



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ІННОВАЦІЙНІ ПРОЄКТИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

<https://doi.org/10.15407/scin16.03.039>

Ю.Л. ЗАБУЛОНОВ, В.М. БУРТНЯК, Л.А. ОДУКАЛЕЦЬ

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,
просп. Палладіна, 34а, Київ, 03142, Україна,
+380 44 502 1229, igns@nas.gov.ua

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ШВИДКОГО РЕАГУВАННЯ НА БАЗІ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Вступ. В результаті техногенної аварії на Чорнобильській АЕС в атмосферу було викинуто величезну кількість радіоактивного матеріалу, загальний обсяг якого складно коректно оцінити.

Проблематика. Радіоекологічні роботи — це радіаційна розвідка з детальним картуванням рівнів забруднення та проведення систематичних спостережень за радіаційною обстановкою. Одним з найбільш ефективних способів радіаційної розвідки територій, які зазнали радіаційного забруднення, а також пошуку радіоактивних джерел є дистанційне вимірювання приземного гамма-випромінювання за допомогою аерогаммаспектрометрії. Отже, важливим є розроблення та апробація сучасної системи радіаційного, інфрачервоного та візуального оперативного контролю на базі літального апарату (ЛА) для вирішення зазначених завдань.

Мета. Розробка сучасного вітчизняного обладнання для автоматизованого оперативного контролю радіаційної обстановки швидкого реагування на базі літального апарату.

Матеріали й методи. Використано методи математичного й комп'ютерного моделювання, натурного макетування, машинного проектування. Для дослідження технічних характеристик системи, її особливостей було проведено натурні випробування окремих її каналів в зоні відчуження Чорнобильської АЕС.

Результати. Розроблено та створено інноваційну систему радіаційного, інфрачервоного та візуального оперативного контролю високої чутливості на базі літального апарату «Р-Навігатор» для вирішення задач оперативного дистанційного контролю АЕС та прилеглих територій у випадку виникнення аварійних ситуацій або інцидентів з ядерними та радіаційними матеріалами.

Висновки. Запропонована розробка забезпечує високу чутливість детектування гамма-випромінювання, відеозйомку та дистанційну передачу даних на наземні центри управління для оперативного реагування на аварійні ситуації, а також сприяє зменшенню вартості аерогаммаспектрометричних робіт.

Ключові слова: ядерно-радіаційна аварія, гамма-випромінювання, літальний апарат, спектрометр, радіаційний моніторинг, радіаційна безпека.

Цитування: Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М., Одукалець Л.А. Система автоматизованого оперативного контролю радіаційної обстановки швидкого реагування на базі літального апарату. *Наука іннов.* 2020. Т. 16, № 3. С. 39—46. <https://doi.org/10.15407/scin16.03.039>

В результаті техногенної аварії на Чорнобильській АЕС в атмосферу було викинуто величезну кількість радіоактивного матеріалу, загальний обсяг якого складно коректно оцінити. Забруднення поширилося на 18 з 25 областей України загальною площею 42 тис. км². З сільськогосподарської практики було вилучено 5 млн га земель. Радіонукліди, викинуті в атмосферу, поширювалися у вигляді аерозолів, які поступово осідали на ґрунт. Частина з цих радіонуклідів характеризується тривалим періодом напіврозпаду. Забруднення було дуже нерівномірним, оскільки поширення часток залежало від напрямку вітру в перші дні після вибуху. Значна частина плутонію і стронцію випала в радіусі 100 км від станції, а йод і цезій поширилися на більшу територію. Найсильніше постраждали області, в яких в цей час пройшли дощі [1].

Радіонукліди мають властивість мігрувати, змінюватися, переміщатися вертикально та горизонтально. Тому радіоактивне забруднення Зони відчуження завжди буде неоднорідним і з часом змінюється, тобто відбувається його перерозподіл, що призводить до міграції зони забруднення. Виходячи з цього, моніторинг Зони відчуження Чорнобильської АЕС та оцінка радіонуклідного забруднення поверхні землі є актуальним завданням.

Як правило, радіоекологічні роботи включають в себе детальне картування рівнів забруднення і проведення систематичних спостережень за радіаційною обстановкою. Одним з найбільш ефективних способів радіаційної розвідки територій, які зазнали радіаційного забруднення, а також пошуку його джерел є дистанційне вимірювання приземного гамма-випромінювання за допомогою аерогамма-спектрометрії [2]. В основу методу покладено вимірювання з досить малим просторовим кроком радіаційних полів за допомогою гамма-спектрометра повного поглинання, що розміщується на борту літального апарату. Зокрема, припускаючи, що джерела гамма-випромінювання знаходяться на поверхні землі, за

результатами вимірювань та за наявності відповідних калібрувань можна встановити радіонуклідний склад і активність таких джерел на обстежуваній території. Типова швидкість обстеження становить близько 0,5 км² за хвилину польоту.

Науковим колективом Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» було розроблено та створено інноваційну систему радіаційного, інфрачервоного та візуального оперативного контролю високої чутливості на базі літального апарату (ЛА) для вирішення завдань інвентаризації пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів з метою подальшої оцінки необхідності та доцільності їх перезахоронення. Створена автоматизована система радіаційного контролю та моніторингу навколишнього природного середовища швидкого реагування на базі літального апарату «Р-Навігаторі» може також використовуватися для проведення оперативного дистанційного контролю АЕС та прилеглих територій у випадку виникнення аварійних ситуацій або інцидентів з ядерними та радіаційними матеріалами.

ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ І КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ

До складу системи входять три функціонально незалежні вимірювальні канали:

1. Радіаційний канал (РК) — для дистанційного оперативного виявлення джерел іонізуючого випромінювання на місцевості. Він забезпечує дистанційне сканування поля радіаційного випромінювання; виявлення наднизьких активностей радіонуклідів на місцевості (виділення малорозмірних об'єктів з підвищеним рівнем гамма-випромінювання на земній поверхні); побудову високоточних карт радіоактивного забруднення місцевості.

2. Тепловізійний канал (ТпК) — це система реєстрації та аналізу інфрачервоного випромінювання з поверхні землі, яка забезпечує безконтактну реєстрацію об'єкта в інфрачервоному діапазоні спектру; побудову карт теплових

полів території та об'єктів обстеження; виявлення та оконтурювання пожеж.

3. Телевізійний канал (ТЛК) — система, що забезпечує обстеження земної поверхні та конкретно обраних об'єктів у видимому діапазоні з високою роздільною здатністю та високою чутливістю.

Системи працюють паралельно та незалежно одна від іншої під керуванням мікропроцесорної системи та оригінального програмного забезпечення.

Основою радіаційного каналу є спектрометричний модуль — термоізований контейнер, усередині якого на вібраційно розв'язаній платформі розміщено сцинтиляційний спектрометр на базі сцинтилятора NaI(Tl) (200×100 мм):

- ◆ чутливий об'єм модуля — 3,1 л;
- ◆ кількість каналів в аналізаторі кожного спектрометра — 1024;
- ◆ амплітудно-цифровий перетворювач (АЦП) з фіксованим часом перетворення 1 мкс;
- ◆ сполучення модуля з контролером — через стандартні канали USB або WiFi;
- ◆ габарити модуля — 520 × 330 × 330 мм;
- ◆ маса — 12 кг;
- ◆ енергоспоживання — 100 Вт (рис. 1).

Залежно від поставленого завдання застосовуються один або кілька спектрометричних модулів.



Рис. 1. Спектрометричний модуль

Для визначення координат вимірювального комплексу в «Р-Навігаторі» використовується система позиціонування, яку побудовано на основі датчика супутникової навігації GPS. Додаткову візуальну інформацію про досліджувану територію надає відеокамера, що входить в комплект обладнання та встановлюється на борту ЛА. Дані з радіаційного каналу, GPS-приймача, відео- та тепловізійних камер записуються на MicroSD та передаються радіоканалом на наземну базову станцію.

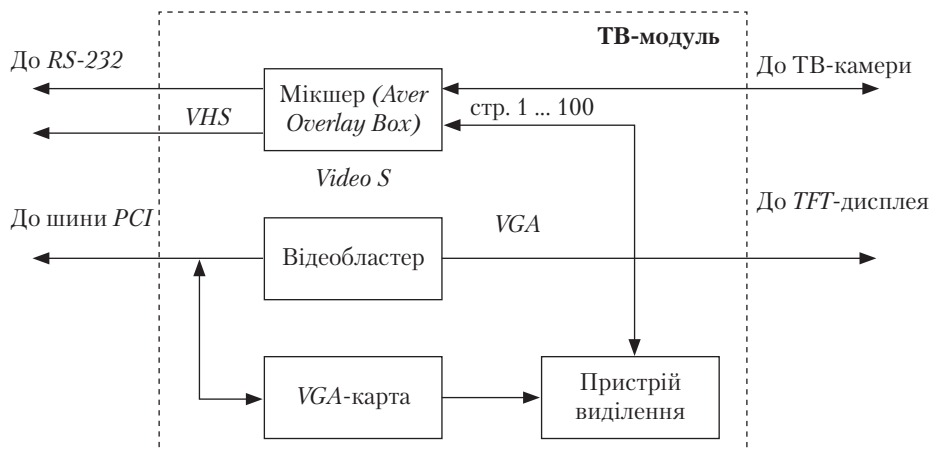


Рис. 2. Структура телевізійного каналу

Телевізійний канал містить телевізійну камеру, відеобластер (*Video Blaster*), мікшер, пристрій виділення рядків, відеорекордер. На телевізійне зображення, що надходить з ТВ-камери, накладається службова інформація, що формується в бортовому комп'ютері і виділяється за допомогою пристрою виділення рядків. Службова інформація містить широту, довготу, поточний час, дату, скореговану висоту. Це відеозображення записується на відеорекордері. Крім того, в режимі «стоп-кадру» (за командою оператора) відеозображення із службовою інформацією через відеобластер записується на системний MicroSD (рис. 2).

Технічні характеристики телевізійного каналу

Робочий діапазон довжин хвиль оптичної системи відеокамери, нм	0,38–0,90
Мінімально допустимий рівень освітленості об'єкту відеозйомки, лк	3
Кут поля зору відеокамери, град.	60

Тепловізійний канал призначено для реєстрації температурних характеристик земної поверхні в діапазоні від короткохвильових червоних променів до дальньої інфрачервоної області спектру. Підсистема передбачає:

- ◆ контроль і детальну оцінку ступеня пожежної небезпеки лісових районів, виділених за наслідками інфразйомки;
- ◆ виявлення пожеж в умовах хмарності і загального задимлення території;
- ◆ розвідку й картування крупних пожеж та здійснення оперативного управління для гасіння останніх.



Рис. 3. Технологія проведення дистанційного контролю АЕС за допомогою системи «Р-Навігатор»

Технічні характеристики підсистеми ТпК

Реєстрація випромінювання полум'я, що створюється тестовими вогнищами ТП-1, ТП-3 (відкрите горіння деревини, тління зі свіченням бавовни) спектральний діапазон, мкм	1,5–4,7
Підсистема зберігає працездатність і не видає сигнал тривоги при максимальному значенні фоновій освітленості:	
від електролюмінісцентних джерел, лк	2500
від ламп розжарювання, лк	250
Відстань до об'єкту, м	Від 25
Час безперервної роботи, год	Не менше 10
Робоча температура, °С	Від –50 до +50
Стійкість до вібрації, Гц	Від 10 до 150
Стійкість до удару, Дж	До 1,9
Живлення, В	24
Вага, г	1000

ОСОБЛИВОСТІ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ З БОРТА ЛА

Робота проводиться у двох режимах: виявлення і картування.

Режим виявлення. Політ проводиться заданим маршрутом на максимально можливій висоті. При цьому безперервно працюють інфрачервона система сканування і система збору навігаційно-пілотажних величин. У разі виявлення у полі зору високотемпературного джерела випромінювання підсистема визначає вірогідність помилкової тривоги і повідомляє про подію до бортової ЕОМ. Звідти сигнал передається в наземний центр.

У наземному центрі при надходженні сигналу тривоги виконується режим картування. За алгоритмами, закладеними в ЕОМ, розраховуються і виводяться на графічний пристрій контури пожежі. Одночасно прогноуються контури розвитку пожежі.

Відповідно до алгоритму роботи всі канали системи «Р-Навігатор» виконують такі функції:

- ◆ циклічні виміри (період 1 с) спектрів гамма-випромінювання радіонуклідів, що містяться в ґрунті або на поверхні обстежуваних територій, а також зображень телевізійної та тепловізійної камер;

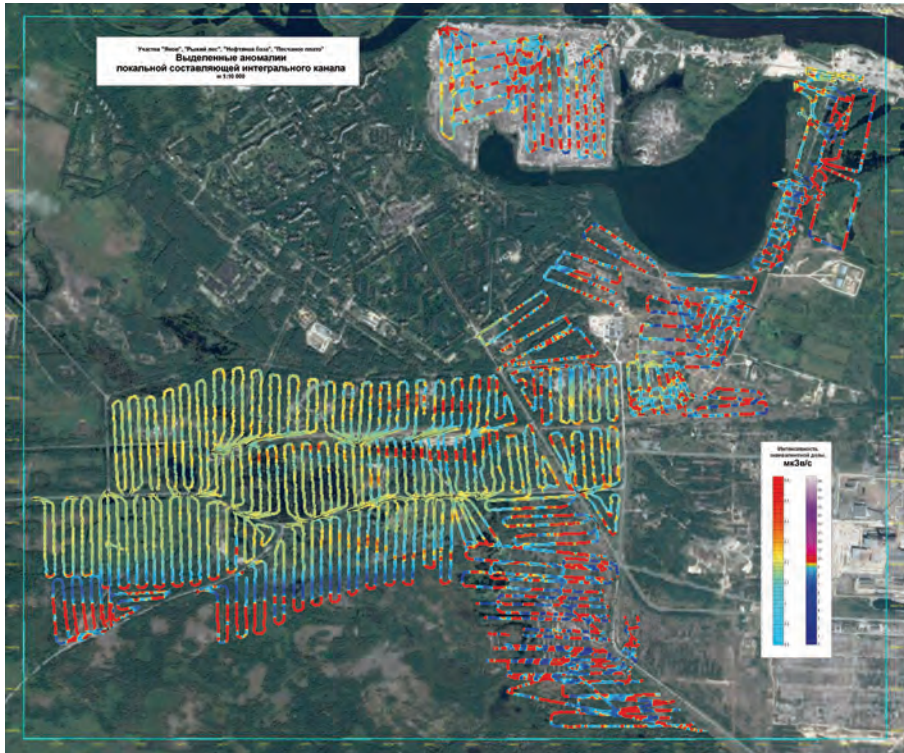


Рис. 4. Визначення радіаційних забруднень місцевості системою «Р-Навігатор»

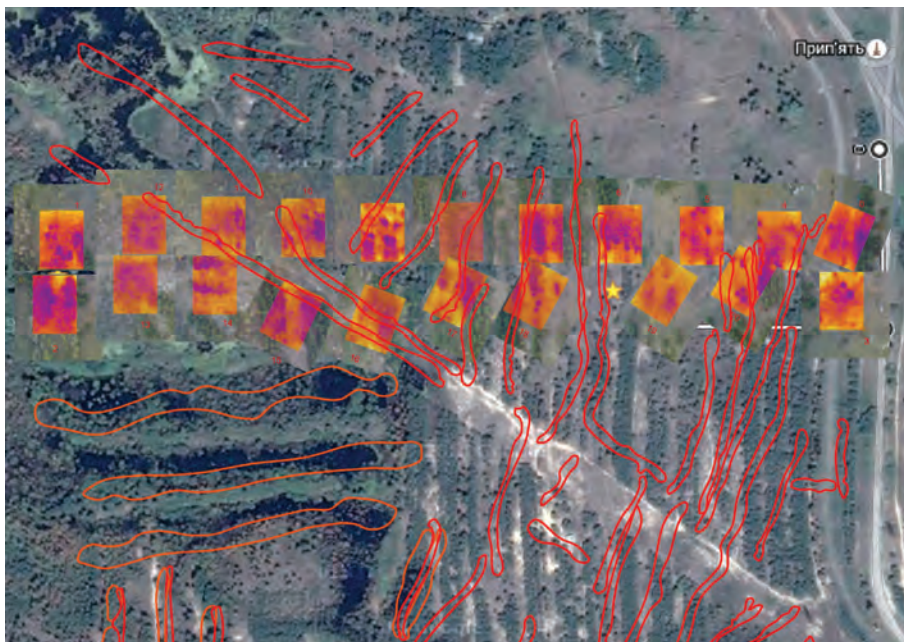


Рис. 5. Результати роботи тепловізійного каналу

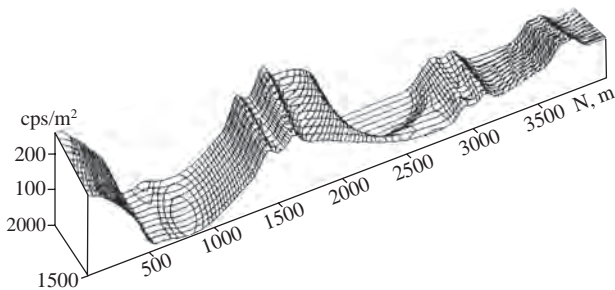


Рис. 6. Щільність поверхневого джерела випромінювання на ґрунті в смузі сканування

- ◆ узгодження в часі одержаних спектрів та зніmkів з визначеними топографічними координатами місця проведення вимірювань;
- ◆ узгодження в часі одержаних спектрів з визначеною висотою проведення вимірювань для врахування впливу ослаблення гамма-випромінювання в повітряному шарі при обробці вимірювальної інформації програмним забезпеченням наземної апаратури комплексу;
- ◆ формування та запис на MicroSD бортового комп'ютера файлів, що містять вимірювальну інформацію;
- ◆ використання галсових файлів при відповідній обробці програмним забезпеченням наземної апаратури комплексу.

Таким чином, після проведення дистанційних вимірювань з борту ЛА (рис. 3) на MicroSD буде сформовано масив первинної вимірювальної інформації про активність радіонуклідів, що містяться в ґрунті або на поверхні обстеженої території з урахуванням висоти польоту (ослаблення радіоактивності в повітряному шарі) і топографічною прив'язкою до місцевості, а також телевізійні та тепловізійні знімки земної поверхні.

Наземна апаратура системи після обробки масиву первинної вимірювальної інформації дозволяє [3]:

- ◆ формувати двовимірну карту поля гамма-випромінювання земної поверхні;
- ◆ виявляти точкові й протяжні неекрановані джерела гамма-випромінювання з досить низькою активністю;

- ◆ ідентифікувати радіонуклідний склад джерела;
- ◆ проводити вимірювання поверхневої густини активності радіонуклідів (радіаційного післяаварійного сліду);
- ◆ визначати координати джерела з точністю до 5–10 м (залежно від швидкості та висоти польоту ЛА).

Таким чином, багатофункціональність вимірювального комплексу дозволяє вирішувати широке коло завдань радіаційного контролю територій.

Розроблений комплекс має низку істотних переваг:

- ◆ високу автоматизацію проведення радіаційного обстеження великих територій та конкретно обраного об'єкта, швидкість та оперативність одержання результатів обстеження, високу інформативність та чутливість системи;
- ◆ автоматичну синхронізацію всіх каналів вимірювання до конкретного об'єкту;
- ◆ виявлення місць з підвищеним радіаційним фоном з автоматичною ідентифікацією джерел радіаційного забруднення;
- ◆ виявлення місць загоряння;
- ◆ збереження вимірювань в незалежній пам'яті, візуалізація інтегральних та усереднених отриманих значень;
- ◆ побудова карт радіаційного забруднення територій з прив'язкою до конкретних координат.

На рис. 4–6 наведено результати обробки аерогаммаспектрометричних даних, отриманих фахівцями відділу ядерно-фізичних технологій ДУ «ІГНС НАН України». Рис. 4 ілюструє двовірні поля радіоактивного забруднення ділянки зони відчуження Чорнобильської АЕС. Для обробки даних аерогаммазйомки використано програмне забезпечення *ArcGIS* компанії *ESRI* (США) [4]. Поверхня радіоактивного забруднення отримана для ізотопу Cs-137. На рис. 5 показано знімки тепловізійної камери вздовж маршруту прямування ЛА, а на рис. 6. — результати наземної обробки первинної вимірювальної інформації.

Таким чином, розроблена автоматизована система радіаційного контролю та моніторингу навколишнього природного середовища швидкого реагування на базі літального апарату «Р-Навігатор» забезпечує вирішення низки важливих завдань:

- ◆ проведення дистанційного моніторингу в режимі реального часу;
- ◆ реєстрацію рівня радіоактивного забруднення місцевості в місцях експлуатації об'єктів ядерної енергетики, могильників захоронення ядерних відходів, транспортування контейнерів з відпрацьованим ядерним паливом;
- ◆ визначення щільності просторового розподілу та радіонуклідний склад радіоактивних забруднень місцевості, їхньої потужності та напрямків поширення, кількісний і якісний склад радіоактивного сліду;
- ◆ отримання кінцевої (у вигляді карти) інформації про характер розподілу на поверхні радіоактивних речовин з високою просторовою роздільною здатністю та чутливістю, візуалізацією їхнього просторового розподілу та ідентифікації ізотопного складу за спектром гамма-випромінювання;
- ◆ визначення наявності та оконтурювання радіоактивної хмари безпосередньо на борту літального апарату (можливе застосування відеоканалу);
- ◆ формування бази даних радіоактивних могильників з використанням елементів географічної інформаційної системи;
- ◆ проведення експертизи та визначення ефективності заходів з радіаційної дезактивації місцевості;
- ◆ проведення інспекції ядерних могильників, ядерних технологій;
- ◆ періодичний контроль радіаційної обстановки в місцях розташування санкціонованих і несанкціонованих могильників, зберігання ядерних матеріалів;
- ◆ виявлення місць виникнення пожеж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авария на Чернобыльской АЭС. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_на_Чернобыльской_АЭС (дата звернення: 25.12.2019).
2. IAEA-TECDOC-1092/R. Руководство по мониторингу при ядерных или радиационных авариях. Международное агентство по атомной энергии МАГАТЭ. Вена, 2002. 314 с.
3. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Макарець Н.В. Результаты модельных и полевых экспериментов по выявлению низкоинтенсивных источников радиоактивного излучения. *Зб. наук. пр. «Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України»*. 2005. Вип. 31. С. 96–100.
4. ArcGIS for Desktop Software. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis/about/gis-for> (дата звернення: 25.12.2019).

Стаття надійшла до редакції / Received 20.02.19

Статтю прорецензовано / Revised 31.10.19

Статтю підписано до друку / Accepted 07.11.19

Zabulonov, Yu.L., Burtnyak, V.M., and Odukalets, L.A.
Institute of Environmental Geochemistry, the NAS of Ukraine,
34a, Palladin Ave., Kyiv, 03142, Ukraine,
+38044 502 1229, igs@nas.gov.ua

SYSTEM OF AUTOMATED RAPID OPERATIVE CONTROL OF RADIATION SITUATION USING AN AIRBORNE VEHICLE

Introduction. The disaster at the Chornobyl nuclear power plant (ChNPP) resulted in releasing a huge amount of radioactive material into the atmosphere, the total amount of which is difficult to estimate reliably.

Problem Statement. Radioecological works are radiation reconnaissance with detailed mapping of contamination levels and systematic monitoring of radiation situation. One of the most effective methods for surveying the areas contaminated with radiation, as well as for searching radioactive sources is remote measurements of ground-level gamma radiation by aerial

gamma-ray spectrometry. Therefore, it is important to design and to test a modern system of operational radiation, infrared, and visual control using airborne vehicles to solve these problems.

Purpose. Development of modern domestic equipment for automated operational control of the radiation environment using airborne vehicles.

Materials and Methods. The methods of mathematical and computer simulation, full scale layout, machine design have been used. In order to study the technical characteristics of the system, its features, field tests of its individual channels have been conducted in the Chernobyl exclusion zone.

Results. An automated system for rapid radiation, infrared, and visual radiation operational control and monitoring of the natural environment has been created based on the R-Navigator airborne vehicle for solving problems of remote control of NPPs and adjacent territories in the case of emergency or accidents with nuclear and radioactive materials.

Conclusions. The proposed development provides high-sensitivity detection of gamma radiation, video recording and remote data transmission to ground control centers for prompt response to emergencies, as well as contributes to reducing the cost of aero-gamma spectrometric works.

Key words: nuclear radiation accident, gamma radiation, aircraft, spectrometer, radiation monitoring, and radiation safety.