

УДК 355.452

КОНЦЕПЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.В. Азарова¹, В.Л. Сидоренко²

(¹Институт ядерных исследований НАН Украины;

²Институт государственного управления в сфере гражданской защиты УЦЗ Украины)

Представлена разработка системы радиометрического способа сигнализации об очаге загорания, пожарной ситуации на радиационноопасных объектах, прилегающей территории и мониторинга загрязнения воздуха радионуклидами, газами и дымом.

В Украине имеются десятки радиационноопасных объектов (РОО) и территорий, загрязненных радионуклидами вследствие Чернобыльской катастрофы, на которых существует вероятность возникновения труднолокализирующих возгораний и пожаров, приводящих к радиационным авариям, связанных с выбросом большого количества радионуклидов в атмосферу и риском воздействия определенных доз облучения на население и окружающую среду.

С целью прогнозирования, раннего обнаружения, быстрой локализации и тушения пожаров предлагается создание Национальной системы контроля (НСК) за радиационно- и пожароопасной обстановкой, способной автоматически отслеживать и предупреждать возникновение аварийных ситуаций на РОО и контролируемой территории, вызванных пожарами и взрывами. В основу разработки НСК положена ГИС-технология (технология геоинформационных систем), позволяющая осуществлять сбор и хранение информации о доаварийном состоянии РОО, защищаемых территорий (проектные материалы, генплан, архитектурную строительную часть, технологический процесс и оборудование, пожарную нагрузку, объем и вид радиационноопасных материалов и др.), техногенных и природных аномалиях, инцидентах, аварийных ситуациях и авариях, вызванных пожарами и взрывами, их развитии и ликвидации, распространении радионуклидов, воздействию радиации на персонал и население.

НСК работает в двух режимах: рутинном (предупредительно-аварийном) и кризисном (аварийно-ликвидационном). При этом производится расчет аварийности событий – “аварийного сочетания”, т.е. минимальный набор событий, приводящий к реализации указанного события с максимальной вероятностью их возникновения, а также определяет набор наиболее неблагоприятных событий, вносящих наибольшую вероятность в рассматриваемое событие.

В работе рассматриваются варианты применения средств объектового и дистанционного контроля пожароаварийной обстановки на РОО и территории с помощью инфракрасного (ИК) и сверхвысокочастотного (СВЧ) радиометров и видеокамер. Представлены функциональная и организационная структура НСК, информационное обеспечение, логическая структура и банк данных. Функционально структура НСК включает в себя идентификацию и прогнозирование аварийных ситуаций, аварий и послеаварийное состояние РОО

и территории; мониторинг процессов возникновения, развития, предупреждения, локализации и ликвидации пожароаварийной обстановки, информационное обеспечение и интеллектуальную поддержку управленческих решений.

Организованная структура НСК представлена на рис. 1.

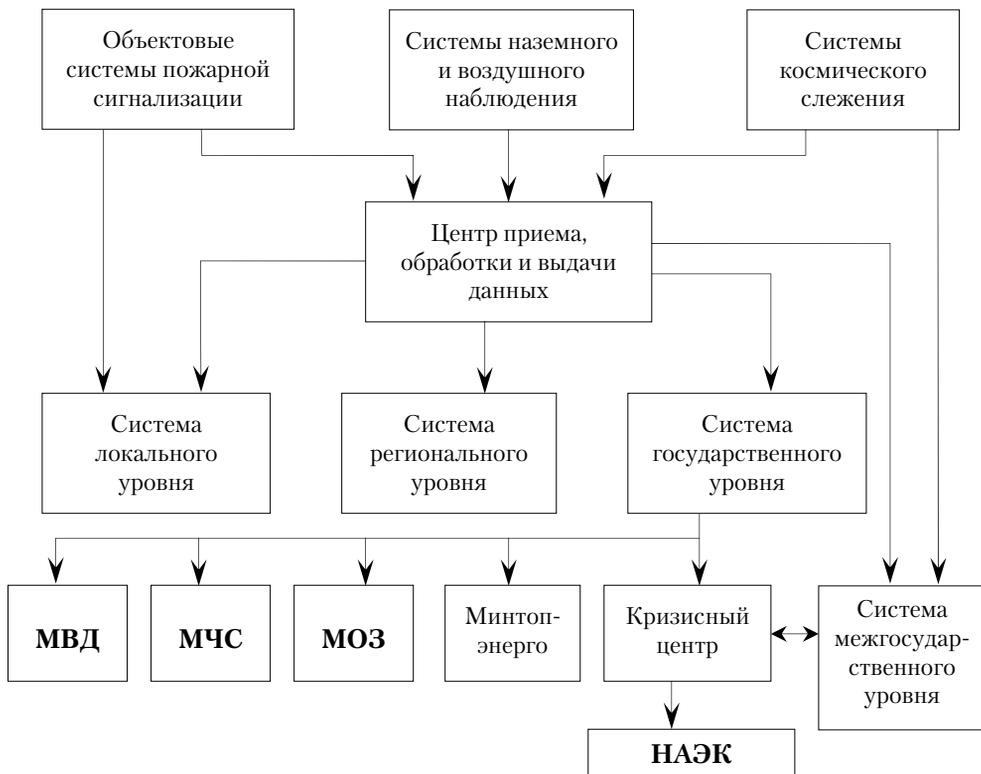


Рис. 1. Организованная структура НАК

Банк данных системы контроля содержит информацию о синоптических ситуациях в месте размещения РОО и прилегающей территории; топографические данные о рельефе местности, дорожной сети, коммуникациях, населенных пунктах, природных картах и др.; метеорологические данные о температуре воздуха, скорости и направлении ветра, облачности, осадках и т.д.; локальную и мезометеорологическую модели расчета переноса и рассеивания радиоактивных веществ в атмосфере. Для отображения синоптической ситуации используется карта погоды (форма Ф-МПК-8а) масштаба 1:15 000 000. Интерполяция метеоданных проводится на регулярной сетке 29×24 точек с шагом 100×100 км.

Архитектура системы контроля имеет трехуровневую структуру. Нижний уровень построен на основе контроллеров, выполняющих функции сбора и обработки информации. На среднем уровне создаются рабочие места операторов, обеспечивающие визуальный контроль за пожароопасной обстановкой на РОО и прилегающей территории, ведение архивов измеренных параметров и журнала событий, работу с текстовой справочной и рекомендательной информацией и ряд других функций. На верхнем уровне создаются рабочие места, обеспечивающие

возможность задания предельных значений контролируемых параметров, работу с архивом, статический анализ поступающей информации и автоматическую диагностику системы в целом. Система делится на два вида: офисный и технологический, которые объединены с помощью TXNet-серверов. Офисный состоит из файл-серверов, компьютеров типа Pentium и локальной сети, работающей под управлением сетевой операционной системы Windows NT. Программное обеспечение представляет возможность построения распределенных систем, включающих до 200 операторских станций на базе ведущих сетевых операционных систем по протоколам Net Bios, IPX/SPX и TEP/IP на основе стандартных и специальных модемов передачи данных по проводным и беспроводным каналам связи (сети сотовой связи GSM и инфраструктуры спутниковой связи ORBCOMM). Информационное обеспечение системы создано в программной среде PC ARC/INFO 7.1, Arc CAD, Arc View CIS 3.1 на языке визуального объектно-ориентированного программирования Delphi 3.0 и сетевого СУБД InterBase 5.0.

Программный продукт может быть использован для оценки опасности события для людей, промышленных и жилых объектов стран, включенных в НСК; определения вероятности аварии и сочетаний событий, приводящих к аварии; разработки мер по снижению вероятности аварии; проведения экспертизы и расследования.

Физические основы работы радиометрического устройства. Для контроля пожароопасной обстановки используется измерение радиояркой температуры с помощью закона Релея-Джинса:

$$P_f = \frac{2\pi \cdot K \cdot T_{\text{я}}}{\lambda_u^2}, \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{Гц)}, \quad (1)$$

где $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;

$T_{\text{я}}$ – радиояркая температура, К;

λ_u – длина волны излучаемых колебаний и колебаний, на которых осуществляется прием радиотеплового излучение, м.

Мощность излучаемых радиоволн будет составлять:

$$P = \frac{2\pi \cdot K}{\lambda_u^2} \cdot T_{\text{я}} \cdot \Delta f \cdot S, \text{ (Вт)}, \quad (2)$$

где f – полоса высокочастотной части приемника;

S – площадь излучаемой среды (очага пожара).

Пороговый контраст температур, который проявляется с заданной достоверностью, определяется по формуле:

$$\Delta T_{\text{пор}} = \frac{T_n \cdot [\Phi^{-1} \cdot (1 - P_{\text{nm}}) + \Phi^{-1} \cdot (1 - P_{\text{nc}})]}{0,7 \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{\Delta F}}}, \text{ (К)}, \quad (3)$$

где Φ^{-1} – интеграл вероятности;

P_{nm} – вероятность ошибочной тревоги;

$P_{\text{nc}} = 1 - P_{\text{no}}$;

P_{no} – вероятность выявления очага загорания;

T_n – полное снижение температуры источника излучения с учетом температуры приемника;

F – полоса фазопреобразователя низкой частоты (ФНЧ).

Условие выявления очага загорания:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{нор.}} \cdot \Omega_A}{\Omega_y}, \text{ (К)}, \quad (4)$$

где $\Omega_A = 4\pi/G_n$ – ширина главного направленного действия приемной системы;

G_n – коэффициент направленного действия системы;

$\Omega_y = S_y / D^2$ – угловой размер очага загорания;

где S_y – площадь пожара;

D – расстояние до очага пожара.

Дальность действия СВЧ-радиометра:

$$L_{\text{max}} = \sqrt{\frac{S_y \cdot G_n}{4\pi \cdot D \cdot T_{\text{нор.}}}}, \text{ (км)}. \quad (5)$$

Исходя из основной формулы радиолокации и учитывая ослабление потока излучения за счет его поглощения в воздухе и в газовой (дымовой) среде, можно записать:

$$M(f, \phi) = X_0(L-d) + \int_0^d X(t, x) dx, \quad (6)$$

где M – коэффициент поглощения, который имеет функцию вида:

$$M(t, \phi) = \ln \left(\frac{\sqrt{G_0 \cdot S_0 \cdot S \cdot P_0}}{4\pi \cdot D^2 \cdot \sqrt{P}} \right), \quad (7)$$

где f – частота излучения;

X, X_0 – коэффициенты поглощения атмосферы и газа (загрязнителя);

P_0 – мощность излучения;

P – мощность отраженного сигнала на входе приемника;

S – эффективная площадь рассеяния репера;

S_0, G_0 – эффективная площадь и коэффициент направленного действия передающей антенны;

L – путь СВЧ-радиометра – репер;

D – толщина слоя газового образования;

ϕ – текущий азимутальный угол.

Средняя концентрация газа:

$$\bar{N} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{\partial M(f_i, \phi_i)}{\partial t} \left[\frac{\partial \sigma(t)}{\partial t} d(\phi_i, \phi_0, R_i, R_0) \right] \right\}, \quad (8)$$

где R_{ϕ, ϕ_0} – координаты центра газового образования.

Например, для сероводорода средняя частота вращательного спектра составляет $f_0 = 168,7$ ГГц, а ширина спектра $f = 1,7$ ГГц. Адекватный этому радиолокационный сигнал с $f_0 = 168,7$ ГГц должен иметь продолжительность импульса приблизительно 10 нс.

В табл. 1 приведенные линии поглощения некоторых газов.

Таблица 1. Линии поглощения некоторых газов

Газовая среда	NH ₃	N ₂ O	NO ₂	CO	CO ₂	NO	O ₃	H ₂ S
Частота, ГГц	23,87	25,12	26,62	115,19	150,1	153,1	101,74	168,7

Спектроскопический эффект обусловлен квантовыми переходами между разными энергетическими уровнями газовой среды при зондировании электромагнитными волнами определенных диапазонов. Измеряя интегральные интенсивности поглощения контролируемого газа на частотах, которые отвечают вращательному переходу (табл. 1), можно определить среднюю концентрацию соответствующего (контролируемого) газа.

Варианты построения системы. На данное время созданные и апробированные датчики СВЧ-радиометра на базе резонатора Фарби-Перо и объемных резонаторов в 4-х и 2-х миллиметровом диапазонах волн; приемопередатчик пространственного излучения в 8-ми миллиметровом диапазоне, который работает в режимах на отображение и на проход; автоматическая установка для измерения интенсивности поглощения с погрешностью не более 5,0 % (до 10 дБ) и резонансной частотой с погрешностью не более 1,0 %. В состав системы (рис. 2) входит антенна (1), генератор шума (2), коммутатор (3), линейный тракт (4), квадратичный детектор (5), усилитель низкой частоты (6), синхронный детектор (7), генератор опорных сигналов (8), ФНУ (9), ПЭВМ (10).

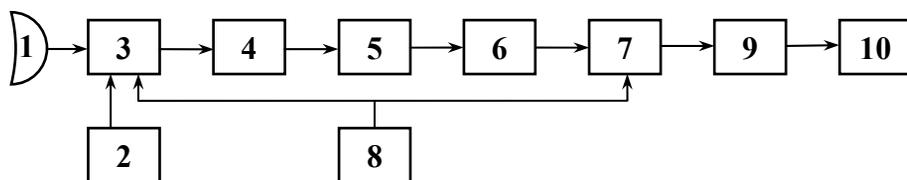


Рис. 2. Структурная схема системы

Основные тактико-технические характеристики существующей и разработанных систем предоставлены в табл. 2.

Таблица 2. Основные тактико-технические характеристики системы

Основные характеристики	Существующая	Разрабатываемые	
	Стандартная РЛС	СВЧ-радиометр	Активно-пассивный комплекс
1	2	3	4
Диапазон волн	миллиметровые	миллиметровые (сантиметровые)	миллиметровые
Ширина диаграммы направленности в азимутальной и угловой плоскостях, град.	~ 1	≤ 1	~ 1
Мощность передатчика, кВт	2	–	2
Продолжительность импульса, нс	10; 1	–	10; 1
Дальность действия, км	~ 15	~ 10	~ 15
Точность определения дальности, м	0,8	–	0,8
Точность определения угловых координат, град.	0,5	1,0	0,5

1	2	3	4
Вероятность определения аномалий:			
– очага загорания	0,85	0,90	0,95
– биологического объекта	0,80	0,90	0,95
– газовых образований	0,75	0,80	0,90
Точность определения аномалий, %:			
– очага загорания	10	5	7
– биологического объекта	15	10	10
– газовых образований	5	7	5
Масса, кг	35	20	70
Габариты, м	0,5×0,5×0,8	0,3×0,3×0,5	0,6×0,6×0,5
Стоимость разработки, тыс. грн.	90	60	150

На рис. 3 изображена двухпозиционный угломерно-дальномерный активно-пассивный РМК, который состоит из двух разнесенных на расстояние 10-15 км центрального пункта (ЦП) и выносного пункта (ВП). Каждый ВП состоит из двух подсистем: пассивный СВЧ-радиометр и активная радиолокационная станция, которая осуществляет измерение дальности в заданных пеленгах. Возможные варианты расположения РМК на стационарных платформах и вышках, а также на автомобильном шасси или летательных аппаратах (для дистанционного контроля над лесными пожарами).

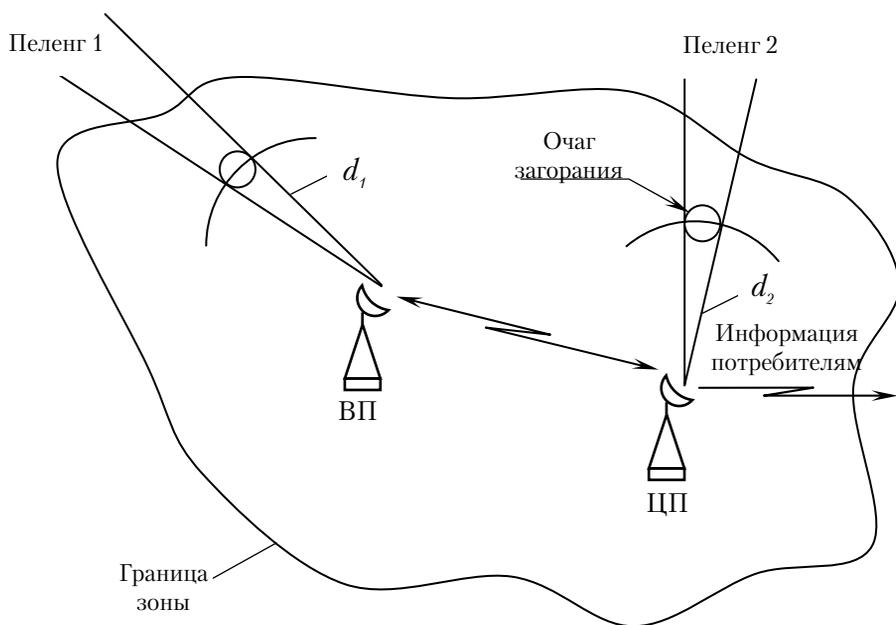


Рис. 3. Структура двухпозиционной угломерно-дальномерной активно-пассивной системы

Раннее выявление очагов загорания на АЭС и близлежащих территориях осуществляется с помощью СВЧ-радиометра, который работает в разных режимах измерений (интегральный, дифференциальный и т.д.), что позволяет дистанционно установить разнообразные показатели пожара (температуру, размеры очага, содержащее количество влаги в горючих материалах и др.) и непрерывно следить за динамикой изменения этих показателей. В то же время путем критериального анализа и выделения полезных сигналов в ЦП о параметрах пожара делается прогноз развития и распространения пожара, а также проводятся расчеты миграции продуктов сгорания и оценка экологических последствий. Структурное соединение РМК с минимальной комплектацией представлена следующими главными блоками и устройствами (рис. 2): приемная многоканальная антенна, устройство сообщения, устройство первичной обработки информации, персональная ЭВМ.

При выявлении участков с повышенной температурой способом засечек с двух-трех ВП автоматически определяется номер участка территории, на которой возможен пожар, и отслеживается динамика изменения температуры в пространстве и времени. При превышении контрольных уровней сигналы с СВЧ-радиометров через антенны поступают на СВЧ-модули центрального пункта, где они также фильтруются, усиливаются и преобразуются по частоте. Преобразованные сигналы поступают в низкочастотные (НЧ) модули, где они также фильтруются и усиливаются. Специальный вычислитель обеспечивает автоматическую коррекцию каналов и продолжительное их накопление, необходимое для повышения чувствительности системы.

Возможно несколько модификаций НСК в зависимости от поставленной задачи, важности (опасности) охраняемого объекта, а также режима работы НСК: пассивного, активного или активно-пассивного.

Так, например, радиометрический комплекс пожарной сигнализации (РМК ПС) предназначен для решения следующих задач:

- оперативной оценки степени пожарной опасности охраняемого объекта (территории);
- определения очагов горения и классификации пожаров;
- оценки структуры пожара (кромки огня, прогоревшей части, шлейфа дыма, миграции аэрозолей и др.), геометрических размеров, динамики его развития и распространения;
- прогнозирования последствий пожара, воздействия их на экологию;
- формирования и выдачи оперативной информации о пожаре по каналам связи;
- оптимизации управления тактическими действиями аварийно-спасательных служб.

Принцип действия РМК ПС основывается на измерении радиояркостной температуры и выделения термодинамических контрастов, характерных для признаков очага загорания. РМК ПС является пассивной неизлучающей системой и состоит из антенного устройства (диаметр антенны ~ 1,0 м), прибора сканирования оси диаграммы направленности антенны, сверхвысокочастотного и низкочастотного блоков, устройства сопряжения аналоговой части, программно-алгоритмического обеспечения ЭВМ.

Основные проектные характеристики РМК ПС:

диапазон измеряемых температур	(100 × 1000), К;
разрешающая способность	2 К;
ширина луча диаграммы направленности антенны	(0,5 × 3)°;
диапазон длин волн	сантиметровый;
энергопотребление	200 Вт;
масса	60 кг;
объем	0,1 м ³ .

Рассматриваются также организационно-правовые вопросы размещения и работы системы, а также проблемы расширения ее функциональных возможностей для защиты от аварий и других объектов повышенной опасности, находящихся в Украине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко В.Л., Сорокін Г.А., Азаров С.І. Розробка єдиної системи дистанційного контролю доступу, пожежного й екологічного стану на території аеропорту // Наука і молодь. Прикладна серія: Зб. наук. праць. – К.: НАУ. – Вип. 5. – 2005. – С. 140-143.
2. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Єременко С.А. Система автоматичного протипожежного захисту складів і арсеналів з боєприпасами на основі радіометричного комплексу // “Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України” (матеріали науково-технічної конференції) 19 грудня 2006 р. – МНС України, УЦЗУ, м. Харків. – С. 11–13.
3. Сидоренко В.Л., Єременко С.А., Азаров С.І. Про можливість використання НВЧ-радіометра для захисту артскладів від пожеж // “Захист населення і територій у надзвичайних ситуаціях” (матеріали науково-технічної конференції) 26 жовтня 2006 р. – МНС України, УЦЗУ, м. Харків. – С. 27.
4. Єременко С.А., Азаров С.І., Сидоренко В.Л. До питання прогнозування впливу аварійних викидів з ядерних реакторів на навколишнє середовище // “Проблеми зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні” (матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників) 11-12 жовтня 2006 р. – МНС України, УкрНДІПБ, м. Київ. – С. 16–17.
5. Азаров С.І., Сидоренко В.Л. Прогнозування впливу аварійних викидів з ядерних реакторів на довкілля // “Чорнобильська катастрофа та її вплив на екологічну ситуацію в Україні” (матеріали науково-практичної конференції) 25 квітня 2006 р. – МНС України, АЦЗУ, м. Харків. – С. 102–103.
6. Азаров С.І. Основные подходы к разработке концепции противопожарной защиты зоны отчуждения ЧАЭС / Экология АЭС, Сб. материалов научного семинара. – Одесса. – 1993. – С. 10–13.
7. Азаров С.І. Оценка предрасположенным ландшафтов Чернобыльской зоны к пожарам. /Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. – Чернобыль. – № 3. – 1995. – С. 249–253.
8. Азаров С.І., Однолько А.А. Противопожарная защита зоны отчуждения ЧАЭС // XII Всероссийская научно-техническая конференция “Пожарная безопасность-95” 1-2 ноября 1995 г. Тезисы докладов. – Москва. – С. 143–144.

9. Азаров С.И. Прогноз радиационной обстановки и ущерба при лесном пожаре на постчернобыльской территории // 2-й Обнинский симпозиум по ридиоэкологии, Обнинск, 27-31 мая 1996 г.
10. Азаров С.И. Характеристика ингаляционного поступления радионуклидов при лесных пожарах в зоне отчуждения ЧАЭС //2-й съезд радиобиологов Украины, тезисы доклада, Днепропетровск, 22-24 сентября 1995 г.
11. Азаров С.И., Пшеничный В.А. Радиационная опасность лесных пожаров в постчернобыльской зоне // Сб. тезисов докладов. – Зеленый мыс. – 1996. – С. 116.
12. Азаров С.И. Загрязнение атмосферы Cs-137 при лесных пожарах в чернобыльской зоне // Радиационная биология. Радиоэкология. – Т. 36, Вып. 4. – 1996. – С. 474–483.
13. Азаров С.И. О радиолокационной системе контроля за лесопожарной обстановкой в Чернобыльской зоне // Лесное хозяйство. – №4. – 1997. – С. 52–53.