

А.Н. Членов, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демехин  
**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ МЕТОДОВ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА**

Представлены материалы шестой главы монографии "Новые методы и технические средства обнаружения пожара", в которой рассмотрены методы оценки эффективности технических средств и систем обнаружения пожара.

## **ГЛАВА 6**

### **6.1. Оценка влияния качественного уровня системы сигнализации на безопасность объекта**

В настоящее время существует значительное количество нормативных документов, относящихся к различным аспектам обеспечения безопасности объектов. Имеется количественная оценка пожароопасности помещений, а также попытка применения нормативных требований к интегрированной охране объектов [6.1]. Однако они не дают чёткого представления о совокупности необходимых и достаточных мер по обеспечению безопасности объектов от угроз пожара и проникновения посторонних лиц. В связи с этим целесообразно введение комплексного показателя, количественное значение которого определяет уровень такой безопасности.

При формировании комплексного показателя должно быть учтено следующее:

ни одна из прямых угроз не может иметь приоритет, то есть защита от каждой из них должна быть достаточной и ошибки в обеспечении безопасности объекта от одной угрозы не могут компенсироваться за счёт избыточной защиты от другой;

угрозы могут носить комплексный характер (рис. 6.1);

показатель должен быть устойчив к небольшим изменениям параметров, вызванным погрешностью их определения или изменением условий с течением времени;

показатель должен быть удобен для расчёта широкому кругу специалистов-практиков.

Сформированный с учётом вышеизложенного комплексный показатель уровня безопасности объекта  $B$  имеет вид

$$B = B_{\text{п}} B_{\text{нп}} = (K_{\text{зп}} O_{\text{пд}} - O_{\text{п}}) (K_{\text{знп}} O_{\text{нпд}} - O_{\text{нп}}), \quad (6.1.1)$$

где  $B_{\text{п}}$ ,  $B_{\text{нп}}$  – уровень безопасности от угрозы пожара и несанкционированного проникновения соответственно;  $O_{\text{п}}$ ,  $O_{\text{нп}}$  – опасность пожара и про-

никновения нарушителя соответственно;  $O_{пд}$ ,  $O_{нпд}$  - допустимая опасность пожара и проникновения нарушителя соответственно;  $K_{зп}$ ,  $K_{знп}$  – коэффициенты запаса допустимой опасности пожара и проникновения нарушителя соответственно.

$O_{п}$  может быть определена как отношение фактора пожарной опасности к фактору пожарной защиты объекта

$$O_{п} = \Pi_{п} A_{с} A_{п} / \Pi_{з}, \quad (6.1.2)$$

где  $\Pi_{п}$  – фактор потенциальной пожарной опасности, определяемый наличием и количеством пожарной нагрузки, ее горючестью и способностью дымообразования, этажностью или высотой помещения, размерами и формой площади объекта;  $A_{с}$  – фактор случайной активации пожара, отражающий вероятность возникновения пожара, связанную с видом помещения и характером деятельности в нём;  $A_{п}$  – фактор умышленной активации пожара, отражающий вероятность поджога;  $\Pi_{з}$  – фактор пожарной защиты объекта, отражающий выполнение общих (нормативных), специальных (в том числе пожарная автоматика) и строительных защитных мероприятий;

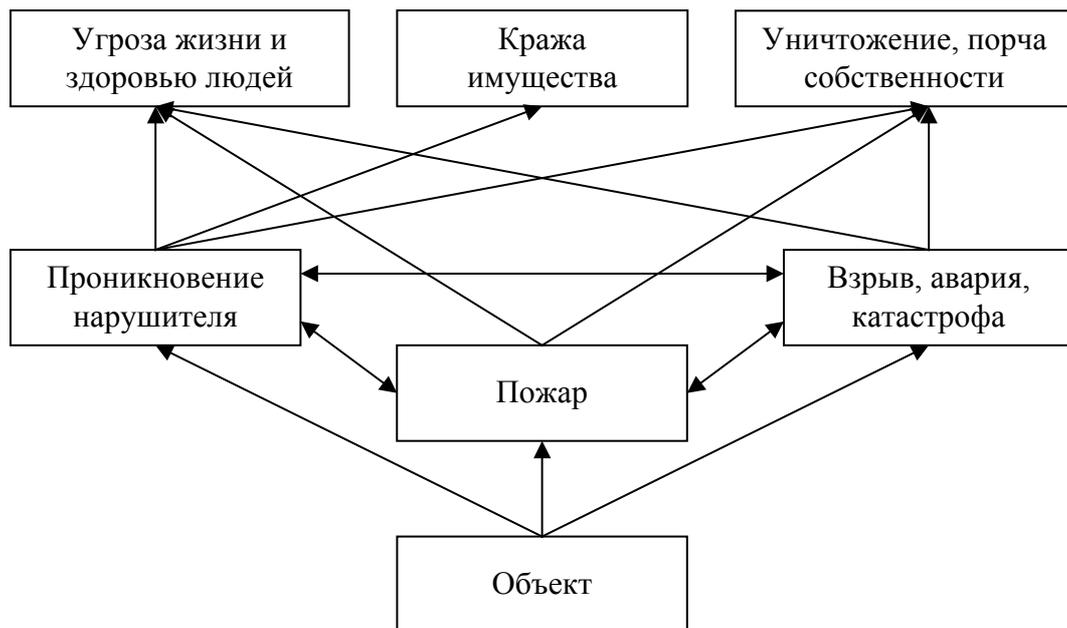


Рис. 6.1. Дерево наиболее вероятных угроз объекту

$O_{нп}$  может быть определена как отношение фактора опасности вторжения к фактору защиты объекта

$$O_{нп} = \Phi_{к} \Phi_{и} / \Phi_{з}, \quad (6.1.3)$$

где  $\Phi_{к}$  – криминогенный фактор, связанный с месторасположением объ-

екта и его посещаемостью, а также уровнем криминальной обстановки;  $\Phi_{и}$  – фактор возможного использования нарушителем для проникновения на объект пожара, взрыва, аварии и т.п.;  $\Phi_{з}$  – фактор защиты объекта, определяемый видом и способом организации охраны, наличием и количеством рубежей систем сигнализации и технических средств защиты, в том числе для активного противодействия проникновению, наличием дополнительных специальных систем безопасности (контроля и управления доступом, видеоконтроля, и др.);  $O_{нпд}$  – максимальное допустимое значение фактора опасности проникновения, определяемое значимостью объекта и стоимостью постоянно или временно находящихся на нём материальных ценностей.

Коэффициенты запаса  $K_{зп}$ ,  $K_{зпп}$  определяют меру устойчивости комплексного показателя безопасности.

Количественные значения факторов могут быть определены с помощью известных методик [6.1], в результате статистических исследований или экспертным путём. При этом должны быть учтены нормативные требования и предложения по их совершенствованию [1.12].

В результате расчёта определяют значение уровня безопасности объекта. Условия достаточной безопасности могут быть сформулированы в виде:

$$B > 0, \quad \text{при} \quad B_{п}, B_{нп} > 0. \quad (6.1.4)$$

При отрицательном значении любого сомножителя значение  $B$  будет отрицательным, что указывает на недостаточную защищённость объекта от одного из видов угроз. Отрицательное значение обоих сомножителей также недопустимо.

Применение на практике предложенного метода позволит оценить реальное состояние объекта, определить потенциальную опасность проявления угроз, определить необходимые мероприятия для обеспечения защиты, оценить пригодность объекта для использования по новому назначению, а также определить тарифы для страхования от возможного ущерба.

Кроме того, данный метод позволяет оценить влияние проводимых мероприятий на уровень безопасности объекта. Проведём такую оценку для случая выбора варианта применения различных систем охранно-пожарной сигнализации.

Из представленного выше описания видно, что влияние систем сигнализации на уровень безопасности учтено в коэффициентах  $\Pi_{з}$  и  $\Phi_{з}$ . Оно может быть представлено в явном виде следующим образом. Для пожарной составляющей:

$$\Pi_{з} = H_{п} K_{о} T_{пт} C_{п}, \quad (6.1.5)$$

где  $H_{п}$  – показатель, отражающий выполнение нормативных мероприя-

тий по обеспечению пожарной безопасности;  $K_o$  – показатель, отражающий исполнение строительных конструкций по огнестойкости;  $T_{пт}$  – показатель, характеризующий наличие и тип установок автоматического пожаротушения и систем дымоудаления, организацию, месторасположение, силы и средства пожарных подразделений, обслуживающих объект;  $C_{п}$  – показатель, учитывающий наличие на объекте технических средств обнаружения пожара, наличие и виды средств передачи сигнала тревоги в противопожарную службу.

Для охранной составляющей в соответствии с [6.1] коэффициент  $\Phi_3$  можно представить в виде:

$$\Phi_3 = V_3 T_3 C_{нп}, \quad (6.1.6)$$

где  $V_3$  – параметр, отражающий вид и способ организации охраны;  $T_3$  – коэффициент, зависящий от применяемого комплекса технических защитных мероприятий;  $C_{нп}$  – параметр, отражающий вид используемой системы сигнализации.

Рассмотрим практически важный случай учета влияния на безопасность объекта применения систем видеонаблюдения. С этой целью в выражение для параметров  $\Pi_3$  и  $\Phi_3$  могут быть введены коэффициенты учитывающие качественно-функциональный уровень применяемой системы специального телевидения на объекте. Значения коэффициентов  $T_o$  и  $T_{п}$  могут быть определены экспертным путем в зависимости от вида системы видеонаблюдения и решаемых ею задач.

Таким образом, могут быть существенно увеличено значение показателя уровня безопасности объекта.

Считая, что при выбранной тактике обеспечения безопасности и единой системе охранно-пожарной сигнализации характеристика её влияния на безопасность объекта одинакова, то есть  $C_{п} = C_{нп} = C$ , рассмотрим характер зависимости  $B = f(C)$  в выражении

$$B = (K_{зп} O_{пд} - \Pi_{п} A_c A_{п} / N_{п} K_o T_{пт} T_{п} C) (K_{зпп} O_{нп} - \Phi_k \Phi_{и} / V_3 T_3 T_o C). \quad (6.1.7)$$

Вид зависимости (6.1.7) представлен на рис. 6.2.

Точки пересечения кривой с осью  $C$  могут быть определены следующим образом:

$$C_{к1} = \Pi_{п} A_c A_{п} / K_{зп} O_{пд} N_{п} K_o T_{пт} T_{п}; \quad (6.1.8)$$

$$C_{к2} = \Phi_k \Phi_{и} / K_{зпп} O_{нп} V_3 T_3 T_o \quad (6.1.9)$$

Пунктирной линией на рис. 6.2 обозначена часть кривой, для которой условия (6.1.4) не выполняются. Необходимыми и достаточными условиями обеспечения требуемого уровня безопасности объекта будут

$$C > C_{к1}, C_{к2}. \quad (6.1.10)$$

Таким образом, из выражений (6.1.8) – (6.1.10) могут быть определены требования к системе сигнализации обеспечивающие необходимый уровень безопасности объекта.



Рис. 6.2. Зависимость уровня безопасности объекта от вида используемой системы сигнализации

Рассмотрим частный случай оценки влияния автоматизированной охранно-пожарной сигнализации на пожарную безопасность объектов вневедомственной охраны. В системах безопасности объектов вневедомственной охраны МВД России используется, как правило, охранно-пожарная сигнализация, если даже в соответствии с действующими нормативными документами не требуется установка пожарной автоматики.

Известно, что применение организационно-технических мер по обнаружению и сигнализации о пожаре повышает пожарную безопасность объектов. Количественная оценка этого может быть получена на основе метода Гретенера, определяющего пожароопасность помещений различного назначения [6.1]. Данный метод адаптирован специалистами к российским условиям с учётом действующих нормативов. Для определения численных значений факторов имеются соответствующие таблицы. Согласно им значение коэффициента, характеризующего наличие и тип средств обнаружения пожара, находится в диапазоне 1,05-1,45. Значение коэффициента, характеризующего организацию, месторасположение, силы и средства пожарных подразделений, обслуживающих объект, для тех же условий - 1,05-1,2.

Значение показателя  $C_n$  определяется как произведение указанных выше коэффициентов. Таким образом, при обеспечении безопасности объектов вневедомственной охраной по оценкам [6.1] достигается увеличение пожарной безопасности объекта в 1,1-1,74 раза.

## **6.2. Оценка влияния характеристик пожарной сигнализации на эффективность системы безопасности промышленного предприятия**

Основная цель, преследуя которую создаются системы пожарной безопасности (СПБ), состоит в исключении или уменьшении ущерба от пожара и обеспечения тем самым материального выигрыша.

Ущерб от пожара складывается из материальных и моральных потерь, а также ущерба жизни и здоровью людей. Материальные потери легко поддаются количественной оценке и выражаются в денежной форме. Людские потери при современных нормах общественного поведения и менталитете также имеют денежный эквивалент, выражаемый системой компенсаций пострадавшим или их семьям. Моральные потери при пожарах пока не имеют строго фиксированного денежного эквивалента и состоят в основном в падении рейтинга предприятия, которое не может обеспечить пожарную безопасность и, следовательно, стабильность поставок продукции. При этом ссылки на пункты контракта, предусматривающие форс-мажор и страхование, не имеют решающего значения, поскольку их реализация все равно связана с дополнительными затратами, увеличением стоимости продукции и, как следствие – с уменьшением конкурентоспособности продукции.

Таким образом, для оценки эффективности применения системы пожарной безопасности может быть использована функция предотвращенного материального ущерба  $Y_n$ , с учетом затрат на достижение требуемого уровня функционирования системы пожарной безопасности [6.4]

$$Y_n = Y_m - Y, \quad (6.2.1)$$

где  $Y$  – нанесенный пожаром материальный ущерб;  $Y_m$  – максимально возможный нанесенный пожаром ущерб.

Определение величины ожидаемого ущерба может быть проведено на базе укрупненной модели функционирования предприятия, охватывающей, основные характеристики его деятельности – баланс, маркетинг, структуру производства и технологию. Математическая интерпретация модели представляет последовательность аналитических и логических операторов и баз данных, необходимых для выполнения процедур. Концептуальная сторона модели выглядит следующим образом.

Предприятие располагает основными фондами объемом  $W_{\text{оф}}$  с приведенным сроком службы  $T_{\text{оф}}$  и выпускает продукцию с годовым приведенным объемом  $R$  в валовом исчислении. Приведенные затраты на формирование системы пожарной безопасности составляют  $Z_{\text{СПБ}}$ .

Приостановка на время  $T_{\text{в}}$  или прекращение поставок продукции приводит к прямым потерям в объеме  $RT_{\text{в}}$  или  $R_{\text{ш}}$  соответственно, где под  $R_{\text{ш}}$  понимается объем штрафных санкций, предусмотренных контрактом. Выпуск продукции  $R$  осуществляется на  $N$  производственных участках (помещениях), выход из строя каждого из которых приводит к потере части общей продукции предприятия. Суммирование в общем случае должно производиться с использованием функционально-структурной схемы предприятия (его технологической конфигурации). Предположим, что для каждого варианта начала и завершения пожара потери продукции на каждом участке известны и аддитивны. Для производственного объекта существует и считается известной априорная вероятность пожара  $P_n$ , отнесенная к расчетному периоду анализа – одному году.

Таким образом, суммарные материальные потери (ущерб) в случае их аддитивности могут быть определены с помощью выражения

$$Y = P_n K_n \left[ \sum_1^N \{(RT_{\text{в}})A + R_{\text{ш}}(1-A)\} + \sum_1^N (W_{\text{оф}} + Z_{\text{АСПБ}}) \right] = K_n Y_{\text{м}}, \quad (6.2.2)$$

где  $K_n$  – коэффициент поражения;  $A$  – вероятность стратегии предприятия, предусматривающей восстановление производства в прежнем виде.

Последствия пожара в помещении характеризуются величиной коэффициента поражения  $K_n$ , отражающего долю от максимально возможного нанесенного пожаром ущерба  $Y_{\text{м}}$ . Очевидно, что максимально возможный ущерб, соответствующий полному выгоранию объекта, достигается при значении  $K_n = 1$ .

Следовательно, выражение (6.2.1) можно записать в виде:

$$Y_n = Y(1 - K_n). \quad (6.2.3)$$

Параметр  $K_n$  есть функция параметров сформированной СПБ, а также параметров пожара. При одинаковых объективных параметрах пожара (вероятность, скорость горения и др.) величина коэффициента поражения зависит от объема и качества задействованных средств пожарной безопасности, имеющих соответствующую величину приведенных годовых затрат  $C_{\text{СПБ}}$ . Следовательно, эффективность  $E$  применения этих средств можно оценить соотношением:

$$E = \frac{Y}{C_{\text{СПБ}}} (1 - K_n). \quad (6.2.4)$$

Величина эффективности  $E$  показывает сколько рублей в форме предотвращенного ущерба экономится на один рубль, затраченный на создание и использование СПБ.

В каждом из производственных помещений объем установленных технических средств пожарной автоматики зависит как от категории объекта (обязательная часть), так и от дополнительных требований, связанных с допустимой величиной ущерба.

Поскольку в производственных помещениях, как правило, рационально используется вся его площадь, а распространение пожара в рамках одного производственного помещения не встречает препятствий, то можно считать, что ущерб  $Y$  пропорционален площади поражения (площади выгорания). Модель скорости распространения границ зоны горения может быть различной в зависимости от размеров, свойств и геометрии расположения пожарной нагрузки – от медленного тления до практически мгновенного взрыва. Именно скорость распространения пожара является тем физическим фактором, который в числе прочих определяет требуемое время срабатывания системы обнаружения и извещения о пожаре.

Действительно, если коэффициент поражения  $K_n$  пропорционален площади выгорания, то

$$K_n = \frac{S}{S_0}, \quad (6.2.5)$$

где  $S$  – площадь выгорания,  $m^2$ ;  $S_0$  – общая площадь помещения,  $m^2$ .

Обозначая через  $t_1$  продолжительность этапа обнаружения и извещения о пожаре,  $t_2$  – продолжительность этапа запуска системы пожаротушения,  $t_3$  – продолжительность этапа тушения пожара, и принимая также начало отсчета времени от начала горения, можно записать для каждого помещения следующие соотношения:

$$S = V_{гор} (t_1 + t_2) + V_{туш} t_3; \quad (6.2.6)$$

$$K_n = \frac{1}{S_0} [V_{гор} (t_1 + t_2) + V_{туш} t_3], \quad (6.2.7)$$

где  $V_{гор}$  – скорость горения,  $m^2/сек$ ;  $V_{туш}$  – скорость тушения,  $m^2/сек$ .

Из выражения 6.2.7 видно, что  $K_n$  является функцией нескольких параметров, в число которых входит  $t_1$

$$K_n = F(S_0, t_1, t_2, t_3, V_{гор}, V_{туш}). \quad (6.2.8)$$

Таким образом, характеристика обнаружения пожарного извещателя, может быть связана с эффективностью СПБ. Следовательно, с помощью

полученных на основе системного подхода выражений можно осуществить выбору параметров СПБ и, в частности, оценить вклад использования извещателей в общую эффективность функционирования системы как основных элементов системы пожарной сигнализации определяющих значение  $t_1$ .

Для оценки степени влияния отдельных параметров СПБ на общий показатель эффективности воспользуемся численным примером. Рассмотрим предприятие, состоящее из трех производственных помещений, отличающихся друг от друга производственными параметрами, степенью пожарной опасности, а также параметрами СПБ. Соответствующие исходные данные приведены в табл. 6.1.

При полном отсутствии СПБ ожидаемый ущерб от пожаров определяется стоимостью повреждённого оборудования, стоимостью восстановительных работ и стоимостью невыпущенной продукции, с учетом объема штрафных санкций за задержку поставок, предусмотренных контрактом. Соответствующие данные приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.1

Параметры	Номер производственного помещения			Всего по предприятию
	1	2	3	
Приведенная стоимость основных фондов с учетом затрат на СПБ, ( $W_{\text{оф}}+Z_{\text{СПБ}}$ ), руб	$1,0 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^8$	$6,0 \cdot 10^8$
Доля в продукции на каждом участке в общем объеме	0,3	0,3	0,4	1,0
Априорная вероятность пожара, $P_n$	0,10	0,15	0,30	-
Годовая стоимость продукции, $R$ , руб	-	-	-	$3,0 \cdot 10^8$
Время восстановления, $T_v$ , год	0,02	0,03	0,05	-

Таблица 6.2

Максимальные ожидаемые потери, руб	Номер производственного помещения			Всего по предприятию
	1	2	3	
При восстановлении предприятия	$1,02 \cdot 10^7$	$3,045 \cdot 10^7$	$9,195 \cdot 10^7$	$13,650 \cdot 10^7$
При ликвидации производства	$5,5 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$	$15,0 \cdot 10^7$	$28,0 \cdot 10^7$

Эти данные характеризуют предельно возможный финансовый эффект от применения СПБ, соответствующей такому высокому ее уровню, который полностью исключает потери от пожаров.

Для определения коэффициента поражения используется ранее полученная формула (6.2.7), преобразованная к виду, учитывающему увеличение времени начала тушения из-за расширения периметра горения в помещении большой площади, а также предполагающая, что составляющая, связанная с тушением пожара, мала и ею можно пренебречь.

$$K_n = \frac{1}{S_0} V_{гор}(t_1 + t_2^* \sqrt{S_0}). \quad (6.2.9)$$

В расчетах время разворачивания средств пожаротушения на единицу длины периметра очага горения  $t_2^*$ , зависящее в основном от количества и мощности привлекаемых средств, принимается в пределах 0,1-10 мин/м.

Формула (6.2.9) показывает влияние на  $K_n$  параметров производственного помещения и СПБ. Так для малоразмерных быстрогорящих объектов типа спецкамер для хранения небольших объемов ЛВЖ и т.п. ни время обнаружения пожара, ни время срабатывания СПТ не имеют решающего значения для снижения  $K_n$ . Соответствующие расчетные значения коэффициента поражения для малоразмерных объектов ( $S_0 = 0,3 \text{ м}^2$ ;  $V_{гор} = 10 \text{ м}^2/\text{мин}$ ) приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Время срабатывания средств пожаротушения, мин	Время обнаружения пожара, мин			
	0,5	1,0	2,0	4,0
0,5	0,55	0,83	1,0	1,0
1,0	0,83	1,0	1,0	1,0
2,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Из табл. 6.3 видно, что даже при применении наиболее совершенных и, следовательно, дорогих СПБ невозможно кардинально уменьшить коэффициент поражения. Это, в свою очередь, означает, что для малоразмерных быстрогорящих объектов основные усилия должны быть направлены на быстрое отключение пораженного объекта от остальных технологических элементов производственного подразделения и незамедлительное введение в работу резервных элементов. Что же касается времени обнаружения пожара и времени срабатывания средств пожаротушения, то их выбор следует ориентировать только на исключение возможности распространения пожара на другие технологические элементы.

Рассматриваемое в рамках численного примера производственное помещение № 1 относится к категории объектов средней площади, на которой размещено ограниченное число извещателей, так что время обнаружения пожара составляет 0,5 - 4,0 мин. Расчетные значения коэффициентов поражения для этого помещения приведены в табл. 6.4.

Из табл. 6.4 видно, что в условиях данного помещения при использовании быстроразвертываемых средств пожаротушения время обнаружения пожара оказывает заметное влияние на коэффициент поражения. При использовании средств пожаротушения с малым временем разворачивания влияние времени обнаружения уменьшается. При увеличении скорости горения до 50 м<sup>2</sup>/мин влияние времени обнаружения пожара возрастает, что видно по данным табл. 6.5.

Таблица 6.4

Расчетные значения коэффициентов поражения для помещения № 1  
(площадь 1000 м<sup>2</sup>; скорость горения 10 м<sup>2</sup>/мин)

Время срабатывания средств пожаротушения, мин	Время обнаружения, мин			
	0,5	1,0	2,0	4,0
1	0,015	0,020	0,030	0,050
8	0,085	0,090	0,100	0,120
32	0,325	0,330	0,340	0,360

Используя приведенные ранее для помещения № 1 расчетные данные по величине ожидаемого ущерба, коэффициентам поражения и оценочные данные табл. 6.1 по приведенным затратам на установку и эксплуатацию СПБ, можно подсчитать ожидаемые значения эффективности *E* (рис. 6.3).

Таблица 6.5

Время срабатывания средств пожаротушения, мин	Время обнаружения, мин			
	0,5	1,0	2,0	4,0
1	0,075	0,105	0,150	0,250
8	0,410	0,450	0,500	0,600
16	0,810	0,850	0,900	1,000

Из рис. 6.3 видно, что выбор параметров СПБ существенно влияет на эффективность ее практического применения – в ряде случаев излишне быстрое действие и дорогие системы пожаротушения при медленном обнаружении пожара обеспечивают не лучшие экономические показатели.

Таким образом, использование разработанного метода позволяет выбрать оптимальную по критерию экономической эффективности систему пожарной безопасности и, в частности, требуемые параметры быстрого действия пожарной сигнализации.

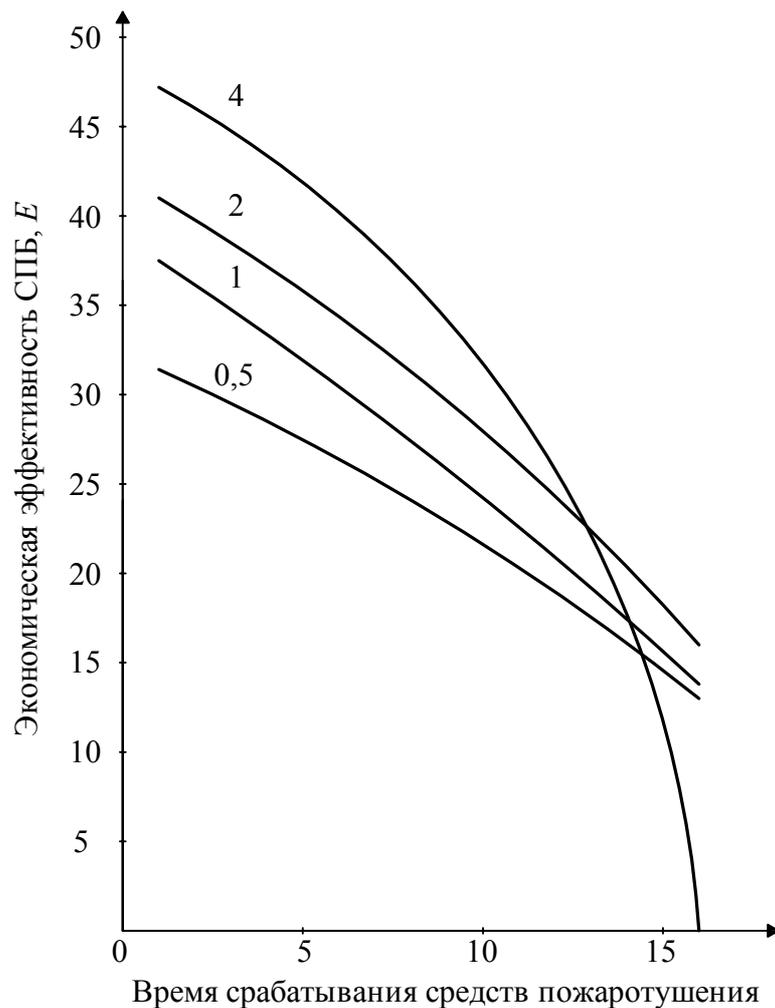


Рис. 6.3. Зависимость экономической эффективности  $E$  от параметров СПБ

### 6.3. Оценка достоверности обнаружения пожара по сигналам пожарных извещателей

При разработке новых автоматических систем противопожарной защиты одним из основных вопросов является обеспечение надежности и достоверности работы подсистем обнаружения пожара.

Сигналы ложных тревог, в основном связанные с ложным срабатыванием автоматических пожарных извещателей (АПИ), могут приводить к несанкционированному запуску автоматических установок пожаротушения (АУПТ) со всеми вытекающими последствиями. Для многих объектов последствия от непреднамеренных запусков АУПТ соизмеримы с потерями от пожаров, поэтому их руководители иногда

предпочитают риск от редких возгораний - рискам от более частых ложных срабатываний АУПТ.

Реальный путь повышения качества работы системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) и АУПТ связан со снижением вероятности ложных тревог при высокой вероятности правильного обнаружения возгорания. Этого можно добиться двумя путями. Первый путь связан с повышением технических характеристик АПИ либо разработкой принципиально новых систем обнаружения пожара повышенной надежности, второй – с совершенствованием алгоритмов обработки сигналов, поступающих от АПИ (в том числе интеллектуальных алгоритмов, применяемых в самих АПИ).

В настоящее время в соответствии с требованиями действующей нормативной базы при проектировании АУПТ особое внимание уделяется направлению, связанному с увеличением количества срабатывающих АПИ, необходимых для запуска АУПТ. Повышение достоверности сигнала "Пожар" описанными выше способами носит пока в основном инициативный характер производителей технических средств пожарной автоматики.

Согласно НПБ 88-2001, каждая точка защищаемой поверхности должна контролироваться не менее чем двумя АПИ (а лучше - тремя). Сигнал о пожаре считается достоверным, если сработало не менее двух АПИ. В алгоритмах такого типа не учитываются три фактора: априорная вероятность возгорания для объектов данного типа, вероятность правильного обнаружения сигнала о пожаре и вероятность ложной тревоги. Ниже предложен алгоритм обработки сигналов АПИ, в котором в той или иной мере учтены данные факторы [6.3].

Пусть от некоторых из  $n$  АПИ на приемно-контрольный прибор (ПКП) поступили сообщения о возгорании. Необходимо оценить вероятность того, что возгорание действительно имеет место. Приведем формальную постановку задачи.

Рассмотрим  $(n + 1)$ -мерный случайный вектор  $(\theta, Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ . Первая компонента данного вектора представляет собой индикатор наличия факта возгорания:  $\theta = 1$ , если факт имел место в действительности и  $\theta = 0$  - в противном случае. Остальные компоненты представляют собой индикаторы наличия информации о факте. Компонента  $Y_i = 1$ , если  $i$ -й АПИ передал на ПКП сигнал о возгорании и  $Y_i = 0$  - в противном случае; ПКП по наблюдаемым компонентам  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  должен сделать заключение о том, чему равна ненаблюдаемая компонента  $\theta$ .

*Рассмотрим вначале одномерный случай ( $n = 1$ ). Пусть нам известна*

априорная вероятность того, что факт возгорания на момент времени  $t$  на самом деле имеет место -  $P_t(\theta = 1) = Pa_t$ . Известны также: вероятность правильного обнаружения факта -  $P(Y = 1/\theta = 1)$  и вероятность ложной тревоги -  $P_t(Y = 1/\theta = 0)$ . Обозначим эти вероятности  $\rho_c$  и  $\rho_\phi$ , соответственно.

Пусть  $Y_t = 1$ . Выразим совместную вероятность событий  $(\theta = 1)$  и  $(Y = 1) - P_t((\theta = 1)(Y = 1))$  через вероятности  $Pa_t, \rho_c$  и  $\rho_\phi$ . Запишем формулу для вычисления  $P_t((\theta = 1)(Y = 1))$  следующими двумя способами:

$$P_t((\theta = 1)(Y = 1)) = P_t(\theta = 1)P_t((Y = 1)/(\theta = 1)) = Pa_t \rho_c; \quad (6.3.1)$$

$$P_t((\theta = 1)(Y = 1)) = P_t(Y = 1)P_t((\theta = 1)/(Y = 1)). \quad (6.3.2)$$

Приравняем правые части обоих выражений друг к другу,

$$Pa_t \cdot \rho_c = P_t(Y = 1) \cdot P_t((\theta = 1)/(Y = 1)). \quad (6.3.3)$$

Известно, что на ПКП сигнал  $Y = 1$ . Нам нужно найти вероятность того, что  $\theta = 1$  при условии того, что  $Y = 1$ ,  $P_t((\theta = 1)/(Y = 1))$ ,

$$P_t((\theta = 1)/(Y = 1)) = \frac{Pa_t \rho_c}{P_t(Y = 1)}. \quad (6.3.4)$$

По формуле полной вероятности сложного события имеем

$$\begin{aligned} P_t(Y = 1) &= P_t(\theta = 1)P_t(Y = 1/\theta = 1) + P_t(\theta = 0)P_t(Y = 1/\theta = 0) = \\ &= Pa_t \rho_c + (1 - Pa_t) \rho_\phi \end{aligned} \quad (6.3.5)$$

Подставив в выражение (6.3.4) вместо  $P_t(Y = 1)$  выражение  $Pa_t \rho_c + (1 - Pa_t) \rho_\phi$ , получим

$$P_t((\theta = 1)/(Y = 1)) = \frac{Pa_t \rho_c}{Pa_t \rho_c + (1 - Pa_t) \rho_\phi} = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \frac{\rho_\phi}{\rho_c}}. \quad (6.3.6)$$

Формула (6.3.6) выражает частный случай формулы Байеса для проверки гипотезы о том, что  $\theta = 1$  – при условии, что  $Y = 1$ . Всего здесь проверяемых гипотез две –  $H_1: \theta = 1$ ;  $H_2: \theta = 0$  и наблюдаемых несовместных событий тоже два:  $Y = 1, Y = 0$ .

Пусть  $Y = 0$ , тогда

$$P_t((\theta = 1)(Y = 0)) = P_t(\theta = 1)P_t((Y = 0)/(\theta = 1)) = Pa_t (1 - \rho_c); \quad (6.3.7)$$

$$P_t((\theta = 1) \cdot (Y = 0)) = P_t(Y = 0) \cdot P_t((\theta = 1)/(Y = 0)). \quad (6.3.8)$$

Приравняем правые части обоих выражений друг к другу

$$Pa_t(1 - \rho_c) = P_t(Y = 1)P_t((\theta = 1)/(Y = 0)). \quad (6.3.9)$$

Отсюда получим

$$P_t((\theta = 1)/(Y = 0)) = \frac{Pa_t(1 - \rho_c)}{P_t(Y = 0)}, \quad (6.3.10)$$

однако

$$\begin{aligned} P_t(Y = 0) &= P_t(\theta = 1)P(Y = 0/\theta = 1) + P_t(\theta = 0)P(Y = 0/\theta = 0) = \\ &= Pa_t(1 - \rho_c) + (1 - Pa_t)(1 - \rho_\phi). \end{aligned} \quad (6.3.11)$$

Подставив в формулу (6.3.10) вместо члена  $P_t(Y = 0)$  выражение  $Pa_t(1 - \rho_c) + (1 - Pa_t)(1 - \rho_\phi)$ , получим

$$\begin{aligned} P_t((\theta = 0)/(Y = 1)) &= \frac{Pa_t(1 - \rho_c)}{Pa_t(1 - \rho_c) + (1 - Pa_t)(1 - \rho_\phi)} = \\ &= \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t)\frac{1 - \rho_\phi}{1 - \rho_c}}. \end{aligned} \quad (6.3.12)$$

Формула (6.3.12) представляет собой частный случай формулы Байеса для проверки гипотезы о том, что  $\theta = 0$  – при условии  $Y = 1$ .

*Рассмотрим двухмерный случай ( $n = 2$ ).*

Пусть  $Y_1 = 1, Y_2 = 1$ . События  $Y_1 = 1$  и  $Y_2 = 1$  зависят от того, чему равно  $\theta$ , но не зависят друг от друга, следовательно,

$$\begin{aligned} P_t((\theta = 1)(Y_1 = 1)(Y_2 = 1)) &= P_t(\theta = 1)P((Y_1 = 1)/(\theta = 1))P((Y_2 = 1)/(\theta = 1)) \\ &= Pa_t\rho_{1c}\rho_{2c} \end{aligned} \quad (6.3.13)$$

$$P_t((\theta = 1)(Y_1 = 1)(Y_2 = 1)) = P_t((Y_1 = 1)(Y_2 = 1))P_t(\theta = 1/((Y_1 = 1)(Y_2 = 1))). \quad (6.3.14)$$

Приравняем правые части обоих выражений друг к другу

$$Pa_t\rho_{1c}\rho_{2c} = P_t(Y_1 = 1)P_t(Y_2 = 1)P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 1)(Y_2 = 1)). \quad (6.3.15)$$

Отсюда получим

$$P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 1)(Y_2 = 1)) = \frac{Pa_t \cdot \rho_c}{P_t((Y_1 = 1)(Y_2 = 1))}, \quad (6.3.16)$$

однако

$$P_t((Y_1 = 1)(Y_2 = 1)) = P_t(\theta = 1)P((Y_1 = 1)(Y_2 = 1)/\theta = 1) + \\ + P_t(\theta = 0)P((Y_1 = 1)(Y_2 = 1)/\theta = 0) = Pa_t \rho_{1c} \rho_{2c} + (1 - Pa_t) \rho_{1\phi} \rho_{2\phi}. \quad (6.3.17)$$

Подставив в формулу (6.3.17) вместо  $P_t((Y_1 = 1)(Y_2 = 1))$  выражение  $Pa_t \rho_{1c} \rho_{2c} + (1 - Pa_t) \rho_{1\phi} \rho_{2\phi}$ , получим

$$P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 1)(Y_2 = 1)) = \frac{Pa_t \rho_{1c} \rho_{2c}}{Pa_t \rho_{1c} \rho_{2c} + (1 - Pa_t) \rho_{1\phi} \rho_{2\phi}} = \\ = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \frac{\rho_{1\phi} \rho_{2\phi}}{\rho_{1c} \rho_{2c}}}. \quad (6.3.17)$$

Пусть  $Y_1 = 0$  и  $Y_2 = 0$ . Тогда по аналогии с формулами (6.3.4) и (6.3.17) из формулы (6.3.12) получим

$$P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 0)(Y_2 = 0)) = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \frac{(1 - \rho_{1\phi})(1 - \rho_{2\phi})}{(1 - \rho_{1c})(1 - \rho_{2c})}}.$$

Можно показать, что для события  $(Y_1 = 0) \cdot (Y_2 = 1)$  справедливой является формула

$$P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 0)(Y_2 = 1)) = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \frac{(1 - \rho_{1\phi}) \rho_{2\phi}}{(1 - \rho_{1c}) \rho_{2c}}}, \quad (6.3.18)$$

а для события  $(Y_1 = 0)(Y_2 = 1)$  – формула

$$P_t((\theta = 1)/(Y_1 = 0)(Y_2 = 1)) = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \frac{(1 - \rho_{2\phi}) \rho_{1\phi}}{(1 - \rho_{2c}) \rho_{1c}}}. \quad (6.3.19)$$

Обозначим  $\Lambda_i^{-1} = \frac{\rho_{i\phi}}{\rho_{ic}}$ , если  $Y_i = 1$  и  $\Lambda_i^{-1} = \frac{1 - \rho_{i\phi}}{1 - \rho_{ic}}$ , если  $Y_i = 0$ .

Тогда все четыре случая можно объединить одной формулой

$$P_t(\theta = 1/Y_1, Y_2) = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \Lambda_1^{-1} \Lambda_2^{-1}}. \quad (6.3.20)$$

Для случая  $n > 2$  методом математической индукции можно показать, что

$$P_t(\theta = 1/Y) = \frac{Pa_t}{Pa_t + (1 - Pa_t) \prod_{i=1}^n \Lambda_i^{-1}}, \quad (6.3.21)$$

где  $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ .

Формула (6.3.21) позволяет оценить условную вероятность возгорания объекта в момент времени  $t$ , если сработала часть из  $n$  имеющихся на объекте АПИ. Чтобы рассчитать эту вероятность, необходимо знать характеристики АПИ: вероятность правильного обнаружения возгорания, вероятность ложной тревоги и априорную вероятность возгорания объекта в момент времени  $t$ . Вероятностью ложной тревоги обычно задаются. Затем на основании этой вероятности, типа АПИ и величины соотношения сигнала к помехе рассчитывают вероятность правильного обнаружения пожара.

Для расчета вероятности  $- Pa_t$  может быть использован следующий подход. Пусть из статистических данных нам известно, что время между возгораниями объектов данного типа распределено по показательному закону с интенсивностью  $\lambda$ , а время восстановления объекта после возгорания – по показательному закону с интенсивностью  $\mu$ . Поток возгораний такого типа моделируется Марковским процессом с двумя состояниями (рис. 6.4).

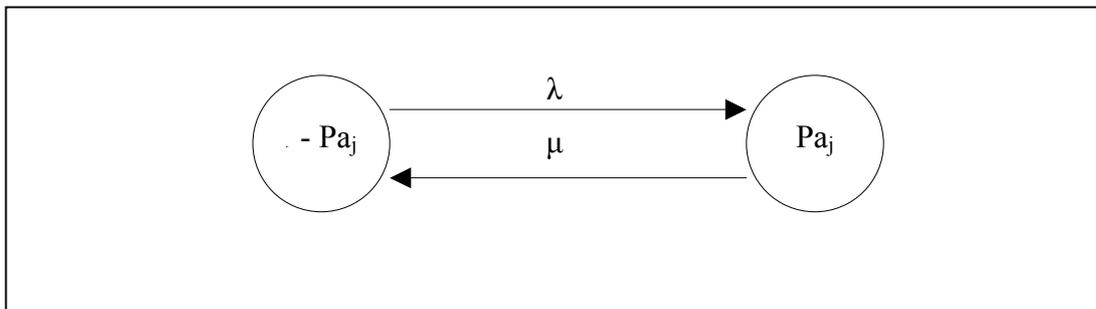


Рис. 6.4. Марковская модель процесса возгорания с двумя состояниями

Уравнение динамики Марковского процесса с двумя состояниями имеет вид

$$\frac{dPa_t}{dt} = -\mu Pa_t + \lambda [1 - Pa_t]. \quad (6.3.22)$$

Решение этого уравнения при начальном условии  $- Pa$  выражается формулой

$$Pa_{j+1} = Pa_j e^{-(\lambda+\mu)\Delta t} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[ 1 - e^{-(\lambda+\mu)\Delta t} \right]. \quad (6.3.23)$$

Для начального момента времени примем  $Pa = 0$ . Тогда на момент первого измерения

$$Pa_t = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot \left[ 1 - e^{-(\lambda+\mu)t} \right]. \quad (6.3.24)$$

Таким образом, накопление информации о противопожарном состоянии объекта происходит в соответствии с итерационными формулами

$$P_{t+\Delta t}(\theta = 1/Y) = \frac{Pa_{t+\Delta t}}{Pa_{t+\Delta t} + (1 - Pa_{t+\Delta t}) \prod_{i=1}^n \Lambda_i^{-1}}; \quad (6.3.25)$$

$$Pa_{t+\Delta t} = P_t(\theta = 1/Y) e^{-(\lambda+\mu)\Delta t} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[ 1 - e^{-(\lambda+\mu)\Delta t} \right], \quad (6.3.26)$$

где  $\Delta t$  – промежуток времени между съемом информации с АПИ, с;  $Pa_{t+\Delta t}$  – экстраполированная вероятность возгорания на момент времени  $t+\Delta t$ .

Вышеизложенное позволяет сформулировать следующий алгоритм оценки достоверности возгорания по сигналам пожарных извещателей.

1. Зададимся верхней  $Pв$  и нижней  $Pн$  значениями вероятностей возгорания. Будем считать факт возгорания установленным, если  $P(\theta = 1) \geq Pв$ ; факт отсутствия пожара установленным, если  $P(\theta = 1) \leq Pн$ ; ситуацию неопределенной, если  $Pв \geq P(\theta = 1) \geq Pн$ .

2. Найдем  $Pa$  по формуле (6.3.24).

3. По формуле (6.3.26) найдем экстраполированную вероятность  $Pa_{t+\Delta t}$ .

4. По формуле (6.3.25) найдем  $P_{t+\Delta t}(\theta = 1/Y)$  для вектора  $Y$ .

5. Если выполняется неравенство  $P_{t+\Delta t}(\theta = 1/Y) \leq Pн$ , считаем, что возгорания нет. Переходим к шагу 3 алгоритма.

6. Если окажется, что  $Pв \geq P(\theta = 1) \geq Pн$ , обстановка становится пожароопасной. Проверяем состояние объекта. Если возгорания нет, переходим к шагу 3 алгоритма. Если возгорание есть, включаем режим тушения АУПТ.

7. Если окажется, что  $P(\theta = 1) \geq Pв$ , считаем, что возгорание есть, автоматически включается режим тушения АУПТ.

Предложенный алгоритм обработки сигналов с АПИ позволяет учесть априорную вероятность возникновения пожара для объектов определенного типа, вероятность правильного обнаружения сигнала о пожаре и вероятность ложной тревоги. Однако, для реализации данного алгоритма необходим анализ статистических данных по объектам конкретного типа.

#### **6.4. Оценка эффективности новых разработок технических средств пожарной сигнализации**

Существует несколько направлений обоснования целесообразности создания новой техники: социально-технический, производственный, технический и экономический [6.2].

Первый подход основан на доказательстве целесообразности существования и развития техники предлагаемого вида. Второй - на доказательстве технической возможности ее изготовления. Учитывая, что УЗ извещатели как вид технических средств обнаружения уже освоены в серийном производстве, и эксплуатация доказала целесообразность их применения, рассмотрим техническую и экономическую эффективность их дальнейшего совершенствования.

При оценке эффективности сложных систем и устройств могут быть применены подходы с использованием следующих обобщенных критериев:

- 1) по экономическим показателям, без учета удовлетворения технических требований;
- 2) по экономическим показателям, с учетом удовлетворения технических требований;
- 3) по качеству удовлетворения заданным техническим требованиям, без учета экономических факторов;
- 4) по качеству удовлетворения заданным техническим требованиям, с учетом экономических факторов;
- 5) по частным критериям;
- 6) по совокупности конструктивных, эксплуатационных и экономических показателей.

Из перечисленной совокупности основных методов можно выделить методы только экономической (1), только технической (3) и комплексной (2, 4, 6) оценки эффективности.

Учет только технической составляющей в разрабатываемой технике характерно для ряда специальных отраслей промышленности (военной, аэрокосмической и др.), когда цена не является определяющей для производства. В ряде случаев по политическим, гуманитарным или иным соображениям на первое место выступают частные критерии оценки (5). Для промышленных изделий общего применения основными являются экономиче-

ские и комплексные (технико-экономические) методы оценки эффективности. Проведем их анализ для определения возможности решения поставленной задачи исследования.

Подход к оценке эффективности по экономическим показателям основан на ряде "традиционных" методов и новых, характерных для рыночной экономики. К последним следует отнести балансные методы интегральной оценки, связанные с оценкой характеристик потока наличности [6.2].

Метод потока наличности позволяет определить срок окупаемости изделия. Он строится на основе промежуточных балансов доходов и расходов предприятия по инвестиционной, производственной и финансовой деятельности в период создания и производства. Таким образом, определяется эффективность  $\Phi_i(t)$  как разность между притоком  $\Pi_i(t)$  и оттоком  $O_i(t)$  наличности по всем  $i$  перечисленным видам деятельности на каждом расчетном шаге

$$\Phi_i(t) = \Pi_i(t) - O_i(t), \quad i = \overline{1, 3}. \quad (6.4.1)$$

В результате суммирования может быть определена общая эффективность или ее следующие частные показатели:

- чистая текущая стоимость разработки и производства;
- индекс доходности;
- внутренняя норма доходности;
- срок окупаемости инвестиций.

Достоинствами этого метода являются высокая достоверность результатов в условиях рыночной экономики, когда отслеживается поток реальных денег, а также учитывается временной фактор.

Однако для использования данного метода необходимо точно знать распределение инвестиций, условия возврата кредита, распределение по времени текущих затрат и прибыли, что на рассматриваемом предварительном этапе разработки УЗ извещателя практически невозможно.

Метод потока наличности предпочтителен для оценки эффективности технических средств, требующих длительных сроков внедрения, значительных капитальных вложений, необходимости использования кредита, а также там, где требуется учет интегрального эффекта и фактора времени.

Из традиционных методов, получивших свое развитие в период плановой экономики, можно выделить следующие:

1. Метод сопоставления результатов и затрат за весь период внедрения и производства. Он предполагает учет не годового эффекта от изделия, а интегрального за весь период его жизненного цикла  $T$ , но с учетом динамики реализации отдельных мероприятий.

$$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T, \quad (6.4.2)$$

где  $P_T$  и  $Z_T$  – результат и затраты соответственно суммарные за весь период осуществления мероприятий

$$P_T = \sum_t^T p_t \alpha_t; \quad (6.4.3)$$

$$Z_T = \sum_t^T (U_t + k B_t - \Lambda_t) \alpha_t, \quad (6.4.4)$$

где  $p_t$  – результат в каждый  $t$ -ый период осуществления мероприятий;  $U_t$  – текущие затраты, издержки в  $t$ -ый период;  $k B_t$  – единовременные затраты в каждый  $t$ -ый период осуществления мероприятий;  $\Lambda_t$  – ликвидационное сальдо основных фондов, выбывающих в  $t$ -ом периоде;  $\alpha_t = (1 + E_n)^{T-t}$  – коэффициент дисконтирования.

Достоинством данного метода является то, что он рассматривает в динамике эффект от разработки.

Вместе с тем он обладает и рядом недостатков, к основным из них можно отнести:

сложность расчетов;

высокая погрешность, связанная с субъективностью при определении нормативных коэффициентов, а также периода, за который рассчитывается интегральный эффект.

2. Метод определения годового экономического эффекта, типичный для плановой экономики. При расчете считается, что затраты и результаты внедрения проекта не изменяются во времени.

Преимуществами данных методов являются:

относительная простота вычислений;

высокая достоверность результатов при малых сроках внедрения изделий.

В результате расчета может быть определено значение абсолютной и сравнительной эффективности.

Абсолютная эффективность определяется при централизованном капитальном вложении. Разработка считается экономически эффективной только когда показатель абсолютной эффективности не ниже нормативов и отчетных показателей за предшествующий период.

$$A = \mathcal{E}/Z, \quad (6.4.5)$$

где  $A$  – абсолютная эффективность;  $\mathcal{E}$  – эффект от внедрения проекта;  $Z$  – затраты.

Наибольшее распространение на рубеже перестройки получил метод оценки сравнительной эффективности, использующий сопоставление показателей разрабатываемого и базового изделия. Данный метод широко применялся во вневедомственной охране МВД РФ для оценки экономиче-

ской эффективности разрабатываемых новой техники, в том числе технических средств охранной и охранно-пожарной сигнализации, изобретений и рационализаторских предложений [6.4].

В соответствии с данным методом годовой экономический эффект  $\mathcal{E}$  может быть определен по формуле

$$\mathcal{E} = \left[ 3_1 \Pi_{\text{ту}} \varphi + \frac{(I_1 \Pi_{\text{ту}} - I_2) + E_n (K_1 \Pi_{\text{ту}} - K_2)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] A_2, \quad (6.4.6)$$

где  $3_1, 3_2$  – приведенные затраты соответственно базового и нового средств ОПС;  $\Pi_{\text{ту}}$  – комплексный показатель технического уровня нового изделия;  $K_1, K_2$  – сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании базового и нового изделия;  $A_2$  – объем выпуска нового изделия;  $I_2, I_1$  – годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании;  $\varphi$  – коэффициент учета изменения срока службы;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $P_2$  – доля отчислений от балансной стоимости на полное восстановление нового изделия.

Следует отметить как положительное, что данный метод учитывает эффект у потребителя за счет улучшения отдельных технических параметров изделий. Это осуществляется путем ввода комплексного показателем технического уровня  $\Pi_{\text{ту}}$ , который определяют по формуле

$$\Pi_{\text{ту}} = K_{\text{он}} K_{\text{к}}, \quad (6.4.7)$$

где  $K_{\text{он}}$  – коэффициент основного назначения;  $K_{\text{к}}$  – суммарный коэффициент качества изделия.

Коэффициент основного назначения определяется по формуле

$$K_{\text{он}} = \frac{\Pi_{\text{нн}}}{\Pi_{\text{нб}}}, \quad (6.4.8)$$

где  $\Pi_{\text{нн}}$  – основной показатель назначения нового изделия;  $\Pi_{\text{нб}}$  – основной показатель назначения базового изделия.

Суммарный коэффициент качества определяется по формуле

$$K_{\text{к}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n q_{\text{ни}}}{\sum_{i=1}^n q_{\text{би}}}}, \quad (6.4.9)$$

где  $q_{\text{ни}}, q_{\text{би}}$  – единичные коэффициенты качества соответственно нового и базового изделий.

В представленной таким образом оценке комплексного показателя технического уровня приоритет отдается одному основному параметру, при этом влияние других улучшенных технических характеристик уменьшается с увеличением их количества. Таким образом, вносится элемент

субъективности в оценку  $P_{ту}$ , позволяя разработчику оперировать величиной этого показателя, существенно изменяя результат оценки эффективности. Вместе с тем можно выделить ряд показателей качества, которые в сопоставимой степени определяют технический уровень изделий охранно-пожарной сигнализации [6.4].

Таким образом, основными недостатками данного метода являются:  
расчет только годового эффекта, а не интегрального;  
слабый учет фактора времени (только в капитальных вложениях, но не в текущих затратах и результатах);  
недостаточная обоснованность нормативов и их зависимость от экономической обстановки в стране.

Поэтому данный метод целесообразно применять при оценке недолговременной (первые год-два серийного выпуска) экономической эффективности.

Для предварительной оценки эффективности УЗ извещателя с разделными каналами обнаружения нарушителя и очага пожара наиболее целесообразно использовать метод комплексной оценки, основанный на сравнительной оценке разработанного технического средства и ближайшего аналога.

Проведем оценку технико-экономического уровня разрабатываемого извещателя методом Шенфельда, являющегося разновидностью балльно-индексного метода [6.4].

Метод основан на экспертной оценке показателей уровня сравниваемых устройств. В качестве устройства – эталона возьмем серийно выпускаемый извещатель "Эхо-А" [6.6].

Для выбора частных показателей уровня, а также определения весовых коэффициентов их важности используем метод Дельфи [6.4]. Алгоритм проведения экспертной оценки этим методом с учетом известных нормативных требований и рекомендаций приведен на рис. 6.5.

Комплексный показатель качества предлагаемого извещателя ( $K_{п1}$ ) и извещателя "Эхо-А" ( $K_{п2}$ ) определялся по формуле

$$K_{pi} = \sum_{j=1}^7 K_{vj} B_{ij}, \quad (i = 1, 2). \quad (6.4.10)$$

Полученные значения  $K_{п1} = 87$ ;  $K_{п2} = 76$ .

Результат сравнения  $K_{п1} > K_{п2}$  подтверждает относительно более высокую эффективность предлагаемого УЗ извещателя.

Результаты оценки важности показателей, а также значения весовых коэффициентов частных показателей приведены на рис. 6.6, 6.7 соответственно.

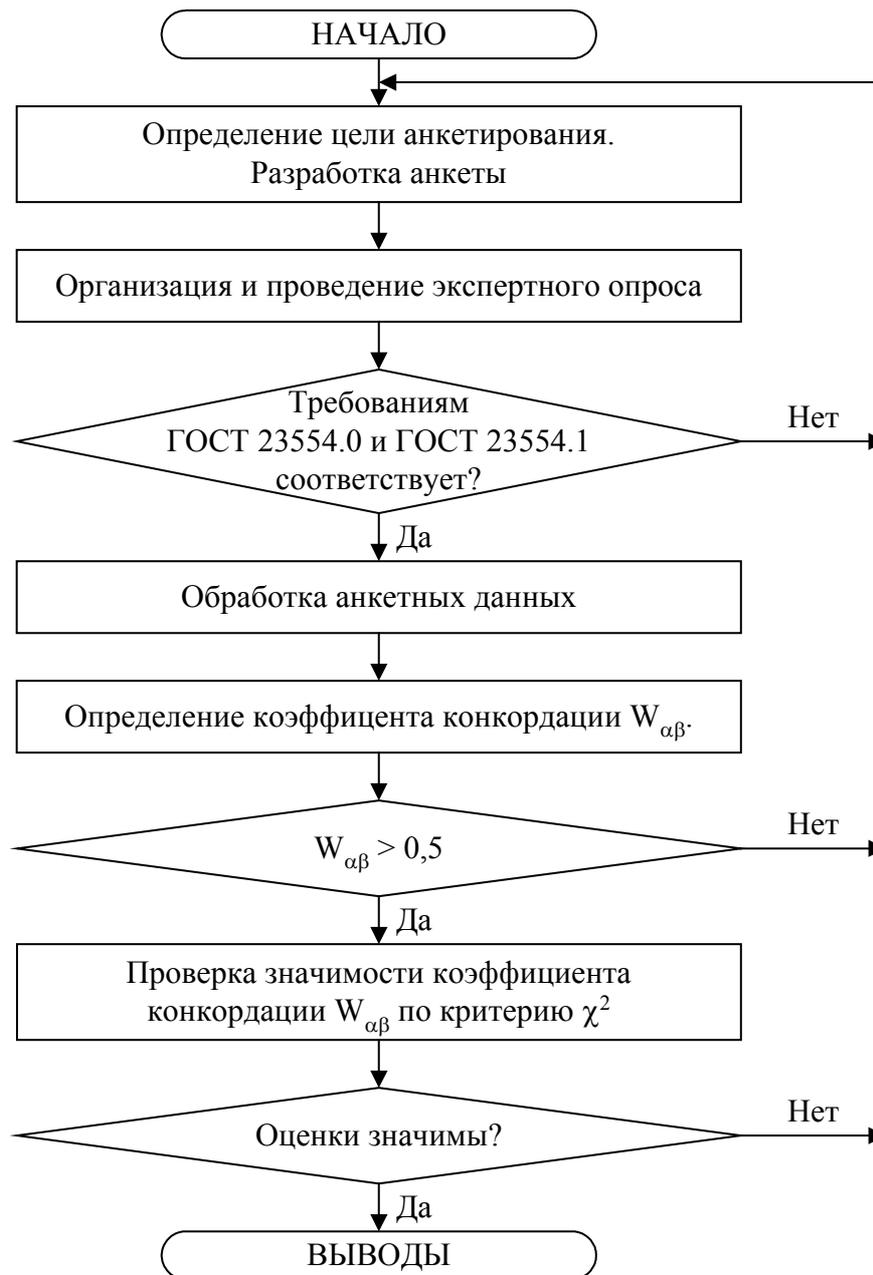


Рис. 6.5. Алгоритм оценки весовых коэффициентов частных показателей качества ультразвукового извещателя методом Дельфи

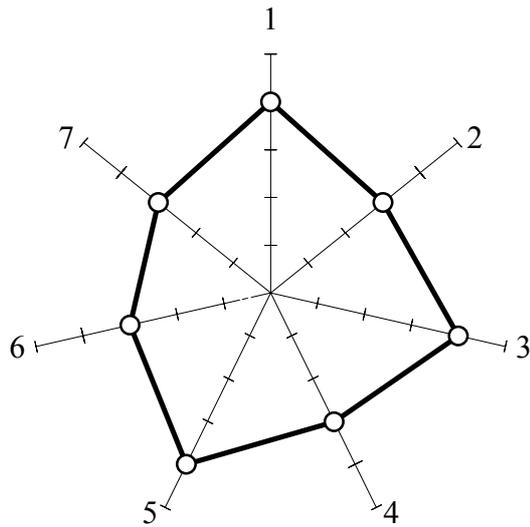


Рис. 6.6. Значения весовых коэффициентов частных показателей качества ультразвукового охранно-пожарного извещателя:

- |                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 1 – размеры зоны обнаружения;   | стоимость; |
| 2 – надёжность (безотказность); | масса;     |
| 3 – информативность;            | габариты.  |
| 4 – область применения;         |            |

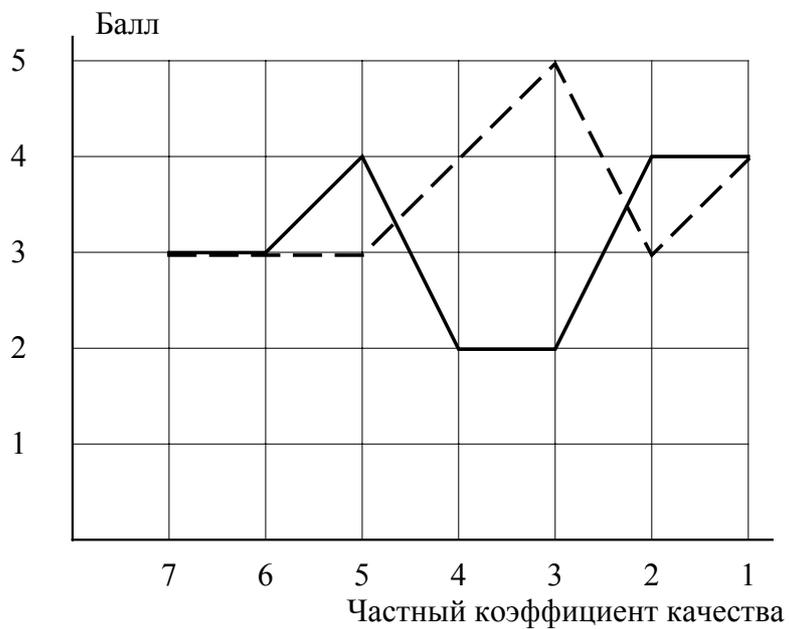


Рис. 6.7. Балльная оценка частных коэффициентов качества

## **6.5. Учёт показателей эффективности технических средств сбора информации при проектировании системы пожарной сигнализации**

При создании системы пожарной сигнализации возникает задача обоснованного выбора типа применяемых технических средств сигнализации. Рассмотрим решение этой задачи на примере выбора приемно-контрольного прибора (ПКП).

Безусловным (обязательным) критерием выбора является полное соответствие сформированной на основе прибора системы сигнализации своему функциональному назначению. Прибор должен обеспечивать контроль требуемого количества извещателей, сдачу и снятие объекта с охраны, при необходимости управление световыми и звуковыми оповещателями, передачу извещений на пульт централизованного наблюдения. Условия эксплуатации должны полностью соответствовать установленным в технической документации на ПКП [6.7].

Однако с развитием рынка количество ПКП, удовлетворяющих обязательным требованиям, может быть значительным. В этом случае, как правило, применяют дополнительные технико-экономические критерии. На их основе формируется "целевая функция", представляющая собой комплексную (смешанную) оценку эффективности прибора. При формировании целевой функции могут использоваться разные критерии, однако наиболее общим является системный подход, когда учитываются интересы пользователя на всех этапах жизненного цикла системы сигнализации. Рассмотрим один из распространенных методов формирования линейной целевой функции.

В этом случае должны учитываться как основные группы показателей: назначения, технического уровня (качества), надежности, так и экономические. Для формирования целевой функции эти показатели должны иметь количественное выражение, которое, при необходимости, может быть получено на основе экспертной оценки.

Дополнительными показателями назначения могут быть устойчивость к внешним воздействиям, параметры электропитания, принятый способ его резервирования и др.

Показателями качества могут быть масса, габариты, конструктивное исполнение, дизайн, а также параметры, характеризующие удобство монтажа, технического обслуживания, эксплуатации прибора и др.

К показателям надежности следует относить такие параметры, как средняя наработка на отказ, среднее время восстановления работоспособного состояния, средний срок службы, вероятность возникновения отказа, приводящего к ложному срабатыванию и др.

Экономические показатели определяют величину затрат, которые необходимо произвести при закупке прибора его монтаже и эксплуатации. Непосредственное влияние на экономические показатели оказывают такие параметры, как величина энергопотребления, гарантийный срок эксплуатации, требования по уровню квалификации обслуживающего персонала и др.

Вполне естественно, что отдельные показатели могут представлять наибольший интерес. В этом случае целесообразно использование различных весовых коэффициентов. Некоторые "не важные", то есть незначительно влияющие на результат показатели, могут быть исключены из рассмотрения.

Математически выражение для сформированной таким образом целевой функции  $F$  можно представить следующим образом

$$F(A_1, A_2, \dots, A_n) = \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 + \dots + \alpha_n A_n, \quad (6.5.1)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – весовые коэффициенты;  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – относительные показатели качества.

Весовые коэффициенты могут быть как положительными, так и отрицательными – в зависимости от качественного представления об относительной важности различных параметров.

Значения показатели качества  $A_1, A_2, \dots, A_n$  определяются по отношению к прибору, выбранному в качестве базового. Базовым прибором может быть и "идеальное" устройство, обладающее полным набором требуемых параметров.

Общее решение задачи выбора сводится к поиску ПКП, для которого целевая функция принимает экстремальное (как правило, максимальное) значение. В сложных случаях для выбора прибора (а, следовательно, и структуры построения системы сигнализации) могут быть использованы экспертные методы принятия решений. Выбор целесообразно проводить среди однотипных по классу приборов и извещателей.

Следует иметь в виду, что сужение подхода при формировании целевой функции может привести к существенному искажению достоверности полученных результатов. Например, учет при выборе прибора только затрат на его покупку, может привести к увеличению суммарных затрат потребителя. Недостаточно объективным является также подход, при котором сравнивается себестоимость одного шлейфа различных ПКП, с учетом только затрат на формирование системы [6.8].

Таким образом, задача оптимизации может быть формализована для решения ее на ЭВМ, что существенно облегчит выбор ПКП при проектировании системы сигнализации.

Экономические показатели часто имеют наибольший вес при выборе

ПКП. В этом случае сужение подхода в определении этих показателей может привести к ошибке. Недостаточно объективным является учет только затрат на покупку ПКП, а также сравнение приборов по себестоимости одного шлейфа сигнализации (ШС), учитывающее только затраты на комплектование, детали, монтаж и наладку системы.

На рис. 6.8 показано примерное относительное распределение затрат на систему средней сложности в течение ее жизненного цикла.

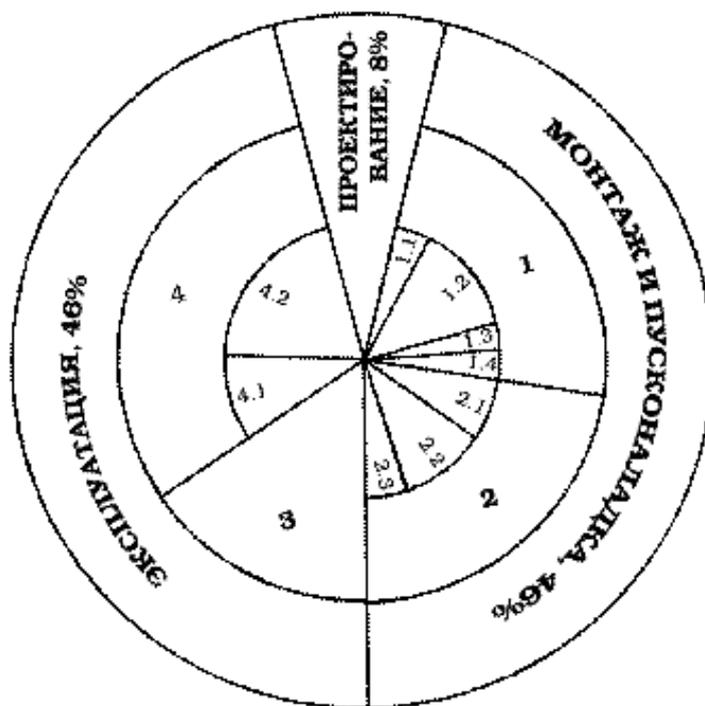


Рис. 6.8. Примерное распределение затрат на проектирование, монтаж и эксплуатацию системы охранно-пожарной сигнализации:

- |   |  |
|---|--|
| 1 – Оборудование и материалы, 23%:                                      | 3 – Техническое обслуживание, 16%.                     |
| - ПКП, 4%;  |  |
| - Извещатели, 13%;  |  |
| - Источники питания и оповещатели, 3%;                                  | 4 – Текущий ремонт, 30%:                               |
| - Провода, расходные материалы, крепёжные и коммутационные изделия, 3%. | - Ремонт ПКП, извещателей и другого оборудования, 10%; |
|   | - Ремонт электропроводок, 20%.                         |
| 2 – Производственные работы, 23%:                                       |  |
| 2.1 – Монтаж оборудования, 8%;  |  |
| 2.2 – Монтаж электропроводок, 10%;                                      |  |
| 2.3 – Пусконаладочные работы, 5%.                                       |  |

Из рис. 6.8 следует, что стоимость прибора в общей доле затрат составляет около 4 %. При этом его влияние на затраты в процессе эксплуатации (техническое обслуживание и ремонт) может быть значительным. С учетом приведенной диаграммы могут быть предложены общие рекомендации по снижению затрат собственника на систему охранной (охранно-пожарной) сигнализации.

Существенная экономия может быть достигнута при монтаже системы охранной или охранно-пожарной сигнализации без проектно-сметной документации (по акту обследования в соответствии с типовыми проектными решениями). Это допускается для объектов, например, вневедомственной охраны, за исключением объектов нового строительства, специальных объектов, имеющих взрывоопасные зоны, а также памятников истории и архитектуры.

Для небольших объектов часто используют приборы малой и средней информационной емкости. Величина единовременных затрат, приведенных к одному шлейфу сигнализации, в этом случае оказывается минимальной.

Дополнительная экономия может быть получена за счет применения приборов охранно-пожарных с расширенными функциональными возможностями (с применением встроенных резервированного источника электропитания, в том числе и для питания извещателей, звуковых и световых индикаторов, оконечных объектовых устройств СПИ и т.п.). Это не только снижает затраты на монтаж и упрощает обслуживание, но и повышает надежность системы сигнализации в целом.

Положительный эффект в снижении суммарных затрат дает также небольшое увеличение информационной емкости используемого прибора относительно минимально возможной. Такое увеличение, включая резерв ШС, незначительно повышает единовременные затраты, но позволяет существенно сэкономить в эксплуатации за счет снижения трудозатрат при устранении неисправностей. По имеющимся оценкам применение приборов с радиальной структурой ШС эффективно при количестве контролируемых ШС до 20 шт. Формируемая структура системы, тактика сдачи/снятия объекта с охраны таких ПКП как на общих, так и на единовременных затратах отражаются незначительно.

Для объектов относительно более сложных, требующих большее количество ШС, целесообразно применять ПКП с древовидной или распределенной структурой построения, а также адресные ПКП. В этом случае может быть достигнута существенная экономия при монтаже проводных линий и их текущем ремонте.

При необходимости в перспективе расширения системы сигнализации предпочтение следует отдавать приборам, для которых увеличение емкости не связано с реконструкцией уже существующей проводной сети, что также связано со значительными затратами.

Для ряда объектов с большим количеством сотрудников и охраняемых помещений существенным является оперативность управления постановкой ШС под охрану и снятия их с охраны. В этом случае существенную экономию за счет снижения количества обслуживающего персонала можно получить за счет применения ПКП с децентрализованной (распределенной) тактикой организации функционирования, обеспечивающей дистанционную постановку и снятие шлейфов.

Таким образом, учет суммарных издержек потребителя, включающих затраты в течение всего жизненного цикла системы, обеспечивает оптимальный выбор ПКП при проектировании системы тревожной сигнализации.

## Литература

### Глава 6

6.1. **Членов А.Н.** Оценка влияния качественного уровня системы сигнализации на безопасность объекта // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, октябрь. – М., 2000.

6.2. **Буцынская Т.А.** Методы оценки эффективности устройств охранно-пожарной сигнализации // Матер. XII междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-2003. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – С.87-90.

6.3. **Демехин Ф.В.** Оценка достоверности обнаружения пожара по сигналам пожарных извещателей // Пожаровзрывобезопасность, №3. – М.: Пожнаука, 2006.

6.4. **Буцынская Т.А.** Оценка эффективности ультразвукового модуля информационной подсистемы АСУТП предприятий электронного машиностроения // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, №1. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – С.109-115.

6.5. **Буцынская Т.А., Землянухин М.В.** Метод оценки эффективности системы пожарной безопасности промышленного предприятия // Пожаровзрывобезопасность, № 3. – М.: Пожнаука, 2006. – С.58-61.

6.6. **Кирюхина Т.Г., Членов А.Н., Буцынская Т.А.** Электронные системы безопасности. – М.: НОУ "Такир", 2006. – 211с.

6.7. **Членов А.Н., Кирюхина Т.Г.** Приемно-контрольные приборы охранной и охранно-пожарной сигнализации. – М.: НОУ "Такир", 2003. – 93с.

6.8. **Членов А.Н., Хомяков Б.И.** Особенности учёта экономических показателей при выборе приёмно-контрольного прибора для системы тревожной сигнализации.