

Оценка надежности работы системы извещения о пожаре

А. А. Ахмедова^{id}, Т. Г. Шевцова*^{id}, Р. В. Котляров^{id}, А. Н. Кроль^{id}

Дата поступления в редакцию: 26.09.2018
Дата принятия в печать: 28.12.2018

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

*e-mail: shevcova-t@yandex.ru



© А. А. Ахмедова, Т. Г. Шевцова, Р. В. Котляров, А. Н. Кроль, 2018

Аннотация. Повышение безопасности жизнедеятельности человека является одной из основных задач научно-технического прогресса. Опасная ситуация возникает при нахождении человека в опасной зоне, т.е. в пространстве, где постоянно, периодически или эпизодически возникают ситуации, обусловленные факторами, приводящими к постепенному или мгновенному повреждению здоровья человека. Одной из таких ситуаций является возникновение пожара. Безопасность технических систем неразрывно связана с их надежностью. В противопожарной автоматике основная цель проведения расчета надежности – определение вероятности безотказной работы оборудования системы с последующим использованием полученного значения в расчете индивидуального пожарного риска. Одна из особенностей определения надежности автоматизированных систем – это серьезное различие между показателями надежности основных элементов системы и системы автоматике в целом. Чем сложнее система, тем она менее надежна. В статье рассмотрены основные проблемы, приводящие к потере работоспособности отдельных элементов оборудования систем технической безопасности; сформулированы задачи и методы оценки их надежности. Объектом исследования является система пожарной безопасности производственного здания, в состав которой входят: система автоматической пожарной сигнализации и система оповещения и управления эвакуацией людей. Приведен пример расчета надежности для системы автоматической пожарной сигнализации, по результатам которого сделаны выводы и предложены пути совершенствования существующей системы. Результаты исследований обработаны и представлены основными показателями надежности системы, которыми являются интенсивность отказов и вероятность безотказной работы отдельных элементов оборудования и системы в целом. Установлено, что введение ручного извещателя в систему резервирования тепловых и дымовых пожарных извещателей позволяет снизить интенсивность отказов системы, увеличить среднее время безотказной работы. Таким образом, улучшены показатели надежности системы, за счет чего может быть повышена безопасность зданий.

Ключевые слова. Техническая безопасность, надежность, система пожарной сигнализации

Для цитирования: Оценка надежности работы системы извещения о пожаре / Ахмедова А. А., Шевцова Т. Г., Котляров Р. В. [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 4. – С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-79-86>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/>

Estimation of Reliability of Fire Alarm System

A.A. Akhmedova^{id}, T.G. Shevtsova*^{id}, R.V. Kotliarov^{id}, A.N. Krol^{id}

Received: September 26, 2018
Accepted: December 28, 2018

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

*e-mail: shevcova-t@yandex.ru



© A.A. Akhmedova, T.G. Shevtsova, R.V. Kotliarov, A.N. Krol, 2018

Abstract. Improving the safety of human life is one of the main tasks of scientific and technological progress. A dangerous situation occurs when a person is in a dangerous area, i.e. in a space where constantly, periodically, or occasionally there are situations caused by factors that lead to gradual or instantaneous damage to human health. Fire is one of these situations. The safety of technical systems is solidly linked to their reliability. In firefighting automation, the main purpose of calculating reliability is to determine the probability of failure-free operation of the equipment of the system. The value obtained is subsequently used to calculate individual fire risk. To ensure technical safety, it is a universal practice to use system approach and system analysis, which allows us to consider technical security as a system. One of the specific characters of determining the reliability of computer-aided systems is the difference between the reliability indicators of the main elements of the system and the automation system as a whole. The more complex the system, the less reliable it is. The article considers the main problems leading to the efficiency loss of particular items of equipment included in the technical safety systems and formulates the tasks and methods for their reliability assessment. The research features the fire safety system of an industrial building, which includes an automatic fire alarm system and a warning and evacuation system. The paper contains an example of calculating the reliability for an automatic fire alarm system. The authors propose some ways of improving the existing system. The results are processed and presented by the main indicators of system reliability, which are the failure rate and the failure-free operation probability for particular items of equipment and the system as a whole. The research revealed that a manual detector, used as a standby item in the system of thermal and smoke fire detectors,

makes it possible to reduce the failure rate of the system and increase the average time of failure-free operation. Thus, it improves the indicators of the system reliability and increases the safety of industrial buildings.

Keywords. Technical safety, reliability, fire alarm system

For citation: Akhmedova A.A., Shevtsova T.G., Kotliarov R.V., abd Krol A.N. Estimation of Reliability of Fire Alarm System. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 4, pp. 79–86. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-79-86>.

Введение

Автоматическая пожарная сигнализация (АПС) представляет собой совокупность технических устройств, которая выполняет следующие функции: обнаружение и извещение о пожаре, формирование управляющих сигналов включения автоматических средств пожаротушения. К основным задачам АПС относят: идентификацию первичных признаков пожара и очагов возгорания; обработку в приемно-контрольных пожарных устройствах сигналов, поступающих от пожарных извещателей; формирование управляющих сигналов для устройств пожарной автоматики; передачу управляющих сигналов в системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), дымоудаления и автоматического пожаротушения; передачу сигналов на пульт дежурного персонала.

Структура АПС формируется на основе приемно-контрольной панели, к которой подключены извещатели (пожарные, охранные), оповещатели (световые, звуковые), модуль связи с дежурным персоналом или пожарной частью. Вызов пожарного подразделения в ручном режиме осуществляется с помощью кнопки экстренного вызова. Датчики в составе АПС реагируют на события,

свидетельствующие о возникновении пожара: наличие открытого пламени, рост температуры, рост концентрации дымовых газов в воздухе.

Надежность АПС и СОУЭ – необходимое условие их безопасного функционирования [1]. Надежность является основным эксплуатационно-техническим свойством систем, а ее показатели – мерой качества функционирования системы. Надежность системы можно оценить с помощью аналитической или вероятностной модели. Основное условие построения аналитической модели – наличие структуры системы и логической схемы ее функционирования [2–5]. В зависимости от этого будет строиться модель надежности технической системы и будет зависеть результат оценивания показателя, а, следовательно, и принятие решений. На этапах испытаний и эксплуатации системы источником информации о системе и ее свойствах становятся реальный объект и условия функционирования. Получаемые данные представляют собой результаты случайной выборки и оценки показателей надежности с помощью методов статистической теории надежности [6–9].

Целью работы является повышение безопасности производственного помещения путем модернизации

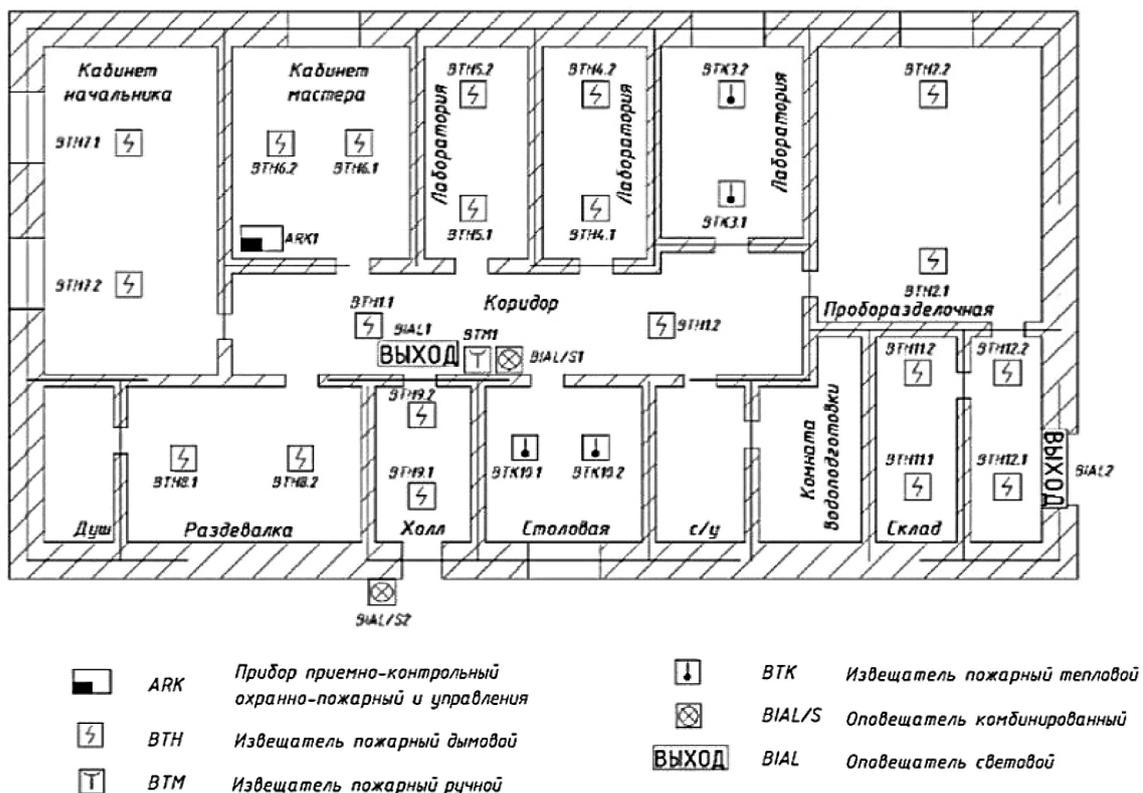


Рисунок 1 – План расположения оборудования АПС и СОУЭ

Figure 1 – Location of the automatic fire alarm system and the system of warning and evacuation

системы пожарной безопасности, в состав которой входят система автоматической пожарной сигнализации и система оповещения и управления эвакуацией людей.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является система пожарной безопасности производственного здания общей площадью 128 м², в состав которой входят система автоматической пожарной сигнализации (АПС), система оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ). Предметом исследования является надежность действующей системы пожарной безопасности.

План расположения оборудования АПС и СОУЭ показан на рисунке 1.

ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения» [10] устанавливает задачи расчета надежности системы противопожарной автоматики. Во-первых, расчет показателей надежности элементов системы и надежности системы в целом. Во-вторых, установление соответствия полученных значений показателей надежности системы заданным требованиям. В-третьих, выбор варианта рационального построения схемы, обоснованного с учетом полученных показателей надежности.

Чаще всего проектная документация АПС и СОУЭ не содержит расчета надежности. Только очень крупные компании проводят расчет на этапе «Рабочая документация» с целью определения структурно-конструктивного построения системы для оптимизации ее технического обслуживания. Расчет надежности служит серьезным основанием при проведении технического обслуживания системы и позволяет экономить ресурсы на этапе создания системы и последующей эксплуатации [7].

Методика расчета надежности, указанная в документе РНД 73-16-90 «Методика по расчету показателей надежности системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей при пожаре» [11], позволяет определить общую последовательность расчета надежности. Также необходимо учитывать ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения» [10]. В результате рекомендованы следующие этапы оценки надежности:

1. Изучение системы, которую необходимо рассчитать, сбор необходимых данных и идентификация системы;
2. Постановка цели и задач расчетов, определение значений расчетных показателей надежности;
3. Выбор методик расчета, которые учитывают особенности системы, цели расчета, исходную информацию и другие данные, необходимые для расчета;
4. Формирование расчетных моделей для определения значений показателей надежности;
5. Расчет значений показателей надежности и их сравнение с требуемыми.

К основным показателям надежности системы относят интенсивность отказов и вероятность

безотказной работы элементов системы и системы в целом. Интенсивность отказов i -го элемента (λ_i) – величина, обратно пропорциональная времени наработки на отказ (T_0):

$$\lambda = \frac{1}{T_0}. \quad (1)$$

Основная цель расчета заключается в определении указанных показателей надежности технического оборудования системы. Данные показатели могут быть положены в основу дальнейшей оптимизации технического обслуживания рассматриваемой системы, а также использованы для установления уровня риска [5] и применены как критерий обоснования усовершенствования системы.

Функциональное назначение системы позволяет установить основные контуры обслуживания. Система автоматической пожарной сигнализации содержит два основных целевых контура: АПС и СОУЭ.

Кроме основных контуров, каждая система включает дополнительные контуры обеспечения. Например, контур обеспечения системы электроэнергией. В нашем случае вспомогательный контур электрообеспечения не рассматривается, так как его надежность соответствует первой категории с идеальной вероятностью безотказной работы контура равной единице (т.е. контур не влияет на общую надежность системы). Данное решение не выходит за границы инженерной точности расчета.

Для выполнения расчетов надежности определяют тип соединения элементов системы. Основными типами соединения считают параллельное и последовательное соединения. Последовательное соединение элементов системы означает то, что отказы ее элементов независимы друг от друга. При этом отказ хотя бы одного из элементов вызовет отказ всей системы. Параллельное соединение элементов в системе означает, что если отказы элементов независимы друг от друга, то отказ всей системы возникает только при отказе всех элементов.

В случае последовательного соединения n элементов системы интенсивность ее отказов определяется зависимостью:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (2)$$

В случае параллельного соединения n элементов интенсивность отказов определится как:

$$\frac{1}{\lambda_c} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i}. \quad (3)$$

Получив T_0 , можно переходить к расчету вероятности безотказной работы системы для некоторого интервала нормальной эксплуатации t . Значение интервала принимают 2000 часов [11]. Чем больше заданный интервал, тем ниже вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \exp(-t/T_0). \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение

При построении структурной схемы системы для расчета надежности необходимо сразу поставить границы глубины декомпозиции – т.е. выделения подсистем в составе системы с последующей декомпозицией подсистем и т.д. Любой элемент, модуль системы можно рассматривать как подсистему в границах общего комплекса. Достижение необходимой точности в декомпозиции требует, как правило, четырех-пяти процедур [12]. Будем считать, что в состав исследуемого объекта входят типовые заводские изделия, такие как извещатели пожарные дымовые и тепловые, извещатели пожарные ручные, прибор приемно-контрольный пожарный, оповещатели охранно-пожарные комбинированные светозвуковые, а также световые табло.

Структура контура АПС в каждом помещении с целью резервирования предполагает дублирование извещателей. В случае неисправности одного из извещателей другой срабатывает [13, 14]. Если неисправен ручной извещатель, то должны сработать дымовые (или тепловые). Извещатели пожарные ручные – основная часть АПС, выход их из строя должен быть обязательно зафиксирован, а их работоспособность необходимо восстановить. Основная функция дымовых или тепловых извещателей заключается в фиксации признаков пожара на защищаемой площади. Будем считать, что если два извещателя перекрывают площади действия друг друга, то их соединение можно считать параллельным. Если площади их действия не перекрыты (даже в случае расположения извещателей в одном и том же

помещении), то их соединение в расчетной схеме считают последовательным. Размер площади, которую покрывает один пожарный извещатель, в зависимости от высоты помещения, приведен в СП 5.13130.2009 [15]. При расчете зон покрытия также учитывается радиус покрытия извещателя.

На основе анализа данной информации, а также с учетом площади каждого из помещений здания сформируем структурные схемы контуров АПС и СОУЭ (рис. 2, 3). Таким образом, АПС представлена последовательно-параллельной структурой, система СОУЭ – последовательной.

Исходные данные, необходимые для расчета показателей надежности исследуемой системы, представлены в таблице 1. Данные включают время наработки на отказ основного оборудования системы, показатели ремонтпригодности оборудования, сведения об архитектуре системы. Информация о наработке на отказ приводится в официальной сопровождающей документации или паспорте на оборудование.

Определим интенсивность отказов элементов системы по формуле (5). Для дымовых и тепловых пожарных извещателей, извещателей ручных и светового оповещателя интенсивности отказов одинаковы ($\lambda_{ди}, \lambda_{ти}, \lambda_{ир}, \lambda_{ко}$) и равны $1,67 \times 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$; для прибора пожарного: $\lambda_{ппк} = 5 \times 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$; для комбинированного оповещателя: $\lambda_{ко} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

Определим интенсивность отказов контуров АПС и СОУЭ.

Для контура АПС, в соответствии со структурной схемой на рисунке 2, интенсивность отказов будет составлять:

$$\lambda_{\text{АПС}} = \lambda_{\text{ппк}} + \lambda_{\text{ир}} + 2 \times \lambda_{\text{ди}} + 9 \times \frac{\lambda_{\text{ди}} \times \lambda_{\text{ди}}}{\lambda_{\text{ди}} + \lambda_{\text{ди}}} + 2 \times \frac{\lambda_{\text{ти}} \cdot \lambda_{\text{ти}}}{\lambda_{\text{ти}} + \lambda_{\text{ти}}} = 19,195 \times 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (5)$$



Рисунок 2 – Структурная схема контура СОУЭ

BIAL – оповещатель световой, BIAL/S – оповещатель комбинированный (свето-звуковой)

Figure 2 – Block diagram of the system of warning and evacuation BIAL – light emergency alarm, BIAL/S – combined emergency alarm (light and sound)

Таблица 1 – Сведения об оборудовании системы

Table 1 – Equipment properties

№ п/п	Наименование и тип технического средства	Время наработки на отказ, час	Состояние после отказа	Количество, шт
1	Извещатель пожарный дымовой	60 000	восстанавливаемое	20
2	Извещатель пожарный тепловой	60 000	восстанавливаемое	4
3	Извещатель пожарный ручной	60 000	восстанавливаемое	1
4	Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный и управления	20 000	восстанавливаемое	1
5	Оповещатель комбинированный	40 000	восстанавливаемое	2
6	Оповещатель световой	60 000	восстанавливаемое	2

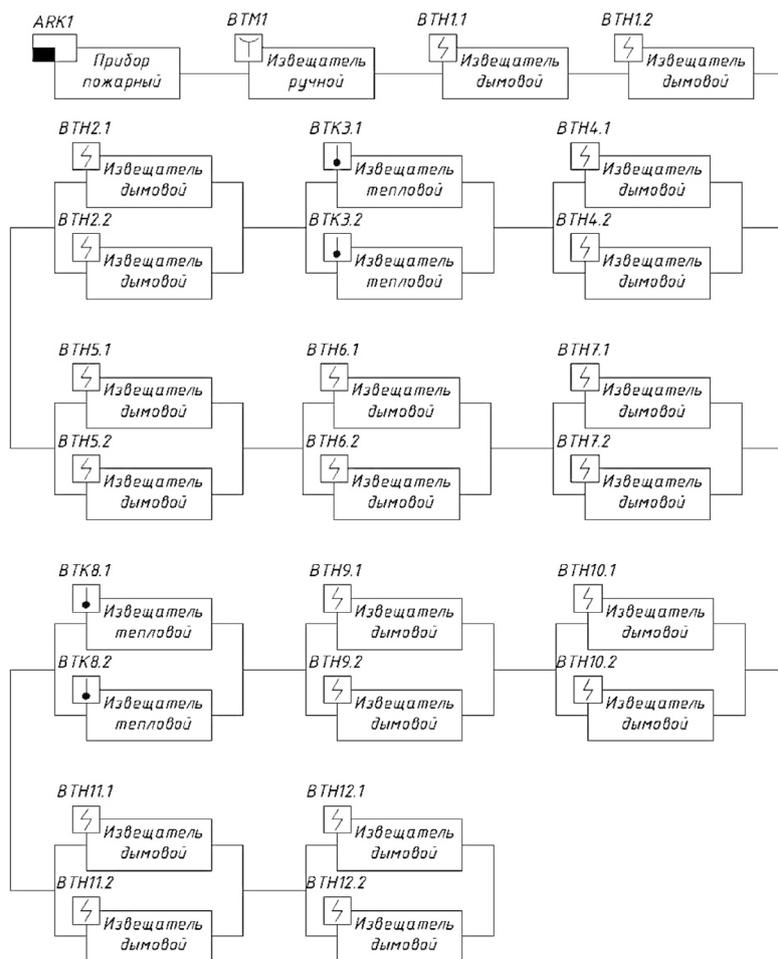


Рисунок 3 – Структурная схема контура АПС ARK – прибор приемно-контрольный охранно-пожарный и управления, ВТН – извещатель пожарной дымовой, BTM – извещатель пожарной ручной, ВТК – извещатель пожарной тепловой
 Figure 3 – Block diagram of the automatic fire alarm system contour ARK – fire alarm and control device, ВТН - smoke fire detector, BTM – manual fire detector, ВТК – heat fire detector

Интенсивность отказов для контура СОУЭ:

$$\lambda_{\text{СОУЭ}} = \lambda_{\text{СО}} + \lambda_{\text{КО}}, \quad (6)$$

$$\lambda_{\text{СОУЭ}} = 2 \times \lambda_{\text{КО}} + 2 \times \lambda_{\text{СО}} = 8,34 \times 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (7)$$

Интенсивность отказов всей системы:

$$\lambda = 27,535 \times 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (8)$$

Среднее время безотказной работы системы (средняя наработка на отказ):

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{27,535 \times 10^{-5}} = 3632 \text{ ч.} \quad (9)$$

Проведем расчет вероятности безотказной работы системы для 2000 часов:

$$P(t) = \exp(-2000/T_0) = 0,58. \quad (10)$$

В результате расчета были определены основные параметры надежности системы автоматической пожарной сигнализации и системы оповещения и управления эвакуацией. Произведенный расчет упрощен и не учитывает ряд показателей, которые

могут повлиять на надежность работы системы АПС и СОУЭ. Например, в расчете могут быть учтены линии связи и кабельные соединения. Также можно учесть надежность программного обеспечения, используемого в системе.

Полученное значение вероятности безотказной работы системы не соответствует нормам показателей надежности систем АПС и СОУЭ [11]. Следовательно, необходимо определить пути повышения их надежности.

С этой целью на этапе проектирования возможно применение оборудования с лучшими показателями и резервирование. Резервирование представляет собой введение дополнительных элементов в систему параллельно к существующим, т.е. элементов, дублирующих функции основных. Соответственно, система называется системой с резервированием в том случае, если отказ наступает после отказа основного элемента и всех резервируемых элементов. Тип резервирования выбирается, исходя из конкретно поставленной задачи. В пожарной автоматике резервируются отдельные модули. Полное резервирование системы применяется крайне редко [16–20].

В качестве резервного модуля системы АПС вводим извещение о пожаре в ручном режиме. Схемы резервирования представлены на рисунке 4.

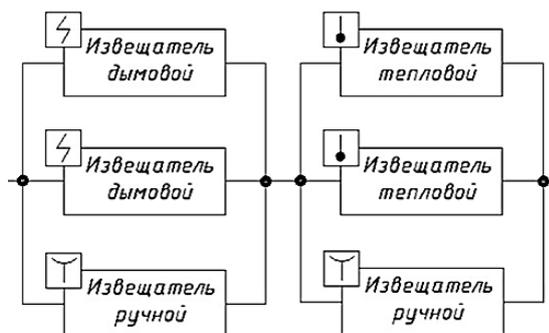


Рисунок 4 – Схемы резервирования дымовых и тепловых пожарных извещателей ручными извещателями

Figure 4 – Schemes for reserving smoke and heat emergency alarms with manual detectors

В этом случае для контура АПС интенсивность отказов составит:

$$\lambda_{\text{АПС}} = \lambda_{\text{ППК}} + \lambda_{\text{ИР}} + 2 \times \lambda_{\text{ДИ}} + 9 \times \frac{\lambda_{\text{ДИ}} \cdot \lambda_{\text{ИР}}}{\lambda_{\text{ДИ}} + 2\lambda_{\text{ИР}}} + 2 \times \frac{\lambda_{\text{ТИ}} \cdot \lambda_{\text{ИР}}}{\lambda_{\text{ТИ}} + 2\lambda_{\text{ИР}}} = 16,137 \times 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (11)$$

Тогда интенсивность отказов всей системы:

$$\lambda = 24,477 \times 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (12)$$

Среднее время безотказной работы системы (средняя наработка на отказ):

$$T_0 = \frac{1}{24,477 \times 10^{-5}} = 4085,5 \text{ ч.} \quad (13)$$

Вероятность безотказной работы системы для 2000 часов:

$$P(t) = \exp(-2000/T_0) = 0,61. \quad (14)$$

Выводы

Результаты расчетов демонстрируют, что введение ручного извещателя в систему резервирования тепловых и дымовых пожарных извещателей позволит снизить интенсивность отказов системы более чем на 10 %, увеличить среднее время безотказной работы на 453,5 часа. Таким образом, резервирование элементов существующих АПС и СОУЭ улучшает основные показатели их надежности, что повышает безопасность зданий.

Нельзя добиться абсолютно безотказной работы сложной системы, однако, можно свести к минимуму неконтролируемые отказы, возникающие в процессе эксплуатации каждой технической системы, вследствие износа ее элементов, и влияния на нее неблагоприятных внешних и внутренних факторов. Это достигается путем грамотно организованной эксплуатации системы, профилактических мероприятий и ремонтов, правильного выбора частоты проверок и регламентации времени непрерывной работы системы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Техногенный риск, надежность и диагностика технических систем: подходы, модели, методы / Н. А. Махутов, В. В. Зацаринный, В. Б. Альгин [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – Т. 20–21, № 3–4. – С. 67–85.
2. Развитие техносферы: оценка риска и надежности сложных технических объектов / Н. А. Махутов, В. В. Зацаринный, М. М. Гаденин [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2012. – Т. 1. – С. 29–49.
3. Кроль, А. Н. Развитие пожарной охраны в России и Кузбассе / А. Н. Кроль, Я. О. Ефремова // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы IV Международной научной конференции / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2016. – С. 667–669.
4. Актуальные проблемы обеспечения безопасности технологических процессов и производств для предупреждения техногенных чрезвычайных ситуаций / А. В. Федоров, В. А. Бармашев, В. Н. Марков [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 91–98.
5. Быкова, Н. М. Подходы к оценке и способам прогнозирования безопасности состояния сложных технических объектов / Н. М. Быкова, Т. Ш. Беялов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – Т. 48, № 4. – С. 113–118.
6. Онищенко, В. Я. Классификация и сравнительная оценка факторов риска / В. Я. Онищенко // Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 2. – С. 46–56.
7. Лепихин, А. М. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем / А. М. Лепихин, В. В. Москвичев, С. В. Доронин // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 14, № 6. – С. 58–70.
8. Волик, Б. Г. О свойствах технических объектов, определяющих их эксплуатационную работоспособность / Б. Г. Волик // Надежность. – 2005. – Т. 25, № 2. – С. 64–69.
9. Костюков, А. А. Методы и средства обеспечения надежности автоматизированных систем / А. А. Костюков // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 10. – С. 44–47.
10. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М. : Издательство стандартов, 1995.
11. РНД 73-16-90. Методика по расчету показателей надежности системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей при пожаре. Новосибирск, 1990.

12. Плоткин, Б. К. Безопасность жизнедеятельности: теория надежности и управление рисками / Б. К. Плоткин // Вестник факультета управления СПбГЭУ. – 2017. – № 1–2. – С. 236–241.
13. Стародубцева, С. А. Прогнозирование остаточного ресурса конструкций и деталей машин / С. А. Стародубцева, А. С. Гусев // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2012. – Т. 1, № 2. – С. 355–360.
14. Машиноведение в проблемах техногенной безопасности / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин, В. П. Петров [и др.] // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. – № 5. – С. 3–18.
15. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. М. : Издание официальное, 2009.
16. ГОСТ Р 27.301-2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. М. : Стандартиформ, 2013.
17. ВСН 116-93. Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи. М., 1993.
18. Комментарии к отдельным статьям Федерального закона от 22 июля 2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
19. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.
20. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М. : Издательство стандартов, 2002.

References

1. Makhutov N.A., Zatsarinny V.V., Algin V.B., and Ishin N.N. Technogenic risk, reliability and diagnostics of technical systems: approaches, models, methods. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2012, vol. 20–21, no. 3–4, pp. 67–85. (In Russ.).
2. Makhutov N.A., Zatsarinny V.V., Gadenin M.M., Algin V.B., and Ishin N.N. Technosphere development: the estimation of risk and reliability for complex technical objects. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya* [Relevant issues of engineering], 2012, vol. 1, pp. 29–49. (In Russ.).
3. Krol' A.N. and Efremova Ya.O. Razvitie pozharnoy okhrany v Rossii i Kuzbasse [Development of fire protection in Russia and Kuzbass]. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Food Innovations and Biotechnologies: Proceedings of the IV International Scientific Conference]. Kemerovo, 2016, pp. 667–669. (In Russ.).
4. Fedorov A.V., Baryshev V.A., Markov V.N., and Tagiyev S.K. Actual problems of safety of technological processes and productions to prevent anthropogenic emergency situations. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia], 2017, vol. 24, no. 3, pp. 91–98. (In Russ.).
5. Bykova N.M. and Belyalov T.Sh. Approaches to assessment and methods for predicting safety of complex technical object state. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2015, vol. 48, no. 4, pp. 113–118. (In Russ.).
6. Onishchenko V.Ya. Klassifikatsiya i sravnitel'naya otsenka faktorov riska [Classification and comparative assessment of risk factors]. *Occupational Safety in Industry*, 1997, no. 2, pp. 46–56. (In Russ.).
7. Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., and Doronin S.V. Reliability, survivability and safety for complex technical systems. *Computational Technologies*, 2009, vol. 14, no. 6, pp. 58–70. (In Russ.).
8. Volik B.G. O svoystvakh tekhnicheskikh ob'ektov, opredelyayushchikh ikh ehkspluatatsionnyu rabotosposobnost' [Properties of technical objects that determine their operational performance]. *Dependability*, 2005, vol. 25, no. 2, pp. 64–69. (In Russ.).
9. Kostyukov A.A. Metody i sredstva obespecheniya nadezhnosti avtomatizirovannykh system [Methods and means of ensuring the reliability of automated systems]. *Railway Transport*, 2010, no. 10, pp. 44–47. (In Russ.).
10. State Standard 27.301-95. *Dependability in technics. Dependability prediction. Basic principles*. Moscow: Standards Publ., 1995.
11. RND 73-16-90. *Metodika po raschetu pokazateley nadezhnosti sistemy opoveshcheniya o pozhare i upravleniya ehvakuatsiyey lyudey pri pozhare* [RND 73-16-90. Methods for calculating the reliability of the fire alarm system and the management of evacuation of people in case of fire]. Novosibirsk, 1990.
12. Plotkin B.K. Life safety: theory reliability and risk management. *Vestnik fakul'teta upravleniya SPBGEHU* [Bulletin of the Faculty of Management St. Petersburg State University of Economics], 2017, no. 1–2, pp. 236–241. (In Russ.).
13. Starodubtseva S.A. and Gusev A.S. Prediction of remaining lifetime of constructions and machine elements. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 355–360. (In Russ.).
14. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Petrov V.P., and Yudina O.N. Machinescience for Technogenic Safety Problems. *Safety and emergencies problems*, 2008, no. 5, pp. 3–18. (In Russ.).
15. SP 5.13130.2009. *Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ustanovki pozharnoy signalizatsii i pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya* [Fire protection systems. Installation of fire alarm and fire extinguishing automatic. Design rules and regulations]. Moscow: Official Publ., 2009.
16. State Standard P 27.301-2011. *Dependability in technics. Dependability management. Analysis techniques for reliability. General principles*. Moscow: Standartinform Publ., 2013.

17. VSN 116-93. *Instruktsiya po proektirovaniyu lineyno-kabel'nykh sooruzheniy svyazi* [DBN 116-93. Instructions for the design of linear cable communication facilities]. Moscow, 1993.

18. *Kommentarii k otdel'nym stat'yam Federal'nogo zakona ot 22 iyulya 2008 № 123-FZ "Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozhar'noy bezopasnosti"* [Comments on certain articles of the Federal Law of July 22, 2008, No. 123-FL "Technical Regulations on Fire Safety Requirements"].

19. *Prikaz MCHS RF ot 10.07.2009 № 404. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh* [Order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation of 10.07.2009 No. 404. The methodology for determining the calculated values of fire risk at industrial facilities].

20. State Standard 27.002-89. *Industrial product dependability. General concepts. Terms and definitions*. Moscow: Standards Publ., 2002.

Ахмедова Анастасия Андреевна

студент кафедры автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

<https://orcid.org/0000-0003-1328-6004>

Anastasiya A. Akhmedova

Student of the Department of Automation of Manufacturing Processes and Computer-aided Control Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia.

<https://orcid.org/0000-0003-1328-6004>

Шевцова Татьяна Геннадьевна

старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: + 7 (913) 424-29-51, e-mail: shevcova-t@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7672-1056>

Tatyana G. Shevtsova

Senior Lecturer of the Department of Automation of Manufacturing Processes and Computer-aided Control Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: + 7 (913) 424-29-51, e-mail: shevcova-t@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7672-1056>

Котляров Роман Витальевич

канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

<https://orcid.org/0000-0002-4152-8149>

Roman V. Kotlyarov

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Automation of Manufacturing Processes and Computer-aided Control Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia.

<https://orcid.org/0000-0002-4152-8149>

Кроль Анна Николаевна

канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.

<https://orcid.org/0000-0003-1310-5832>

Anna N. Krol

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia.

<https://orcid.org/0000-0003-1310-5832>