NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ CHẾ TẠO LIỀU KẾ CÁ NHÂN ĐIỆN TỬ

Nguyễn Đức Tuấn, Mai Văn Diện, Bùi Đức Kỳ,
Chu Vũ Long, Vũ Văn Tiến, Nguyễn Thị Thúy Mai
Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, 179 Hoang Quoc Viet, Ha Noi

Tóm tắt

Ngày nay, để tăng cường cho việc kiểm soát liều bức xạ cá nhân một cách hiệu quả, các liều kế cá nhân điện tử (EPD) đã được sử dụng ngày càng nhiều, trên cơ sở sử dụng đầu dò bán dẫn Silicon Diode với khả năng ghi đo và hiển thị kết quả trực tiếp theo thời gian thực liều của bức xạ chiếu ngoài gamma, beta, nơtron. Chúng được xem như là sự bổ sung tích cực cho các liều kế thụ động (TLD, OSLD) nhằm đáp ứng nguyên lý ALARA trong an toàn bức xạ. Dựa vào phương pháp đo đạc và thuật toán để xác định các đại lượng tương đương liều cá nhân Hp(10) và Hp(0,07) từ kerma không khí đã được nghiên cứu phát triển trước đây, trong khuôn khổ của dự án, chúng tôi đã nghiên cứu và chế tạo thành công liều kế cá nhân điện tử với tên gọi VinaDOSE-01 đạt chuẩn IEC-61256. Thiết bị chế tạo được cũng đã được kiểm định và cấp chứng chỉ tại Phòng thí nghiệm chuẩn liều cấp II (SSDL) thuộc Viện KHKTHN thông qua chiếu chuẩn theo tiêu chuẩn ISO 4037-1. Bài báo miêu tả các kết quả cụ thể đạt được về phương pháp và thuật toán, thiết kế phần cứng và các đặc trưng kỹ thuật của liều kế VinaDOSE-01 cũng như các kết quả thực nghiệm về khảo sát đánh giá thiết bị này trong trường chuẩn bức xạ.

***Từ khóa*:** *Liều kế cá nhân điện tử, EPD.*

1. Mở đầu

Công việc kiểm soát liều bức xạ cá nhân từ trước đến nay cơ bản vẫn dựa trên việc sử dụng các loại liều kế thụ động như TLD, OSL Tuy nhiên trong quá trình sử dụng các loại liều kế thụ động bộc lộ những hạn chế như không đáp ứng được nhu cầu giám sát, tối ưu hoá liều lượng cho các nhân viên bức xạ làm việc ở các khu vực có kiểm soát do cần phải biết ngay thông tin; mất nhiều thời gian cho việc vận chuyển liều kế từ người sử dụng quay ngược lại nhà cung cấp dịch vụ để đọc và hoàn trả. Trong khoảng thời gian 10 năm gần đây, với sự phát triển của các loại đầu dò bán dẫn kích thước nhỏ tiêu biểu như Silicon Diode Detector cùng với công nghệ bán dẫn có độ tích hợp cao và tiêu thụ dòng thấp, các liều kế cá nhân điện tử (Electronic Personal Dosimeter-EPD) được chế tạo ngày càng nhiều và càng hoàn thiện. Liều kế điện tử với các tính năng vượt trội như đo và hiển thị trực tiếp theo thời gian thực liều bức xạ thu nhận được, phát ra cảnh báo bằng âm thanh và ánh sáng trong trường hợp liều phơi nhiễm vượt quá mức thiết lập và ghi lại trong bộ nhớ lịch sử liều để dễ dàng truy xuất và quản lý dữ liệu liều cá nhân một cách nhanh chóng. Tiêu chuẩn IEC 61526 [1] đã được thiết lập cho các liều kế cá nhân điện tử làm cơ sở cho việc đánh giá chất lượng và hiệu chuẩn thiết bị. Trên cơ sở đó, một số nước trên thế giới đã cấp phép sử dụng EPD như là liều kế chính thức hoặc sử dụng như một liều kế thứ cấp cùng với các liều kế thụ động để tăng cường mức độ kiểm soát liều cá nhân theo nguyên lý ALARA trong an toàn bức xạ.

Mục đích của nghiên cứu này là dựa trên phương pháp đo đạc và thuật toán để xác định tương đương liều cá nhân đã được nghiên cứu phát triển trong [2], cụ thể hóa bằng các thiết kế để chế tạo được liều kế cá nhân điện tử hoàn chỉnh với khả năng đo được hai đại lượng liều Hp(10) và Hp(0,07) (tương ứng với tương đương liều cá nhân ở độ sâu 10 mm và 0,07 mm) bởi photon năng lượng trong dải từ 20 - 1250 keV. Liều kế cá nhân điện tử chế tạo

được cũng đã được thông qua kiểm định và cấp chứng chỉ tại Phòng thí nghiệm chuẩn liều cấp II (SSDL) thuộc Viện KHKTHN thông qua chiếu chuẩn theo tiêu chuẩn ISO 4037-1 [3]. Dưới đây là mô tả về phương pháp và thuật toán cụ thể, thiết kế phần cứng cùng với các tính năng sử dụng và đặc trưng kỹ thuật của liều kế cá nhân điện tử VinaDOSE-01 đạt được, cũng như các kết quả khảo sát và đánh giá thiết bị này trong trường chuẩn bức xạ.

2. Phương pháp và thuật toán

Khuyến cáo ICRU-39 (1985) của tổ chức quốc tế ICRU đã xác định các đại lượng hoạt động cho việc kiểm soát cá nhân là tương đương liều cá nhân Hp(d), với d là độ sâu tính bằng mm. Đối với photon, đại lượng vật lý sơ cấp chuẩn là kerma, hay kerma không khí K_a. Giống như đại lượng tương đương liều môi trường H*(d), đại lượng tương đương liều cá nhân Hp(d) không đo được trực tiếp mà phải xác định từ liều kerma không khí sử dụng hàm chuyển đổi phù hợp. Các hệ số chuyển đổi liều phụ thuộc năng lượng được sử dụng để thiết lập nên mối quan hệ giữa đại lượng vật lý sơ cấp và đại lượng hoạt động Hp(d). Do đó, trong trường hợp photon đơn năng tại năng lượng E, tương đương liều cá nhân Hp(d) có thể được xác định bởi công thức:

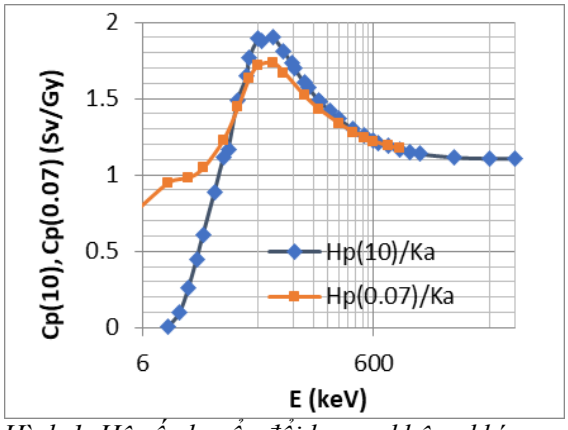
$$Hp(d) = C_p(E).K_a(E) \quad (1)$$

trong đó: $K_a(E)$[Gy] là kerma không khí và $C_p(E)$[Sv/Gy] là hệ số chuyển đổi kerma không khí sang tương đương liều (Hình 1). Hệ số chuyển đổi từ kerma không khí sang các đại lượng Hp(10) và Hp(0.07) cho việc kiểm soát cá nhân tại nơi làm việc phụ thuộc vào năng lượng photon và được chỉ ra ở trên hình 1 (theo ICRP74 hoặc ICRU51).

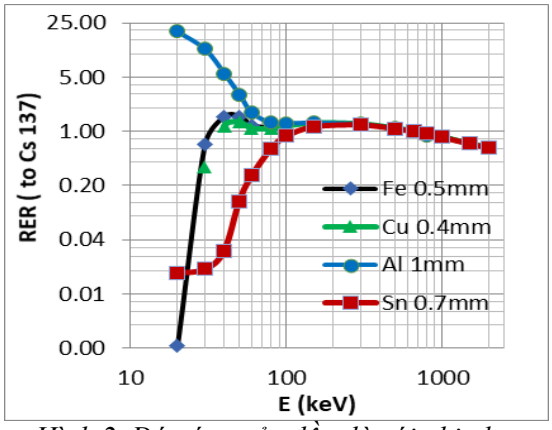
Mặt khác, trong hiệu ứng của trường bức xạ, ta nhận thấy rằng có một mối quan hệ giữa số đếm xung N ghi nhận được từ đầu dò đeo bởi cá thể bị chiếu, với liều kerma trong không khí tương tự như phương trình sau.

$$N = R(E).K_a(E) \quad (2)$$

Trong đó: R(E) là hàm đáp ứng của đầu dò phụ thuộc năng lượng có đơn vị là số đếm trên mỗi đơn vị kerma không khí.



Hình 1. Hệ số chuyển đổi kerma không khí sang Hp(10) và Hp(0.07)



Hình 2. Đáp ứng của đầu dò với phin lọc khác nhau

Trong các điều kiện thực tế, năng lượng của photon tới là không xác định được, điều này dẫn đến không thể xác định được chính xác các giá trị Hp(d) và N theo (1) và (2). Theo phương **pháp tỷ số đồng dạng** hay còn gọi là **phương pháp dạng khớp** được mô tả ở trong [1], ta có thể khắc phục khó khăn này bằng cách đồng nhất phương trình (1) và (2) để loại bỏ các tham số phụ thuộc năng lượng $C_p(E)$, $K_a(E)$ và R(E) như sau.

Nếu giả sử trường photon là giống nhau, có thể chỉ ra rằng việc làm khớp dạng đường cong đáp ứng năng lượng của đầu dò với hàm chuyển đổi kerma sang tương đương liều sẽ cho ta một cách thức xác định các đại lượng tương đương liều một cách gần đúng mà không phải

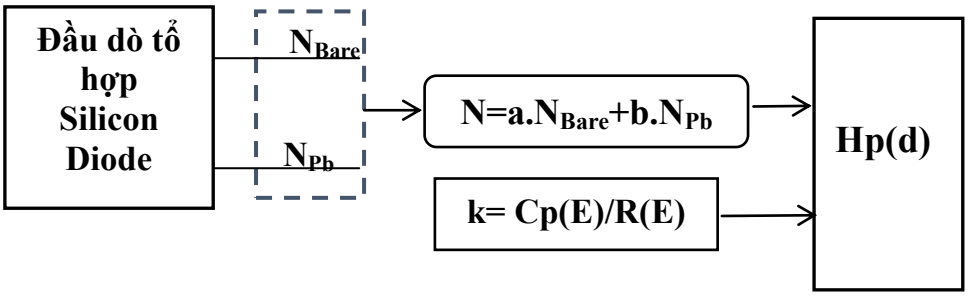
giải quyết vấn đề năng lượng thực sự của photon tới. Phép đo của liều kế có thể được gọi là chính xác nếu như hàm R(E) có đáp ứng năng lượng tương tự như hàm $C_p(E)$. Dựa trên triết lý về thiết kế này, tỷ số xác định bởi:

$$\frac{Hp(d)}{N} = \frac{C_p(E)}{R(E)} = k \tag{3}$$

được gọi là hằng số chuẩn liều k[Sv/Cnt], cái xác định đáp ứng năng lượng truyền thống của liều kế theo nghĩa tương đương liều trên mỗi đơn vị số đếm. Đây là công thức định lượng cho việc thiết kế đầu dò để đo liều. Giả sử một hệ thống đo liều được "khớp" như thế thì ta có thể đạt được ngay tương đương liều dựa vào số đếm N như sau

$$Hp(d) = k.N \tag{4}$$

Để đo được giá trị Hp(d) theo phương trình (4) hằng số chuẩn liều k phải được xác định từ phương trình (3). Để thỏa mãn phương trình (3), thủ tục khớp hàm như sau được thực hiện. Giải thuật cho việc xác định và thủ tục khớp hàm được thực hiện và chỉ ra ở trong hình 3.



Hình 3. Giải thuật của phương pháp dạng khớp cho việc định lượng Hp(d)

Dựa trên kết quả định lượng về đáp ứng năng lượng tương đối (RER) của đầu dò silicon diode với phin lọc bằng kim loại được chỉ ra ở hình 2 bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo và dạng đã biết của đường cong của hàm chuyển đổi kerma sang tương đương liều cá nhân, giải thuật tính toán liều nêu trong hình trên được thực hiện theo nghĩa toán học bằng cách kết hợp tín hiệu từ hai đầu dò silicon diode, một cái để trần và một cái có phin lọc bằng chì dày 1,5 mm, với số đếm từ hai đầu dò này được thể hiện bằng N_{Bare} và N_{Pb}. Tổ hợp tuyến tính của hai số đếm và đáp ứng tương ứng được xác định bởi:

$$N = a.N_{Bare} + b.N_{Pb} \tag{5}$$

và

$$R(E) = a.R_{Bare}(E) + b.R_{Pb}(E) \tag{6}$$

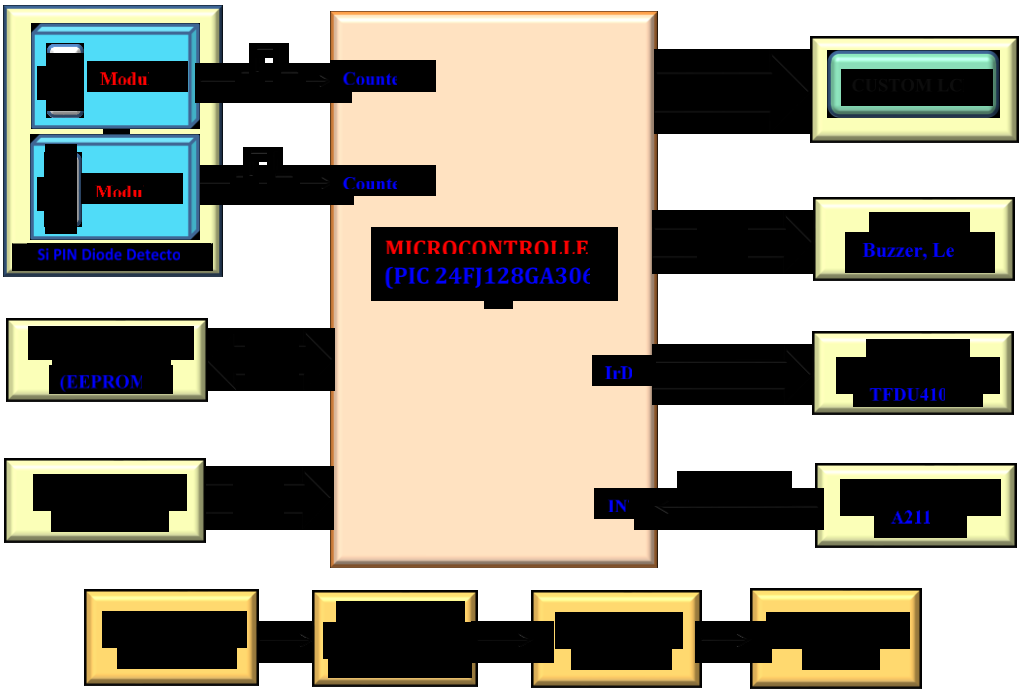
Từ phương trình (3) và (6), phương pháp này liên quan đến việc giải phương trình sau

$$C_p(E) = k.(a.R_{Bare}(E) + b.R_{Pb}(E)) \tag{7}$$

trong dải năng lượng mong muốn. Các hằng số a, b và k trong phương trình (7) đạt được bằng phương pháp khớp bình phương tối thiểu 3D theo dạng z=ax+by trong đó $z = C_p(E)$, $x = R_{Bare}(E)$ và $y = R_{Pb}(E)$. Các giá trị cụ thể và công thức tính Hp(d) cho ứng dụng sẽ được tính toán chi tiết trong phần thực nghiệm với kết quả khảo sát và đánh giá.

3. Thiết kế và chế tạo

Trên cơ sở phương pháp đo đạc và thuật toán xác định tương đương liều cá nhân nêu trên, liều kế cá nhân điện tử EPD được thiết kế chế tạo theo sơ đồ khối được chỉ ra ở hình 4, bao gồm một số khối điện tử chức năng như sau:



Hình 4. Sơ đồ khối của liều kế cá nhân điện tử

1. ***Module-1, module-2***: các đầu dò silicon diode để trần và có phin lọc bằng chì; các mạch điện tử chức năng như tiền khuếch đại nhạy điện tích, khuếch đại hình thành xung và bộ phân biệt.
2. ***Dose Logger Memory***: bộ nhớ loại EEPROM cho việc lưu trữ thông tin;
3. ***Functional Buttons***: các núm chức năng để chọn chế độ thiết lập và chỉ thị của liều kế;
4. ***Microcontroller***: vi xử lý điều khiển các chế độ hoạt động của liều kế và các thành phần khác bao gồm cảnh báo, giao tiếp bằng hồng ngoại, bộ chỉ thị LCD, bộ nhớ. Bộ vi xử lý cũng điều khiển các núm nhấn và hình thành các tính toán và giao tiếp cần thiết.
5. ***Custom LCD***: bộ chỉ thị LCD với 4 số và các ký hiệu về đơn vị bức xạ.
6. ***Alarm***: bộ phận cảnh báo bằng âm thanh (buzzer) và ánh sáng (đèn LED);
7. ***Infrared ENC/DEC and Transceiver:*** bộ phận mã hóa và truyền nhận thông tin bằng hồng ngoại để giao tiếp với máy tính PC.
8. ***Proximity Hall Sensor:*** cảm biến tiệm cận phát tín hiệu giao tiếp giữa EPD và bộ đọc dữ liệu liều kế.
9. ***Battery Power Supply***: bộ nguồn nuôi bao gồm pin ***Li-polymer,*** các mạch sạc và bảo vệ pin ***Li-polymer battery protection and charger***, bật tắt nguồn ***Power SW On/Off,*** ổn áp ***LDO 3,3V Regulator***.

Đầu dò silicon PIN diode phát ra xung điện tích bởi photon tới. Điện tích được chuyển đổi thành điện áp bởi tiền khuếch đại nhạy điện tích. Tín hiệu có độ rộng được chuyển đổi thành tín hiệu xung bởi bộ khuếch đại hình thành xung và chuyển thành xung logic để phục vụ cho việc đếm bởi bộ phân biệt ngưỡng. Bộ vi xử lý sẽ đếm các xung từ 2 kênh độc lập của đầu dò silicon diode để tính toán. Phần mềm cho vi xử lý của liều kế được phát triển dựa trên ngôn ngữ C từ công ty CCS được thiết kê dành cho họ vi điều khiển PIC. Mã nguồn C được

viết trong ứng dụng này được thiết kế để điều khiển các thành phần của phần cứng như bộ đếm, bộ định thời gian, bộ chỉ thị LCD, bộ thời gian thực và cảnh báo bằng buzzer. Chương trình cũng xử lý số đếm tích lũy được trong thời gian đo để tính và hiển thị trên LCD các đại lượng tương đương liều cá nhân.

Hình 5. Liều kế cá nhân điện tử VinaDOSE-01 và so sánh với thiết bị của các hãng khác trên thế giới

Bảng 1. Đặc trưng kỹ thuật của liều kế VinaDOSE-01

Đầu dò	Silicon PIN diodes	**Đáp ứng góc**	0º đến 60º: ≤ ±20% tại Cs-137
Dải năng lượng	20 keV-3 MeV (X và gamma)	**Hiển thị**	LCD 4 số và ký hiệu đặc trưng
Dải liều	0.1µSv đến 10Sv	**Môi trường hoạt động**	Nhiệt độ: -10°C đến 50° C Độ ẩm: 0% đến 90%
Dải suất liều	0.1µSv/h đến 100 mSv/h	**Nguồn nuôi**	Li-polymer Bat. 2500 mAh Thời gian hoạt động: 1250 giờ liên tục
Độ chính xác liều	< ±30%	**Kích thước**	90 x 67 x 21 mm
Cảnh báo liều	Thiết lập từ: 1 mSv đến 9999 mSv	**Khối lượng**	130 g
Cảnh báo suất liều	Thiết lập từ: 1 µSv/h đến 9999 uSv/h	**Tiêu chuẩn IP**	IP65
Lưu trữ liều	2330 bản ghi	**Tiêu chuẩn bức xạ**	IEC 61526

Liều kế cá nhân điện tử hoàn thiện VinaDOSE-01 được chỉ ra ở hình 5 với các đặc trưng kỹ thuật như trong bảng 1. Để đánh giá đặc trưng về liều lượng trên thiết bị chế tạo được, các thí nghiệm đã được thực hiện trong trường bức xạ photon cụ thể. Liều kế được đặt đằng trước của hình nộm theo chuẩn ISO có kích thước 30 x 30 x 15 cm và đầu dò Si được đặt trùng với trung tâm của trường bức xạ tại Phòng chuẩn liều cấp hai (SSDL) của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân (INST). Dữ liệu thực nghiệm đạt được bằng cách chiếu xạ theo những đặc trưng của trường bức xạ chuẩn. Bức xạ chuẩn ở vùng năng lượng thấp dựa trên chuỗi phổ hẹp theo chuẩn ISO 4037-1 tạo nên bởi máy phát tia X. Chuỗi phổ hẹp được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm N-30 (24 keV), N-40 (33 keV), N-60 (48 keV), N-80 (65 keV), và N-100 (83 keV) còn bức xạ chuẩn ở vùng năng lượng cao thì dựa trên các nguồn chuẩn 137-Cs (662 keV) và 60-Co (1.25 MeV).

4. Kết quả thực nghiệm

Xác định hàm đáp ứng và hiệu chuẩn

Kết quả đo đạc đáp ứng năng lượng của đầu dò để trần và có phin lọc bằng chì đối với kerma không khí được chỉ ra ở bảng 2 và minh họa ở trên hình 6 và 7. Từ những dữ liệu này, thủ tục khớp bình phương tối thiểu được thực hiện cho các trường hợp Cp(10) và Cp(0,07) theo phương trình (7) và hai đáp ứng tổ hợp tuyến tính R10 và R07 cũng đạt được. Các tỷ số tính được k trong bảng 2 chỉ ra sự phù hợp và giống nhau giữa hàm đáp ứng và hàm chuyển đổi. Biểu thức xác định các đại lượng Hp(10) và Hp(0.07) được đưa ra ở phương trình (8) và (9).

$$Hp(10)= 0,0176(0,09805.N_{Bare} + 0,18341.N_{Pb}) \quad (8)$$

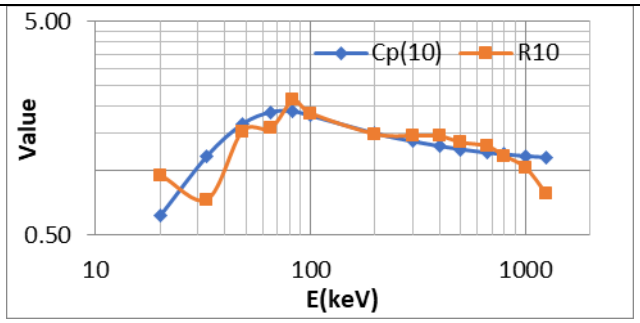
$$Hp(0,07)=0,0182(0,09574.N_{Bare}+ 0,17481.N_{Pb}) \quad (9)$$

trong đó N_{Bare}, N_{Pb}: giá trị số đếm [Cnts]. Ta có thể nhận thấy từ phương trình (8) và (9) là các đại lượng tương đương liều cá nhân Hp(d) có mối quan hệ một-một đơn giản với số đếm xung thu nhận được từ hai đầu dò.

Bảng 2. Hàm đáp ứng của liều kế VinaDOSE-01

STT	Energy (keV)	R_{Bare} (Cnts/μGy)	R_{Pb} (Cnts/μGy)	Cp(10) (μSv/μGy)	$R_{10}(E)$ (Cnts/μGy)	$k(10)=C_p(10)/R_{10}(E)$ (μSv/Cnts)	Error (%)
1	20	9,66	0,00	0,61	57,0	0,0107	38,77
2	33	7,43	0,03	1,17	43,8	0,0268	52,38
3	48	15,06	1,31	1,65	91,2	0,0180	2,77
4	65	14,77	2,48	1,88	94,2	0,0199	13,42
5	83	19,66	3,98	1,90	127,8	0,0148	15,47
6	100	16,55	2,59	1,81	111,0	0,0163	7,30
7	200	11,38	4,06	1,49	88,8	0,0168	4,22
8	300	9,31	6,05	1,37	87,0	0,0157	10,63
9	400	8,59	6,75	1,30	87,0	0,0150	14,66
10	500	7,76	6,61	1,26	81,0	0,0155	11,83
11	662	4,97	4,97	1,21	78,0	0,0155	11,50
12	800	6,21	6,21	1,19	69,6	0,0170	2,97
13	1000	5,48	5,48	1,17	61,8	0,0189	7,73
14	1250	2,75	2,75	1,15	46,2	0,0248	41,05

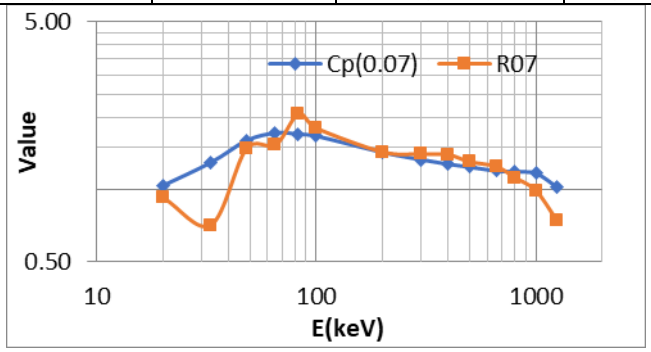
- Giá trị trung bình k(10)=0,0176
- Hằng số a=0,09805; b=0,18341



Hình. 6. Sự tương tự của hàm đáp ứng R10 và hàm chuyển đổi Cp(10)

STT	Energy (keV)	R_{Bare} (Cnts/μGy)	R_{Pb} (Cnts/μGy)	Cp(0.07) (μSv/μGy)	$R_{0.07}(E)$ (Cnts/μGy)	k(0.07)=C_p(0.07) /$R_{0.07}(E)$ (μSv/Cnts)	Error (%)
1	20	9,66	0,00	1,045	55,8	0,0188	3,41
2	33	7,43	0,03	1,300	42,6	0,0304	67,18
3	48	15,06	1,31	1,600	89,4	0,0179	1,52
4	65	14,77	2,48	1,720	91,8	0,0187	2,66
5	83	19,66	3,98	1,700	124,8	0,0136	25,15
6	100	16,55	2,59	1,669	108,6	0,0154	15,39
7	200	11,38	4,06	1,432	86,4	0,0166	8,70
8	300	9,31	6,05	1,336	84,6	0,0158	13,11
9	400	8,59	6,75	1,280	84	0,0153	16,19
10	500	7,76	6,61	1,244	78,6	0,0159	12,86
11	662	4,97	4,97	1,200	75	0,0160	12,02
12	800	6,21	6,21	1,189	67,2	0,0176	3,16
13	1000	5,48	5,48	1,173	59,4	0,0197	8,15
14	1250	2,75	2,75	1,030	44,4	0,0231	26,72

- Giá trị trung bình k(0,07)=0,0182
- Hằng số: a=0,09574; b=0,17481



Hình. 7. Sự tương tự của hàm đáp ứng R07 và hàm chuyển đổi Cp(0.07)

Liều kế VinaDOSE-01 đã được hiệu chuẩn về mặt đại lượng tương đương liều đo được Hp (d). Phương pháp hiệu chuẩn được thực hiện như sau:

- Lựa chọn trường bức xạ chuẩn phù hợp và điểm kiểm tra.
- Xác định giá trị của đại lượng vật lý phù hợp (kerma không khí) tại vị trí kiểm tra và tính ra giá trị liều cấp.
- Định vị liều kế và phantom tại điểm kiểm tra và chiếu chuẩn, đọc giá trị chỉ thị của liều kế ghi nhận được.
- Tính toán hệ số chuẩn CF(10) và CF(0,07) của liều kế được xác định như là tỷ số giữa giá trị của liều cấp và giá trị của liều đo được theo công thức trên.
- Các giá trị đáp ứng Res(10) và Res(0,07) của liều kế cũng được xác định bằng tỷ số giữa giá trị liều đo được và liều cấp.

Kết quả hiệu chuẩn liều kế VinaDOSE-01 được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả hiệu chuẩn liều kế VinaDOSE-01

References	Delivered Dose (uSv)		Measured Dose (uSv)		Calibration Factors		Response	
Mean Energy (keV)	Hp(10)	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(0.07)	CF(10)	CF(0.07)	Res(10)	Res(0.07)
20	930,0	1593,2	1296,7	1309,4	0.72	1.22	1.39	0.82
33	1595,5	1772,7	1014,3	1024,1	1.57	1.73	0.64	0.58
48	4116,8	3992,0	3699,0	3734,7	1.11	1.07	0.90	0.94
65	3241,1	2965,3	2201,3	2221,5	1.47	1.33	0.68	0.75
83	828,4	741,2	841,1	847,8	0.98	0.87	1.02	1.14
662	2420,0	2400,0	2437,0	2423,7	0.99	0.99	1.01	1.01
				Mean:	1,14	1,20	0,94	0,87

Kiểm tra độ tuyến tính

Để tiến hành kiểm tra độ tuyến tính của liều kế, mỗi liều kế sẽ được chiếu xạ với cùng một suất liều trong những khoảng thời gian khác nhau (1, 2, 3, 6 và 7 phút). Độ lệch sẽ tính được so với giá trị chuẩn tính được như sau:

$$\text{Deviation} = \frac{(\text{Calculated Dose} - \text{Measured Dose})}{\text{Calculated Dose}} \times 100\%$$

trong đó: Deviation là độ lệch %
Calculated Dose: Liều tính toán
Measured Dose: Liều đo được

Kết quả kiểm tra độ tuyến tính của liều kế VinaDOSE-01 được trình bày ở bảng 4. Liều kế cho đáp ứng tốt ở các năng lượng ngoại trừ đáp ứng tại giá trị N-40 (33 keV) có sai lệch hơi cao. Độ tuyến tính của liều kế đạt được với độ lệch trong vòng ±30 %. Sự sai lệch lớn hơn sảy ra ở các giá trị N-25, N-40.

Bảng 4. Kiểm tra độ tuyến tính của liều kế VinaDOSE-01

Quality /Energy (keV)	Elapsed Time (min)	Hp(10) Measured (uSv)	Hp(0.07) Measured (uSv)	Hp(10) Calculated (uSv)	Hp(10) Deviation (%)	Hp(0.07) Calculated (uSv)	Hp(0.07) Deviation (%)
N-25/ 20	1	21,59	21,8	15,50	-39,3	26,55	17,9
	2	43,06	43,48	31,00	-38,9	53,1	18,1
	3	65,06	65,7	46,50	-39,9	79,65	17,5
	4	86,66	87,51	62,00	-39,8	106,2	17,6
	5	108,17	109,23	77,50	-39,6	132,75	17,7
	6	130,02	131,29	93,00	-39,8	159,3	17,6
	7	151,28	152,76	108,50	-39,4	185,85	17,8
N-40/ 33	1	16,89	17,06	26,59	36,5	29,55	42,3
	2	33,74	34,07	53,18	36,6	59,1	42,4
	3	50,57	51,07	79,77	36,6	88,65	42,4
	4	67,67	68,33	106,36	36,4	118,2	42,2
	5	84,6	85,42	132,95	36,4	147,75	42,2
	6	101,46	102,44	159,54	36,4	177,3	42,2
	7	118,34	119,48	186,13	36,4	206,85	42,2

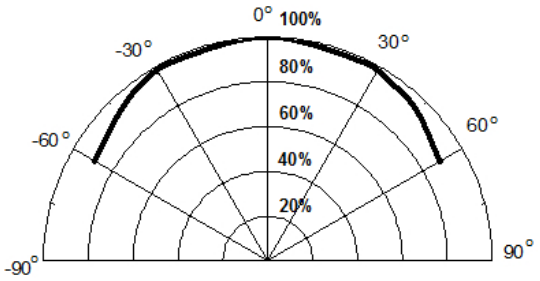
N-60/ 48	1	53,31	53,82	68,61	22,3	66,53	19,1
	2	116,79	117,91	137,22	14,9	133,06	11,4
	3	180,04	181,77	205,83	12,5	199,59	8,9
	4	243,56	245,91	274,44	11,3	266,12	7,6
	5	306,7	309,66	343,05	10,6	332,65	6,9
	6	369,9	373,47	411,66	10,1	399,18	6,4
N-80/ 65	1	36,77	37,11	54,02	31,9	49,42	24,9
	2	73,82	74,5	108,04	31,7	98,84	24,6
	3	110,83	111,84	162,06	31,6	148,26	24,6
	4	147,48	148,83	216,08	31,7	197,68	24,7
	5	184,03	185,72	270,1	31,9	247,1	24,8
	6	221,07	223,09	324,12	31,8	296,52	24,8
	7	256,82	259,17	378,14	32,1	345,94	25,1
N-100/ 83	1	13,46	13,57	13,81	2,5	12,35	-9,8
	2	27,32	27,54	27,62	1,1	24,7	-11,5
	3	41,57	41,9	41,43	-0,3	37,05	-13,1
	4	55,56	56	55,24	-0,6	49,4	-13,4
	5	69,54	70,1	69,05	-0,7	61,75	-13,5
	6	83,96	84,63	82,86	-1,3	74,1	-14,2
	7	98,13	98,91	96,67	-1,5	86,45	-14,4
Cs-137/ 661	1	40,33	40,11	40,33	0,0	40	-0,3
	2	80,72	80,27	80,66	-0,1	80	-0,3
	3	121,28	120,61	120,99	-0,2	120	-0,5
	4	162,01	161,12	161,32	-0,4	160	-0,7
	5	203,17	202,06	201,65	-0,8	200	-1,0
	6	243,44	242,1	241,98	-0,6	240	-0,9
	7	284,32	282,76	282,31	-0,7	280	-1,0

Sự phụ thuộc góc

Sự phụ thuộc góc của liều kế được khảo sát theo những góc sau: 0^o, $\pm25^o$, $\pm35^o$, $\pm45^o$, $\pm60^o$ với việc sử dụng nguồn chuẩn Cs-137 để kiểm tra đặc trưng. Kết quả được trình bày trên bảng 5 và hình 8. Kết quả cho thấy sự phụ thuộc góc của đáp ứng tương đối không lớn hơn 15% so với góc 0^o.

Bảng 5. Sự phụ thuộc góc của đáp ứng tương đối của liều kế VinaDOSE-01

Angle (Degree)	Hp(10) Measured (uSv)	Relative Response Hp(10) (%)	Hp(0.07) Measured (uSv)	Relative Response Hp(0.07) (%)
0	34,07	100,0	33,85	100,0
25	33,47	98,2	33,25	98,2
35	32,92	96,6	32,71	96,6
45	32,08	94,2	31,89	94,2
60	30,19	88,6	30,02	88,7
-25	33,54	98,4	33,31	98,4
-35	33,07	97,1	32,86	97,1
-45	31,85	93,5	31,65	93,5
-60	30,29	88,9	30,13	89,0



Hình 8. Đáp ứng góc của liều kế VinaDOSE-01

5. Kết luận

Trong bài báo này, việc thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh liều kế cá nhân điện tử VinaDOSE-01 đã được miêu tả một cách chi tiết từ phương pháp và thuật đoán đến thiết kế phần cứng của thiết bị. Các số liệu thực nghiệm trên thiết bị chế tạo chỉ ra kết quả khá tốt trong việc đo đạc trực tiếp các đại lượng tương đương liều cá nhân, điều này đáp ứng một phần các yêu cầu của tiêu chuẩn IEC 61526 và cũng chứng tỏ khả năng áp dụng trong thực tiễn của thiết bị. Lần đầu tiên được nghiên cứu và chế tạo thành công trong nước, với các tính năng đạt được, thiết bị sẽ là công cụ hữu hiệu trong việc xác định liều lượng cho nhân viên bức xạ, dân chúng một cách chủ động, tích cực, khắc phục những mặt hạn chế của liều kế thụ động, góp phần vào công tác đảm bảo ATBX và sức khỏe cho con người, cũng là phù hợp với xu hướng phát triển trên thế giới.

Tài liệu tham khảo

[1] International Electrotechnical Commission, "Radiation protection instrumentation. Measurement of personal dose equivalent Hp(10) and Hp(0.07) for X, gamma, neutron and beta radiation: direct reading personal dose equivalent and monitors", IEC 61526 (Geneva: IEC) (2005).

[2] Nguyen Duc Tuan, Mai Van Dien, Bui Duc Ky, Chu Vu Long, Vu Van Tien, Nguyen Thi Thuy Mai, "Development of measurement methods and dose evaluating algorithms for electronic personal dosimeter", Nuclear Science and Technology, Vol.7, No. 3 (2017), p. 25-33.

[3] International Organization for Standardization, "X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy", ISO 4037-1 (Geneva: ISO) (1996).