

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ИЛИ ... КОНТАКТОВ?!

Часть 2. Отечественные и зарубежные стандарты

И. Неплохов

к.т.н., технический директор по ПС компании «ПОЖТЕХНИКА»

В первой части статьи [1] были рассмотрены теоретические и практические вопросы надежности пожарных извещателей. Была вычислена величина наработки на отказ одного и двух извещателей. Приведены результаты исследований надежности извещателей и вероятностей ложных срабатываний на атомных электростанциях [2]. Реальные значения наработки на отказ пожарных извещателей достигают десятков миллионов часов, что несопоставимо с нормативными 60 000 ч [3]. Во второй части статьи рассматриваются проблемы резервирования, приводятся результаты вычислений надежности одного, двух и трех извещателей.

НОРМАТИВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА 1-2-3 ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

В первой части статьи [1] было подсчитано, что при среднем времени наработки на отказ извещателя $T_0 = 60\ 000$ час. вероятность его отказа $Q(t_0)$ за один год составляет 0,136, за три года уже 0,355, за 5 лет превышает 0,5. При достижении среднего срока службы извещателей – 10 лет вероятность отказа увеличивается до 0,768. Если извещатели эксплуатировать в течение 15 лет, то вероятность отказа возрастает до 0,9. При использовании двух извещателей по логике «ИЛИ» вероятность отказа обоих извещателей равна $Q^2(t_0)$ в течение первого года получается значительно ниже отказа одного извещателя и равна 0,0185. Но за три года вероятность отказа обоих извещателей возрастает до 0,1260, за четыре года – до 0,195, за пять лет – до 0,268. А за время, равное стандартному среднему сроку службы извещателей, за 10 лет вероятность отказа двух извещателей увеличивается уже до 0,59 (табл. 1). Таким образом, для обеспечения обнаружения пожара с вероятностью 0,8 в соответствии с Методикой определения расчетных величин пожарного риска [5] при использовании пожарных извещателей со средней наработкой на отказ, равной 60 000 ч, требуется замена всех извещателей каждые 4 года на новые.

Однако уже более 10 лет в НПБ 88-2001* [6] и далее в Своде Правил СП 5.13130.2009 [7] в общем случае в каждом помещении требуется установка не менее трех извещателей с формированием сигнала «Пожар» при активизации не менее двух извещателей. В этом случае работоспособность сохраняется при отказе одного из извещателей из трех, а не из двух и за счет этого надежность системы значительно снижается по сравнению с двумя извещателями с логикой «ИЛИ».

Вероятность отказа одного извещателя $Q(t_0)$ и двух извещателей $Q^2(t_0)$ при среднем времени наработки на отказ $T_0 = 60\ 000$ ч для различных сроков эксплуатации были определены в первой части статьи [1]. Вероятность отказа системы из трех извещателей равна суммарной вероятности отказа любых двух извещателей из трех, и вероятность отказа трех извещателей [8] может быть рассчитана по формуле:

$$Q_3(t_0) = 3Q^2(t_0) - 2Q^3(t_0) \quad (1)$$

Результаты вычислений вероятности отказа системы из трех извещателей $Q_3(t_0)$ по формуле (1) приведены в таблице 1. Вероятность отказа за один год $Q_3(t_0)$ составляет 0,0505, что в 2,7 раза меньше по сравнению с вероятностью отказа $Q(t_0)$ одного извещателя, но в 2,73 раза выше по сравнению с вероятностью отказа $Q^2(t_0)$ двух извещателей. После 5 лет эксплуатации вероятность отказа $Q_3(t_0)$ системы из трех извещателей становится больше, чем вероятность отказа $Q(t_0)$ одного извещателя (рис. 1). К 10 годам эксплуатации вероятность отказа $Q^2(t_0)$ двух извещателей возрастает до 0,59, одного извещателя $Q(t_0)$ – до 0,768, а вероятность отка-

за системы $Q_3(t_0)$ из трех извещателей становится равной 0,863.

Причем вероятность отказа $Q_3(t_0)$ системы из трех пожарных извещателей со средней наработкой на отказ 60 000 ч, равная 0,2, достигается всего лишь за 2 с небольшим года. Таким образом, для обеспечения обнаружения пожара с вероятностью 0,8 в соответствии с Методикой определения расчетных величин пожарного риска [5] требуется замена таких пожарных извещателей каждые 2 года!

НОРМАТИВНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ 3-Х ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ И РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

По требованиям свода Правил СП 5.13130.2009 п. 14.1 «... Формирование сигналов на управление в автоматическом режиме установками пожаротушения или дымоудаления, или оповещения, или инженерным оборудованием должно осуществляться при срабатывании не менее двух пожарных извещателей, включенных по логической схеме «И». Расстановка извещателей в этом случае должна производиться на расстоянии не более половины нормативного, определяемого по таблицам 13.3-13.6 соответственно» [7].

Однако совершенно очевидно, для срабатывания двух извещателей должен обеспечиваться двойной контроль каждой точки защищаемого помещения, а для обеспечения работоспособности при отказе одного извещателя соответственно тройной контроль. В отечественной нормативной базе отсутствует понятие защищаемой площади в отличие от зарубежных стандартов, где это основополагающее понятие. Подробно этот вопрос был рассмотрен в части 1 статьи [1]. При расстановке извещателей по квадратной решетке с шагом 9 м, радиус площади, контролируемой точечным извещателем, равен 6,36 м. Практически такая же величина радиуса защищаемой площади 6,3 м определена в американском стандарте NFPA72 [9] для дымовых детекторов, и несколько большее значение 7,5 м дано в европейском стандарте BS 5839. При этом дымовые извещатели обнаруживают тестовые очаги размером 0,25 м² при оптической плотности до 2 дБ/м с расстояния три метра! При таком уровне задымленности видимость сокращается до 5 метров, что в 4 раза меньше значения ОФП, по видимости, равного 20 м. Так что обнаружение очага с расстояния более 6-7 метров происходит при значительных размерах очага (более 1 м²), и пожарная сигнализация не обеспечивает выполнения функции раннего обнаружения пожара.

На рисунке 2 показана расстановка трех извещателей на расстоянии, равном половине нормативного, в помещении размером 9х18 м. В этом случае двойной контроль всей площади не обеспечивается, даже если все извещатели работоспособны. Из всей площади 162 м² одновременно двумя извещателями контролируется только 104 м² площади в центральной части помещения, т.е. есть только 64%, что составляет менее 2/3 площади!

При отказе одного из крайних извещателей площадь обнаружения пожара, которая контролируется двумя оставшимися работоспо-

Табл. 1. Вероятность отказа одного извещателя $Q(t_0)$, двух $Q^2(t_0)$ и двух из трех $Q_3(t_0)$ с наработкой на отказ по 60 000 ч

Период t_0	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет
$Q(t_0)$	0,136	0,253	0,355	0,442	0,518	0,584	0,640	0,689	0,731	0,768
$Q^2(t_0)$	0,0185	0,064	0,126	0,195	0,268	0,341	0,410	0,475	0,534	0,590
$Q_3(t_0)$	0,0505	0,160	0,289	0,413	0,527	0,625	0,705	0,770	0,822	0,863

собными извещателями, сокращается до 63,5 м², что составляет менее 40 % площади помещения (рис. 3). А при отказе центрального извещателя площадь обнаружения пожара сокращается до 23 м², что составляет всего лишь 14% общей площади помещения (рис. 4).

В последнее время появилась тенденция к извещателям, установленным на нормативных расстояниях и включенным по логике «ИЛИ», добавлять резисторы для формирования сигнала «Пожар» по логике «И» по двум извещателям, якобы для защиты от ложных срабатываний. При использовании такого «ноу-хау» система становится неработоспособной и без отказов извещателей. В этом случае каждый извещатель защищает только свою часть площади, а для логики «И» должен обеспечиваться контроль каждой точки одновременно двумя извещателями. При проверке это элементарно обнаруживается по отсутствию включения оповещения при активации одного извещателя, за этим следует оформление такого штрафа, что можно было бы установить реально работающую АУПС.

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ
ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ**

Оценка надежности пожарного извещателя производится по характеристикам электронных элементов, из которых он состоит. Ведущие производители приводят значения интенсивности отказов λ , по которым определяется расчетная наработка на отказ устройства. В таблице 2 приведены исходные данные для расчета наработки на отказ точечного дымового оптического пожарного извещателя.

Общее число электронных элементов извещателя составляет 55 шт., интенсивность отказов зависит от типа элемента: минимальное значение 5×10^{-9} отказов в час у SMD-резисторов, максимальное 300×10^{-9} отказов в час естественно у микросхемы ASIC (табл. 2). Таким образом, интенсивность отказов дымового пожарного извещателя составляет 2045×10^{-9} отказов в час. Принимая в году 8760 часов,

Табл. 2. Интенсивность отказов элементов дымового извещателя

№ п/п	Элемент	Количество, шт.	Интенсивность отказов λ , (отказ/ч) $\times 10^{-9}$	
			На 1 шт.	Суммарно
1	Резистор 1/16 Вт 5 % SMD 0402	16	5	80
2	Резистор 1/16 Вт 5 % SMD 0603	5	5	25
3	Резистор 1/10 Вт 5 % SMD 0805	5	5	25
4	Резистор 1/8 Вт 5 % SMD 1206	5	5	25
5	Конденсатор керамический SMD 0402	1	5	5
6	Конденсатор керамический SMD 0603	1	5	5
7	Конденсатор керамический SMD 0805	2	5	10
8	Конденсатор керамический SMD 1206	1	5	10
9	Конденсатор танталовый SMD	1	70	70
10	Конденсатор электролитический SMD	1	70	70
11	Диод SMD	4	50	200
12	Диод SMD	2	100	200
13	Транзистор Дарлингтона n-p-n SMD	4	200	800
14	Транзистор n-p-n SMD	1	60	60
15	Микросхема ASIC	1	300	300
16	Фотодиод	1	50	50
17	Светодиод	3	20	60
18	Печатная плата	1	50	50
	Всего элементов	55		
	Всего интенсивность отказов, (отказ/ч) $\times 10^{-9}$			2045

Рис. 1. Зависимость вероятности отказа извещателей в процессе эксплуатации
1 – одного извещателя; 2 – двух извещателей; 3 – двух извещателей из трех

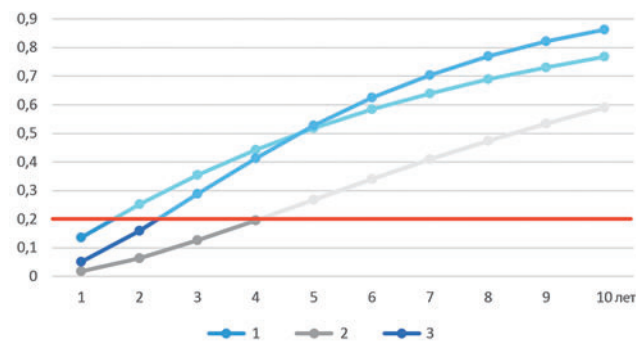


Рис. 2. Три исправных извещателя обеспечивают обнаружение пожара только на 64% площади

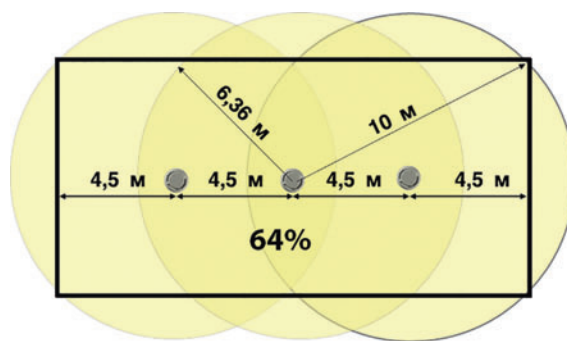


Рис. 3. При отказе крайнего извещателя контролируемая площадь сокращается до 40%

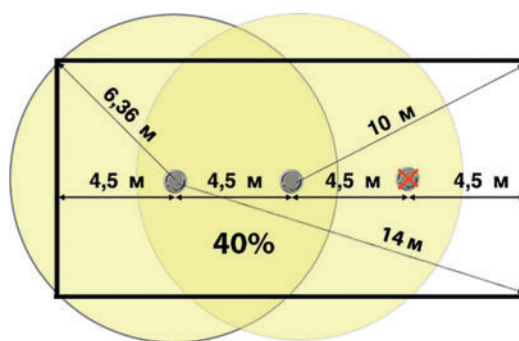


Рис. 4. При отказе среднего извещателя контролируемая площадь сокращается до 14%

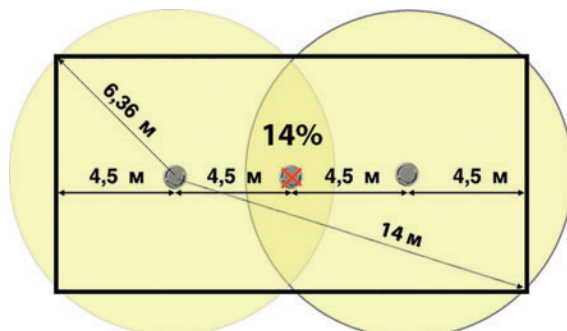


Табл. 3. Вероятность отказа одного извещателя с наработкой 470 000 ч $Q_1(t_0)$, двух извещателей $Q^2(t_0)$ и двух из трех $Q_3(t_0)$ с наработкой на отказ по 60 000 ч

Период t_0	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет
$Q_1(t_0)$	0,0185	0,0366	0,0544	0,0718	0,089	0,106	0,122	0,138	0,154	0,170
$Q^2(t_0)$	0,0185	0,064	0,126	0,195	0,268	0,341	0,410	0,475	0,534	0,590
$Q_3(t_0)$	0,0505	0,160	0,289	0,413	0,527	0,625	0,705	0,770	0,822	0,863

получаем величину интенсивности отказов в год, равную, $2045 \times 10^{-9} \times 8760 = 0,0179142$. Обратная величина определяет расчетную величину средней наработки на отказ, которая равна соответственно 55,8 лет или 488 997 ч, что почти на порядок больше нашей нормативной величины 60 000 ч [3].

По вероятности отказа за один год два пожарных извещателя с логикой работы «ИЛИ» с наработкой на отказ 60 000 ч примерно эквивалентны одному извещателю с наработкой на отказ, равной 470 000 ч, и равна 0,0185. Однако при увеличении срока эксплуатации обнаруживаются существенные различия, если у двух извещателей за 4 года вероятность отказа уже повышается до 0,195, то у одного извещателя только до 0,072. За десять лет эксплуатации вероятность отказа 2-х извещателей с наработкой на отказ 60 000 ч возрастает до 0,59, в то же время у извещателя с наработкой на отказ, равной 470 000 ч, повышается только до 0,17! Таким образом, один извещатель с наработкой на отказ 470 000 ч не эквивалентен по надежности двум извещателям по «ИЛИ» с наработкой на отказ 60 000 ч, а в 3,5 раза надежнее, и в 5 раз надежнее, чем система из 3-х извещателей с наработкой на отказ 60 000 ч с формированием сигнала «Пожар» по сработке двух из трех (рис. 5).

Как показывают результаты эксплуатации, реальная величина наработки на отказ превышает теоретическую величину минимум на два-три порядка за счет работы элементов в щадящем режиме, при более низких нагрузках по сравнению с номинальным режимом, в климатических условиях, близких к нормальным, а не вблизи границ рабочих температур, при отсутствии механических воздействий и т.д. С другой стороны, при кустарном способе изготовления, как говорится «на коленке», с использованием некачественной элементной базы или с истекшим сроком хранения, выпускаются пожарные извещатели с низкой надежностью.

НАДЕЖНОСТЬ ДВУХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ С ЛОГИКОЙ «И»

Сопоставление пожарных извещателей, например, с жесткими дисками, в которых двигатели, приводы, магнитные головки и более сложная электроника и на которые производители указывают среднюю наработку на отказ 2 000 000 ч, показывает, что нормативная величина 60 000 ч занижена на несколько порядков. Это подтверждается и экспериментальными исследованиями, отечественные точечные дымовые оптико-электронные пожарные извещатели на 10-ти АЭС за 5 с лишним лет показали наработку на отказ от 625 000 ч до 36 500 000 ч в зависимости от типа [1, 2]. По извещателям зарубежного производ-

ЛИТЕРАТУРА

1. Неплохов И. Г. Резервирование пожарных извещателей или ... контактов?! Часть 1 // Алгоритм безопасности. 2014. № 1.
2. Фомин В. И., Буцынская Т. А., Журавлев С. Ю. Количественная оценка параметров устойчивости функционирования технических средств пожарной автоматики на АЭС России // Технологии техносферной безопасности (<http://ipb.mos.ru/ttb>). 2007. Выпуск № 3 (13), июнь.
3. ГОСТ Р 53325-2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний».
4. BS EN 54-7:2001 Fire detection and fire alarm systems. Smoke detectors. Point detectors using scattered light, transmitted light or ionization.
5. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382 // Приказ МЧС России от 12.12.11 № 749.
6. НПБ 88-2001*. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
7. СП 5.13130.2009. Свод Правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 1999.
9. NFPA 72 National Fire Alarm Code, 2002 Edition.
10. Неплохов И. Г. Газовое пожаротушение: требования британских стандартов // Системы безопасности. 2007. № 5.

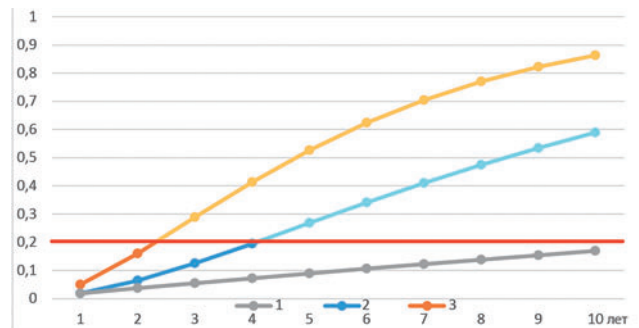


Рис. 5. Зависимость вероятности отказа извещателей в процессе эксплуатации:
1 — одного извещателя с наработкой на отказ 470 000 ч;
2 — двух извещателей с наработкой на отказ 60 000 ч;
3 — двух извещателей из трех с наработкой на отказ 60 000 ч

ства наблюдались только единичные отказы, что не позволило вычислить по ним наработку на отказ. Становится очевидным, почему в зарубежных нормах в принципе нет требования резервирования извещателей. Минимальное число извещателей в помещении — ОДИН, даже если он адресный и без автоматического контроля неисправности. Больше того, в системах пожаротушения требуется контроль каждой точки площади защищаемого помещения двумя извещателями, с формированием сигнала «Пожар 1» по первому извещателю и сигнала «Пожар 2» по второму извещателю с запуском пожаротушения [10].

Действительно, при наработке на отказ порядка 25 000 000 ч, вероятность отказа одного извещателя в течение года ничтожно мала, составляет примерно 0,00035, и вероятность отказа одного извещателя из 2-х при работе по логике «И» для запуска пожаротушения равна 0,0007. А за 10 лет эксплуатации эти значения увеличатся примерно в 10 раз, т.е. соответственно до 0,0035 и 0,007. Это соответствует отказу 3-4 извещателей на 1000 штук за 10 лет.

Теперь становится понятно, что надежная элементная база и высокий технологический уровень обеспечивают высокую надежность зарубежных извещателей, сертифицированных по европейскому стандарту EN 54-7 [4]. В следующей, третьей части данной статьи будут рассмотрены конкретные направления повышения надежности пожарных извещателей и в том числе их контактных элементов.