

С.І. АЗАРОВ¹, В.Л. СИДОРЕНКО², С.А. ЄРЕМЕНКО¹, О.В. БИКОВА²

¹Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України, м. Київ

²Інститут державного управління у сфері цивільного захисту Університету цивільного захисту України, м. Київ

КОНЦЕПТУАЛЬНА РОЗРОБКА ЄДИНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОЖЕЖНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ СКЛАДУ БОЄПРИПАСІВ ТА ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ

Запропоновано системний підхід до концептуальної розробки єдиної системи контролю пожежного та екологічного стану територій складів боєприпасів. Єдина система контролю побудована за ієрархічним принципом, де на нижньому рівні використовується радіометричний метод виявлення осередків пожеж, шкідливих викидів в повітря та несанкціонованих порушень.

Безпека людини і навколишнього середовища, їх захищеність від техногенних, природних і соціально-політичних небезпек віднесена до проблем особливої важливості держави і суспільства, а їх рішення – до пріоритетних завдань національної безпеки. Останнім часом особливої уваги потребують артбази, арсенали, сховища і склади боєприпасів (БП) і вибухових речовин, на яких можливе виникнення аварій з розвитком вибухових і пожежних небезпек, що призводить до формування небезпечних факторів, які в подальшому негативно впливають на довкілля та забруднюють навколишнє середовище.

Більше сотні складів БП та артилерійських баз Міністерства оборони України утримують біля 1,3 млн тонн БП і вибухових речовин. Біля 500 тис. тонн віднесені до розряду надлишкових, тобто тих, що потребують утилізації. З них 140 тис. тонн вимагають термінової утилізації. Щороку кількість БП збільшується на 10-15 тис. тонн.

Умови зберігання даної продукції не відповідають вимогам нормативних актів. Спроба утилізувати традиційними методами (спалюванням, підривом, похованням, затопленням) такої кількості надлишкових БП, що накопичилися на складах і арсеналах, неминуче приведе до екологічної катастрофи. Знешкодження та утилізація БП, які несправні, непридатні до ремонту, морально і технічно застарілі та призначений термін служби яких закінчився, проводиться дуже повільно внаслідок відсутності достатніх потужностей із сучасними методами їх утилізації. Тому ризик виникнення пожеж та вибухів на цих об'єктах залишається великим. Аварії на таких об'єктах призводять до забруднення довкілля токсичними газами, пилом, сажею, отруйними і канцерогенними речовинами з різними фізико-хімічними властивостями і ступенями впливу на навколишнє природне середовище та людей.

Отже актуальними є проблеми спостереження, попередження і раннього сповіщення можливості виникнення та розвитку аварій і пожеж на цих об'єктах та прилеглий території, а також контролю доступу та екологічного стану.

Доцільно було б оснастити такі об'єкти спеціальною системою попередження і спостереження за процесом виникнення осередків загорянь, пожеж та розвитку аварійних ситуацій. Аналіз порівняльних технічних і економічних показників існуючих систем і систем, що розроблюються, показав перевагу та ефективність використання радіометричного комплексу (РМК) з надвисокочастотним (НВЧ) радіометром.

На даний час проблему безпеки територій складів БП прийнято розглядати за її окремими напрямками (або видами): технічна, охоронна, пожежна, інформаційна, екологічна тощо. Природно, що відповідно до цих напрямів розроблюються і спеціальні

системи контролю.

Пропонується системний підхід до концептуальної розробки єдиної системи забезпечення безпеки цих потенційно небезпечних об'єктів, що дозволить знизити фінансові витрати на проектування, виготовлення й експлуатацію за рахунок виключення дублювання різнотипних систем безпеки.

Єдина система контролю побудована за ієрархічним принципом, де на нижньому рівні використовується радіометричний метод виявлення осередків пожеж, шкідливих викидів у повітря та несанкціонованих порушень.

Унікально широкий діапазон можливостей перебудови довжини хвилі, активний, пасивний та активно-пасивний режим роботи, НВЧ-радіометр, незалежність його показань від погодних умов (туман, хмарність, опади), умов освітлення, часу доби (день, ніч) може зробити радіометричний метод дуже перспективним щодо дистанційного зондування і контролю території складів БП.

З іншого боку, висока питома і повна потужність сучасних РЛС, що працюють у широкому спектральному діапазоні, детальне пророблення фізичних принципів їхньої роботи і розмаїтість певних НВЧ-радіометрів, які випускаються (у тому числі й серійно), дозволить створити єдину систему безпеки.

Фізичні основи роботи радіометричного пристрою. Для контролю пожежонебезпечної обстановки використовується вимірювання радіояскравості температури за допомогою закону Релея-Джинса:

$$P_f = \frac{2 \pi K T_{\text{я}}}{\lambda_u^2} \left(\frac{B_T}{M^2 \Gamma_{\text{ц}}} \right), \quad (1)$$

де: $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана; $T_{\text{я}}$ – радіояскрава температура, К; λ_u – довжина хвилі випромінюваних коливань і коливань, на яких здійснюється прийом радіотеплового випромінювання, м.

Потужність випромінюючих радіохвиль буде дорівнювати:

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

де: Δf – смуга високочастотної частини приймача; S – площа випромінюючого середовища (осередку пожежі).

Граничний контраст температур, що виявляється із заданою вірогідністю, визначається за формою:

$$\Delta T_{\text{пор}} = \frac{T_{\text{п}} [\Phi^{-1}(1 - P_{\text{пт}}) + \Phi^{-1}(1 - P_{\text{пс}})]}{0,7 \sqrt{\Delta t / \Delta F}}, \quad (K), \quad (3)$$

де: Φ^{-1} – інтеграл імовірності; $P_{\text{пт}}$ – імовірність хибної тривоги; $P_{\text{пс}} = 1 - P_{\text{по}}$; $P_{\text{по}}$ – імовірність виявлення осередку загоряння; $T_{\text{п}}$ – повне зниження температури джерела випромінювання з урахуванням температури приймача; ΔF – смуга фазоперетворювача низької частоти (ФНЧ).

Умова виявлення осередку загоряння:

$$\Delta T \geq \frac{\Delta T_{\text{пор.}} \Omega_A}{\Omega_y}, \quad (K), \quad (4)$$

де: $\Omega_A = 4\pi / G_{\text{п}}$ – ширина головної спрямованої дії приймальної системи; $G_{\text{п}}$ – коефіцієнт спрямованої дії системи; $\Omega_y = S_y / D^2$ – кутовий розмір осередку загоряння; де: S_y – площа пожежі; D – шлях до осередку пожежі.

Дальність дії НВЧ-радіометра:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{S_y G_{\text{п}}}{4 \pi D T_{\text{пор.}}}}, (\text{км}), \quad (5)$$

Виходячи з основної формули радіолокації та з огляду на ослаблення потоку випромінювання за рахунок його поглинання у повітрі та у газовому (димовому) середовищі, можна записати:

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

де: M – коефіцієнт поглинання, що має функцію виду:

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

де: f – частота випромінювання; X, X_0 – коефіцієнти поглинання атмосфери та газу (забруднювача); P_0 – потужність випромінювання; P – потужність відбитого сигналу на вході приймача; S – ефективна площа розсіювання реперу; S_0, G_0 – ефективна площа та коефіцієнт спрямованої дії антени, що передає; L – шлях НВЧ-радіометра – репер; D – товща шару газового утворення; φ – поточний азимутальний кут.

Середня концентрація газу:

$$\bar{N} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{\partial M(f_i, \varphi_i)}{\partial t} \left[\frac{\partial \sigma(t)}{\partial t} d(\varphi_i, \varphi_0, R_i, R_0) \right] \right\}, \quad (8)$$

де: R_0, φ_0 – координати центру газового утворення.

Наприклад, для сірководню середня частота обертового спектра складає $f_0 = 168,7$ ГГц, а ширина спектра $\Delta f = 1,7$ ГГц. Адекватний цьому радіолокаційний сигнал с $f_0 = 168,7$ ГГц повинен мати тривалість імпульсу приблизно 10 нс. У табл. 1 наведені лінії поглинання деяких газів.

Таблиця 1. Лінії поглинання деяких газів

Газове середовище	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

Спектроскопічний ефект обумовлений квантовими переходами між різними енергетичними рівнями газового середовища при зондуванні електромагнітними хвилями визначених діапазонів. Вимірюючи інтегральні інтенсивності поглинання контрольованого газу на частотах, що відповідають обертовому переходу (див. табл.1), можна визначити середню концентрацію відповідного (що контролюється) газу.

Варіант побудови системи. На даний час створені та апробовані датчики НВЧ-радіометра на базі резонатора Фарбі-Перо та об'ємних резонаторів у 4-х і 2-х міліметровому діапазонах хвиль; прийомо-передавач просторового випромінювання у 8-ми міліметровому діапазоні, який працює у режимах на відображення і на прохід; автоматична установка для вимірювання інтенсивності поглинання з похибкою не більшою 5,0% (до 10 дБ) та резонансною частотою з похибкою не більшою 1,0%. У склад системи (рис. 1) входить антена (1), генератор шуму (2), комутатор (3), лінійний тракт (4), квадратичний детектор (5), підсилювач низької частоти (6), синхронний детектор (7), генератор опорних сигналів (8), ФНУ (9), ПЕОМ (10).

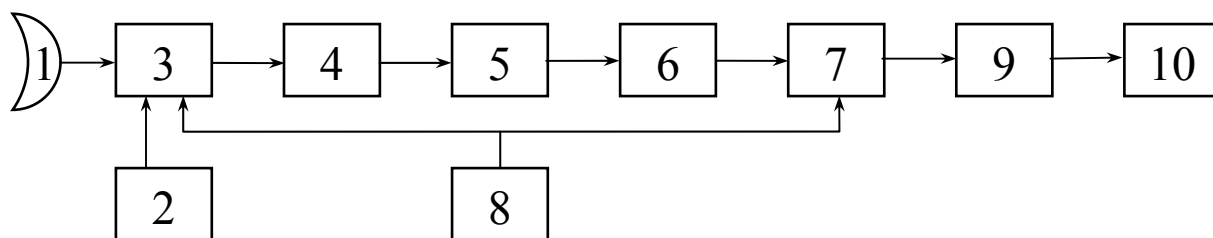


Рис. 1. Структурна схема системи

Основні тактико-технічні характеристики існуючої системи і систем, що розробляються, наведені у табл.2.

Таблиця 2. Основні тактико-технічні характеристики системи

Основні характеристики	Існуюча	Що розробляється	
	Стандартна РЛС	НВЧ-радіометр	Активно-пасивний комплекс
Діапазон хвиль	міліметрові	міліметрові (сантиметрові)	міліметрові
Ширина діаграми спрямованості в азимутальній і кутовій площинах, град.	~ 1	≤ 1	~ 1
Потужність передавача, кВт	2	–	2
Тривалість імпульсу, нс	10; 1	–	10; 1
Дальність дії, км	~ 15	~ 10	~ 15
Точність визначення дальності, м	0,8	–	0,8
Точність визначення кутових координат, град.	0,5	1,0	0,5
Імовірність визначення аномалій:			
- осередку загоряння	0,85	0,90	0,95
- біологічного об'єкту	0,80	0,90	0,95
- газових утворень	0,75	0,80	0,90
Точність визначення аномалій, %:			
- осередку загоряння	10	5	7
- біологічного об'єкту	15	10	10
- газових утворень	5	7	5
Маса, кг	35	20	70
Габарити, м	0,5×0,5×0,8	0,3×0,3×0,5	0,6×0,6×0,5
Вартість розробки, тис. грн.	90	60	150

На рис. 2 зображено двопозиційний кутомірно-далекомірний активно-пасивний РМК, що складається з двох рознесених на відстань 10-15км центрального пункту (ЦП) і виносного пункту (ВП). Кожний ВП складається з двох підсистем: пасивний НВЧ-радіометр і активна радіолокаційна станція, яка здійснює вимір дальності в заданих пеленгах. На рисунку показана ситуація з визначенням осередків загоряння (або інших небажаних подій) на території складу БП і на прилеглий до складу території та передачі цієї інформації до головного центру обробки інформації (споживачам).

Можливі варіанти розташування РМК на стаціонарних платформах і вишках, а також

на автомобільному шасі або літальних апаратах (наприклад, для дистанційного контролю за лісовими пожежами).

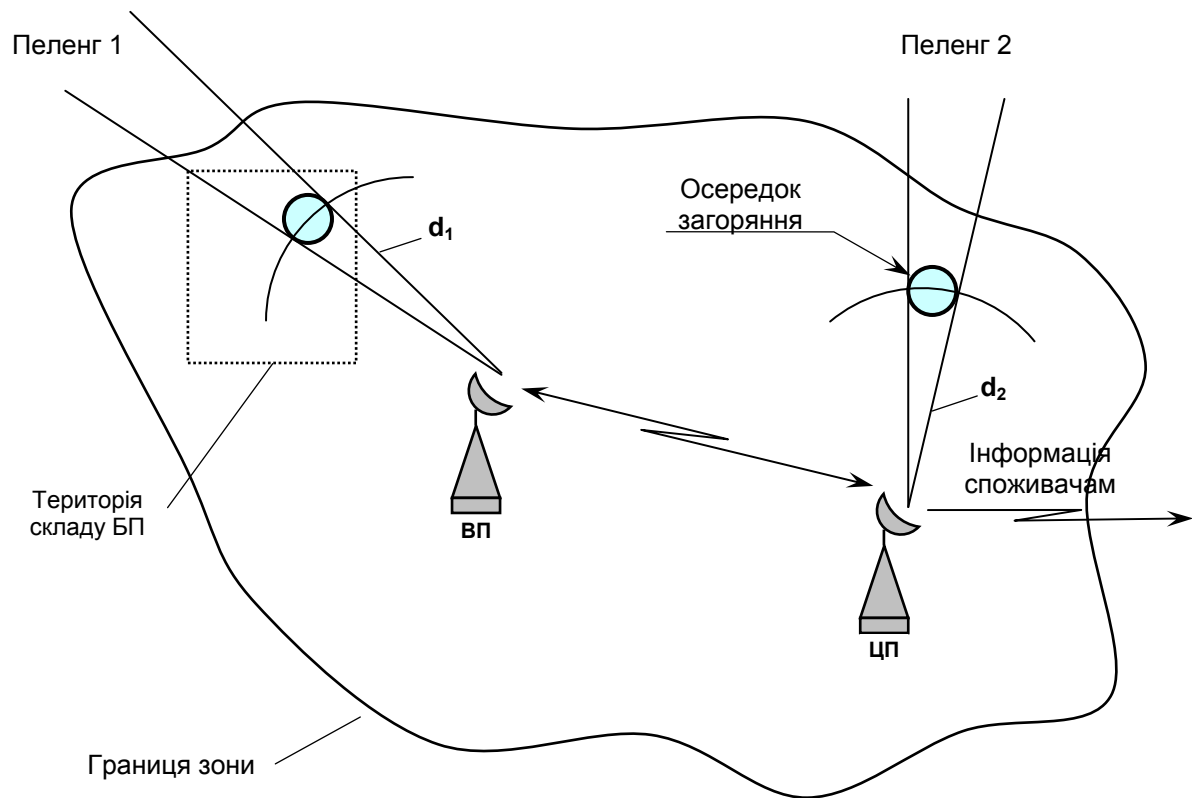


Рис. 2. Структура двопозиційної кутомірно-daleкомірної активно-пасивної системи

Раннє виявлення осередків загоряння на складах БП і прилеглих територіях здійснюється за допомогою НВЧ-радіометра, який працює в різних режимах вимірювань (інтегральний, диференціальний тощо), що дозволяє дистанційно встановити різноманітні показники пожежі (температуру, розміри осередку, вміст вологи у паливних матеріалах тощо) і безупинно стежити за динамікою зміни цих показників. У той же час шляхом критеріального аналізу і виділення корисних сигналів у ЦП про параметри пожежі робиться прогноз розвитку і поширення пожежі, а також проводиться розрахунок міграції продуктів згоряння та оцінка екологічних наслідків. Структура РМК з мінімальною комплектацією представлена наступними головними блоками і пристроями (див. рис.1): приймальна багатоканальна антена, пристрій сполучення, пристрій первинної обробки інформації, персональна ЕОМ.

При виявленні ділянок з підвищеною температурою способом зарубок з двох-трьох ВП автоматично визначається номер ділянки території, на якій можлива пожежа, і відслідковується динаміка зміни температури у просторі і часі. При перевищенні контрольних рівнів сигнали з НВЧ-радіометрів через антени надходять на НВЧ-модулі ЦП, де вони також фільтруються, підсилюються і перетворюються по частоті. Перетворені сигнали надходять у низькочастотні (НЧ) модулі, де вони також фільтруються і підсилюються. Спеціальний обчислювач забезпечує автоматичну корекцію каналів і тривале їхнє нагромадження, необхідне для підвищення чутливості системи.

Таким чином, показана перевага і доцільність використання радіометричного способу спостереження за територією складів БП і прилеглою територією у комплексі єдиної системи контролю пожежного та екологічного стану територій.

1. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Єременко С.А. Система автоматичного протипожежного захисту складів і арсеналів з боєприпасами на основі радіометричного комплексу // Матеріали науково-технічної конференції "Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України" МНС України, УЦЗУ, Харків. – 2006. – С. 11-13.

2. Сидоренко В.Л., Єременко С.А., Азаров С.І. Про можливість використання НВЧ-радіометра для захисту артскладів від пожеж // Матеріали науково-технічної конференції "Захист населення і територій у надзвичайних ситуаціях". МНС України, УЦЗУ, Харків. – 2006. – С. 27.

3. 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. – 2005. – Вип. 5. – С. 140-143.

4. Сидоренко В.Л., Сорокін Г.А., Азаров С.І. Розробка єдиної системи дистанційного контролю доступу, пожежного й екологічного стану на території аеропорту // Матеріали V Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених "Політ". МОН України, НАУ, Київ. – 2005. – С. 20.

С.І. Азаров, В.Л. Сидоренко, С.А. Єременко, О.В. Быкова

КОНЦЕПТУАЛЬНА РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОЖАРНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ СКЛАДА БОЕПРИПАСОВ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Предложен системный подход к концептуальной разработке единой системы контроля пожарного и экологического состояния территорий складов боеприпасов. Единая система контроля построена по иерархическому принципу, где на нижнем уровне используется радиометрический метод обнаружения очагов пожаров, вредных выбросов в воздух и несанкционированных нарушений.

S.I. Azarov, V.L. Sydorenko, S.A. Yeremenko, A.V. Bykova

CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF UNIFIED FIRE AND ECOLOGICAL STATE CONTROL SYSTEM OF THE TERRITORY OF AMMUNITION STORAGE FACILITY AND THE SURROUNDING AREA

The systemic approach to the conceptual development of a unified fire and ecological control system of territory of ammunition storage is proposed. The unified control system is based on the hierarchical principle, where radiometric method is used at the lower level for detecting cells of fires, air pollution and unauthorized violations.