

Nghiên cứu chế tạo hệ thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ

Đặng Quang Thiệu*, Nguyễn Văn Sỹ, Phan Lương Tuấn, Nguyễn Thị Bảo Mỹ,

Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Xuân Vịnh, Đặng Quang Bảo

Trung tâm Chiếu xạ Hà Nội

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Ngày nhận bài 19/12/2016, ngày chuyển phản biện 21/12/2016, ngày nhận phản biện 10/1/2017, ngày chấp nhận đăng 16/1/2017

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu chế tạo hệ thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ môi trường (ERMS), được kết nối mạng internet và truyền thông tin về trung tâm điều hành để hình thành mạng lưới quan trắc và cảnh báo phóng xạ. Thiết bị được thiết kế để đo phóng xạ môi trường bằng việc sử dụng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) và khi có sự cố hạt nhân, thiết bị sẽ tự động chuyển sang sử dụng các đầu dò GM và Photodiode để đo được các dải liều cao và phát các tín hiệu cảnh báo về trung tâm quản lý. Thiết bị sử dụng phương pháp JAERI của Nhật Bản để tính toán suất liều thông qua phổ ghi nhận được từ khối phân tích đa kênh, đảm bảo thiết bị hoạt động chính xác và có độ nhạy cao. Thiết bị có khả năng tự động ổn định phổ thông qua việc điều khiển hệ số khuếch đại tín hiệu xung từ đầu dò nhấp nháy dựa theo sự thay đổi nhiệt độ của đầu dò kết hợp với việc quan sát liên tục đỉnh ^{40}K , điều chỉnh hệ số khuếch đại để cố định đỉnh này. Thiết bị có thể nhận diện được một số đồng vị phóng xạ môi trường thông dụng như ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co ... Trong mỗi thiết bị, các số liệu đo được lưu trữ trong nhiều tháng và phần mềm tại trung tâm điều hành cho phép người quản lý có thể điều khiển, thu thập, xử lý và lưu trữ các số liệu đó.

Từ khóa: đầu dò nhấp nháy, phương pháp JAERI, thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ.

Chỉ số phân loại: 2.2

Đặt vấn đề

Thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ môi trường được dùng rất phổ biến ở các nước trên thế giới, đặc biệt là các nước đang vận hành các cơ sở hạt nhân như nhà máy điện hạt nhân (ĐHN), cơ sở sản xuất, tái chế nhiên liệu hạt nhân hoặc lò phản ứng nghiên cứu công suất cao. Các thiết bị này cho phép hình thành mạng lưới quan trắc phóng xạ môi trường quốc gia hoặc khu vực nhằm phát hiện các sự cố rò rỉ phóng xạ từ các cơ sở hạt nhân trong nội địa hoặc của các nước lân cận ra môi trường để kịp thời có phương án ứng phó. Tuy nước ta chưa có nhà máy ĐHN nhưng tính đến cuối năm 2016, đã có một số nhà máy ĐHN của Trung Quốc xây dựng gần biên giới nước ta đi vào hoạt động như: tổ máy có công suất 1.080 MWe ở Phòng Thành, Quảng Tây, tổ máy 650 MWe ở Xương Giang trên đảo Hải Nam, tổ máy 600 MWe ở Trường Giang, Quảng Đông... và một số tổ máy khác đang được xây dựng tại các địa điểm này. Ngoài ra, các nước lân cận khác như: Thái Lan, Indonesia, Campuchia... cũng đang có định hướng phát triển và xây dựng nhà máy ĐHN. Các thiết bị quan trắc phóng xạ môi trường có vai trò quan trọng

trong việc phát hiện, đo lường, đánh giá mức độ ảnh hưởng của những sự cố phát tán phóng xạ. Tuy nhiên, ở trong nước các thiết bị này qua thời gian hoạt động đã trở nên lạc hậu, khả năng thu thập, xử lý và phân tích thông tin không theo kịp nhu cầu phát triển. Trước thực trạng đó, trong khuôn khổ đề tài cấp nhà nước KC05.16/11-15 “Nghiên cứu chế tạo thiết bị quan trắc cảnh báo phóng xạ”, các hệ thiết bị cảnh báo phóng xạ đã được thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh, góp phần hoàn thiện mạng lưới quan trắc và cảnh báo phóng xạ môi trường quốc gia. Các thiết bị này sẽ hướng tới sản phẩm thương mại và đạt được các mục tiêu như độ ổn định, độ nhạy cao để có thể cảnh báo sớm, tự động ổn định phổ và nhận diện được một số đồng vị phóng xạ môi trường, có thể kết nối mạng internet, mạng thông tin di động toàn cầu (GSM) để truyền số liệu về trung tâm điều hành, tạo điều kiện thuận lợi cho công tác quản lý, bảo trì, bảo dưỡng thiết bị.

Nội dung nghiên cứu

Sơ đồ khối của hệ thiết bị được mô tả trên hình 1 với các khối chức năng được trình bày trong phần dưới đây.

*Tác giả liên hệ: dqthieu@yahoo.com

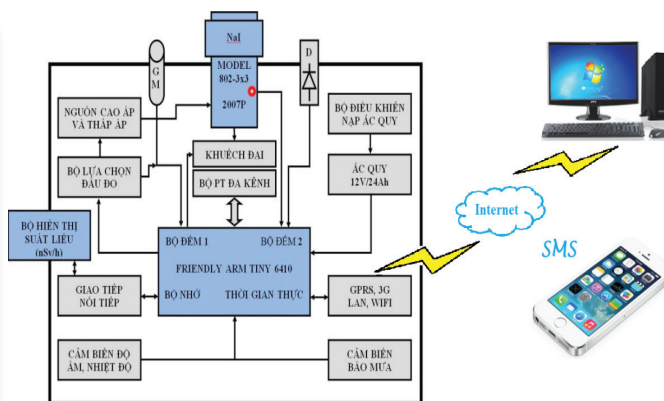
Study and construction of an environmental radiation warning and monitoring system

Summary

In this paper, the design and construction of an environmental radiation warning and monitoring system (ERMS) have been reported. The system is connected to the Internet and transmits information to a control center to perform an environmental radiation warning and monitoring network. The system is designed to measure the environmental radiation by the use of NaI scintillation detectors. When a nuclear accident occurs, it can automatically switch to the GM and Photodiode detectors to measure ranges of high doses and send warning signals to the control center. We used the Japanese JAERI method to calculate the dose rate from the spectrum of a multi-channel analysis board, thus making the system stable and highly sensitive. The spectrum is stabilized by changing the amplification coefficient of the pulse signal based on the change in temperature of the detectors and the consecutive observation at ^{40}K peak; therefore, it can identify some common environmental radioisotopes, such as ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co ... In each system, the measurement data are stored for several months, and the software in the control center enables users to control, collect, access, and store those data.

Keywords: environmental radiation warning and monitoring system, Japanese JAERI method, scintillation detector.

Classification number: 2.2



Hình 1: sơ đồ khối của hệ thiết bị

Có 3 loại đầu đo được sử dụng: 1) Đầu đo nhấp nháy NaI(Tl), model 802, kích thước 3 inch x 3 inch của hãng Canberra, với độ phân giải đối với đỉnh ^{137}Cs vào khoảng 7% [1]. Đầu đo này để đo suất liều trong vùng từ 0,01 đến 25 $\mu\text{Sv/h}$ thông qua phổ năng lượng ghi nhận được; 2) Đầu đo GM loại LND7121 để đo suất liều trong vùng từ 25 đến 250 $\mu\text{Sv/h}$ [2]; 3) Đầu đo Photodiode loại BPW34 cho phép đo ở dải suất liều cao từ 250 $\mu\text{Sv/h}$ đến 100 mSv/h [3].

Bộ lựa chọn đầu đo có nhiệm vụ điều khiển đóng mở nguồn một chiều cung cấp cho các bộ tạo cao áp và bộ tạo dạng xung cho các đầu đo tương ứng với các dải suất liều khác nhau. Tại một thời điểm chỉ có một đầu đo được lựa chọn làm việc.

Khối khuếch đại và phân tích đa kênh MCA có nhiệm vụ ghi nhận phổ biên độ đa kênh từ đầu đo nhấp nháy NaI(Tl).

Bộ vi xử lý Friendly ARM Tiny 6410 làm nhiệm vụ tạo chu trình làm việc cho hệ thống, điều khiển hệ thống, tính toán suất liều, lưu trữ và truyền số liệu về trung tâm điều hành.

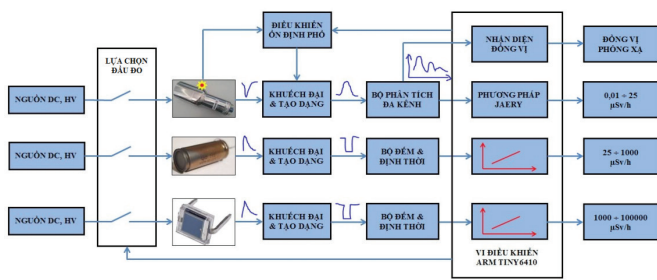
Mạch các cảm biến môi trường để đo các thông số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, mưa.

Bộ hiển thị suất liều là một màn hình LED dùng để chỉ thị giá trị tức thời của suất liều, nhiệt độ và độ ẩm môi trường.

Nguồn nuôi cao áp, thấp áp cung cấp nguồn nuôi cho các đầu dò và hệ mạch điện tử xử lý tín hiệu.

Nguồn ắc quy dự phòng sử dụng ắc quy 12V/24Ah để cung cấp nguồn dự phòng cho hệ thiết bị khi có sự cố mất điện trong khoảng thời gian 2 ngày.

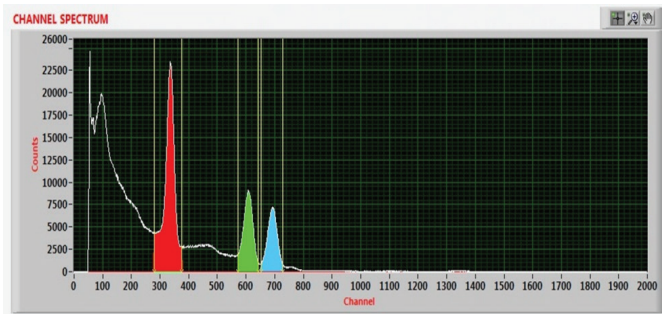
Sơ đồ hệ đầu đo và hệ thống xử lý tín hiệu được mô tả trên hình 2.



Hình 2: sơ đồ hệ thống xử lý tín hiệu trên thiết bị

Tại một thời điểm tùy vào suất liệu môi trường, bộ lựa chọn đầu đo sẽ cho phép một trong ba đầu đo NaI, GM, Photodiode làm việc. Các đầu đo này ghi nhận tín hiệu và chuyển tới khối phân tích đa kênh hoặc bộ đếm để xử lý tín hiệu.

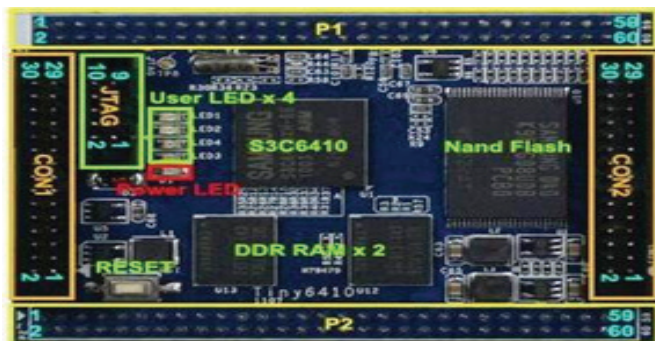
Tín hiệu sau khi xử lý biến đổi thành số được đưa tới bộ vi xử lý ARM để ghi nhận phổ năng lượng, tính toán ra giá trị suất liệu và nhận diện đồng vị phóng xạ.



Hình 3: phổ năng lượng của hệ phân tích đa kênh

Khối điều khiển trung tâm sử dụng vi điều khiển ARM Tiny 6410 32 bit với các thông số: CPU Samsung S3C6410 tốc độ 533MHz; bộ nhớ chương trình NAND 2GB; bộ nhớ dữ liệu RAM 256MB; giao thức kết nối: RS232, USB, LAN, 3G, WIFI; các ngoại vi kết nối GPIO [4].

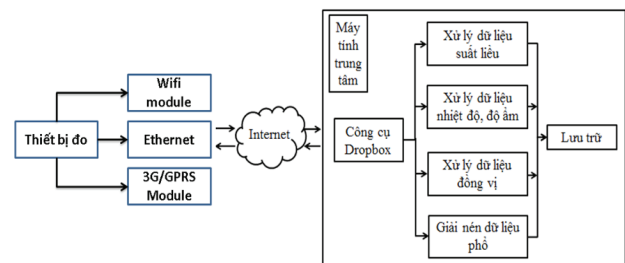
Phần mềm trên Tiny 6410 được phát triển trên hệ điều hành mã nguồn mở Linux Embedded.



Hình 4: khối điều khiển trung tâm ARM Tiny 6410

Dựa trên sự phát triển mạnh mẽ của cơ sở hạ tầng mạng internet cũng như mạng viễn thông, thiết bị được thiết kế để có thể tận dụng một cách tốt nhất các cơ sở hạ tầng này. Thiết bị được tích hợp cả hai phương án kết nối là sử dụng đường truyền internet tốc độ cao (ADSL, cáp quang...) và sử dụng kết nối với mạng viễn thông 2,5G/3G. Mặc định sẽ sử dụng mạng LAN hoặc WIFI có sẵn tại nơi lắp đặt thiết bị, nếu có sự cố về đường truyền ngay lập tức hệ thống sẽ khởi động 2,5G/3G để đảm bảo kết nối được liên tục.

Ethernet module được thiết kế trên dòng linh kiện điều khiển chuyên dụng cho các giao tiếp chuẩn TCP/IP là chip DM9000A của Davicom [5]. WIFI Module được lựa chọn sử dụng là SDWIFI-YS09 với chip Marvell 8686 tương thích với chuẩn IEEE 802.11 b/g thông dụng nhất hiện nay. 3G/GPRS Module được lựa chọn sử dụng là: HUAWEI EM770 HSPA PC Embedded Module của hãng HUAWEI. Module này hỗ trợ đầy đủ các chuẩn kết nối 3G/GPRS thông dụng nhất và tương thích với tất cả các nhà cung cấp dịch vụ viễn thông tại Việt Nam [6].

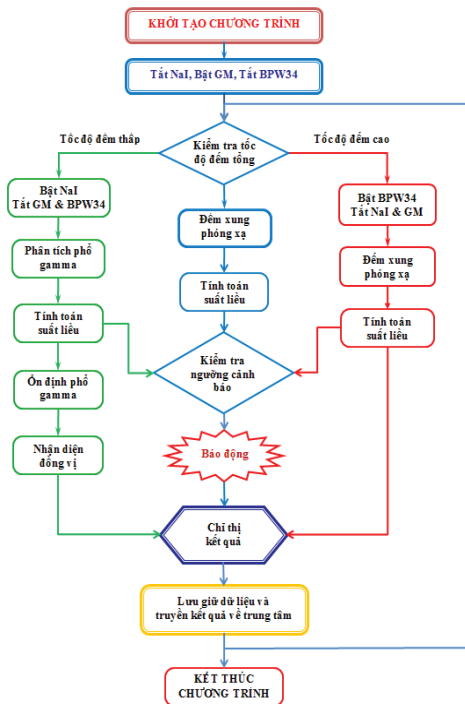


Hình 5: mô hình truyền số liệu qua mạng của thiết bị

Phần mềm cho vi điều khiển trên thiết bị có thể thực hiện các chức năng dưới đây (xem lưu đồ hình 6).

Mặc định lúc khởi tạo chương trình sẽ bật đầu đo GM để xác định suất liệu môi trường tại vị trí đặt thiết bị vào thời điểm đó. Nếu số đếm xung môi trường có giá trị cao hơn ngưỡng của đầu đo GM thì hệ sẽ tự động chuyển sang đầu đo Photodiode, tính toán ra suất liệu môi trường tại thời điểm đó và gửi các thông tin về trung tâm điều hành, đồng thời thực hiện các chức năng báo động cần thiết và hiển thị ra bằng LED chỉ thị của thiết bị.

Nếu số đếm xung môi trường có giá trị thấp hơn ngưỡng của đầu đo GM thì hệ sẽ chuyển sang trạng thái tắt đầu đo GM và bật đầu đo có độ nhạy cao NaI(Tl). Khi đầu đo NaI(Tl) được bật thì chương trình sẽ liên tục thu nhận số liệu, tính toán ra suất liệu tại thời điểm đó và hiển thị ra bằng LED chỉ thị của thiết bị. Sau một khoảng thời gian đo nhất định, chương trình sẽ tiến hành phân tích và ổn định phổ thu nhận được từ đầu đo NaI(Tl). Quá trình phân tích này sẽ giúp nhận diện các loại đồng vị phóng xạ (nếu có) trong môi trường.



Hình 6: lưu đồ thuật toán chương trình của thiết bị

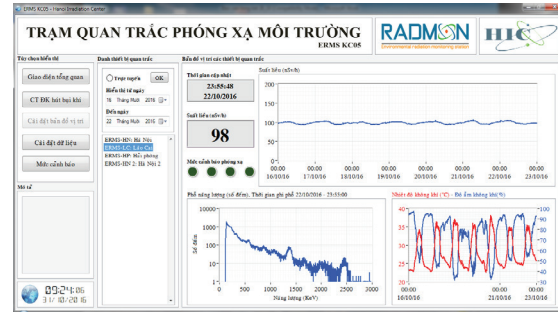
Phần mềm máy tính tại trung tâm điều hành cho phép thực hiện các chức năng dưới đây:

Khi thiết bị quan trắc gửi dữ liệu về trung tâm điều hành, công cụ Dropbox sẽ tự động đồng bộ dữ liệu vào một thư mục đã cài đặt trước đó. Do vậy, việc điều khiển thu nhận tại trung tâm là hoàn toàn tự động khi có kết nối internet, các dữ liệu về suất liều, phổ phóng xạ, nhiệt độ, độ ẩm... sẽ được thu nhận, xử lý và lưu trữ.

Để thu thập và lưu trữ số liệu, phần mềm ERMS KC05 tại máy tính của trung tâm điều hành thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ đã được xây dựng. Phần mềm được viết trên ngôn ngữ lập trình Labview trong môi trường Windows với nhiệm vụ điều khiển thu nhận dữ liệu, biểu diễn phổ phóng xạ, suất liều phóng xạ và cảnh báo phóng xạ... thông qua mạng internet.



Hình 7: giao diện phần mềm trung tâm điều hành

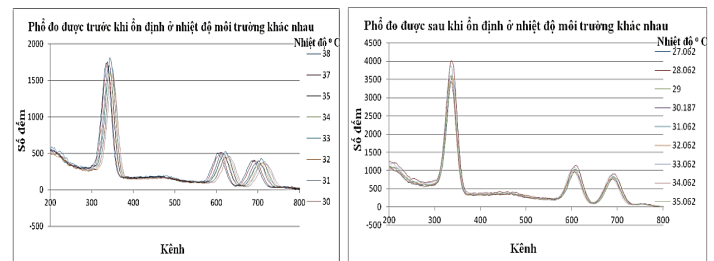


Hình 8: số liệu ghi nhận được từ thiết bị

Kết quả và thảo luận

Ổn định phổ cho thiết bị

Tiến hành khảo sát sự trôi theo nhiệt độ của đầu đo NaI, kết quả cho thấy kênh đỉnh phổ thay đổi theo nhiệt độ, độ trôi trung bình của đỉnh phổ ^{137}Cs theo nhiệt độ là 2 kênh/ 1°C . Dựa vào kết quả này để hiệu chỉnh lại hệ số khuếch đại để ổn định phổ năng lượng. Kết quả phổ năng lượng đo được gần như ổn định, độ dao động của đỉnh ^{137}Cs là 2 kênh/ 10°C (xem hình 9).



Hình 9: phổ đo trước và sau khi ổn định ở nhiệt độ môi trường khác nhau

Ngoài việc ổn định phổ theo nhiệt độ, để góp phần nâng cao độ chính xác, có thể kết hợp quan sát đỉnh 1461 keV của đồng vị ^{40}K có trong tự nhiên để theo dõi độ trôi của phổ, thông qua mức độ trôi này để thay đổi hệ số khuếch đại của hệ phổ kế đưa đỉnh phổ này về đúng giá trị danh định của nó nhằm ổn định phổ cho thiết bị.

Chuẩn liều cho đầu đo NaI(Tl)

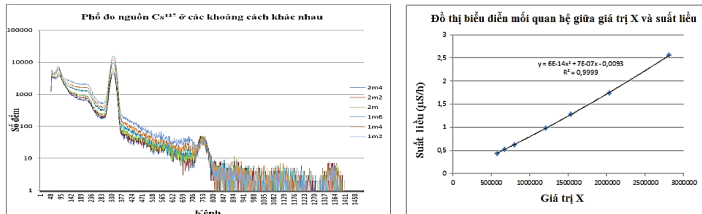
Suất liều đo bằng đầu đo NaI(Tl) được tính theo phương pháp JAERI từ phổ năng lượng ghi nhận được từ đầu đo như sau [7]:

$$X = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} N(E)G(E)dE = \sum_{I_{\min}}^{I_{\max}} N(I)G(I)$$

Trong đó: X là suất liều; N(E), N(I) là số đếm tương ứng với các năng lượng, kênh trên phổ; E là năng lượng (keV); Emin là mức năng lượng phân biệt được (keV); Emax là năng lượng tối đa để đánh giá suất liều (keV); I, Imin, Imax là số kênh tương ứng với E, Emin, Emax;

G(E), G(I) là toán tử biến đổi phổ - liều cho năng lượng E hoặc kênh I.

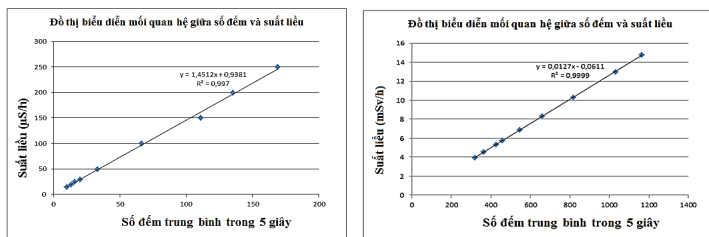
Phương pháp JAERI cho sẵn bảng thông số G(I) tại các năng lượng khác nhau, như vậy chỉ cần lấy số đếm tại các năng lượng N(I) và lấy tổng các tích N(I).G(I) sẽ có được suất liều X. Tiến hành chuẩn liều tại phòng chuẩn liều để có được kết quả suất liều (xem hình 10).



Hình 10: đường chuẩn liều cho đầu đo NaI(Tl)

Chuẩn liều cho đầu đo GM và Photodiode

Suất liều đo bằng đầu đo GM và Photodiode được xác định thông qua số đếm xung trong một đơn vị thời gian và được chuẩn tại phòng chuẩn liều (hình 11).

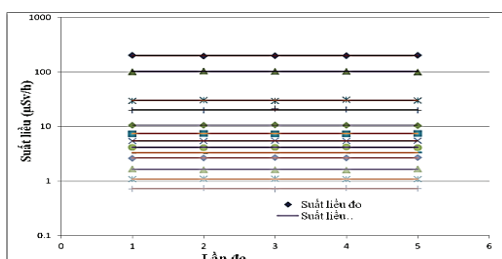


Hình 11: đường chuẩn liều cho đầu đo GM và Photodiode

Đánh giá độ tập trung và chính xác của thiết bị

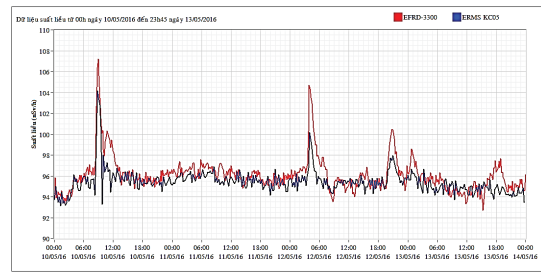
Đặt thiết bị trong trường chiếu xạ của nguồn chuẩn, ghi lại giá trị suất liều mà thiết bị đo được ứng với mỗi suất liều chuẩn khác nhau và tính độ sai lệch giữa giá trị đo được và giá trị chuẩn.

Kết quả tính được độ lệch trung bình của giá trị thiết bị đo được so với giá trị thực nhỏ hơn 13%, trong khi tiêu chuẩn quốc tế cho phép đối với thiết bị này là 20%.



Hình 12: đồ thị biểu diễn độ lệch trung bình của giá trị đo ở các suất liều khác nhau

Kết quả suất liều của thiết bị được so sánh với một thiết bị quan trắc phóng xạ EFRD-3300 do Hàn Quốc sản xuất [8]. Giá trị suất liều trên hai thiết bị này khá tương đồng, có các vị trí suất liều cùng tăng hoặc cùng giảm theo đáng điệu giống nhau (hình 13).



Hình 13: đồ thị biểu diễn giá trị suất liều theo thời gian của hai thiết bị

Kết luận

Hệ thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ kết nối mạng để truyền số liệu về trung tâm và chỉ thị lên màn hình LCD suất liều hiện tại đã được thiết kế chế tạo thành công. Thiết bị có thể ghép thành mạng quan trắc thông qua các kết nối LAN, 3G, WIFI; số liệu quan trắc ghi nhận được được truyền về trung tâm điều hành dưới dạng số liệu hoặc biểu đồ.

Tại trung tâm, người vận hành có thể điều khiển và can thiệp vào hệ thống của các trạm (nếu được phép) như lấy các số liệu lưu trữ, cài đặt lại các thông số cho thiết bị, xem trạng thái của thiết bị trạm cũng như download, upload phần mềm cho thiết bị trạm. Với mỗi thiết bị trạm, số liệu có thể được lưu trữ nhiều tháng để đảm bảo rằng số liệu sẽ không bị mất. Tại các trạm đo, người vận hành trạm có thể xem số liệu của trạm nhưng không có quyền thâm nhập và thay đổi hệ thống.

Hiện tại, 3 hệ thiết bị quan trắc và cảnh báo phóng xạ đã được lắp đặt tại 3 địa điểm là Sở Khoa học và Công nghệ Lào Cai, Trạm Quan trắc khí tượng Hải Phòng và tại Trung tâm Chiếu xạ Hà Nội. Các thiết bị này được kết nối mạng và truyền số liệu về trung tâm điều hành đặt tại Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân (179 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội). Các thiết bị này hiện đang hoạt động tốt và cho kết quả tương đương như mẫu thiết bị của Hàn Quốc.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ, Chương trình KC05/11-15 đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu và hoàn thiện các hệ thiết bị này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Datasheet. Scintillation Detectors Model 802, <http://www.canberra.com/products/detectors/scintillation-detectors.asp>.
- [2] Datasheet. LND 7121, <http://www.lndinc.com/products/349/>.
- [3] Datasheet. Photodiode BPW34, <http://www.vishay.com/docs/81521/bpw34.pdf>.
- [4] <http://www.friendlyarm.net/products/tiny6410>.
- [5] www.davicom.com.tw/userfile/24247/DM9000A-DS-F01-101906.pdf.
- [6] ec-mobile.ru/user_files/File/Huawei/Huawei_EM770.pdf.
- [7] T. Nagaoka, Shirakata (1987), "Intercomparison between EML method and JAERY method for the measurement of environmental gamma ray exposure rates", *Radiation Protection Dosimetry*, **18**(1), pp.81-88.
- [8] User Manual, Model EFRD 3300, <http://www.sidetection.com>, http://www.sidetection.com/eng/ds3_1_1.html