

# РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ИЛИ ... КОНТАКТОВ?!

## Часть 1. Отечественные и зарубежные стандарты

**И. Неплохов**

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

*Вопросы надежности пожарных извещателей, исходя из величины наработки на отказ, и связанная с ними «вечная» тема: «1-2-3 извещателя в помещении», уже неоднократно обсуждалась в отраслевых журналах [1-6]. Само по себе требование установки в каждом помещении не менее двух извещателей, а с 2003 года даже трех извещателей, когда во всем мире считается достаточным один, – по меньшей мере странно. С другой стороны, уникальность отечественных норм не обеспечивает высокий уровень пожарной защиты. К сожалению, Россия возглавляет список стран, наиболее неблагоприятных по общей пожарной опасности [7]. Такое положение объясняет заявление директора ДНД МЧС России Ю. И. Дешевых в прошлогоднем интервью: «...Мы взяли курс на гармонизацию российских требований пожарной безопасности с зарубежными требованиями пожарной безопасности. Это очень важный вопрос, он позволяет нам три задачи решить. Первая задача, воспользоваться теми знаниями, которые есть за рубежом в области противопожарной защиты, то есть их опыт у себя использовать. Второе, если мы будем применять зарубежные нормы, то та продукция, которая производится у нас, она будет конкурентноспособна на Западе... И третье, это защитить себя от проникновения некачественной продукции к нам на рынок...» [8].*

### **ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ИЗВЕЩАТЕЛЯ**

Требование установки минимум двух пожарных извещателей появилось в первом нормативном документе 30 лет назад, очевидно вследствие низкой надежности оборудования в то время. Тогда в конструкторской документации на пожарные извещатели, приборы и источники питания производители обычно указывали наработку на отказ 13 100 часов (1,5 года), иногда 17 500 часов (2 года). Низкий уровень надежности устройств отражал имеющийся уровень элементной базы. Например, из-за отсутствия светодиодов в фотоэлектрическом дымовом извещателе ИДФ-1М, использовались лампы накаливания типа СГ24-1,2, и, для обеспечения приемлемого срока службы, напряжение питания было снижено с 24 В до 19 В. Вероятно, эти значения связывались с гарантийными обязательствами, которые составляли всего лишь полгода/год.

Использование современных технологий и высококачественных комплектующих позволяет значительно повысить надежность пожарных извещателей. Не-

смотря на это, в ГОСТ Р 53325-2009 указана величина средней наработки извещателей на отказ всего лишь не менее 60 000 часов (6,85 года) и средний срок службы – не менее 10 лет. Необходимо отметить, что даже на сложнейшие электронные устройства даются значительно большие наработки на отказ, например, выпускаются жесткие диски со средней наработкой на отказ, в английской интерпретации MTBF (Mean (operating) Time Between Failures), равной 2 000 000 часов, т.е. более 228 лет. Это вовсе не означает, что винчестер в вашем ноутбуке будет работать практически вечно! Наоборот, за год непрерывной работы на каждые 228 винчестеров, в среднем, произойдет отказ одного винчестера. А на пожарные извещатели – устройства, состоящие всего лишь из нескольких десятков электронных компонентов, без приводов, магнитных головок и дисков, – наши производители указывают стандартную наработку на отказ не менее 60 000 часов. Какая вероятность отказа пожарного извещателя соответствует наработке на отказ равной 60 000 часов, и что дает использование двух таких извещателей в помещении?

Табл. 1

Период, $t_0$	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет	15 лет
$Q(t_0)$	0,136	0,253	0,355	0,442	0,518	0,584	0,640	0,689	0,731	0,768	0,888
$Q^2(t_0)$	0,0185	0,064	0,126	0,195	0,268	0,341	0,410	0,475	0,534	0,590	0,789

На рисунке 1 показана типовая зависимость интенсивности отказов электронных устройств во времени. Здесь можно выделить три области:

I – приработка изделий, на этом этапе происходит отказ ненадежных элементов, выявляются дефекты сборки и т.д.;

II – период эксплуатации, соответствует наименьшей и постоянной во времени интенсивности отказа;

III – участок роста интенсивности отказов изделий в результате старения элементов.

Контроль режима работы каждого электронного элемента в процессе изготовления и электрическая тренировка позволяют полностью исключить I этап из периода эксплуатации. В этом случае интенсивность отказов  $\lambda$  извещателей в первые годы эксплуатации сохраняется на постоянном уровне ( $\lambda = \text{const}$ ), что позволяет вычислить вероятность безотказной работы  $P(t_0)$  и вероятность отказа  $Q(t_0)$  за промежуток времени  $t_0$  [9]:

$$P(t_0) = \exp(-\lambda t_0), Q(t_0) = 1 - \exp(-\lambda t_0) \quad (1)$$

Приближенные значения  $P(t_0)$  и  $Q(t_0)$  [10], которые могут использоваться при малых величинах интенсивности отказов, имеют еще более простую и понятную форму:

$$P(t_0) = 1 - \lambda t_0, Q(t_0) = \lambda t_0 \quad (2)$$

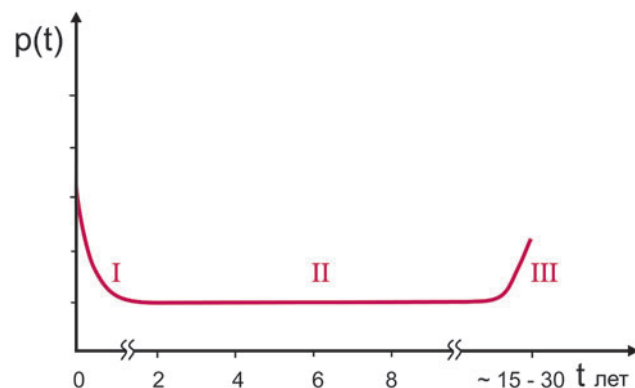
При этом погрешность не превышает, соответственно:

$$\Delta_+ < (\lambda t_0)^2/2, \Delta_- < (\lambda t_0)^2/2 \quad (3)$$

При среднем времени наработки на отказ  $T = 60\,000$  часов, интенсивность отказов будет равна  $\lambda = 1/T_0 = 1,66(6) \times 10^{-5}$  [1/час]. Результаты вычислений по формуле (1) приведены в таблице 1. Вероятность отказа извещателя 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 до 15 лет, то вероятность отказа становится близка к 0,9.

При использовании двух извещателей, по логике «ИЛИ», в течение первого года, вероятность отказа двух извещателей, равная  $Q^2(t_0)$ , получается значительно ниже отказа одного извещателя и равна 0,0185 (табл. 1). Но уже к трем годам возрастает до 0,1260, а к четырем годам – до 0,195, к пяти годам равна 0,268. А при достижении среднего срока службы извещателей 10 лет вероятность отказа двух извещателей увеличивается до 0,59. Таким

Рис. 1. Распределение плотности вероятности отказа электронных устройств



образом, для обеспечения обнаружения пожара с вероятностью 0,8, при использовании извещателей со средней наработкой на отказ, равной 60 000 часов, несмотря на резервирование, требуется замена всех извещателей каждые 4 года.

## РАЗМЕЩЕНИЕ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ И РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

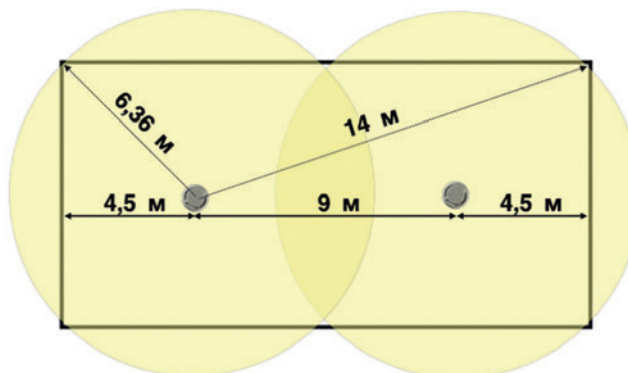
Включение не менее двух извещателей, по логике «ИЛИ», очевидно подразумевает резервирование извещателей, т.е. при случайном отказе одного из двух извещателей работоспособность пожарной сигнализации не должна нарушаться. При этом никакие сигналы неисправности в системе не появляются, и отказавший извещатель может быть идентифицирован только при ручном тестировании всех извещателей, которое практически не проводится из-за значительной трудоемкости.

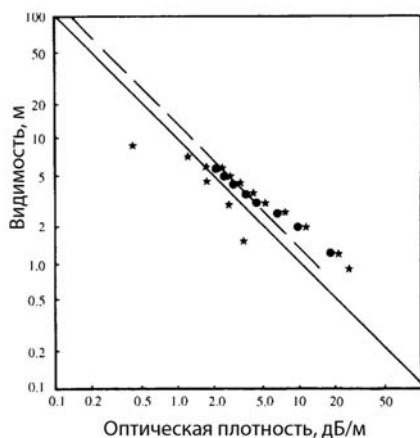
Однако, для обеспечения резервирования, выполнение функций одного устройства должно полностью дублироваться другим устройством. Начиная с 1984 года в нормах указывается средняя площадь, контролируемая одним извещателем, а также максимальное расстояние между точечными дымовыми и тепловыми извещателями и от извещателя до стены, в зависимости от высоты защищаемого помещения. Например, при высоте защищаемого помещения до 3,5 м расстояние между дымовыми извещателями не должно превышать 9 м, а от стены – 4,5 м (рис. 2). При этом указывается средняя площадь, контролируемая одним извещателем, равная 85 м<sup>2</sup>. При расстановке извещателей через 9 м величина радиуса защищаемой площади составляет 6,36 м (рис. 2), а максимальная защищаемая площадь в виде круга равна 127 м<sup>2</sup>.

При размещении извещателей на нормативных расстояниях площадь, контролируемая одновременно двумя извещателями, незначительна и резервирование практически отсутствует. Для обеспечения резервирования каждая точка помещения должна контролироваться одновременно двумя извещателями, то есть каждый извещатель должен контролировать площадь в несколько раз больше нормативной: кроме «своего» квадрата 9x9 м еще и соседние квадраты на случай отказа ближайшего извещателя. Соответственно, радиус защищаемой площади должен быть увеличен с 6,36 м до 14 м (рис. 2).

По ГОСТ Р 53325-2009 [10, 11] чувствительность в дымовом канале должна быть не уже 0,2 дБ/м. Очевидно эта величина создала иллюзию высокой эффективности дымовых извещателей и возможности обнаружения очагов на значительных расстояниях, поскольку при удельной оптической плотности

Рис. 2. Резервирование обеспечивается только в центре помещения





**Рис. 3.**  
Зависимость  
видимости  
от оптической  
плотности

порядка 0,1-0,2 дБ/м видимость превышает 50 метров. Однако в соответствии с введенным с 1 января 2014 года ГОСТ Р 53325-2012, аналогично требованиям EN54-7, дымовые извещатели должны обнаруживать тестовые очаги при оптической плотности до 2 дБ/м и при расстоянии до очага всего лишь 3 м! А в условиях удельной оптической плотности порядка 2 дБ/м видимость сокращается до 5 метров, что в 4 раза меньше значения ОФП (рис. 3) [11, 12]. Реально пороговые дымовые извещатели обнаруживают очаги при оптической плотности 1-2 дБ/м, адресно-аналоговые извещатели могут обеспечивать реальную чувствительность порядка 0,5-1 дБ/м, и только лучшие образцы мультикритериальных извещателей с использованием сложных экспертных алгоритмов обработки аналоговой информации, например FastLogic и High Performance Optical (HPO), обеспечивают обнаружение очагов при оптической плотности менее 0,5 дБ/м [12, 13].

Объясняется это положение более низкими скоростями движения дыма при огневых испытаниях в сравнении со скоростью аэрозоля в дымовом канале и различным размером обнаруживаемых частиц. Аэродинамическое сопротивление дымозахода определяет значительно более низкую оптическую плотность среды по сравнению с окружающим пространством: чем больше аэродинамическое сопротивление и меньше скорость воздушного потока, тем больше перепад плотности среды. Даже оптимизированная конструкция по минимуму аэродинамического сопротивления дымозахода, за исключением бескамерных, линейных и аспирационных извещателей, не обеспечивает поступление дыма в камеру при скоростях дыма менее 0,15 м/с. Извещатели с неоптимальной конструкцией дымозахода, с дополнительными элементами для защиты от пыли, «теряют» чувствительность даже при больших скоростях, порядка 0,2-0,3 м/с, что определяет их низкую чувствительность в реальных условиях.

Размеры стандартных тестовых очагов, которые должны быть обнаружены для получения сертификата по EN 54-7 и по ГОСТ Р 53325-2012, Приложение А (обязательное) «Огневые испытания



**Рис. 4.**  
Размеры очага ТФ4  
за 160 секунд,  
на момент окончания  
испытания

извещателей пожарных», не так уж малы для ручного тушения. Например, тестовый очаг ТП-4 – это стопка из трех пенополиуретановых матов плотностью 20 кг/м<sup>3</sup> и размером 500х500х20 мм каждый. Ко времени окончания теста, через 140-180 секунд, огонь охватывает всю площадь очага и высота пламени достигает 2 метров (рис. 4). Если очаг площадью 0,25 м<sup>2</sup> обнаруживается с расстояния 3 м, то при расстоянии до извещателя в 2 раза больше, при 6 метрах, размер очага увеличится примерно в 4 раза до 1 м<sup>2</sup>, и с учетом затраты времени на локализацию очага, особенно при использовании неадресной системы, тушение персоналом становится проблематичным. А при расстоянии между очагом и извещателем 10-15 м, даже если произойдет активация извещателя, то уже точно не избежать использования профессионального пожаротушения со значительным ущербом и от пожара, и от процесса тушения.

В отличие от открытых очагов, в тлеющих очагах температура образующейся газовой смеси мало отличается от температуры окружающей среды, и при увеличении расстояния от очага – кроме снижения удельной оптической плотности дыма и уменьшения скорости воздушного потока при разбавлении его чистым холодным воздухом – падает температура и теряется подъемная сила, вследствие чего происходит снижение нижней кромки дыма с дополнительным снижением оптической плотности. Именно проблема своевременного обнаружения «холодного» дыма на путях эвакуации является причиной необходимости сокращения расстояния между извещателями в коридорах в 1,5-2 раза по сравнению с расстояниями в других помещениях.

### РЕАЛЬНАЯ НАДЕЖНОСТЬ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Статистические данные о работоспособности различных устройств пожарной автоматики с распределением по типам в открытых источниках практически отсутствуют. Исключением является статья [11, 14], в которой проведен анализ надежности извещателей и приборов на десяти АЭС за период с 1 января 2000 года по 31 мая 2006 года. Как отмечается в данной статье: «Всего за это время был зафиксирован в системах АУПТ и АУПС 331 отказ технических средств (в том числе отказы, приводящие к ложному срабатыванию) и 725 ложных срабатываний (в том числе 62 срабатывания АУПТ с пуском огнетушащего вещества)». На основании проведенных исследований был разработан и с 01.01.2005 введен в действие РД ЭО 0585-2004 «Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса пожарных извещателей и приемно-контрольных приборов систем пожарной сигнализации АЭС».

Значения наработки на отказ и на ложное срабатывание пожарных извещателей, вычисленные в статье [11, 14], приведены в таблице 2. Исследования показали, что только первый дымовой извещатель ИДФ-1М показал наработку на отказ менее 400 000 часов, эквивалентной двум извещателям с нормативной наработкой на отказ 60 000 часов. И только из-за отказа лампы накаливания СМ-28-0,05, срок службы которой значительно меньше светодиодов, использующихся во всех дымовых извещате-

**Табл. 2.** Нарботка на отказ и на ложное срабатывание извещателей на АЭС

Тип извещателя и ППКП	Количество	Нарботка на отказ		Нарботка на ложное срабатывание	
		час.	лет	час.	лет
ИДФ-1М	629	225 000	25,7	125 000	14,3
ДИП-1	14 800	12 000 000	1 369,9	5 900 000	673,5
ДИП-3	16 321	36 500 000	4 166,7	1 100 000	125,6
ИП212-5	3 029	9 100 000	1 038,8	9 100 000	1 038,8
ИП212-45	330	2 000 000	228,3	3 700 000	422,4
ИП212-46	107	625 000	71,3	625 000	71,3
ИП105-2/1	6 204	9 500 000	1084,3	9 100 000	1 038,8
ИПДЛ-1	33	1 600 000	182,6	196 000	22,37

лях более поздних разработок. Но то, что эти древние извещатели дожили до 2006 года, тоже говорит о многом. А уже первый дымовой извещатель со светодиодом ДИП-1 показал наработку на отказ 12 000 000 часов (1369,9 лет) и наработку на ложное срабатывание 5 900 000 часов (673,5 лет). Причем без перезапросов, судя по типам приемно-контрольных приборов, установленных на АЭС.

Еще большую величину наработки на отказ показали дымовые извещатели ДИП-3, рекордное значение 36 500 000 часов (4166,7 лет). Это означает, что за каждый год эксплуатации был выявлен только один неисправный извещатель ДИП-3 из 4000 извещателей, а из 16 321 извещателей ДИП-3, установленных на АЭС, в среднем было обнаружено ежегодно всего лишь четыре неисправных извещателя ДИП-3. Нарботка на ложное срабатывание извещателя ДИП-3 составила значительную величину – 1 100 000 часов (125,6 лет). Следующий извещатель ДИП-5 показал несколько меньшую величину наработки на отказ – 9 100 000 часов (1038,8 лет), но почти на порядок большую величину наработки на ложное срабатывание 9 100 000 часов (1038,8 лет). Один отказ и одно ложное срабатывание на 1000 извещателей в год – отличный результат.

Более современные извещатели, установленные на АЭС в небольших количествах, показали, как ни странно, более скромные результаты по надежности в сравнении с ДИП-1, ДИП-3 и ДИП-5, но также превысили 400 000 часов. По извещателю ИП212-45 (330 шт.), наработка на отказ составила 2 000 000 часов (228,3 лет) при наработке на ложное срабатывание 3 700 000 часов (422,4 лет). У извещателя ИП212-46 (107 шт.) наработка на отказ оказалась еще меньше: 625 000 часов (71,3 лет) и такая же наработка на ложное срабатывание 625 000 час. (71,3 лет), совершенно одинаковые значения позволяют предпо-

ложить, что отказ извещателей сопровождался формированием ложного срабатывания.

Что касается широко распространенного мнения, что у тепловых извещателей практически полностью отсутствуют отказы и ложные срабатывания, в отличие от дымовых извещателей, практика показывает, что это совсем не так. На АЭС эксплуатировались тепловые извещатели ИП105-2/1 в количестве 6204 шт., которые показали наработку на отказ 9 500 000 часов (1084,3 лет), что несколько меньше, чем даже у ДИП-1, и в 4 раза меньше, чем у ДИП-3. Нарботка на ложное срабатывание составила 9 100 000 часов (1038,8 лет), не выше чем у дымового извещателя ИП212-5.

Наверное, необходимо еще раз отметить, что полученные в статье величины [14] не связаны с ресурсом оборудования и наработка на отказ равная 1000 лет – это в среднем один отказавший извещатель на 1000 штук за 1 год. Соответственно вероятность отказа для такого извещателя без какого-либо резервирования по формуле (2) за год составляет  $1:1000 = 0,001$  и за 10 лет соответственно  $0,01$ !

Однако необходимо отметить, что полученные результаты получены для устройств, которые эксплуатировались до контрольного периода и прошли этап приработки, а также были обеспечены регулярным техническим обслуживанием с контролем работоспособности. Какую надежность будут иметь новые пожарные извещатели, это зависит от проведения полноценного цикла тестирования и электрической тренировки в процессе изготовления. Кроме того, регулярное тестирование пожарных извещателей достаточно трудоемкое, требует дорогостоящего оборудования и по этим причинам на многих объектах не проводится, в отличие от особо важных объектов. Причем простейшие тестеры, используемые для проверки дымовых и тепловых пожар-

ных извещателей, не позволяют обнаружить снижение их чувствительности. Исходя из этого положения, совсем не понятно создание «нормативных» трудностей при установке одного извещателя с контролем работоспособности. Если в автоматическом режиме обнаруживается снижение чувствительности извещателя, то его надо заменить в кратчайшие сроки, а обычные пороговые извещатели могут «моргать» индикаторами при снижении чувствительности до нуля.

Несмотря на полученные фантастические результаты наработки на отказ по сравнению с нормативными 60 000 часов по отечественным извещателям, которые выпускались для АЭС, зарубежное оборудование, вероятно, показало еще более высокую

надежность. На АЭС эксплуатировались извещатели и панели двух зарубежных производителей, но по ним результаты в численном виде в статье [14] приведены не были, только было отмечено, что «по тем типам извещателей и приборов, у которых наблюдались единичные отказы и (или) ложные срабатывания, расчеты не проводились».

Что обеспечивает высокую надежность извещателей, сертифицированных по европейским стандартам серии EN 54, и что означает «резервирование контактов», указанное в заглавии, мы подробно рассмотрим в следующей части статьи.

Продолжение следует...

## ЛИТЕРАТУРА

1. Неплохов И. Г. Один пожарный датчик вместо двух? // *Алгоритм безопасности*. 2003. № 5.
2. Маслов И. Самодиагностика извещателей. Принципы реализации и критерии оценки // *БДИ*. 2004. № 4.
3. Неплохов И. Г. Повышение пожарной безопасности. Теория и практика // *Скрытая камера*. 2004. № 11.
4. Павлов Д. И., Чулкин И. Н. Самодиагностика извещателей? Все не так просто! // *БДИ*. 2005. № 2.
5. Неплохов И. Г. Надежность систем пожарной сигнализации // *Каталог «ОПС. Охранная и охранно-пожарная сигнализация»*. Groteck, 2008
6. Неплохов И. Г. «Вечная» тема 1-2-3 с точки зрения МТВБ. Миф и реальность // *Каталог «Пожарная безопасность»*. Groteck, 2013.
7. Третьяков Н.П. Компонентный анализ мировой статистики пожаров // *Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности»* (<http://ipb.mos.ru/ttb>). Июнь, 2009. Выпуск № 3.
8. Интервью директора ДНД МЧС России Ю.И. Дешевых. «Своевременное выполнение требований пожарной безопасности – залог сохранения человеческих жизней». Октябрь, 2013.
9. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: *Машинстроение*, 1984.
10. Козлов Б.А., Ушаков И.А. *Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики*. М.: *Советское радио*, 1975.
11. ГОСТ Р 53325-2009 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний».
12. Драйздейл Д. *Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова*. М.: *Стройиздат*, 1990.
13. Неплохов И. Г. Выбор извещателя в зависимости от типа помещений и условий эксплуатации. Часть 4 // *Технологии защиты*. 2013. № 1.
14. Фомин В. И., Буцынская Т. А., Журавлев С. Ю. Количественная оценка параметров устойчивости функционирования технических средств пожарной автоматики на АЭС России // *Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности»* (<http://ipb.mos.ru/ttb>). (13) июнь 2007. Выпуск № 3.



■ Новые управляемые коммутаторы IGS-5424-PTP производства Lantech предназначены для организации Ethernet-сетей систем видеонаблюдения, контроля доступа и автоматики уличных объектов. Они имеют корпус с классом защиты IP30, могут работать при внешних температурах от -40° С до +60 °С и оборудованы контактом для подключения устройств сигнализации. Кроме того, эти промышленные коммутаторы снабжены 24 портами 10/100/1000T, 4 mini-GBIC/SFP слотами. Используют протокол синхронизации времени по всем портам (PTPv2), технологию Pro-Ring IIsе и резервируемое питание, а их пропускная способность составляет 56 Гбит/с. Выполнять управление и настраивать новые промышленные модели можно через SNMP, веб-браузер, Telnet и CLI.

■ Компания Axis Communications представила две камеры купольного типа P3364-LV и P3364-LVE, которые имеют вандалозащищенный корпус, встроенный ИК-прожектор с дальностью подсветки до 30 м, и 2,5-6 мм либо 3,3-12 мм вариообъектив с автодиафрагмой P-Iris типа. Каждая камера с ИК-подсветкой использует 1/3-дюймовый КМОП-сенсор и способна передавать несколько потоков видео с разрешением до 1280x960

пикс. и фреймрейтом до 25 к/с, сжимая их с помощью видеокодексов H.264 и M-JPEG. Кроме того, P3364-LV/P3364-LVE оборудованы входом и выходом тревоги, поддерживают двунаправленную передачу звука, и позволяют применять для локальной записи видео SD/SDHC/SDXC карты памяти.

■ Новинка от EverFocus – 2-х мегапиксельная bullet-камера EZN-1260, выполнена в ударопрочном металлическом корпусе. Камера имеет класс защиты от влаги, пыли и погодных воздействий по классу IP66 и может эксплуатироваться в диапазоне температур от -20 до 55 градусов. Видео может передаваться в три потока. Потоки передаются с независимыми настройками, что дает возможность одновременно вести запись и наблюдение с разным «весом» картинки, не перегружая трафик. При любом разрешении изображение передается с частотой 25 кадров/сек. ИК-подсветка дальностью до 20 метров и электронный режим дневной и ночной съемки позволяют вести наблюдение даже при отсутствии освещения. 10-кратное цифровое увеличение позволяет при необходимости укрупнять части кадра, чтобы рассмотреть мельчайшие детали.

■ Рынок IP-наблюдения пополнился новинками от Pinetron – 2-х мегапиксельными уличными камерами PNC-IB2E2 и PNC-IV2E2, а также несколькими видеорегистраторами серии PNR-HD4000. Антивандальная купольная видеокамера PNC-IV2E2 имеет класс защиты от погодных воздействий IP68, а цилиндрическая камера PNC-IB2E2 – IP66. Обе камеры имеют систему обогрева и могут эксплуатироваться при температурах от -40° С до +50 °С. Питание обоих камер может быть реализовано по технологии PoE, что дает возможность экономить на монтаже. Видео с высоким разрешением 2 мегапикселя передается в 3 потока, что позволяет одновременно вести запись и наблюдение за объектом в реальном времени и при этом экономить трафик. Обе камеры имеют режим дневной и ночной съемки с механическим ИК-фильтром, а также ИК-подсветку, позволяющую вести наблюдение даже ночью без освещения.

# 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 вероятности 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 м<sup>2</sup> 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 м<sup>2</sup>), 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 м<sup>2</sup> одновременно двумя извещателями контролируется только 104 м<sup>2</sup> 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 м<sup>2</sup>, что составляет менее 40 % площади помещения (рис. 3). А при отказе центрального извещателя площадь обнаружения пожара сокращается до 23 м<sup>2</sup>, 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 этого такого «кну-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**

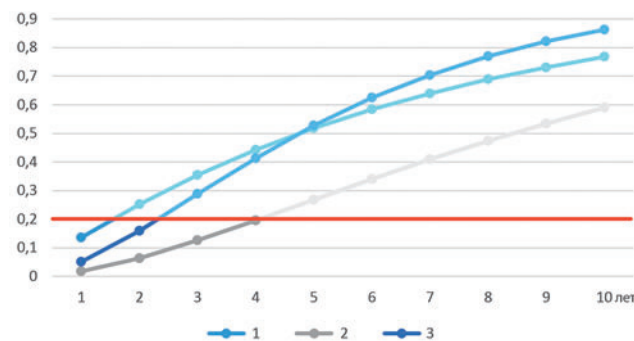
Оценка надежности пожарного извещателя производится по характеристикам электронных элементов, из которых он состоит. Ведущие производители приводят значения интенсивности отказов  $\lambda$ , по которым определяется расчетная наработка на отказ устройства. В таблице 2 приведены исходные данные для расчета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

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

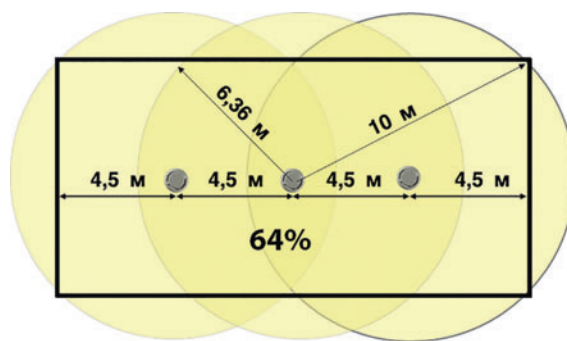
**Табл. 2.** Интенсивность отказов элементов дымового извещателя

№ п/п	Элемент	Количество, шт.	Интенсивность отказов $\lambda$ , (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

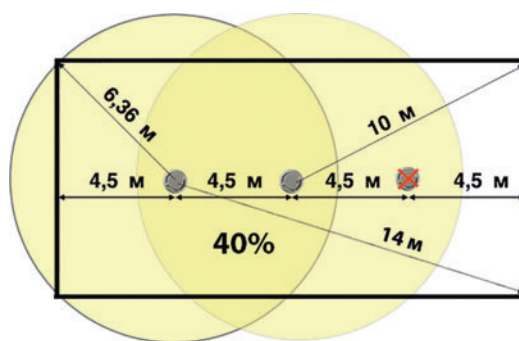
**Рис. 1.** Зависимость вероятности отказа извещателей в процессе эксплуатации  
1 – одного извещателя; 2 – двух извещателей; 3 – двух извещателей из трех



**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%

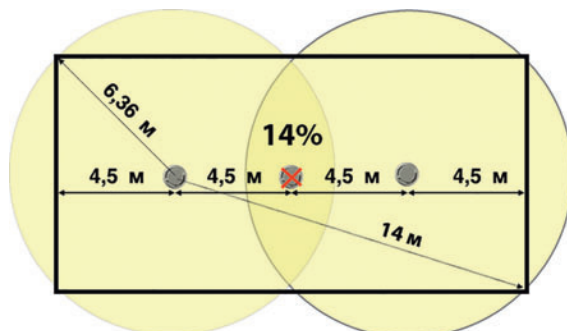


Табл. 3. Вероятность отказа одного извещателя с наработкой 470 000 ч  $Q_1(t_0)$ , двух извещателей  $Q^2(t_0)$  и двух из трех  $Q_3(t_0)$  с наработкой на отказ по 60 000 ч

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.

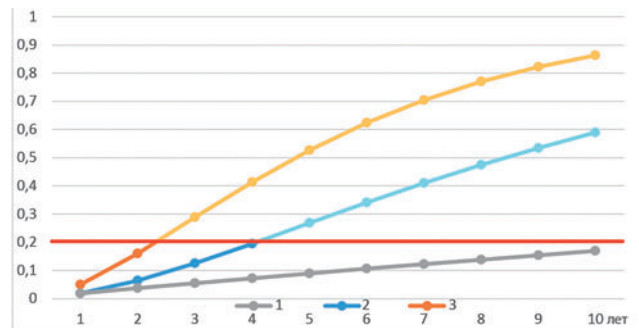


Рис. 5. Зависимость вероятности отказа извещателей в процессе эксплуатации:  
1 — одного извещателя с наработкой на отказ 470 000 ч;  
2 — двух извещателей с наработкой на отказ 60 000 ч;  
3 — двух извещателей из трех с наработкой на отказ 60 000 ч

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.