

Практическая работа 10. Определение вероятности возникновения аварийной ситуации

Цель работы: научиться определять вероятность возникновения аварийных событий с помощью закона Пуассона.

Отказ – это нарушение работоспособного состояния технического устройства из-за прекращения функционирования или из-за резкого изменения его параметров [1].

Теория надежности позволяет оценить вероятность отказа, т. е. вероятность того, что техническое устройство выйдет из строя или прекратит функционировать в течение заданного времени работы. В современных технических системах интенсивность отказов лежит в пределах 10^{-7} – 10^{-8} 1/час.

Теория надежности позволяет оценить вероятный срок службы технического устройства, то есть время, по окончании которого техническое устройство вырабатывает свой ресурс и должно подвергнуться капитальному ремонту, модернизации или замене.

Авария технологического оборудования – это процесс, который сопровождается разрушением зданий, сооружений, технических устройств, выбросом газов, паров, жидкостей, возможным взрывом и пожаром, резким изменением технических параметров опасных производственных объектов [2]. Технологическое оборудование, размещенное в опасных производственных помещениях, можно разбить на три основных группы:

- 1) реакционные аппараты, печи, газгольдеры, промежуточные емкости, машины;
- 2) коммуникации и трубопроводы;
- 3) арматура: задвижки, краны, фланцевые и резьбовые уплотнения и т. п.

Жидкости, газы или пары жидкостей, находящиеся в технологическом оборудовании под давлением выше атмосферного или при температуре выше температуры кипения, могут попасть в помещение при нарушении целостности оборудования. В этом случае возможны различные варианты развития аварийной ситуации: через запорную арматуру будет происходить медленная утечка вещества, при разрыве трубопровода – истечение струей, при разрыве корпуса аппарата или срыве крышки – мгновенный выброс.

В каждом случае количество вещества, попавшего в помещение, может быть определено с некоторым допущением, если, например, известен диаметр трубопровода или емкость аппарата.

При медленной утечке вещества взрывоопасная или остротоксичная смесь образуется в течение времени, которого вполне достаточно для приведения в действие вытяжной вентиляции и осуществления других противоаварийных мероприятий. При разрыве трубопроводов диаметром в несколько сантиметров опасная концентрация может образоваться в течение 2–3 мин; при разрушении аппаратов или емкостей это происходит за несколько секунд.

Таким образом, всегда необходимо знать, в какой группе элементов наиболее вероятно и возможно возникновение аварийного состояния. Для этой цели применимы вероятностные методы математической статистики.

Нормативные режимы и условия работы каждой группы оборудования можно определить по техническим паспортам и другой технической документации на данное оборудование. Но в то же время эти параметры до некоторой степени являются случайной величиной. Поэтому для определения вероятности развития аварийного состояния необходимо знать плотности вероятного распределения продолжительности службы для каждой группы оборудования.

Если все оборудование цеха может стать источником выхода опасных веществ, то, следовательно, имеется K групп оборудования по n элементов. В этом случае справедлива **теорема**: при большом числе независимых элементов с малой интенсивностью отказов суммарный поток отказов будет близок к простейшему по истечении некоторого времени, независимо от законов распределения сроков службы этих элементов.

Простейшим стационарным пуассоновским потоком называется поток, обладающий следующими тремя свойствами [3]:

- ♦ **стационарностью**, если попадание того или иного числа отказов на участок времени τ зависит только от длины участка и не зависит от того, где именно на оси $0t$ расположен этот участок; если оборудование эксплуатируется на стационарном участке кривой: $\Lambda = f(\tau)$, где Λ – интенсивность отказов, то это условие выполняется;
- ♦ **отсутствием последствия**, если для любых неперекрывающихся участков времени число событий (в данном случае – отказов), попадающих на один из них, не зависит от числа событий (отказов), попадающих на другие участки;
- ♦ **ординарностью**, если вероятность попадания на элементарный участок Δt двух или более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одного события (отказа).

В случае простейшего потока событий вероятность p появления m событий в интервале времени от t до $t + \tau$ находится по закону Пуассона:

$$p(n = m) = \frac{(\Lambda\tau)^m}{m!} e^{-\Lambda\tau}, \quad (1)$$

где $\Lambda\tau$ – среднее число событий (отказов) в интервале τ ; Λ – параметр потока отказов.

В частности, вероятность того, что за интервал времени, принятый за единицу, не произойдет ни одного отказа ($m = 0$), будет равна:

$$p(0) = e^{-\Lambda\tau}. \quad (2)$$

Для экспоненциального закона плотности вероятной длительности службы одного элемента параметр Λ можно выразить через t_{cp} :

$$\Lambda = \frac{1}{t_{cp}}, \quad (3)$$

где t_{cp} – средний срок службы элемента.

Для K групп из n_1, n_2, \dots, n_k элементов, имеющих интенсивности отказов $\Lambda_1(t), \Lambda_2(t), \dots, \Lambda_n(t)$, параметр $\Lambda(t)$ составит:

$$\Lambda(t) = n_1 \Lambda_1(t) + n_2 \Lambda_2(t) + \dots + n_k \Lambda_k(t). \quad (4)$$

В соответствии с этой теоремой при средних сроках службы элементов T_1, T_2, \dots, T_k параметр потока отказов в целом по цеху будет иметь справедливый для любых законов распределения длительности службы элементов предел:

$$\Lambda = \frac{n_1}{T_1} + \frac{n_2}{T_2} + \dots + \frac{n_k}{T_k} = \frac{1}{T}. \quad (5)$$

По Λ или T можно определить вероятность $P(\tau)$ безотказной работы в течение промежутка времени τ :

$$p(0) = e^{-\frac{\tau}{T}} = e^{-\Lambda\tau}. \quad (6)$$

Таким образом, устанавливается связь между вероятностью безаварийной работы оборудования в течение времени τ , степенью наполненности помещения оборудованием и режимом работы со сроками службы. Вероятность B того, что отказ элемента m -й группы из K групп произойдет, можно оценить из выражения:

$$B_m = \frac{n_m \Lambda_m}{n_1 \Lambda_1 + n_2 \Lambda_2 + \dots + n_k \Lambda_k}. \quad (7)$$

Необходимо отметить, что такой качественный метод определения места возможной аварии не исключает другие методы.

Для эффективного использования описанного метода требуется количественное уточнение режима работы оборудования, сроков его службы, а также коэффициентов запаса.

Пример 1. Рассчитать вероятность отказа сложного технологического оборудования в цехе промышленного предприятия:

Дано:

- 1) емкости I – 10 шт., средний срок службы – 50 лет;
- 2) емкости II – 20 шт., средний срок службы – 100 лет;
- 3) трубопроводы – 100 пог. м, условный средний срок службы 1 пог. м – 200 лет.

Решение

$$\Lambda = \frac{1}{T} = \frac{n_1}{T_1} + \frac{n_2}{T_2} + \frac{n_3}{T_3} = \frac{10}{50} + \frac{20}{100} + \frac{100}{200} = \frac{9}{10}.$$

Параметр потока отказов в целом цехе определится по уравнению:

Для времени $\tau = 0,5$ года вероятность $p_0(\tau)$ безаварийной работы составит:

$$p_0(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T}} = e^{-\frac{0,5 \cdot 9}{10}} = 0,63.$$

Вероятность того, что выход газа произойдет из m -й группы оборудования, можно определить из уравнения:

$$B_{m_1} = \frac{n_1 \Lambda_1}{n_1 \Lambda_1 + n_2 \Lambda_2 + n_3 \Lambda_3} = \frac{10 \cdot 1/5}{10 \cdot 1/5 + 20 \cdot 1/5 + 100 \cdot 1/2} \approx 0,0357;$$

$$B_{m_2} = \frac{n_2 \Lambda_2}{n_1 \Lambda_1 + n_2 \Lambda_2 + n_3 \Lambda_3} = \frac{20 \cdot 1/5}{10 \cdot 1/5 + 20 \cdot 1/5 + 100 \cdot 1/2} \approx 0,0714;$$

$$B_{m_3} = \frac{n_3 \Lambda_3}{n_1 \Lambda_1 + n_2 \Lambda_2 + n_3 \Lambda_3} = \frac{100 \cdot 1/2}{10 \cdot 1/5 + 20 \cdot 1/5 + 100 \cdot 1/2} \approx 0,893.$$

Вывод: наиболее вероятным источником образования взрывоопасной смеси в данном цехе при аварии оборудования следует считать трубопроводы.

Задача 1. В цехе, отнесенном по пожарной опасности к категории А [3], взрывоопасные газообразные продукты находятся в следу-

ющем технологическом оборудовании:

- ◇ емкости I объемом 50 м^3 в количестве n_1 шт.; средний срок службы T_1 лет;
- ◇ емкости II объемом 25 м^3 в количестве n_2 шт.; средний срок службы T_2 лет;
- ◇ трубопроводы диаметром 250 мм, общая длина n_3 пог. м; условный средний срок службы 1 пог. м – T_3 лет.

Оценить вероятный аварийный выход газа в атмосферу помещения цеха за время между ревизиями оборудования (т. е. в течение 6 мес.). Варианты заданий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты заданий к задаче 1.2.1

Вариант	Емкости I		Емкости II		Трубопроводы	
	Количество	Средний срок службы, лет	Количество	Средний срок службы, лет	Длина, пог. м	Средний срок службы, лет/пог. м
1	20	60	10	100	50	200
2	12	80	25	75	100	150
3	15	75	18	80	100	200
4	8	60	22	100	160	250
5	16	90	19	75	190	220
6	24	90	14	70	120	220
7	16	55	15	85	120	200
8	18	85	21	100	140	190
9	20	75	18	70	80	150
10	11	100	24	55	60	250
11	13	70	20	50	125	180
12	15	65	22	50	90	270
13	23	70	19	90	75	160
14	16	50	17	55	60	150
15	17	60	15	60	140	250
16	14	65	10	80	80	210
17	20	75	18	80	130	240
18	12	65	17	60	110	200
19	15	55	21	70	120	250
20	18	100	20	75	75	200
21	12	95	16	65	95	260
22	23	80	15	80	60	180
23	18	70	16	90	50	240
24	10	95	13	50	80	230

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Хенли Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М. : Машиностроение, 1984. 528 с.
2. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. М.: Академия, 2003. 512 с.
3. Русак О. Н. Теоретические начала безопасности жизнедеятельности. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций. СПб., 1993. 85 с.