$P_{\text{изм}} = P_1 \cdot P_4 \cdot P_2 \cdot P_3 = e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} = e^{-4\lambda t},$$

где P_1, P_4 – вероятности безотказной работы датчика; P_2 – вероятность безотказной работы барьера искрозащиты; P_3 – вероятность безотказной работы модуля ввода/вывода.

Канал воздействия имеет структуру, представленную на рис. 3.



Рис. 3. Схема канала воздействия

Вероятность безотказной работы канала воздействия без резервирования определяется выражением

$$P_{\text{изм}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_4 \cdot P_3 = e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} = e^{-4\lambda t},$$

где P_1 – вероятность безотказной модуля ввода/вывода; P_2, P_4 – вероятности безотказной работы терминальной панели DO; P_3 – вероятность безотказной работы отсекаателя.

Помимо каналов измерения и воздействия необходимо учесть надежность контроллера. Как правило, на непрерывном потенциально опасном производстве всегда используют контроллер с резервированием. Вероятность безотказной работы контроллера

$$P_{\text{контр}} = e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} - e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}.$$

Необходимо учесть также надежность питания КТС системы ПАЗ (электрического, пневматического). Структурная схема питания показана на рис. 4.

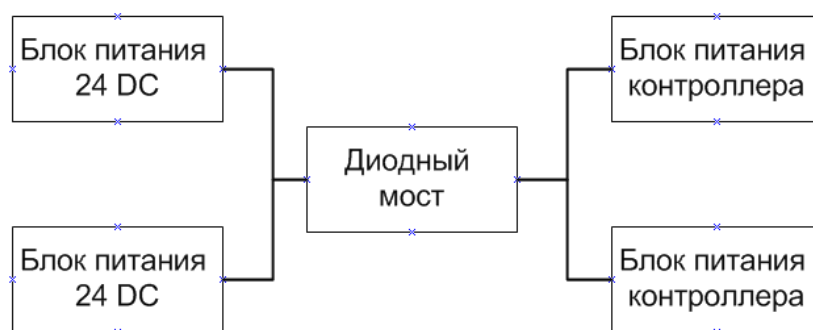


Рис. 4. Схема питания КТС

Структурной схеме электрического питания соответствует структурная схема надежности (рис. 5).

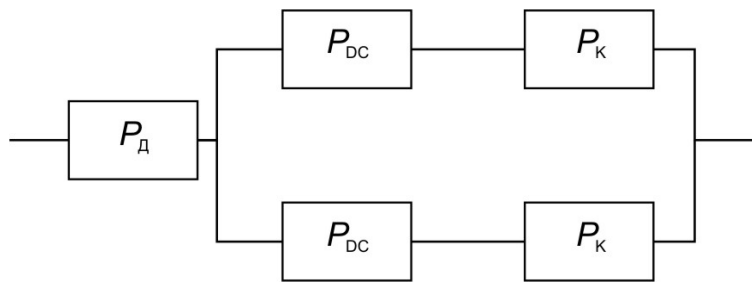


Рис. 5. Структурная схема надежности питания КТС

В соответствии со схемой надежности вероятность безотказной работы системы питания канала измерения $P_{\text{пит}}$ определяется выражением

$$P_{\text{пит}} = P_{\text{д}} \cdot (2P_{\text{DC}} - P_{\text{DC}}^2) \cdot (2P_{\text{K}} - P_{\text{K}}^2)$$

или с учетом равнонадежности элементов выражением

$$P_{\text{пит}} = (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) \cdot (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) \cdot e^{-\lambda t} = 4e^{-3\lambda t} - 4e^{-4\lambda t} + e^{-5\lambda t},$$

где $P_{\text{д}}$, P_{DC} и P_{K} – вероятности безотказной работы диодного моста, блока питания 24 DC и блока питания контроллера соответственно.

Представим в виде таблиц перечень каналов измерения и воздействия системы с указанием позиций ее аппаратуры:

Канал измерения		
PIRSA204	барьер AI	модуль AI
...		
PIRSA208	барьер AI	модуль AI

Канал воздействия		
XY220	Терминальная панель DO	модуль DO
...		
B2_OS		

В проектной документации автоматической системы ПАЗ печи установки 37–10 нефтеперерабатывающего предприятия следующие характеристики надежности и ремонтпригодности ее элементов: средняя наработка на отказ $T = 100\,000$ ч; интенсивность отказов $\lambda = 1/T = 0,00001$ ч⁻¹; среднее время восстановления $T_{\text{в}} = 0,2$ ч; интенсивность восстановления $\mu = 1/T_{\text{в}} = 5$ ч⁻¹.

В ПАЗ печи установки блокировка по погасанию пламени пилотных и основных горелок срабатывает по принципу голосования либо «два из трех», либо «три из пяти». Вероятность безотказной работы архитектуры 2003 в этом случае вычисляется в соответствии с выражением

$$P_{2003} = 3e^{-6\lambda t} - 2e^{-9\lambda t},$$

а архитектуры 3005 с выражением

$$P_{3005} = e^{-15\lambda t} + 5e^{-12\lambda t} \cdot (1 - e^{-3\lambda t}) + 10e^{-9\lambda t} \cdot (1 - e^{-3\lambda t})^2 = 10e^{-9\lambda t} - 15e^{-12\lambda t} + 6e^{-15\lambda t}.$$

Тогда вероятность безотказной работы системы ПАЗ вычисляется как

$$P = P_{\text{изм}} \cdot P_{\text{возд}} \cdot P_{\text{пит}} \cdot P_{\text{контр}} = e^{-75\lambda t} \cdot (3e^{-6\lambda t} - 2e^{-9\lambda t})^2 \times \\ \times (10e^{-9\lambda t} - 15e^{-12\lambda t} + 6e^{-15\lambda t})^2 \cdot e^{-16\lambda t} \cdot (4e^{-3\lambda t} - 4e^{-4\lambda t} + e^{-5\lambda t}) \cdot (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}).$$

Зависимость вероятности безотказной работы системы ПАЗ от времени представлена на рис. 6.

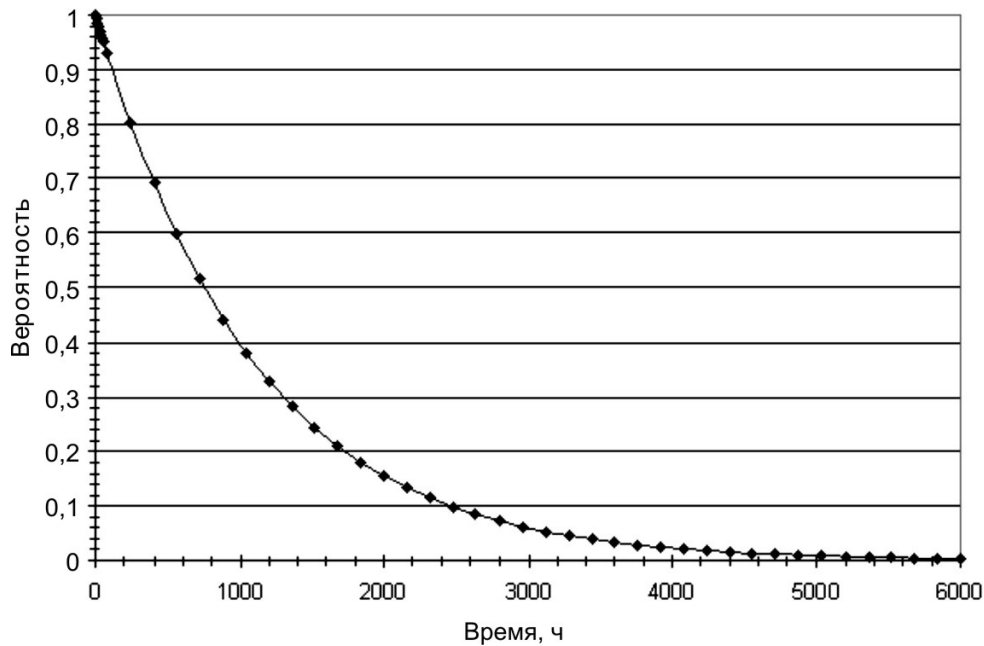


Рис. 6. Изменение вероятности безотказной работы системы ПАЗ

Средняя наработка до отказа системы

$$T = \int_0^{\infty} e^{-75\lambda t} \cdot (3e^{-6\lambda t} - 2e^{-9\lambda t})^2 \cdot (10e^{-9\lambda t} - 15e^{-12\lambda t} + 6e^{-15\lambda t})^2 \cdot e^{-16\lambda t} \times \\ \times (4e^{-3\lambda t} - 4e^{-4\lambda t} + e^{-5\lambda t}) \cdot (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = 1071,7003.$$

Интенсивность отказов системы $\lambda_{\text{сист}} = 1/T = 1/1071 = 0,0009331 \text{ ч}^{-1}$.

На рис. 7 видно, что в течение первых 56 ч вероятность безотказной работы системы снижается до 0,958. Следовательно, для поддержания минимально допустимого уровня надежности системы ПАЗ (составляет 0,95) необходимо проводить техническое обслуживание системы не реже, чем каждые три дня (с восстановлением) при необходимости. После проведения ТО условно принимается, что надежность системы повышается до 1.

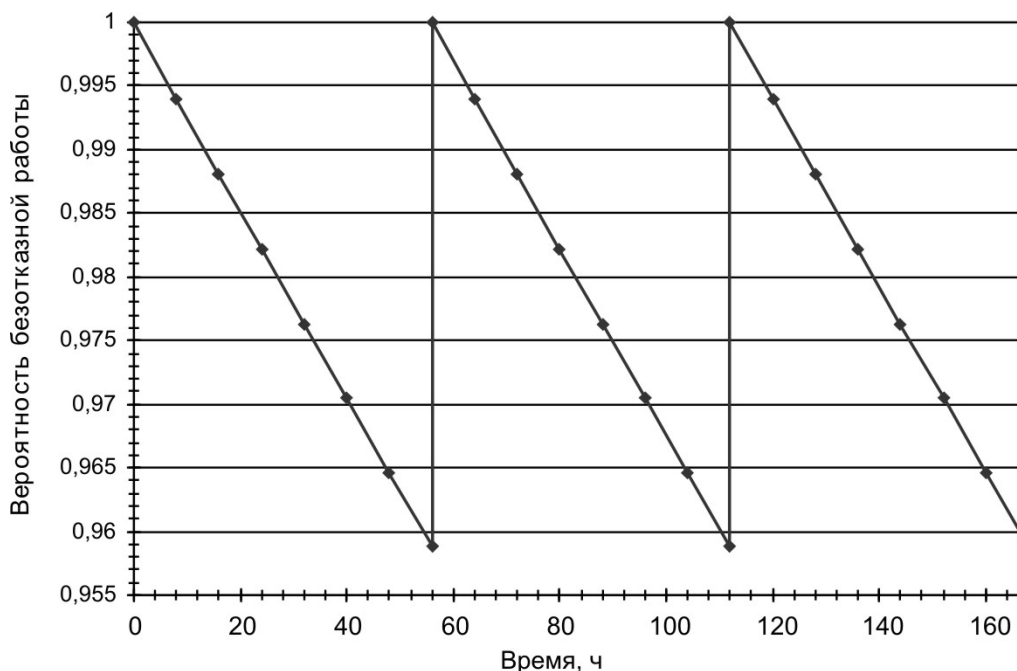


Рис. 7. Изменение вероятности безотказной работы системы с ТО

Для расчета количества необходимого оперативного обслуживающего персонала рассмотрим систему массового обслуживания, в которой интенсивность потока заявок $\lambda = 0,0009331 \text{ ч}^{-1}$ и интенсивность обслуживания $\mu = 5 \text{ ч}^{-1}$.

Для расчета характеристик выполнения заявок на обслуживание предположим, что обслуживание производится одноканальной системой массового обслуживания (СМО) с ожиданием [1]. Количество элементов для обслуживания равно трем. Длительность обслуживания – случайная величина, подчиненная показательному закону распределения. Поток обслуживаний является простейшим пуассоновским потоком событий. Заявка, поступившая в момент, когда канал занят, становится в очередь и ожидает обслуживания.

$$L_S = \sum_{n=0}^N nP_n = 0 \cdot 0,9998134 + 1 \cdot 0,00018657 + \\ + 2 \cdot 3,481 \cdot 10^{-8} + 3 \cdot 6,496 \cdot 10^{-12} = 0,00018664;$$

5) среднее время пребывания заявки в СМО

$$W_S = \frac{L_S}{\lambda(1-P_N)} = \frac{0,00018664}{0,0009331 \cdot (1-0)} = 0,200021;$$

6) средняя продолжительность пребывания заявки в очереди

$$W_q = W_S - \frac{1}{\mu} = 0,200021 - \frac{1}{5} = 0,000021;$$

7) среднее число заявок в очереди (длина очереди)

$$L_q = \lambda(1-P_N)W_q = 0,0009331 \cdot (1-0) \cdot 0,000021 = 1,96 \cdot 10^{-8}.$$

Расчет СМО показывает, что для обслуживания системы ПАЗ достаточно одного работника.

Известно [2], что количество запасных элементов замены в ЗИП напрямую влияет на надежность системы ПАЗ. Планирование и расчет сменных комплектующих изделий систем автоматизации (ЗИП) зависит от интенсивности отказов (λ), от времени пополнения ЗИП (t), требуемой его достаточности (K_d), организации снабжения и восстановления. Если, например, в ЗИП для системы имеется два элемента замены, а вероятность того, что за время t произойдет больше двух отказов, равна 0,1, то это означает, что вероятность достаточности ЗИП, обозначаемая K_d , будет равна 0,9.

Пусть поток отказов простейший пуассоновский. Тогда вероятность числа отказов n

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}.$$

Вероятность того, что число отказов за время t будет не больше m

$$P_{n \leq m}(t) = \sum_{n=0}^m \frac{(\lambda t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda t}.$$

Расчет ведется итеративно с последовательным увеличением m на единицу до достижения $P(t)$ заданного значения коэффициента достаточности K_d или больше его.

В системе ПАЗ содержится множество разнотипных элементов, поэтому необходимое количество элементов замены каждого типа рассчитывалось в отдельности. В таблице представлен фрагмент результатов расчета для случая $\lambda = 0,00001 \text{ ч}^{-1}$, $K_d = 0,95$, $t = 8760 \text{ ч}$.

**Результаты расчета количества элементов замены
в ЗИП системы ПАЗ**

Наименование	Количество	Интенсивность отказов	Количество ЗИП	Общее количество ЗИП
Датчик давления	14	0,00014	3	26
Датчик расхода	2	0,00002	1	
...				
Модуль DO	1	0,00001	1	
Барьер искрозащиты	20	0,0002	4	

Результаты расчета показывают, что необходимое количество ЗИП для рассматриваемой системы ПАЗ составляет 26 единиц.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Дрофа, 2006. – 208 с.
2. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

Получено 20.06.2012