

**КОЛІМОВАНИЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВІ CdZnTe-ДЕТЕКТОРА**

© 2011 р. В. Г. Батій<sup>1</sup>, І. М. Копанець<sup>2</sup>, М. О. Кочнєв<sup>2</sup>, О. А. Правдивий<sup>1</sup>,  
О. Г. Савчук<sup>2</sup>, В. В. Селюкова<sup>2</sup>, Д. В. Федорченко<sup>2</sup>, М. А. Хажмурадов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль

<sup>2</sup>ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України, Харків

Розроблено дослідний зразок колімованого гамма-спектрометра на основі CdZnTe-детектора КГС-01. Визначено можливості та граничні межі використання установки КГС-01. Описано програмне забезпечення та систему відеоспостереження, якою оснащений КГС-01.

*Ключові слова:* гамма-випромінювання, гамма-спектрометр, CdZnTe-детектор, кутові розподіли, польові вимірювання.

**Вступ**

Досвід досліджень у галузі підвищення радіаційної безпеки при реалізації практичної діяльності в зоні відчуження ЧАЕС і, перш за все, на об'єкті "Укриття" [1] показав необхідність дослідження кутових та енергетичних характеристик гамма-випромінювання в радіаційно-небезпечних зонах. Приклади методик та проведення таких досліджень описано в роботах [2, 3]. Дослідження енергетичних характеристик проводилися методом ослаблення у свинцевих фільтрах (визначалася ефективна енергія гамма-випромінювання) і за допомогою сцинтиляційного гамма-спектрометра. В останньому випадку через великі перевантаження в інтенсивних гамма-полях спектр гамма-випромінювання вийшло виміряти починаючи з енергії 250 - 300 кеВ. У той же час існує нагальна потреба вимірювання розсіяного випромінювання з різних напрямків, у тому числі в повітрі ("небесне сяйво"), яке випромінюється з верхньої півсфери і не послаблюється звичайним бар'єрним біозахистом. У свою чергу дозові коефіцієнти залежать від енергії гамма-випромінювання. Таким чином, для правильних розрахунків доз та оптимізації біозахисту необхідне знання спектра у всьому діапазоні.

Для вирішення даної задачі було прийнято рішення створити гамма-спектрометр м'якого гамма-випромінювання на основі CdZnTe-детектора. За рахунок невеликої товщини кристала (1 - 3 мм) і високого атомного номера елементів кристала такі детектори мають високу ефективність реєстрації в м'якій частині спектра і слабчутливі до його жорсткої частини.

Використання коліматора необхідно для пошуку та ідентифікації джерел гамма-випромінювання, що створюють найбільший внесок в дозу, і організації ефективного біозахисту.

У даній роботі описано експериментальний зразок, розроблені оригінальні схеми спектрометричного тракту та відеосистему, якою оснащений спектрометр.

**Розробка та випробування колімованого гамма-спектрометра КГС-01**

Пробний зразок установки КГС-01 комплектується CdZnTe-детектором розміром 6 × 6 × 2 мм, що виготовлений в ННЦ ХФТІ з кристала, виробленого спеціалістами Науково-технологічного комплексу "Інститут монокристалів" НАН України. Гамма-спектрометри на основі CdZnTe-детекторів в Україні не виготовляються, закордонні мають дуже високу вартість. Крім того, їх не можна без переробки використати в колімуючому пристрої.

Дослідження для перевірки установки та методики вимірювання енергетичних і кутових розподілів гамма-випромінювання у важких радіаційних умовах проводились у три етапи: з використанням стандартної гамма-спектрометричної апаратури для визначення характеристик детектора; з розробленими малогабаритними пристроями передпідсилювача, підсилювача та аналого-цифрового перетворювача (оцінювались зміни спектральних характеристик порівняно з випадком використання стандартної гамма-спектрометричної лінійки); у ре-

альних умовах колімованого детектора (виявлявся можливий вплив розсіяного випромінювання та вторинного рентгенівського випромінювання).

Спочатку було проведено вимірювання з використанням передпідсилювача фірми ORTEC, підсилювача-формувача БУС2-95, спектрометричного підсилювача БУС2-97. Приклади гамма-спектрів  $^{241}\text{Am}$  і  $^{137}\text{Cs}$  наведено на рис. 1 і 2.

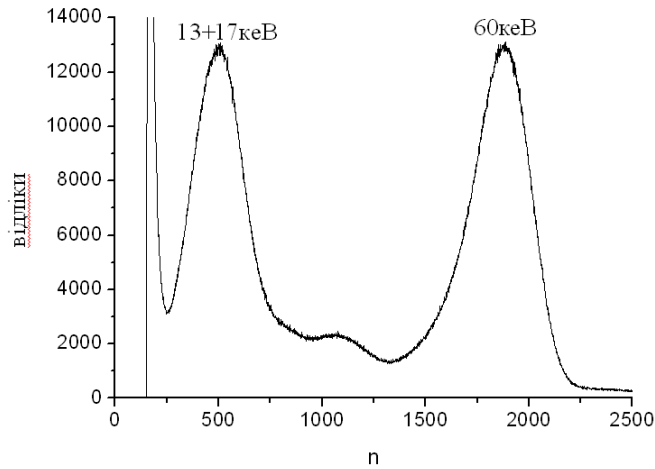


Рис 1. Спектр  $^{241}\text{Am}$  зі стандартною гамма-спектрометричною апаратурою.

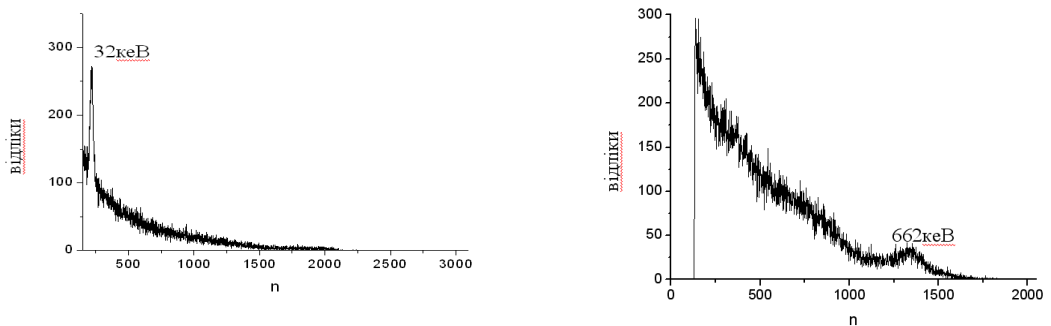


Рис. 2. Спектр  $^{137}\text{Cs}$  зі стандартною гамма-спектрометричною апаратурою.

Видно, що CdZnTe-детектор найбільш підходить для вимірювань у м'якій частині спектра, що прийнятно для вимірювань кутових та енергетичних розподілів розсіяного гамма-випромінювання поблизу об'єкта "Укриття". Розсіяне випромінювання не має фотопіків, тому роздільність 17 % (на 59,6 кеВ) є прийнятною для вирішення таких задач.

На другому етапі проводились вимірювання з використанням стенду (рис. 3) з розробленою спектрометричною лінійкою. Було виготовлено також схему модернізованого аналого-цифрового перетворювача (рис. 4, а), засоби інтерфейсу (рис. 4, б), блок живлення разом з блоком підзарядки (рис. 5) тощо.

Було проведено тестування та вдосконалення програмного забезпечення для колімованого спектрометра КГС-01. На рис. 6 наведено головне вікно вдосконаленої програми для керування роботою спектрометра КГС-01 з позначенням основних функціональних елементів інтерфейсу.

Створене програмне забезпечення дозволяє встановлювати такі параметри вимірювання: коефіцієнт підсилення, рівень дискримінації, параметри енергетичної шкали, режим вимірювань – ручний або автоматичний із запуском та зупинкою у визначений час, потрібну кількість проміжних спектрів, додаткові параметри вимірювання.

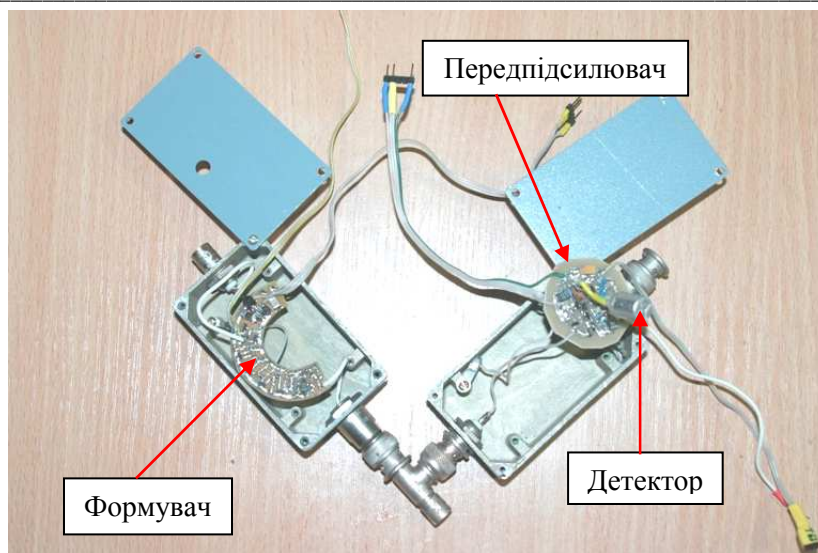


Рис. 3. Вихідний блок стенду для тестування.

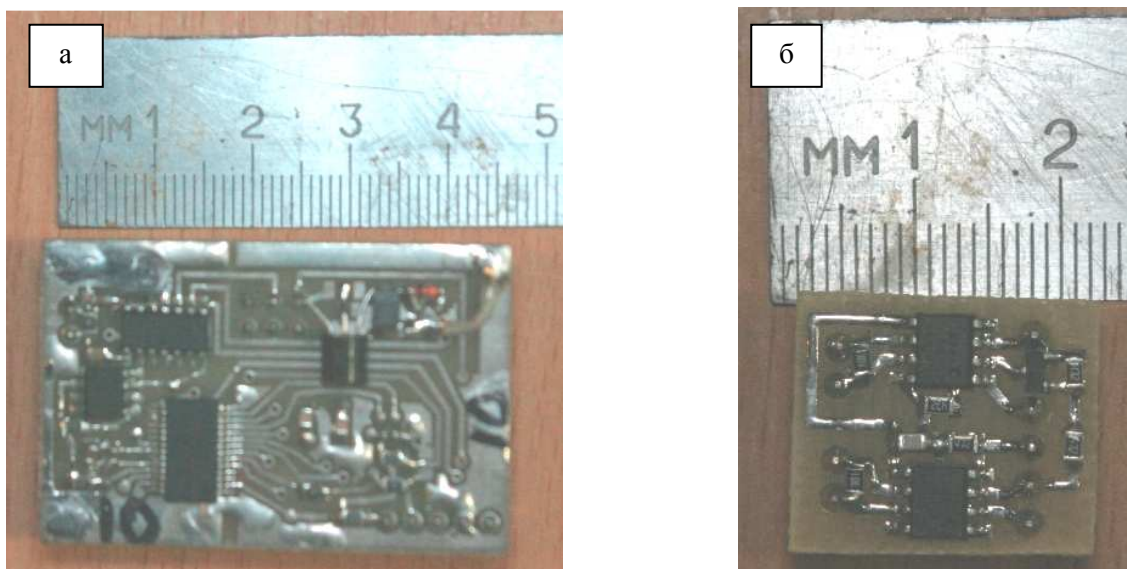


Рис. 4. Аналого-цифровий перетворювач (а) і перетворювач інтерфейсу з RS-232 в RS-485 (б).



Рис. 5. Блок живлення та підзарядки.

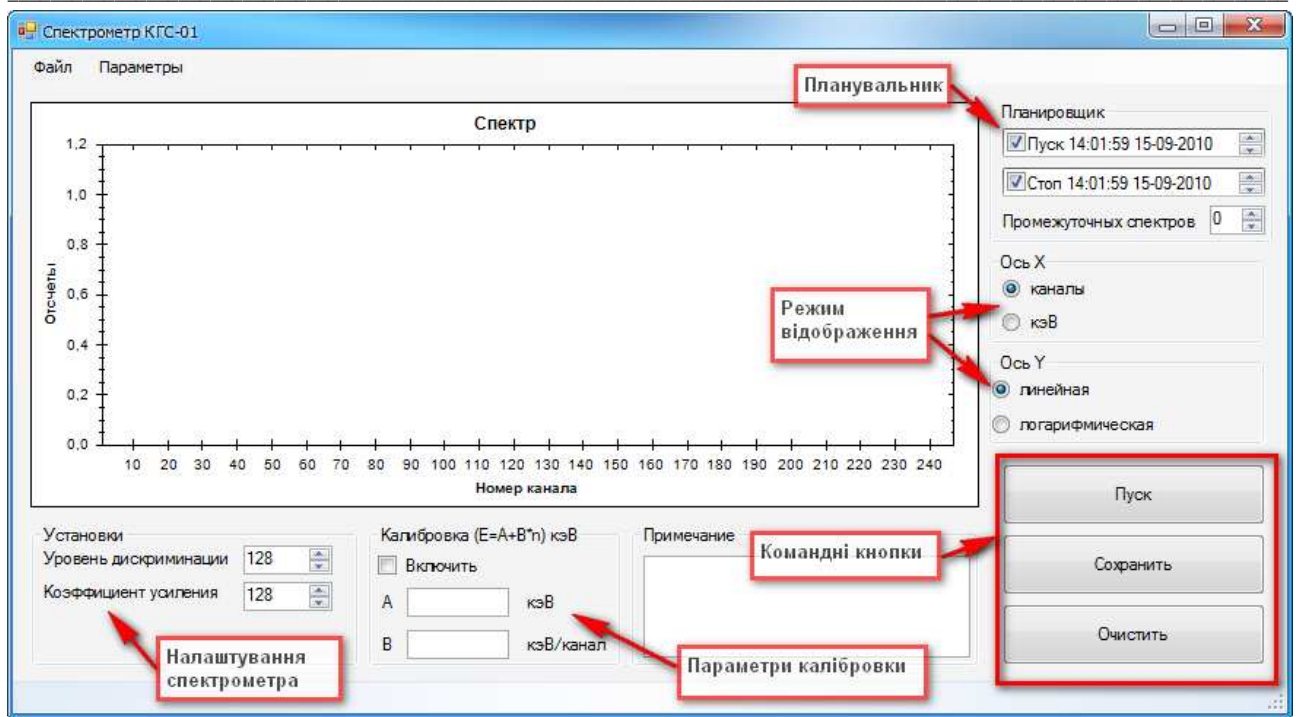


Рис. 6. Головне вікно програми спектрометра КГС-01.

Модуль виведення інформації про поточне вимірювання був побудований на основі графічної бібліотеки ZedGraph. Це дало змогу реалізувати додаткові можливості щодо відображення спектрів, що вимірюються. Зокрема, можна встановлювати лінійну або логарифмічну шкалу відображення, виконувати масштабування окремих ділянок спектра, виводити точний спектр на друк або зберігати у файл у графічному форматі.

Також було реалізовано можливість виведення результатів вимірювань у файл у форматі CSV, який є сумісним з пакетом Microsoft Excel.

Крім доопрацювання інтерфейсу програмного комплексу було також удосконалено алгоритм проведення вимірювань. З метою підвищення надійності загальний час накопичення спектра було розбито на невеликі проміжки часу (2 с). Після кожного такого елементарного вимірювання масив даних передається в комп'ютер, де й відбувається накопичення спектра. Контроль за цілісністю даних здійснюється шляхом обчислення контрольної суми пакета даних. У разі розбіжності система виконує повторні запити на передавання даних. Така організація обміну даними дає змогу мінімізувати ймовірність втрати даних унаслідок відмови апаратури спектрометра або пошкодження лінії передавання даних, оскільки при цьому буде втрачено лише дані останнього елементарного вимірювання. Це є досить важливим при проведенні вимірювань у слабких радіаційних полях, коли для накопичення спектра потрібен досить тривалий час. Також це дає змогу оперативно відображати накопичений спектр під час вимірювань.

На рис. 7 і 8 показано складові частини детекторного блока з електронними схемами перед складанням та детекторний блок у зборі.

На рис. 9 - 11 наведено спектри, виміряні за допомогою розробленої в проєкті спектрометричної лінійки.

На рис. 9 наведено спектр  $^{241}\text{Am}$ . Шуми знаходяться на рівні менше 9 кеВ, роздільна здатність становить 15,1 % (на 59,6 кеВ) – краще, ніж у вимірюваннях зі стандартною апаратурою. Такі характеристики є цілком прийнятними для вимірювань низькоенергетичного розсіяного випромінювання, а також для вимірювань величини поверхневого забруднення  $^{241}\text{Am}$  та пошуку "гарячих" частинок чорнобильського походження. На рис. 10 наведено низькоенергетичну частину спектра  $^{137}\text{Cs}$ . Добре виділяється пік 32 кеВ, що вказує на можливість використання установки для вимірювання поверхневої щільності забруднення  $^{137}\text{Cs}$ .



На рис. 11 наведено високоенергетичну частину спектра  $^{137}\text{Cs}$ . Роздільність піка 662 кеВ приблизно така ж, як і у вимірюваннях зі стандартною гамма-спектрометричною апарату-рою.



Рис. 7. Детекторний блок та електронні схеми перед складанням.



Рис. 8. Детекторний блок у зборі.

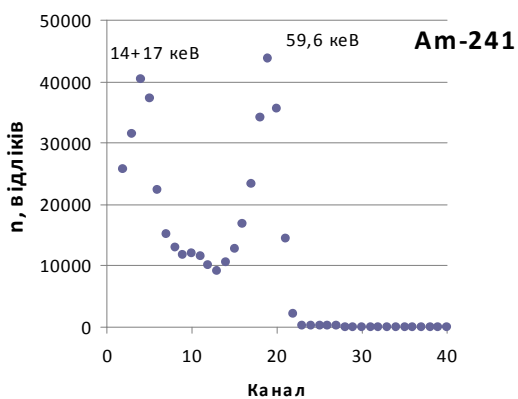


Рис. 9. Спектр  $^{241}\text{Am}$ .

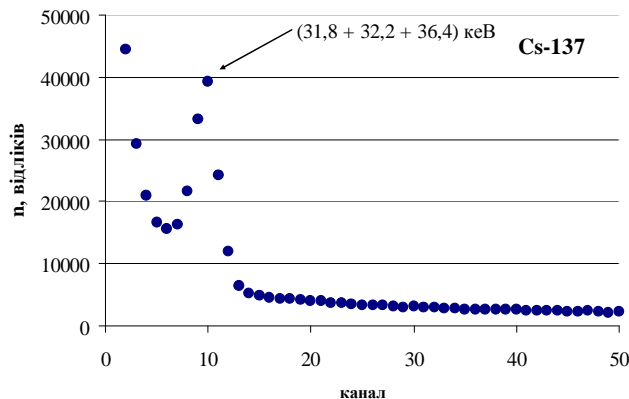


Рис. 10. Низькоенергетична частина спектра  $^{137}\text{Cs}$ .

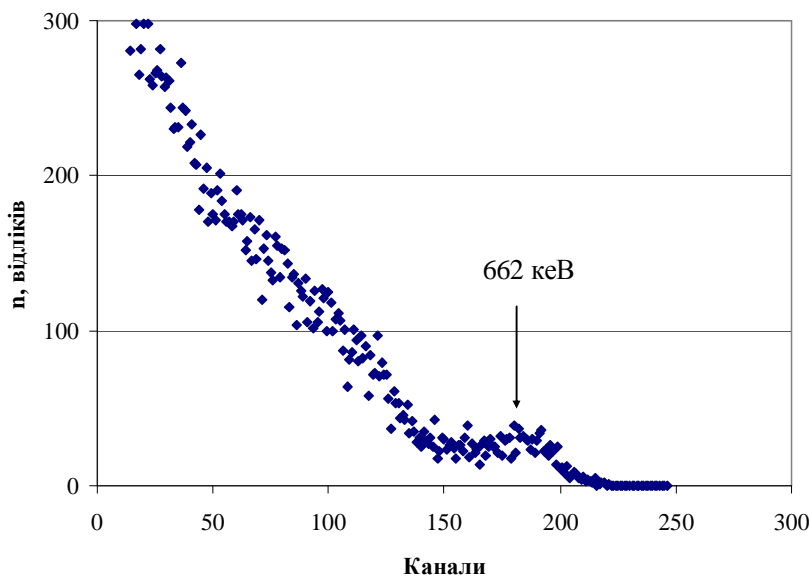


Рис. 11. Високоенергетична частина спектра  $^{137}\text{Cs}$ .

Отже, проведені дослідження показали, що дану установку найбільш доцільно використовувати для вимірювання розсіяного гамма-випромінювання в діапазоні від 9 до 600 кеВ і поверхневого забруднення  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  та іншими радіонуклідами, що мають низькоенергетичні гамма-лінії.

### Система відеоспостереження

При оснащенні КГС-1 системою відеоспостереження для візуалізації розташування основних джерел випромінювання, а також для більш ефективної роботи в режимі дистанційного вимірювання були сформульовані технічні вимоги:

- 1) модуль системи відеоспостереження на КГС-1 повинен бути змонтований так, щоб і відеокамера, і коліматор рухались разом і при цьому поле зору відеокамери завжди перекривало поле зору коліматора;
- 2) на екрані оператора на картинці від відеокамери передбачити зображення (хрест або коло), що вказує центр поля зору коліматора;
- 3) розміри модуля відеокамери повинні бути незначними – суттєво меншими за розміри коліматора;
- 4) енергоспоживання системи повинно бути незначним – для якнайдовшої автономної роботи;
- 5) прийнятний та простий інтерфейс;
- 6) оптимальне співвідношення ціни та якості.

Був проведений пошук та аналіз різних відеосистем та вибрана оптимальна система з огляду на зазначені критерії.

Апаратна частина системи побудована на мініатюрному високоінтегрованому відеомодулі COMedia C328-7640 (рис. 12). Цей відеомодуль забезпечує передавання зображення на комп'ютер через інтерфейс RS-232 або USB (шляхом емуляції послідовного порту). Зокрема, можлива передача стиснутих зображень у форматі JPEG у роздільній здатності до 640 на 480 (VGA) на швидкості до 115,2 кбіт/с. Для обміну інформацією відеомодуль має власну систему команд.

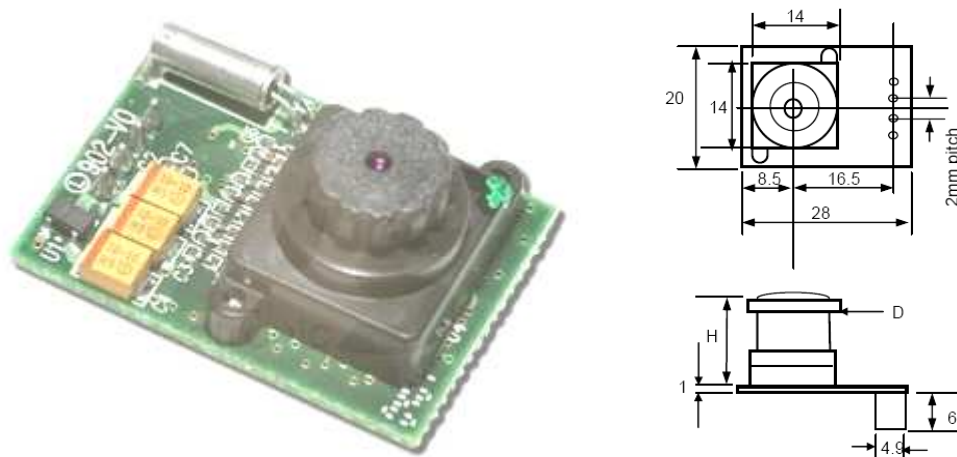


Рис. 12. C328-7640 – високоінтегрований відеомодуль фірми Comedia.  
(Розміри вказано в міліметрах.)

Розпізнавальні особливості відеомодуля:

невеликий розмір модуля –  $20 \times 28$  мм;

фокусна відстань 4,63 мм;  
кут огляду 57°;  
дозвіл VGA;  
інтерфейс UART (швидкість до 115,2 кбіт/с);  
інтегрований JPEG-кодек;  
мале енергоспоживання – 60 мА;  
режим зниженого енергоспоживання;  
автоматична установка з'єднання із сервером або локальною мережею та визначення швидкості передачі;  
напруга живлення 3,3 В.

Для системи відеоспостереження було створено програмне забезпечення за допомогою системи розробки Microsoft Visual C# Express 2010. Програмне забезпечення складається з таких модулів: керування відеокамерою, планувальника, відображення інформації та взаємодії з користувачем.

Модуль керування відеокамерою забезпечує програмний інтерфейс до відеокамери, яку підключено до віртуального COM порту. Зокрема, модуль забезпечує такі функції:  
високорівневий інтерфейс до системи команд відеокамери;  
синхронізацію з відеокамерою на заданій швидкості обміну;  
встановлення режиму роботи відеокамери та параметрів зображення;  
програмний запуск зйомки та одержання зображення у форматі JPEG у буфер програми.

Планувальник забезпечує запуск процесу зйомки у визначений момент часу із заданою періодичністю та її закінчення в заданий час.

Модуль відображення інформації та взаємодії з користувачем здійснює:  
відображення поточного зображення;  
установлення режиму зйомки – ручного, автоматичного та безперервного;  
налаштування планувальника;  
налаштування параметрів програми;  
збереження одиночного зображення на диск або серії зображень у визначену папку при автоматичному режимі зйомки;  
є можливість включити вертикальну й горизонтальну кутовимірні шкали.

Вигляд головного вікна програми наведено на рис. 13. Приклад застосування відеомодуля COMedia C328-7640 наведено на рис. 14.

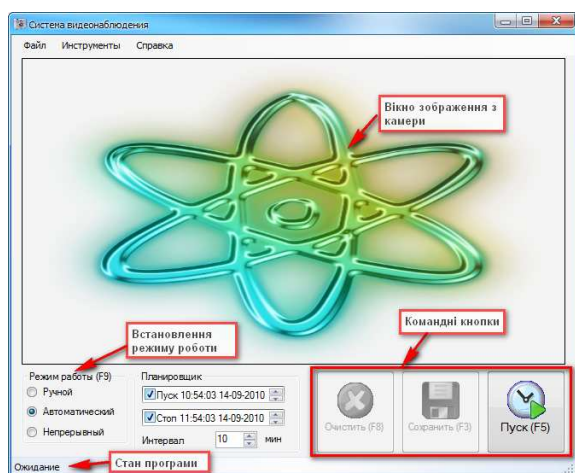


Рис. 13. Головне вікно програми відеоспостереження.



Рис. 14. Фото головного корпусу старого майданчика ННЦ ХФТІ, отримане за допомогою відеомодуля COMedia C328-7640.

### Висновки

Розроблено дослідний зразок колімованого гамма-спектрометра на основі CdZnTe-детектора. Проведені дослідження показали, що дану установку найбільш доцільно використовувати для вимірювання кутових та енергетичних характеристик розсіяного гамма-випромінювання в діапазоні від 9 до 660 кеВ і поверхневого забруднення  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  та іншими радіонуклідами, що мають низькоенергетичні гамма-лінії. Установка також може використовуватися для пошуку та ідентифікації "гарячих" частинок чорнобильського походження.

Проведене вдосконалення програмного забезпечення колімованого спектрометра КГС-01 дає змогу підвищити надійність системи та додає нові можливості щодо керування процесом вимірювань. Удосконалено алгоритм обміну інформацією, що дозволяє підвищити надійність функціонування системи та забезпечити оперативний контроль результатів вимірювань.

Розроблена система відеоспостереження дає змогу спростити процес орієнтування установки та оперативно ідентифікувати джерела випромінювання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Батий В. Г. Исследования в области повышения радиационной безопасности при реализации практической деятельности в зоне отчуждения ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных станций і Чернобиля. - 2009. - Вип. 12. - С. – 113 - 124.
2. Батий В. Г., Глебкин С. И., Егоров В. В. и др. Исследование угловых и энергетических характеристик гамма-поля в зоне монтажа Арки НБК // Материалы 7-й науч.-практ. конф. "Ядерные объекты: надежность и безопасность", Славутич, 20 - 23 сентября 2005 г., Международный Чернобыльский центр. - 2006. - CD.
3. Батий В. Г., Глебкин С. И., Карташов А. М. и др. Исследование угловых и энергетических характеристик гамма-поля в зоне монтажа новой вентиляционной трубы // Проблемы безопасности атомных станций і Чернобиля. - 2009. - Вип. 11. - С. 109 - 114.

### КОЛЛИМИРОВАННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ CdZnTe-ДЕТЕКТОРА

**В. Г. Батий, И. М. Копанец, Н. А. Кочнев, А. А. Правдивый, О. Г. Савчук,  
В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов**

Разработан опытный образец коллимированного гамма-спектрометра на основе CdZnTe-детектора КГС-01. Определены возможности и пределы применения установки КГС-01. Описано программное обеспечение и система видеонаблюдения, которой оснащен КГС-01.

*Ключевые слова:* гамма-излучение, гамма-спектрометр, CdZnTe-детектор, угловое распределение, полевые измерения.



## **COLLIMATED GAMMA- SPECTROMETER BASED ON CdZnTe-DETECTOR**

**V. G. Batiy, I. M. Kopanets, M. O. Kochnev, O. A. Pravdyvyi, O. G. Savchuk,  
V. V. Selukova, D. V. Fedorchenko, M. A. Khazhmuradov**

A prototype of a collimated gamma-spectrometer based on CdZnTe-detector KGS-01 has been developed. Capability and limits of application of the KGS-01 were determined. The KGS-01 software and video surveillance were described.

*Keywords:* gamma-radiation, gamma-spectrometer, CdZnTe-detector, the angular distribution, in-citu measurements.

Надійшла до редакції 20.10.10