

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 12260-2:2018

ISO 13164-2:2013

Xuất bản lần 1

**CHẤT LƯỢNG NƯỚC – RADON 222 –
PHẦN 2: PHƯƠNG PHÁP THỬ SỬ DỤNG
PHỔ TIA GAMMA**

Water quality – Radon-222 – Part 2: Test method using gamma-ray spectrometry

HÀ NỘI - 2018

Lời nói đầu

TCVN 12260-2:2018 hoàn toàn tương đương với ISO 13164-2:2013;

TCVN 12260-2:2018 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC147 *Chất lượng nước* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 12260 (ISO 13164) *Chất lượng nước – Radon-222* gồm có các tiêu chuẩn sau:

- TCVN 12260-1:2018 (ISO 13164-1:2013), Phần 1: Nguyên tắc chung.
- TCVN 12260-2:2018 (ISO 13164-2:2013), Phần 2: Phương pháp thử sử dụng phổ tia gamma.
- TCVN 12260-3:2018 (ISO 13164-3:2013), Phần 3: Phương pháp thử sử dụng đo xạ khí.
- TCVN 12260-4:2018 (ISO 13164-4:2015), Phần 4: Phương pháp thử sử dụng đếm nhấp nháy lỏng hai pha.

Lời giới thiệu

Hoạt độ phóng xạ từ một số nguồn tự nhiên và nhân tạo có trong khắp môi trường. Vì vậy, các thủy vực (nước mặt, nước dưới đất, nước biển) có thể chứa các nuclit phóng xạ có nguồn gốc tự nhiên và nhân tạo.

- Các nuclit phóng xạ tự nhiên, bao gồm cả kali-40, và các nuclit phóng xạ có nguồn gốc khác từ dãy phân rã thori và urani, cụ thể như radi-226, radi-228, urani-234, urani-238 và chì-210 có thể được tìm thấy trong nước với các nguyên nhân tự nhiên (ví dụ, sự giải hấp từ đất và sự rửa trôi bởi nước mưa) hoặc có thể được sinh ra từ các quá trình công nghệ liên quan đến các vật liệu phóng xạ tồn tại tự nhiên (ví dụ khai thác mỏ và quá trình chế biến sa khoáng hoặc quá trình sản xuất và sử dụng phân bón photphat).
- Các nuclit phóng xạ nhân tạo như các nguyên tố siêu urani (americium, plutonium, neptunium, curium), tritium, cacbon-14, stronti-90 và một số nuclit phóng xạ phát tia gamma cũng có thể tìm thấy trong nước tự nhiên vì các nguyên tố này được cho phép phát thải hàng ngày vào trong môi trường với số lượng nhỏ trong dòng thải từ các cơ sở chu trình nhiên liệu hạt nhân và việc sử dụng chúng ở dạng hồ trong y học hoặc công nghiệp. Những nguyên tố này cũng có thể được tìm thấy trong nước do bụi phóng xạ trong quá khứ từ các vụ nổ trong khí quyển của các vũ khí hạt nhân hoặc từ các sự cố hạt nhân tại Chernobyl và Fukushima.

Do vậy, nước uống có thể chứa các nuclit phóng xạ ở nồng độ hoạt độ có thể gây rủi ro tới sức khỏe của con người. Để đánh giá chất lượng của nước uống (bao gồm cả nước khoáng và nước suối) về hàm lượng nuclit phóng xạ của nước và để đưa ra hướng dẫn về việc giảm thiểu các rủi ro sức khỏe bằng việc tiến hành biện pháp giảm các nồng độ hoạt độ nuclit phóng xạ, các nguồn nước (nước dưới đất, nước sông, nước hồ, nước biển, v.v..) và nước uống cần được kiểm tra về mức hoạt độ phóng xạ của chúng do Tổ chức Sức khỏe Thế giới (WHO) khuyến nghị.

Các phương pháp thử tiêu chuẩn về nồng độ hoạt độ radon-222 trong các mẫu nước là cần thiết cho các phòng thử nghiệm tiến hành các phép đo này để đảm bảo tuân thủ các yêu cầu theo quy định. Các phòng thử nghiệm có thể phải xin cấp phép để được phép đo nuclit phóng xạ trong các mẫu nước uống.

Nồng độ hoạt độ radon trong nước bề mặt là rất thấp, thường dưới 1 Bq L^{-1} . Trong nước dưới đất, nồng độ hoạt độ thay đổi từ 1 Bq L^{-1} đến 50 Bq L^{-1} trong các tầng đá trầm tích, từ 10 Bq L^{-1} đến 300 Bq L^{-1} trong các giếng khoan, và từ 100 Bq L^{-1} đến 1000 Bq L^{-1} trong đá tinh thể. Các nồng độ hoạt độ cao nhất thường đo được trong đá với nồng độ uran cao (Tài liệu tham khảo [7]).

Sự thay đổi lớn về nồng độ hoạt độ của radon trong các tầng chứa nước đã được quan sát. Thậm chí trong một vùng có các loại đá tương đối đồng nhất, một số nước giếng khoan có thể có nồng độ hoạt độ radon cao hơn nhiều so với giá trị trung bình đối với vùng đó. Ghi lại những biến động đáng kể theo mùa (xem Phụ lục A).

Nước có thể hòa tan các hóa chất khi di chuyển trên bề mặt đất tới các tầng chứa nước hoặc nước suối. Nước có thể di chuyển qua hoặc lưu lại một thời gian trong đá, một số địa tầng có thể chứa nồng độ cao các nuclit phóng xạ tự nhiên. Trong các điều kiện địa hóa thuận lợi, nước có thể hòa tan một cách có chọn lọc một số nuclit phóng xạ tự nhiên này.

Hướng dẫn về radon trong nguồn cấp nước uống của WHO năm 2008 đề xuất cần thực hiện kiểm soát nếu nồng độ radon trong nước uống đối với nguồn cấp nước công cộng vượt quá 100 Bq L^{-1} . Hướng dẫn này của WHO cũng được khuyến nghị rằng bất cứ nguồn cấp nước mới nào, đặc biệt là nguồn cấp nước công cộng, sử dụng nước dưới đất làm nguồn cấp nước uống cần được thử nghiệm trước khi đưa vào sử dụng cho tiêu dùng chung và nếu nồng độ radon vượt quá 100 Bq L^{-1} , cần thực hiện việc xử lý nguồn nước để giảm các mức radon xuống dưới mức cho phép (Tài liệu tham khảo [8]).

Tiêu chuẩn này thuộc bộ tiêu chuẩn đề cập đến phép đo nồng độ hoạt độ của các nuclit phóng xạ trong các mẫu nước.

Radon-222 và các sản phẩm phân rã sống ngắn có nguồn gốc trong nước và các phương pháp đo được mô tả khái quát trong TCVN 12260-1 (ISO 13164-1).

Chất lượng nước – Radon-222 –

Phần 2: Phương pháp thử sử dụng phổ tia gamma

Water quality – Radon-222 –

Part 1: Test method using gamma-ray spectrometry

CẢNH BÁO – Người sử dụng tiêu chuẩn này phải thành thạo với các thực hành phòng thử nghiệm thông thường. Tiêu chuẩn này không đề cập tới mọi vấn đề an toàn, liên quan đến việc sử dụng, nếu cần. Trách nhiệm của người sử dụng là thiết lập thực hành thích hợp về an toàn và bảo vệ sức khỏe bảo đảm tuân thủ theo quy định.

QUAN TRỌNG – Tiêu chuẩn này phải được thực hiện bởi nhân viên có trình độ phù hợp.

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định phương pháp thử để xác định nồng độ hoạt độ radon-222 trong mẫu nước sau khi đo các sản phẩm phân rã sống ngắn của radon bằng đo phổ tia gamma trực tiếp của mẫu nước (xem Phụ lục A).

Phương pháp này có thể đo nồng độ hoạt độ radon-222 bằng cách sử dụng các thiết bị tia gamma sẵn có hiện nay, khoảng đo từ một vài becquerel/lít đến vài trăm nghìn becquerel/lít cho 1 L mẫu thử.

Phương pháp thử này có thể được sử dụng cho các mẫu nước uống. Phòng thử nghiệm có trách nhiệm bảo đảm tính hợp lệ của phương pháp thử này đối với các mẫu nước có các nền mẫu không được thử.

Phụ lục B chỉ ra các điều kiện đếm cần thiết để đáp ứng độ nhạy yêu cầu cho việc quan trắc nước uống.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 6663-1 (ISO 5667-1), *Chất lượng nước – Lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn thiết kế các chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu.*

TCVN 6663-3 (ISO 5667-3), *Chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 3: Bảo quản và xử lý các mẫu nước.*

TCVN 7175 (ISO 10703), *Chất lượng nước – Xác định nồng độ hoạt tính của chất phóng xạ – Phương pháp quang phổ tia gamma độ phân giải cao.*

TCVN 12260-1 (ISO 13164-1), *Chất lượng nước – Radon 222 - Phần 1: Nguyên tắc chung.*

TCVN ISO/IEC 17025, *Yêu cầu chung về năng lực của phòng thử nghiệm và hiệu chuẩn.*

TCVN 7870-10 (ISO 80000-10), *Đại lượng và đơn vị – Phần 10: Vật lý nguyên tử và hạt nhân.*

IEC 60973, *Test procedures for germanium gamma-ray detector (Quy trình thử nghiệm detector tia gamma gecmani).*

IEC 61151, *Nuclear instrumentation – Amplifiers and preamplifiers used with detectors of ionizing radiation – Test procedures (Thiết bị hạt nhân – Bộ khuếch đại và khuếch đại sơ bộ sử dụng với các detector bức xạ ion – Quy trình thử).*

IEC 61452, *Nuclear instrumentation - Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides - Calibration and use of germanium spectrometers (Thiết bị hạt nhân - Đo tốc độ phát xạ tia gamma của nuclit phóng xạ - Hiệu chuẩn và sử dụng phổ kế gecmani).*

3 Thuật ngữ, định nghĩa và ký hiệu

3.1 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong TCVN 7870-10 (ISO 80000-10) và TCVN 12260-1 (ISO 13164-1).

3.2 Ký hiệu

Tiêu chuẩn này sử dụng các ký hiệu trong TCVN 7870-10 (ISO 80000-10), TCVN 12260-1 (ISO 13164-1), và các ký hiệu sau.

A	Nồng độ hoạt độ của mỗi nuclit phóng xạ trong nguồn hiệu chuẩn, tính bằng becquerel
C_A	Nồng độ hoạt độ của radon trong nước, tính bằng becquerel trên lít
C_A^*	Ngưỡng quyết định, tính bằng becquerel trên lít

$c_A^{\#}$	Giới hạn phát hiện, tính bằng becquerel trên lít
$c_A^<, c_A^>$	Giới hạn dưới và giới hạn trên của khoảng tin cậy, tính bằng becquerel trên lít
f_d	Hệ số hiệu chỉnh đối với sự phân rã của radon trong khoảng thời gian giữa việc lấy mẫu và đo mẫu cũng như sự phân rã của các nuclit phóng xạ đang được đo (^{214}Bi hoặc ^{214}Pb) trong khoảng thời gian đếm, không thứ nguyên
k_p, k_q	Phân vị các phân bố chuẩn tắc đối với các xác suất, p, q tương ứng
$n_{b,E}, n_{b0,E}, n_{bs,E}$	Số đếm trong phòng nền của pic, tại năng lượng, E , trong phổ mẫu, trong phổ phòng nền và trong phổ hiệu chuẩn, tương ứng
$n_{g,E}, n_{g0,E}, n_{gs,E}$	Số đếm trong diện tích toàn bộ của pic, tại năng lượng, E , trong phổ mẫu, trong phổ phòng nền và trong phổ hiệu chuẩn, tương ứng
$n_{N,E}, n_{N0,E}, n_{Ns,E}$	Số đếm của diện tích thực của pic, tại năng lượng E , trong phổ mẫu, trong phổ phòng nền và trong phổ hiệu chuẩn, tương ứng
P_E	Xác suất phát tia gamma với năng lượng, E , của mỗi nuclit phóng xạ, trên mỗi phân rã
t_0	Thời gian đếm phổ phòng nền, tính theo giây
t_g	Thời gian đếm phổ mẫu, tính theo giây
t_s	Thời gian đếm phổ hiệu chuẩn, tính theo giây
U	Độ không đảm bảo mở rộng được tính bằng $U = ku(c_A)$ với $k = 2$
$u(c_A)$	Độ không đảm bảo chuẩn liên quan đến kết quả đo
$V_{H,0}$	Thể tích của mẫu thử, tính bằng lít
α, β	Xác suất sai số của loại một và loại hai, tương ứng
γ	Xác suất đối với khoảng tin cậy của nồng độ hoạt độ
ε_E	Hiệu suất của detector tại năng lượng, E
$\lambda_{222\text{Ra}}$	Hằng số phân rã của radon-222, tính bằng nghịch đảo giây
Φ	Hàm phân bố của phân bố chuẩn tắc

4 Nguyên tắc

Xác định nồng độ hoạt độ radon trong nước bằng sử dụng phổ tia gamma trực tiếp dựa trên:

- Lấy mẫu và bảo quản trong vật chứa mẫu nước đại diện phù hợp tại thời điểm t ;

- Phát hiện và định lượng bức xạ gamma phát ra từ các sản phẩm phân rã sống ngắn của radon có trong mẫu nước (xem Bảng 1).

Bảng 1 – Năng lượng và xác suất phát tia X và tia gamma chính của các sản phẩm phân rã ^{222}Rn sống ngắn (Tài liệu tham khảo [5])

Nuclit phóng xạ	Chu kỳ bán rã	Năng lượng	Xác suất phát ra
	min	KeV	%
^{214}Pb	26,8	351,93	35,60
		295,22	18,50
^{214}Bi	19,9	609,31	45,49
		1764,49	15,28
		1120,29	14,907
		1238,11	5,827

Nồng độ hoạt độ được tính (bằng máy tính) từ hoạt độ của sản phẩm phân rã được đo và thể tích của mẫu có radon ở trạng thái cân bằng với các sản phẩm phân rã của nó.

5 Lấy mẫu

5.1 Yêu cầu chung

Mẫu phải đại diện cho môi trường được phân tích tại một thời điểm nhất định.

5.2 Yêu cầu lấy mẫu

Lấy mẫu phải được thực hiện phù hợp với các điều kiện và kỹ thuật đã quy định trong TCVN 6663-1 (ISO 5667-1), TCVN 6663-3 (ISO 5667-3) và TCVN 12260-1 (ISO 13164-1).

Phải chuyển trực tiếp mẫu vào vật chứa được sử dụng để phân tích phổ gamma. Vật chứa phải được đổ đầy hoàn toàn để tránh không khí tiếp xúc với mẫu nước. Vật chứa phải được đổ đầy theo cách mà có thể tránh làm tách khí radon trong vật chứa mẫu. Sử dụng kỹ thuật lấy mẫu tùy theo tình huống thực tế.

Khi phòng thử nghiệm không trực tiếp lấy mẫu, phòng thử nghiệm phải cung cấp vật chứa cho phép đo và hướng dẫn quy trình lấy mẫu cho người thực hiện việc lấy mẫu.

Phải đo nhiệt độ của nước trong suốt quá trình lấy mẫu.

Nên cân vật chứa và nắp của nó trước và sau khi lấy mẫu để ước tính số lượng vật liệu lơ lửng và các hạt còn lại trong vật chứa.

5.3 Thể tích mẫu

Kinh nghiệm cho thấy rằng cần ít nhất 1 L mẫu để mẫu là đại diện của môi trường được phân tích.

5.4 Đặc tính của vật chứa

Lựa chọn và chuẩn bị vật chứa phù hợp là quan trọng. Vật chứa phải tuân theo các yêu cầu của TCVN 6663-3 (ISO 5667-3).

Vật chứa và nắp được sử dụng để chứa mẫu phải tuân theo các yêu cầu sau:

- Vật chứa phải được làm từ các vật liệu trơ với sự hấp thụ tia gamma thấp. Các vật liệu này phải không thấm radon, không kỵ nước, và dẫn điện (để không hấp phụ radon và các sản phẩm phân rã của radon từ khí quyển xung quanh).
- Vật chứa phải không tự phát ra tia gamma gây nhiễu với phép đo.
- Vật chứa phải chống sốc.

6 Vận chuyển và bảo quản

Trong suốt quá trình vận chuyển và bảo quản, mẫu phải duy trì ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của nước ban đầu (nhưng trên 0 °C) cho đến khi được đo. Vật chứa phải được bảo vệ và nút chặt. Vật chứa phải được đóng gói theo cách thích hợp để ngăn chặn mọi rò rỉ.

Khoảng thời gian vận chuyển và bảo quản trước khi phân tích phải càng ngắn càng tốt với chu kỳ bán rã của radon-222, sử dụng nồng độ hoạt độ dự kiến và giới hạn phát hiện của thiết bị đo.

Khi đến phòng thử nghiệm, nếu không thể phân tích ngay, mẫu phải được duy trì ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ nước ban đầu (nhưng trên 0 °C). Mẫu phải được phân tích càng sớm càng tốt sau khi đạt được trạng thái cân bằng hoạt độ phóng xạ.

Kinh nghiệm cho thấy thời gian cần thiết giữa việc lấy mẫu và phân tích không được quá 48 h.

7 Kỹ thuật phát hiện

Nồng độ hoạt độ của ^{222}Rn được xác định từ các phát xạ tia gamma của ^{214}Bi và/hoặc ^{214}Pb được đo bằng phổ gamma trực tiếp của mẫu nước.

Việc xác định nồng độ hoạt độ của radon-222 trong các mẫu nước phải được xác định bằng đo phổ tia gamma có độ phân giải cao như đã quy định trong TCVN 7175 (ISO 10703).

Chu kỳ đo bắt đầu khi radon ở trạng thái cân bằng hoạt độ phóng xạ với các sản phẩm phân rã của nó, tức là ít nhất 3 h sau khi kết thúc việc lấy mẫu.

Việc lựa chọn thiết bị đo phải tính đến các yêu cầu kỹ thuật đã nêu trong IEC 60973 và IEC 61151.

Việc hiệu chuẩn phải tuân theo các yêu cầu của IEC 61452, ví dụ, sử dụng nguồn hiệu chuẩn radi-226.

8 Quy trình đo

Quy trình đo như sau:

TCVN 12260-2:2018

- a) Lựa chọn và định vị trí của điểm lấy mẫu;
- b) Lấy một hoặc nhiều mẫu nước;
- c) Ghi lại vị trí, ngày và giờ lấy mẫu;
- d) Thiết lập trạng thái cân bằng hoạt độ phóng xạ giữa ^{222}Rn và các sản phẩm phân rã sống ngắn (^{214}Bi , ^{214}Pb) trong mẫu bằng cách chờ 3 h sau khi lấy mẫu để được số đếm tối ưu;
- e) Hiệu chuẩn quang phổ kế;
- f) Xác định thông nền của detector;
- g) Ghi lại phổ của mẫu;
- h) Phân tích phổ và xác định nồng độ hoạt độ bằng tính toán.

9 Chương trình đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng

9.1 Khái quát

Các hoạt động kiểm soát chất lượng phải đáp ứng các yêu cầu của TCVN ISO/IEC 17025.

9.2 Đại lượng ảnh hưởng

Việc xác định nồng độ hoạt độ của radon-222 phải tính đến việc hiệu chỉnh sự phân rã của nó trong thời gian bảo quản trước khi đo, cũng như trong khoảng thời gian của quá trình đo.

Phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa đặc biệt để giảm thiểu ảnh hưởng của các đại lượng có thể tác động đến các kết quả đo.

Trong quá trình lấy mẫu, cần giảm ảnh hưởng của:

- Nhiệt độ nước;
- Dòng chảy rối trong nước;
- Thể tích của không khí trong vật chứa.

Trong quá trình đo, phải tính đến ảnh hưởng của:

- ^{222}Rn có trong khí quyển tại nơi thực hiện các phép đo;
- ^{226}Ra có trong nước được phân tích;
- Sự có mặt của vật liệu lơ lửng trong mẫu.

Có thể quan sát thấy sự biến đổi theo thời gian của nồng độ hoạt độ radon trong khí quyển của phòng thử nghiệm. Nên quan trắc liên tục nồng độ hoạt độ ^{222}Rn trong phòng thử nghiệm bằng cách sử dụng thiết bị đo radon, vì ngay cả trong các phòng thoáng gió cũng có thể có biến đổi đáng kể trong các điều kiện thời tiết đặc biệt (xem TCVN 10759-1 (ISO 11665-1)^[1] và TCVN 10759-5 (ISO 11665-5)^[2]).

Không khí phải được làm mới liên tục qua hệ thống điều hòa không khí để duy trì ổn định nhiệt độ và độ ẩm tương đối.

Tường của phòng thử nghiệm phải được sơn bằng vật liệu phù hợp để hạn chế phát ra radon từ vật liệu vào trong các bức tường (ví dụ: sơn epoxy) (xem Tài liệu tham khảo [6]). Có thể đặt detector trong hộp chứa đầy khí không có radon (ví dụ N_2 , không khí đi qua một bộ lọc than hoạt tính dạng hạt) để ngăn ngừa mọi sự tích tụ radon trong vùng lân cận của detector.

Khi nghi ngờ sự có mặt của ^{226}Ra , tiến hành đo lần hai của cùng một mẫu sau một khoảng thời gian bằng 10 lần giá trị chu kỳ bán rã của ^{222}Rn (38 ngày). Nếu nồng độ hoạt độ của radon là không khác đáng kể so với kết quả đo ban đầu thì có thể bỏ qua sự đóng góp của ^{226}Ra . Nếu không phải vậy, cần xác định nồng độ hoạt độ của ^{226}Ra trong mẫu nước.

9.3 Kiểm định thiết bị

Các thông số thiết bị chính (hiệu chuẩn năng lượng, hiệu chuẩn hiệu suất theo hàm của năng lượng, và phổ phòng nền) phải được kiểm tra định kỳ trong chương trình đảm bảo chất lượng được phòng thử nghiệm thiết lập và theo hướng dẫn của nhà sản xuất (xem TCVN 7175 (ISO 10703)).

9.4 Kiểm định phương pháp

Kiểm tra định kỳ độ chính xác của phương pháp bằng cách:

- Tham gia thực hiện liên phòng thử nghiệm;
- Phân tích các mẫu chuẩn.

Phương pháp lặp lại cũng cần được kiểm tra, ví dụ bằng các phép đo lặp.

Cần xác định các giới hạn chấp nhận của các phép thử được đề cập trong phần trước đó.

9.5 Chứng minh năng lực của người phân tích

Nếu trước đây người phân tích chưa từng sử dụng quy trình này, thì phép thử độ chệch và độ chụm phải được thực hiện bằng việc lặp lại các phép thử của chất chuẩn hoặc chất thêm chuẩn. Các giới hạn chấp nhận cho các kết quả thử phải được phòng thử nghiệm xác định.

Người phân tích phải thực hiện các phép thử tương tự hàng ngày bằng quy trình này với việc xác định định kỳ bởi phòng thử nghiệm. Phải xác định các giới hạn chấp nhận đối với các kết quả thử.

10 Biểu thị kết quả

10.1 Nồng độ hoạt độ

Nồng độ hoạt độ của radon trong nước, c_A , biểu thị theo ngày và thời gian lấy mẫu có thể tính được bằng Công thức (1):

$$c_A = \frac{n_{N,E} / t_g}{P_E \varepsilon_E V_{H_2O} f_d} = \frac{n_{g,E} - n_{b,E}}{P_E \varepsilon_E V_{H_2O} f_d t_g} = (n_{g,E} - n_{b,E}) \frac{\omega}{t_g} \quad (1)$$

Trong đó:

$$\omega = \frac{1}{P_E \varepsilon_E V_{H_2O} f_d} \quad (2)$$

Hiệu suất năng lượng, E , phải được tính bằng:

$$\varepsilon_E = \frac{n_{Ns,E} / t_s}{P_E A} = \frac{n_{gs,E} - n_{bs,E}}{P_E A t_s} \quad (3)$$

Do chu kỳ bán rã của radon, hoạt độ riêng phải được hiệu chỉnh bằng f_d có tính đến:

- Sự phân rã hoạt độ phóng xạ của nuclid phóng xạ được đo (^{214}Bi hoặc ^{214}Pb) trong thời gian đếm.
- Sự phân rã hoạt độ phóng xạ của radon-222 trong khoảng thời gian giữa thời gian chuẩn, $t = 0$, và các thời gian đo, $t = t_i$.

Sử dụng Công thức (4) để tính f_d :

$$f_d^{-1} = \exp(\lambda_{222_{\text{Ra}}} t_i) \left[\frac{\lambda_i t_g}{1 - \exp(-\lambda_i t_g)} \right] \quad (4)$$

10.2 Độ không đảm bảo chuẩn của nồng độ hoạt độ

Theo TCVN 9595-3 (ISO/IEC 98-3⁽⁴⁾), độ không đảm bảo chuẩn của c_A được tính theo Công thức (5):

$$u(c_A) = \sqrt{\left(\frac{\omega}{t_g}\right)^2 \left[u^2(n_{g,E}) + u^2(n_{b,E}) \right] + (c_A)^2 u_{\text{rel}}^2(\omega)} \quad (5)$$

Trong đó độ không đảm bảo chuẩn của thời gian đếm được bỏ qua và độ không đảm bảo chuẩn tương đối của ω được tính bằng:

$$u_{\text{rel}}^2(\omega) = u_{\text{rel}}^2(P_E) + u_{\text{rel}}^2(V_{H_2O}) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_E)$$

Có tính đến Công thức (3), độ không đảm bảo chuẩn tương đối của ε_E được tính bằng:

$$u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_E) = u_{\text{rel}}^2(n_{Ns,E}) + u_{\text{rel}}^2(A) + u_{\text{rel}}^2(P_E) = u_{\text{rel}}^2(n_{gs,E} - n_{bs,E}) + u_{\text{rel}}^2(A) + u_{\text{rel}}^2(P_E) \quad (6)$$

Trong đó $u_{\text{rel}}(A)$ bao gồm cả độ không đảm bảo liên quan đến nguồn hiệu chuẩn: chứng nhận hiệu chuẩn của dung dịch tiêu chuẩn và chuẩn bị nguồn hiệu chuẩn và sự bổ sung nguồn hiệu chuẩn này.

Việc tính các giới hạn đặc tính theo ISO 11929^[3] yêu cầu công thức tính cho $\tilde{u}(\tilde{c}_A)$, nghĩa là độ không đảm bảo chuẩn của c_A là một hàm giá trị thực của nó.

Đối với một giá trị thực \tilde{c}_A , có thể giả định rằng:

$$\frac{n_{b,E}}{t_g} = \frac{\tilde{c}_A}{\omega} + \frac{n_{b,E}}{t_g}$$

và thu được $u^2(n_g) = n_g$ bằng:

$$\tilde{u}(\tilde{c}_A) = \sqrt{\omega^2 \left[\frac{(\tilde{c}_A / \omega + n_{b,E} / t_g)}{t_g} + \frac{u^2(n_{b,E})}{t_g^2} \right] + (\tilde{c}_A)^2 u_{rel}^2(\omega)} \quad (7)$$

10.3 Ngưỡng quyết định

Như đã quy định trong ISO 11929^[3] ngưỡng quyết định, c_A^* tính được từ Công thức (7) đối với $\tilde{c}_A = 0$ được tính như sau:

$$c_A^* = k_{1-\alpha} \tilde{u}(0) = k_{1-\alpha} \left(\frac{\omega}{t_g} \right) \sqrt{n_{b,E} + u^2(n_{b,E})} \quad (8)$$

$\alpha = 0,05$ trong đó $k_{1-\alpha} = 1,65$ thường được giả định mặc định.

10.4 Giới hạn phát hiện

Như đã quy định trong ISO 11929^[3], giới hạn phát hiện $c_A^{\#}$ được tính bằng:

$$c_A^{\#} = c_A^* + k_{1-\beta} \tilde{u}(c_A^{\#})$$

$$c_A^{\#} = c_A^* + k_{1-\beta} \sqrt{\omega^2 \left[\left(\frac{c_A^{\#}}{\omega} + \frac{n_{b,E}}{t_g} \right) / t_g + \frac{u^2(n_{b,E})}{t_g^2} \right] + (c_A^{\#})^2 u_{rel}^2(\omega)} \quad (9)$$

$\beta = 0,05$ trong đó $k_{1-\beta} = 1,65$ thường được giả định mặc định.

Giới hạn phát hiện có thể được tính bằng cách giải Công thức (9) cho $c_A^{\#}$ hoặc, đơn giản hơn, bằng cách tính lặp lại bắt đầu với giá trị xấp xỉ $c_A^{\#} = 2c_A^*$.

Lấy $\alpha = \beta$ cho $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k$ và giải Công thức (9) bằng cách tính Công thức (10):

$$c_A^{\#} = \frac{2c_A^* + (k^2 \omega) / t_g}{1 - k^2 u_{rel}^2(\omega)} \quad (10)$$

10.5 Giới hạn tin cậy

Giới hạn tin cậy dưới, $c_A^<$ và trên $c_A^>$ được tính bằng Công thức (11) và Công thức (12) (xem ISO 11929^[3]):

$$c_A^< = c_A - k_p u(c_A) \text{ với } p = \omega \left(1 - \frac{\gamma}{2}\right) \quad (11)$$

$$c_A^> = c_A + k_q u(c_A) \text{ với } q = 1 - \frac{\omega\gamma}{2} \quad (12)$$

Trong đó:

$\omega = \Phi[y/u(y)]$ trong đó Φ là hàm phân bố của phân bố chuẩn tắc;

$1 - \gamma$ là xác suất đối với khoảng tin cậy của giá trị đo;

ω có thể giả định là 1 nếu $c_A \geq 4u(c_A)$.

Trong trường hợp:

$$c_A^{\infty} = c_A \pm k_{1-\gamma/2} u(c_A) \quad (13)$$

$\gamma = 0,05$ với $k_{1-\gamma/2} = 1,96$ thường được chọn mặc định.

11 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo thử nghiệm phải phù hợp với TCVN ISO/IEC 17025 và phải bao gồm ít nhất các thông tin sau:

- Phương pháp thử được sử dụng, viện dẫn tiêu chuẩn này (TCVN 12260-2:2018 (ISO 13164-2:2013));
- Nhận dạng mẫu;
- Ngày và giờ đo;
- Đơn vị biểu thị các kết quả;
- Kết quả thử, $c_A \pm u(c_A)$ hoặc $c_A \pm U$, với giá trị k liên quan.

Thông tin bổ sung có thể được cung cấp như sau:

- Ngày và giờ lấy mẫu;
- Vị trí lấy mẫu;
- Xác suất α, β và $(1 - \gamma)$;
- Ngưỡng quyết định và giới hạn phát hiện – Tùy thuộc vào yêu cầu của khách hàng, có nhiều cách khác nhau để biểu thị kết quả:
 - Khi so sánh nồng độ hoạt độ với ngưỡng quyết định (xem ISO 11929^[3]), kết quả của phép đo phải được biểu thị bằng $\leq c_A^*$ nếu kết quả nằm dưới ngưỡng quyết định;

– Khi so sánh nồng độ hoạt độ với giới hạn phát hiện, kết quả của phép đo có thể được biểu thị bằng $\leq c_A^{\#}$ nếu kết quả nằm dưới giới hạn phát hiện – Nếu giới hạn phát hiện vượt quá giá trị hướng dẫn thì phải ghi vào hồ sơ rằng phương pháp là không phù hợp với mục đích phép đo;

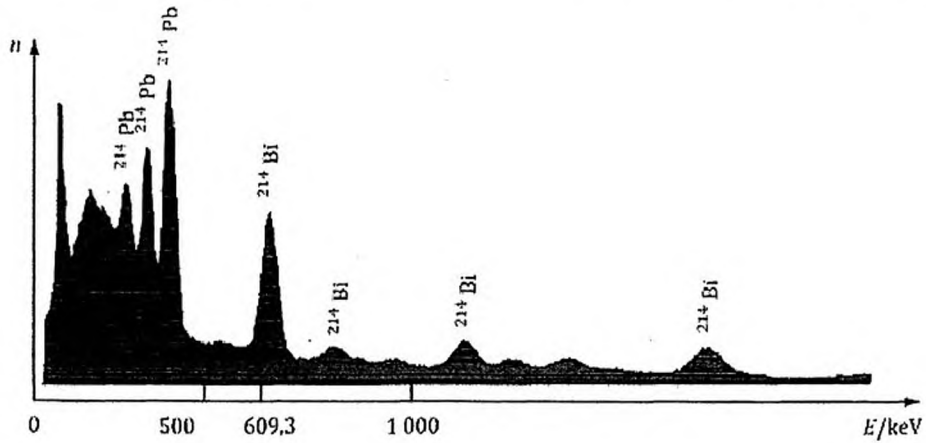
a) Nồng độ hoạt độ của ^{226}Ra , nếu phát hiện có trong mẫu nước;

b) Đề cập tới mọi thông tin liên có ảnh hưởng đến kết quả.

Các kết quả được biểu thị theo biểu mẫu tương tự như trong TCVN 12260-1 (ISO 13164-1) (xem Phụ lục B).

Phụ lục A
(Tham khảo)
Phổ mẫu

Các ví dụ của phổ được nêu trong Hình A.1 (detector natri iodua) và Hình A.2 (detector gecmani).

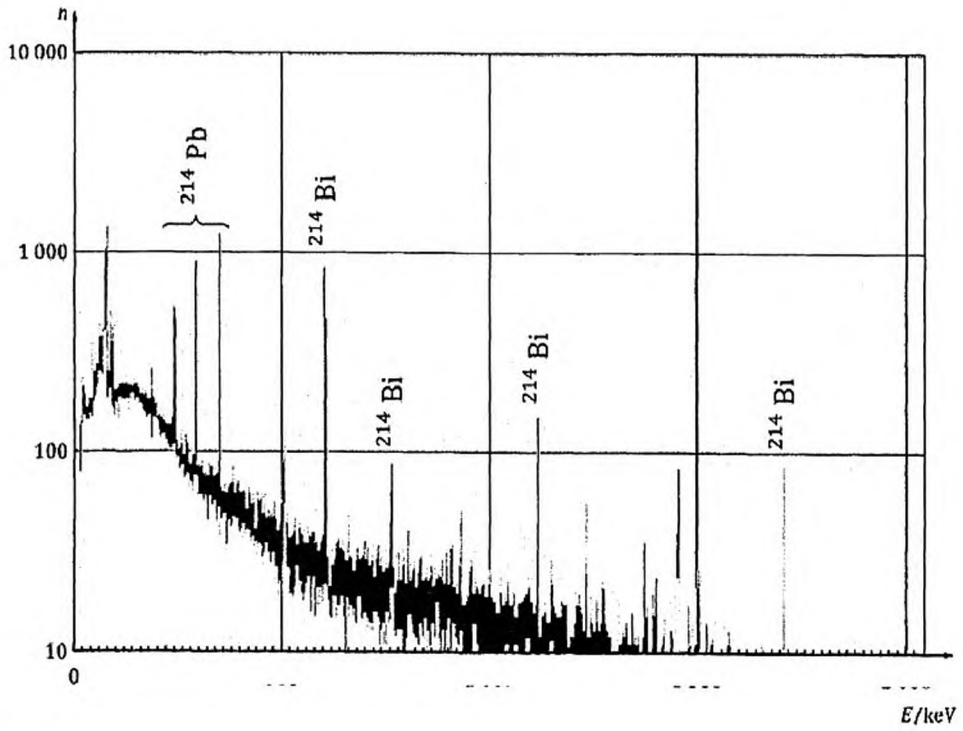


CHÚ DẪN:

n Số đếm

E Năng lượng

Hình A.1 – Phổ với detector natri iodua

**CHÚ DẪN:** n Số đếm E Năng lượng

Hình A.1 – Phổ với detector gecmani

Phụ lục B

(Tham khảo)

Độ chính xác của mẫu và dữ liệu độ chụm

Xem Bảng B.1

Bảng B.1 – Ví dụ về các giới hạn đặc tính đối với các thực hành khác nhau

Kiểu detector	Thể tích mẫu	Thời gian đếm	Ngưỡng quyết định	Giới hạn phát hiện
	L	s	Bq L ⁻¹	Bq L ⁻¹
Nal	1	3600	5	10
Ge	0,5	43200	5	10

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] TCVN 10759-1 (ISO 11665-1), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường – Không khí: radon-222 – Phần 1: Nguồn gốc, các sản phẩm phân rã sống ngắn và các phương pháp đo.*
 - [2] TCVN 10759-5 (ISO 11665-5), *Đo hoạt độ phóng xạ trong môi trường – Không khí: radon-222 – Phần 5: Phương pháp đo liên tục để xác định nồng độ hoạt độ.*
 - [3] ISO 11929, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application*
 - [4] TCVN 9595-3:2013 (ISO/IEC GUIDE 98-3:2008), *Độ không đảm bảo của phép đo – Phần 3: Hướng dẫn trình bày độ không đảm bảo đo (GUM:1995).*
 - [5] *Table of radionuclides.* Nuclear database. Decay Data Evaluation Project. http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm.
 - [6] Quanlu G., Hengde W. Sources and protection measures for indoor radon. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 1998, **76** pp. 261–266.
 - [7] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. *Sources and effects of ionizing radiation*, 2 Vols. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with scientific annexes. New York, NY: United Nations, 2010.
 - [8] WHO *Guidelines for drinking-water quality*, 3rd edition. Geneva: World Health Organization, 2008. Available (viewed 2013-03-06) at: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/.
-