

УДК 614.8

*Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,
Шевченко Р.И., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,
Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,
Федцов А.А., преп., НУГЗУ*

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассматривается выбор показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения. Определены соотношения, связывающие показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска. Найдены количественные значения для граничных значений показателей качества обнаружения ЧС в техногенной и природной сфере. Показано, что требуемые показатели качества обнаружения обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии наблюдаемого опасного фактора ЧС на фоне мешающих факторов.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, показатели и критерии качества обнаружения ЧС, концепция приемлемого риска

Постановка проблемы. В современных условиях объекты производственной сферы часто становятся источниками серьезной угрозы и чрезвычайных ситуаций (ЧС). Одним из наиболее эффективных факторов снижения рисков возникновения ЧС является создание автоматизированных систем раннего их обнаружения. Необходимость создания таких систем регламентирована рядом государственных нормативно-правовых актов, касающихся гражданской защиты населения от ЧС техногенного и природного характера. Идеология построения систем раннего обнаружения ЧС базируется на измерении и пороговом испытании опасных факторов технологического процесса на превышение ими максимально допустимых значений, способных привести к возникновению ЧС. Вследствие случайного характера процесса измерения опасного фактора и его порогового испытания создание и оптимизация таких систем сталкивается с проблемой обоснования и выбора показателей и критериев качества обнаружения ЧС. Одним из конст-

руктивных путей решения данной проблемы является использование статистического подхода, базирующегося на концепции «приемлемого» риска.

Анализ последних исследований и публикаций. Развитие статистического подхода к выбору критериев качества обнаружения достаточно полно выполнено применительно к радиотехническим задачам приема сигналов и оценки их параметров на фоне различных помех и шумов и достаточно полно изложено в обширной литературе по радиосистемам, например, в литературе [1]. Применительно к обнаружению ЧС с учетом риска данный статистический подход имеет свои особенности и специфику. В работе [2] предложен структурный подход к повышению надежности систем раннего обнаружения ЧС в виде пожаров на основе мажоритарного объединения первичных датчиков в комплексный обнаружитель. Однако обоснование и выбор критериев и показателей качества обнаружения для таких систем там не рассматривается. В работе [3] предложен критерий максимума разности между вероятностями правильного и ложного обнаружения для комплексного датчика применительно к факторам пожара, но не рассмотрено обоснование требуемых значений ошибок первого и второго рода для технической системы обнаружения. В [4] рассматривается применение критерия взвешенной суммы вероятностей ошибок первого и второго рода для оптимизации числа датчиков первичной информации в системе ослабления последствий ЧС. Однако обоснование и выбор показателей и критериев качества для технических систем обнаружения ЧС с учетом риска там отсутствует.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обоснование и выбор показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения и ослабления последствий ЧС с целью их последующей оптимизации.

Традиционный отечественный подход к обеспечению безопасности технических систем и технологий базируется на концепции «абсолютной безопасности» - «настолько низко, насколько это практически достижимо». Как показывает практика, такая концепция не адекватна законам техносферы. Эти законы имеют вероятностный характер, и абсолютная безопасность достигается только в системах, лишенных запасенной энергии. Требование абсолютной безопасности оборачивается трагедией для людей в ЧС,

Выбор показателей качества и критерии оптимизации современных технических систем раннего обнаружения чрезвычайных ситуаций

поскольку обеспечить нулевой риск в реальных системах невозможно. Поэтому необходимо ориентироваться на возможность возникновения ЧС, т.е. ориентироваться на соответствующий риск. Сейчас цивилизованный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска [5].

Степень внедрения этой концепции в разных странах различна. Например, в Нидерландах она доведена до закона. Согласно ему, вероятность смерти индивидуума в течение года от опасности в техносфере, более 10^{-6} считается недопустимой, а менее 10^{-8} - пренебрежимой. Поэтому приемлемый уровень риска выбирается в диапазоне 10^{-6} - 10^{-8} в год, исходя из экономических и социальных причин.

Важным фактором при определении приемлемого уровня риска является существование случайной зависимости между частотой F наступления опасных событий и наносимыми ими ущербами N (обычно в виде числа летальных исходов или экономического ущерба в денежном исчислении). Такие зависимости получили название « F/N - диаграмм» [5].

В зависимости от решаемых задач риск R представляется в виде математического ожидания ущерба или вероятности наступления неблагоприятного события за год. В первом случае риск R определяется по формуле

$$R_1 = p \cdot g, \quad (1)$$

где p - вероятность наступления ЧС (частота аварий, катастроф) за год; g - ущерб от рассматриваемой ЧС. Размерность (1) согласуется с характером ущерба и определяется в виде ущерб/год. Во втором случае риск определяется соотношением вида

$$R_2 = p \cdot s, \quad (2)$$

где s - вероятность наступления неблагоприятного события при условии возникновения ЧС. Размерность риска (2), учитывая размерность параметра s , определяется в виде 1/год. Имея в виду основную задачу – защиту населения, в качестве неблагоприятного события, как правило, рассматривается степень опасности для жизни людей. Вероятность наступления чрезвычайной ситуации

p (частота аварии, катастрофы) определяется по картам районирования опасности или по статистическим данным. Потенциальный ущерб от ЧС определяют, учитывая вероятностный характер процессов, как математическое ожидание ущерба [5].

Будем полагать, что процесс измерения опасного фактора, характеризующего конкретную ЧС, сопровождается воздействием некоррелированных и ненаблюдаемых случайных факторов $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, ..., $\varepsilon_n(t)$, вследствие чего результат порогового испытания (обнаружения ЧС) носит случайный характер. В случае обнаружения ЧС (превышения порога) выдается сигнал, инициирующий систему ослабления последствий ЧС. Случайный характер результата порогового испытания опасного фактора приводит к двум видам ошибок: ошибки пропуска и ошибки ложной тревоги ЧС.

Обозначая вероятность ошибки пропуска через p_α , а вероятность ошибки ложной тревоги через p_β , средний риск L_1 от ошибок обнаружения ЧС будет определяться величиной

$$L_1 = Ap_\alpha p_c + Bp_\beta \bar{p}_c, \quad (3)$$

где A , B – стоимости ошибок пропуска ЧС и ложной тревоги: в общем случае $A \geq 0$, $B \geq 0$; p_c , $\bar{p}_c = 1 - p_c$ – априорные вероятности соответственно наличия и отсутствия ЧС в рассматриваемой области обнаружения. Сравнивая различные системы обнаружения ЧС, следует отдавать предпочтение такой, для которой средний риск L_1 оказывается меньше. Следовательно, оптимизация систем обнаружения ЧС в общем случае должна производиться в соответствии с *критерием минимума среднего риска* L_1 , определяемого выражением (3).

В частности, если стоимость ошибок за ложную тревогу и пропуск ЧС одинакова и равна единице, то средний риск будет равен сумме вероятностей указанных ошибок обнаружения

$$L_2 = p_\alpha p_c + p_\beta \bar{p}_c, \quad (4)$$

Минимум этой вероятности в теории обнаружения обычно называют *критерием идеального наблюдателя* [1]. Очевидно, что критерий минимума среднего риска L_1 , определяемый (3), являет-

ся более общим критерием оптимизации систем обнаружения ЧС по сравнению с критерием идеального наблюдателя (4), поскольку он учитывает различие в стоимости ошибок ложной тревоги и пропуска ЧС. С учетом того, что вероятность пропуска $p_\alpha = 1 - \bar{p}_\alpha$, где \bar{p}_α является вероятностью правильного обнаружения ЧС, средний риск (3) может быть представлен в виде

$$L_1 = Ap_c - Ap_c(\bar{p}_\alpha - k p_\beta), \quad (5)$$

где $k = B\bar{p}_c / Ap_c$ - весовой множитель. Поскольку первое слагаемое положительно, то критерий минимума среднего риска сводится к критерию

$$(\bar{p}_\alpha - k p_\beta) = \sup(\max), \quad (6)$$

который представляет собой весовой критерий обнаружения ЧС. Этот критерий требует такого повышения вероятности правильного обнаружения и понижения вероятности ложной тревоги в системах обнаружения ЧС, при которых увеличивается взвешенная разность $\bar{p}_\alpha - k p_\beta$. При этом весовой множитель k в (5) и (6) определяется априорными вероятностями наличия или отсутствия ЧС в контролируемой области пространства и стоимостями каждого вида ошибок. Если зафиксировать вероятность ложной тревоги на заданном уровне, то оптимизация системы обнаружения ЧС при заданном весовом множителе сводится к максимизации вероятности правильного обнаружения. Такая процедура в радиолокации получила название *критерия Неймана-Пирсона*.

Важной для приложений является задача определения требуемых значений для *главных показателей качества* \bar{p}_α , p_α и p_β систем обнаружения ЧС в соответствии концепцией приемлемого уровня риска. Общее и частные решения данной задачи можно получить на основе рассмотренных выше критериев оптимальности обнаружения ЧС, если определить величину приемлемого риска, требуемые априорные вероятности наличия или отсутствия ЧС в районе ее обнаружения в тот или иной момент времени, а также стоимости соответствующих ошибок. Полагая стоимости соответствующих ошибок одинаковыми и равными единице, а априорные вероятности наличия или отсутствия ЧС равными 0,5, если невозможно знать их заранее для произвольного момента времени в ис-

следуемой опасной зоне. В этом случае соотношения, связывающие искомые главные показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска (1) и (2), имеют соответственно вид

$$p_{\alpha} g_{\alpha} \leq 2R_1 - p_{\beta} g_{\beta}, \quad (7)$$

$$p_{\alpha} \leq 2R_2 - p_{\beta}, \quad (8)$$

где g_{α} и g_{β} - ущербы, наносимые ошибками пропуска и ложной тревоги при обнаружении ЧС.

В качестве примера на рис.1 приведены зависимости, полученные на основе (8), для граничных значений главных показателей качества p_{α} и p_{β} систем обнаружения ЧС в соответствии с концепцией приемлемого уровня риска, определяемого принятыми допустимыми вероятностями смерти индивидуума от опасности в техносфере. При этом предполагалось, что процесс появления таких ЧС описывается пуассоновским потоком заданной интенсивности λ .

Следует отметить, что в мировой гражданской и оборонной техногенной сфере насчитывается до 103 объектов ядерной техники мирного и военного назначения, более 5104 ядерных боеприпасов, до 8104 тонн химических вооружений, сотни тысяч тонн взрывоопасных и пожароопасных продуктов, аварийно химически опасных веществ, десятки тысяч объектов с высокими запасами энергии. Вероятности возникновения наиболее тяжелых катастроф первых трех классов в мирное время составляют от $(2 \div 3) \cdot 10^{-2}$ до $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-1}$ в год, а ущербы от 1 до 100 миллиардов долларов на катастрофу. При этом их риски изменяются в пределах от 10 тысяч долларов в год до 10 миллиардов долларов в год (произведение вероятности аварии или катастрофы и прямого ущерба, который она приносит). По данным [5] частота возникновения ЧС в техносфере в год с летальным исходом свыше 10000 человек составляет 10^{-3} - 10^{-4} , а аналогичные данные для природных ЧС составляют 10^{-2} - 10^{-3} .

Верхние кривые на рис. 1 соответствуют равенству (8) и получены для приемлемого риска, характеризуемого допустимой вероятностью смерти индивидуума от ЧС в техносфере (характеризуемых $\lambda = 10^{-3}$) и природных ЧС (характеризуемых $\lambda = 10^{-2}$), которая выбиралась равной величине 10^{-6} и считается недопустимой

[5]. Нижние кривые соответствуют приемлемому риску для вероятности 10^{-8} , которая считается пренебрежимой. Область, лежащая между кривыми, определяет в соответствии концепцией приемлемого уровня риска допустимую область значений для главных показателей качества p_α и p_β , которым должны удовлетворять существующие и вновь создаваемые системы обнаружения ЧС. Если вероятности появления ЧС неизвестны (априорная неопределенность условий обнаружения ЧС), то полагают их равными 0,5. В этом случае зависимости граничных значений Pat и Par от величины вероятности ложной тревоги $P\beta$ для главных показателей качества систем обнаружения ЧС соответственно в техногенной и природной сфере совпадают и приведены на рис. 2. Из анализа данных, приведенных на рис. 1 и рис. 2 следует, что в условиях априорной неопределенности появления ЧС к главным показателям качества систем обнаружения должны предъявляться довольно жесткие требования, обеспечение которых может потребовать значительный ресурс.

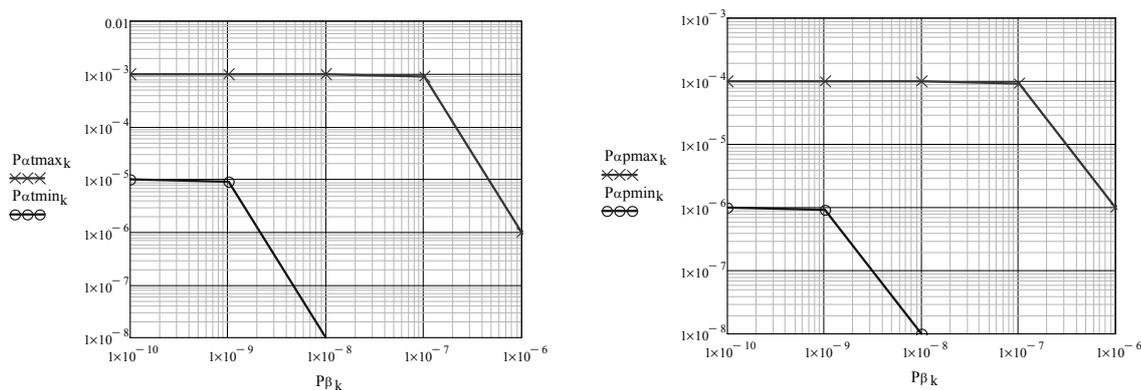


Рис. 1 – Зависимости граничных значений Pat и Par от величины вероятности ложной тревоги $P\beta$ соответственно в техногенной и природной сфере

В работе [6] развивается системный подход к оценке риска ЧС в Украине на основе определения энергетических характеристик источников опасности. Учитывая это, представляется интересной оценка требуемых энергетических соотношений между определяемыми факторами опасности и сопутствующими мешающими факторами, необходимых, для реализации главных показателей качества систем обнаружения ЧС.

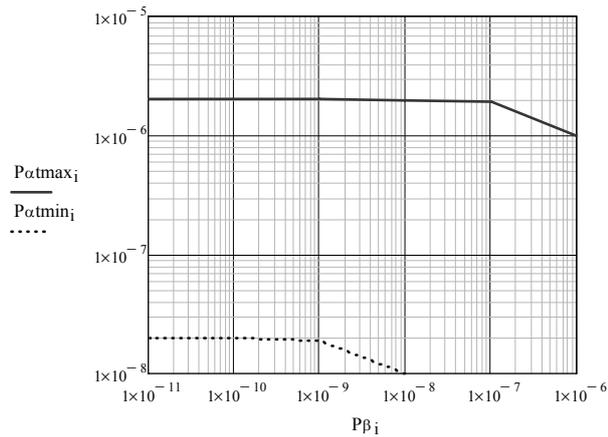


Рис. 2 – Зависимости граничных значений $P_{\alpha t}$ и $P_{\alpha p}$ от величины вероятности ложной тревоги P_{β} для систем обнаружения ЧС в условиях априорной неопределенности

Характеристики обнаружения p_{α} и p_{β} факторов опасности со случайными параметрами зависят от статистики наблюдений при наличии и отсутствии опасного фактора в смеси с мешающими факторами. При наличии энергетических и неэнергетических случайных параметров у определяемого фактора опасности безусловная статистика наблюдений находится на основе интегрирования соответствующих условных статистик наблюдений по указанным случайным параметрам. Можно показать, что в этом случае статистика наблюдений при наличии и отсутствии опасного фактора в смеси описывается законом Рэлея с соответствующими параметрами. При этом вероятности p_{α} и p_{β} оказываются зависимыми от установленного порога h обнаружения. Эти вероятности определяются следующими соотношениями

$$1 - p_{\alpha} = \exp(-h^2 / (2 + q)), \tag{9}$$

$$p_{\beta} = \exp(-h^2 / 2), \tag{10}$$

где $q = 2E/N_0$ - отношение удвоенной энергии определяемого опасного фактора к спектральной плотности мешающих факторов. Исключив величину h из соотношений (9) и (10) получим, что

$$1 - p_{\alpha} = p_{\beta}^{(1+q/2)^{-1}}. \tag{11}$$

Из выражения (11) следует, что требуемые показатели качества систем обнаружения ЧС в соответствии концепцией допустимого уровня риска обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии определяемого опасного фактора ЧС к спектральной плотности мешающих факторов. Так, например, для обнаружения ЧС в техносфере с параметрами качества $p_\alpha = 10^{-3}$ и $p_\beta = 10^{-7}$ из допустимой подобласти (рис. 1) требуемая величина $q = 3,222 \cdot 10^4$. Это означает, что мешающие факторы сопутствующие наблюдению энергетического параметра опасности практически должны отсутствовать. В противном случае обеспечение требуемых показателей качества обнаружения ЧС становится весьма проблематичным.

Выводы. Решена задача обоснования и выбора показателей и критериев качества обнаружения с учетом концепции приемлемого риска для современных технических систем раннего обнаружения, при срабатывании которых производится инициация системы ослабления последствий ЧС. В качестве критерия оптимизации систем обнаружения ЧС рассмотрены критерий минимума среднего риска, идеального наблюдателя и критерия Неймана-Пирсона. Показано, что критерий минимума среднего риска является наиболее общим. Определены соотношения, связывающие искомые главные показатели качества систем обнаружения ЧС с величинами приемлемого риска. Найдены количественные значения для граничных значений показателей качества обнаружения ЧС в техногенной и природной сфере. Показано, что требуемые показатели качества обнаружения в соответствии концепцией допустимого уровня риска обеспечиваются только при достаточно высоких значениях отношения энергии определяемого опасного фактора ЧС к спектральной плотности мешающих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Трис Г.Л. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. I - II. Пер. с англ. Под ред. В.И. Тихонова. – М.: «Сов. Радио», 1972. – 744 с.
2. Абрамов Ю.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь, Е.А. Тищенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 129 с.
3. Поспелов Б.Б. Оптимальный выбор количества пожарных извещателей в системе защиты резервуара с нефтепродуктом /

- Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С. 12-15.
4. Поспелов Б.Б. Структурный метод повышения надежности датчиков первичной информации в системе ослабления последствий чрезвычайной ситуации / Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вип. Вип. 14. – С. 129-134.
 5. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 386с.
 6. Калугін В.Д., Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні /Калугін В.Д.,Тютюник В.В., Чорного Л.Ф., Шевченко Р.І.// Восточно-европейский журнал передовых технологий, Харьков, 2012, 1/6 (55), - С. 59-70.
nuczu.edu.ua

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.І., Басманов О.Є., Федцов А.А.

Вибір показників якості та критерії оптимізації сучасних технічних систем раннього виявлення пожежі

Розглядається вибір показників та критеріїв якості виявлення з врахуванням концепції прийняттого ризику для сучасних технічних систем раннього виявлення. Визначені співвідношення, які пов'язують показники якості систем виявлення НС з величинами прийняттого ризику. Знайдені кількісні значення для граничних значень показників якості виявлення НС в техногенній і природній сфері. Показано, що потрібні показники якості виявлення забезпечуються лише при достатньо високих значеннях відношення енергії небезпечного фактора НС, що спостерігається, на фоні факторів, що заважають.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, показники і критерії якості виявлення НС, концепція прийняттого ризику

Pospelov B.B., Shevchenko R.I., Basmanov A.E., Fedtsov A.A.

Selection criteria for quality and performance optimization of modern engineering of early detection of emergency

The selection of indicators and quality criteria for detection with the concept of acceptable risk for advanced technology systems for early detection is considered. Defined relations between the quality of detection systems with emergency quantities of acceptable risk. We find quantitative values for the boundary values of quality indicators in the detection of man-made emergencies and natural area. It is shown that the required quality of detection are provided only at sufficiently high values of the ratio of the energy of the observed hazard emergencies on a background of interfering factors.

Key words: emergency, indicators and quality criteria for emergency detection, concept of acceptable risk