

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

---

---

## АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ

**И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент;  
С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проводится анализ последствий отказов технологических систем для выявления потенциально опасных элементов организации пожарной безопасности. Предлагается в расчете пожарного риска учитывать показатели надежности.

*Ключевые слова:* эффективность, надежность, интенсивность отказов

Для оценки эффективности и достаточности принятых мер по обеспечению пожарной безопасности процессов, аппаратов и технологий (ПАТ) необходимо производить качественный и количественный их анализ по показателям надежности [1]. Указанный анализ позволяет определить последствия отказа отдельных элементов, возможные причины отказа ПАТ и их влияние на пожарную безопасность системы в целом.

Цель анализа состоит в том, чтобы выработать обоснованные, с точки зрения количественных и качественных показателей, рекомендации по обеспечению пожарной безопасности по следующим основным направлениям [2]:

- снижению частоты отказов системы с целью снижения вероятности возникновения пожарной опасности;
- исключению различных видов зависимостей элементов систем и их отказов на уровень пожарной безопасности;
- снижению или предотвращению отказов системы из-за нарушения правил эксплуатации, которые способствуют возникновению взрывопожарной ситуации;
- порядку (регламенту, периоду, объему и содержанию) проверок работоспособности и состояния технологических систем и их элементов, оказывающих влияние на вероятность возникновения взрывопожарной ситуации;
- допустимой продолжительности работы технологических систем и ее элементов по срокам нахождения в эксплуатации без риска создания пожароопасной ситуации в результате отказа (износа) элементов технологической системы.

Выбор способа достижения пожарной безопасности должен основываться на системном анализе значимости влияющих факторов пожара численных показателей надежности и их изменения.

Качественный анализ пожарной опасности технологических систем включает следующие этапы:

- определение границ технологической системы, наличие взрывопожароопасных элементов и критериев отказа;
- классификацию по взрывопожарной опасности элементов и системы, их анализ;
- определение вероятных отказов от различных опасных факторов пожара;

- определение последствий отказов элементов системы на вероятность возникновения взрывоопасной обстановки (ситуации);
- анализ структуры технологической системы и выявление наиболее опасных звеньев, влияющих на пожарную опасность и требующих наиболее тщательного контроля.

При анализе пожарной опасности элементов технологической системы необходимо рассмотреть:

- принцип действия;
- срок службы;
- вид и причины отказов элементов;
- характер контроля технического состояния элементов системы в процессе эксплуатации.

По принципу действия элементы системы различают на *пассивные*, которые часто рассматриваются как абсолютно надежные, и *активные*, режим функционирования которых включает: ожидание и режим работы. В режиме ожидания система находится в постоянной готовности и для поддержания работоспособности элементов системы требуется их проверка или восстановление.

По продолжительности режима работы следует различать элементы системы длительного действия  $T_p$  и кратковременного действия, для которых при количественной оценке надежности принимаются  $T_p \approx 0$  и которая рассматривается в режиме ожидания.

Элементы технологических систем различают по характеру контроля их состояния: *контролируемые*, *периодически контролируемые* и *непрерывно контролируемые*. Отказ элемента может произойти в режиме работы или в режиме ожидания. Среди отказов в режиме ожидания различают: отказы функционированные и ложные срабатывания, выявляемые и скрытые. Например, отказы теплообменника могут быть связаны с негерметичностью трубной системы или ее загрязнением.

Для выявления потенциально опасных элементов и организации пожарной безопасности от них проводится анализ последствий отказов, который состоит из двух этапов.

На первом этапе анализируются последствия отказов элементов системы в режиме ожидания с точки зрения влияния отказов элементов на процесс нормальной (нормативной) эксплуатации системы. На втором этапе определяются последствия для системы возникновения одного или более отказов элементов.

Анализ специальной литературы показывает, что надежность целесообразно оценивать обобщенным показателем, называемым коэффициентом сохранения эффективности  $W_{об}$ :

$$W_{об} = \frac{W}{W_0},$$

где  $W$  – полезный эффект от применения аппаратуры, имеющий обеспечиваемый уровень надежности;  $W_0$  – полезный эффект от применения аппаратуры при условии, что неисправности в ней, в течение срока службы, отсутствуют.

Однако численно определить значение  $W_{об}$  достаточно трудно, из-за неопределенности значений  $W$ ,  $W_0$ . Ряд нормативных и руководящих документов ориентирован на оценку надежности опытных образцов техники по результатам предварительных испытаний, проводимых организациями-разработчиками. В ряде случаев предлагается оценивать надежность изделий на данной стадии их жизненного цикла путем расчета некоторого комплексного показателя, именуемого коэффициентом готовности, рассчитываемого по формуле:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_b}, \quad (1)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ;  $T_b$  – среднее время восстановления.

При этом для определения ( $T_0$ ) вводится система ограничений:

- все элементы конструкции, с точки зрения надежности, считаются соединенными последовательно, то есть отказ любого элемента приводит к отказу всего образца;
- отказы элементов есть события независимые;
- поток отказов в образце считается простейшим;
- однотипные элементы предполагаются равно надежными;
- в структуру расчета входят только те элементы, которые непосредственно влияют на функционирование образца в заданном режиме работы;
- однотипные элементы, находящиеся при одинаковых (близких) температурных и электрических условиях работы, объединяются в одну группу.

В качестве исходных данных используются:

- перечень применяемых компонентов, их количество;
- температура окружающей среды;
- фактическое значение параметра, определяющего надежность и конструктивную характеристику элемента.

Для определения ( $T_B$ ) используются статистические данные, полученные по изделиям – прототипам.

Однако практика проведения расчетов по выражению (1) показывает, что при сравнении опытных образцов по данному комплексному показателю заказчиком, получается необъективная оценка, в следствии  $T_B \ll T_0$  и окончательного усреднения данного комплексного показателя. Также данный показатель носит вероятностный характер, а другие базовые составляющие комплексного показателя технического уровня имеют невероятностный характер.

Надежность любого элемента представляют собой комплексное составное свойство, которое состоит из простых качественных свойств [3]: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. В дальнейшем рассматривается в основном безотказность, которая представляет собой свойства системы соответственно непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторой наработки и быть приспособленным к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта [4].

В качестве показателей безотказности элемента системы используются вероятность отказа  $P_{отк}(t)$  или вероятность безотказной работы  $P_{бот}(t)$  его на интервале  $(0,t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$  в момент  $t$  и средняя наработка до отказа  $T_{ср}$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  как функция наработки имеет характерный вид кривой, представленный на рисунке.

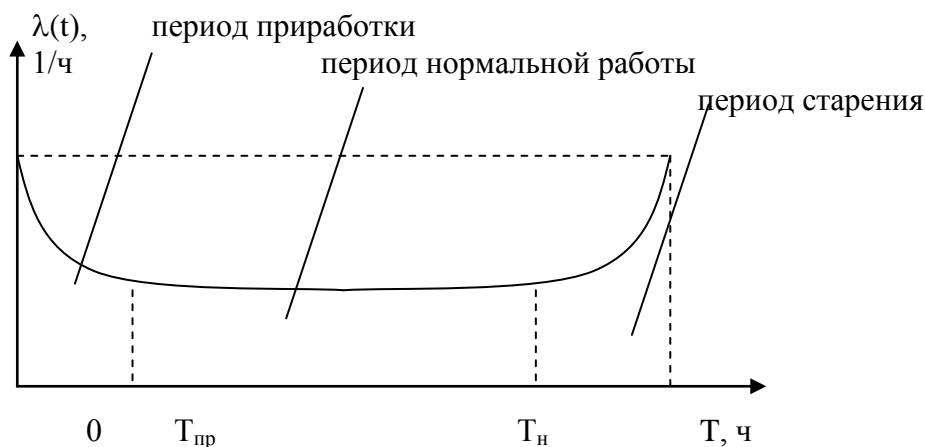


Рис. Зависимость интенсивности отказов элемента от наработки ( $T_{пр}$  – время приработки,  $T_n$  – время нормальной работы элемента)

Интенсивность отказов независимых высоконадежных элементов технологической системы на заданном интервале времени приближенно могут рассматриваться как несовместимые события, а вероятность отказа хотя бы одного из них может рассчитываться по формуле:

$$P(t) \approx \sum p_i(t) \text{ в интервале } (0,t).$$

Выполненная оценка надежности системы безопасности технологической линии в режиме функционирования позволяет оценить как активные, так и пассивные элементы. И далее, безотказность технологической системы с параллельным соединением элементов значительно выше безотказности отдельного элемента. Кроме того, в этом случае надежная система безопасности может быть построена из относительно ненадежных элементов при соответствующем их резервировании.

В качестве показателей надежности технологических систем с точки зрения пожарной безопасности следует рассматривать вероятность отказа, то есть пребывание системы в неработоспособном состоянии и отказе в заданном интервале времени определяется по формуле:

$$P_{\text{отк}}(t) = \lambda_i \cdot P_i(t),$$

где  $P_{\text{отк}}(t)$  – вероятная интенсивность аварии с отказом технологической системы;  $\lambda_i$  – интенсивность возникновения отказа  $i$ -го элемента системы;  $P_i(t)$  – вероятность отказа  $i$ -ых технологических систем.

Однако данный показатель также представляет собой вероятность, в то время как другие базовые составляющие комплексного показателя технического уровня имеют невероятный характер.

Поэтому для комплексной оценки надежности разрабатываемых образцов, которую можно было бы с некоторой степенью достаточности использовать в системе базовых составляющих, определяющих технический уровень, предлагается применять только показатель  $T_0$ . При этом для соизмеримости масштаба с другими базовыми составляющими необходимо ввести критерий относительности, в качестве которого может выступать  $T_0$  изделия – прототипа или лучшего опытного образца, представленного на конкурс-тендер (то есть у которого  $T_0$  имеет максимальное значение). Тогда окончательная оценка надежности будет иметь следующий вид:

$$T_0^* = \frac{T_0}{T_{0\text{ан}}},$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ разработанного образца;  $T_{0\text{ан}}$  – средняя наработка на отказ изделия – прототипа (лучшего опытного образца из представленных на конкурс).

При этом средняя наработка на отказ изделия определяется через сумму интенсивности отказов составляющих его элементов  $\Lambda$  и определяется следующим образом:

$$T_0 = \frac{1}{\Lambda}$$

При рассмотрении вопроса о повышении надежности выполнения функции пожарной безопасности основной исполнительской технической системы определенное внимание должно быть уделено обеспечению вспомогательными системами, особенно в период эксплуатации, без которых невозможно нормальное функционирование основной технологической системы [5].

В СП 12.13130.2009 [6] при определении категории наружных установок по пожарной опасности говорится, что наружная установка относится к категории АН если величина

пожарного риска при возможном сгорании горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки не более 28 °С с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки. Поэтому целесообразно в расчете пожарного риска также учесть показатели надежности [7]. Так если в период нормальной работы технологического оборудования интенсивность отказов имеет постоянное значение, то на этапах приработки и старения она разная. Тогда целесообразно собрать статистические данные интенсивностей отказов по видам технологического оборудования, вывести аналитические зависимости и учитывать их при расчете пожарного риска.

### **Литература**

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Способ расчета показателя надежности образца пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. 13 апр. 2017 г. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 215–218.
2. Иванов А.В., Михайлова В.И., Скрипник И.Л. Повышение надежности пожарной техники в условиях теплового воздействия при горении нефтепродуктов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. 13 апр. 2017 г. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 91–94.
3. ГОСТ 27.003-90 ССБТ. Состав и общие правила задания требований по надежности. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. Анализ рисков поражения людей электрическим током и возникновения пожара в различных схемах электроснабжения здания / И.Л. Скрипник [и др.] // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2017. № 4 (166). С. 35–44.
5. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Способ расчета показателя приспособленности образца к прогрессивной технологии производства // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. 13 апр. 2017 г. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 213–215.
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из электронного фонда «ТехЭксперт».
7. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные подходы повышения эффективности разработок образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. 13 апр. 2017 г. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 224–226.

