

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
61468

2000

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1
2003-06

Amendement 1

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation en-coeur –
Caractéristiques et méthodes
d'essais des collecteurs**

ITC STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Amendment 1

[IEC 61468:2000/AMD1:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3f5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3f5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003>

**Nuclear power plants –
In-core instrumentation –
Characteristics and test methods
of self-powered neutron detectors**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/485/FDIS	45A/489/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cet amendement.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant 2004. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

Page 2

SOMMAIRE

[IEC 61468:2000/AMD1:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3b5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003)
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3b5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003>

Ajouter, à la page 4, le titre de l'Annexe B comme suit:

Etat de l'art relatif aux collectrons dans les réacteurs de conception russe (VVER et RBMK)

Page 56

Ajouter, après l'Annexe A, le texte de l'Annexe B comme suit:

Annexe B (informative)

Etat de l'art relatif aux collectrons dans les réacteurs de conception russe (VVER et RBMK)

B.1 Champs d'application

La présente annexe s'inspire du développement, de la fabrication et de l'utilisation des collectrons dans les réacteurs électronucléaires russes. Le collectron est étudié en tant que dispositif électrotechnique de mesure et de surveillance. Les exigences concernant les caractéristiques électriques des collectrons s'entendent pour un schéma de circuit type. Cette approche justifie l'utilisation des collectrons aux températures élevées qui caractérisent l'environnement en-coeur d'un réacteur de puissance.

FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this amendment is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45A/485/FDIS	45A/489/RVD

Full information on the voting for the approval of this amendment can be found in the report on voting indicated in the above table.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until 2004. At this date the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

Page 3

CONTENTS <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3b5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003>

Add, on page 5, the title of Annex B as follows :

State of the art of SPNDs on Russian designed reactors (VVER and RBMK)

Page 57

Add, after Annex A, the text of Annex B as follows :

Annex B (informative)

State of the art of SPNDs on Russian designed reactors (VVER and RBMK)

B.1 Scope

This annex is based on the development, manufacture and use of SPNDs in Russian power reactors. The SPND is examined as an electromechanical device intended for measurement and monitoring purposes. Requirements of electrical characteristics are given on the basis of a typical SPND circuit diagram. This approach substantiates the use of SPNDs at high temperatures typical of the in-core environment in power reactors.

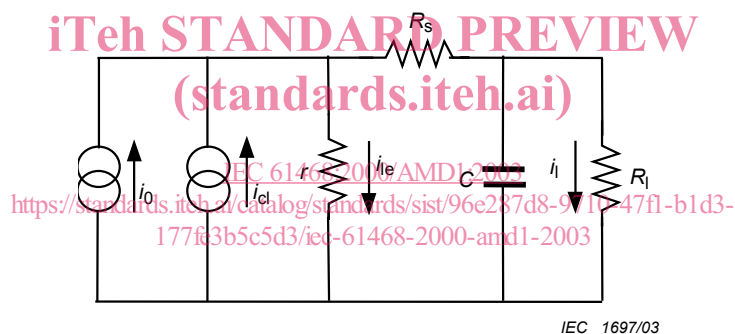
Une équation décrivant le courant du collectron a été mise au point afin de déterminer le flux neutronique dans les collectrons à activation, sans retard au niveau du temps de réponse. L'utilisation de collectrons rhodium pour les mesures ou pour le contrôle automatique et la protection permet une simplification importante du système de mesure, tout en améliorant sa précision.

La partie traitant des caractéristiques du collectron a été enrichie. Lors du calcul de l'épuisement, il est possible de montrer que la prise en compte de la dépression du flux neutronique dans l'émetteur permet de réduire l'épuisement d'un facteur de 1,5 à 2. Un critère représentant la valeur maximale d'erreur de mesure admissible a été incorporé au calcul de durée de vie.

Figure également une partie traitant des "erreurs de mesure". Le collectron étant un appareil de mesure et de surveillance, il est souhaitable de réduire les erreurs de mesure au minimum.

Cette annexe comporte un ensemble de recommandations concernant la conception, les essais, l'étalonnage et l'application, ceci afin de permettre à l'utilisateur d'optimiser les caractéristiques métrologiques et opérationnelles du collectron. Des plans d'ensembles collectron utilisés en Russie sont fournis pour des réacteurs de type VVER et RBMK.

B.2 Mécanismes de génération de signaux des détecteurs de collectron



- r résistance d'isolement du collectron
- R_s résistance série de l'âme du collectron et du câble de transmission du signal vers l'appareil de mesure
- R_l résistance de charge (appareil de mesure)
- C capacité totale du collectron et du câble de transmission du signal vers l'appareil de mesure
- i_0 courant primaire de l'émetteur
- i_l courant de charge (appareil de mesure)
- i_{cl} courant du câble de transmission du signal collectron
- i_{ie} courant de fuite

Figure B.1 – Représentation du circuit typique d'un détecteur collectron

Le signal utile du collectron, dont le schéma de principe est représenté par la Figure B.1, est obtenu par l'application de l'équation suivante:

$$i_l = (i_0 + i_{cl}) \times r / (r + R_s + R_l)$$

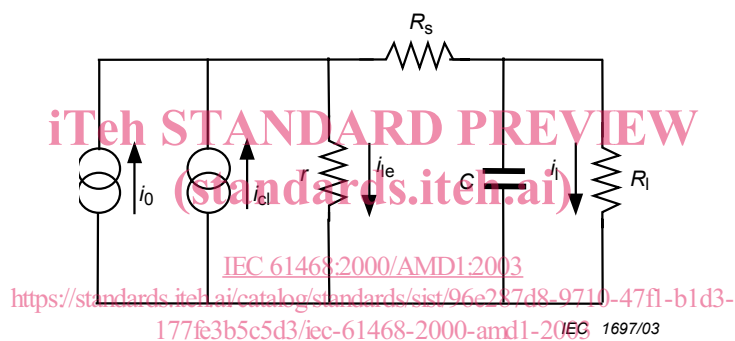
An equation of SPND current has been developed to demonstrate neutron flux monitoring for activation type SPNDs without a delay in response time. The use of activation type rhodium SPNDs either for measurement or for automatic control and protection can substantially simplify the measurement system and provide improved accuracy.

The section of SPND characteristics is complemented. During determination of burn-up, it can be shown that taking into account the depression of neutron flux in the emitter reduces the burn-up by factors of 1,5 to 2. The criterion of maximum permissible value of measurement error is introduced during determination of service life.

A section covering "measurement errors" is also presented as SPND detectors are used for measurement and monitoring so that the minimization of measurement error is desirable.

Recommendations on design, tests, calibration and application are provided for the user to optimize the metrological and operational SPND characteristics. Designs of assemblies being used in Russia are shown for both VVER and RBMK type power reactors.

B.2 Mechanisms of signal generation by SPND detectors



- r SPND insulation resistance
- R_s in-series resistance of SPND lead wires and signal wire from SPND to measuring device
- R_l load resistance (measuring device)
- C total capacity of SPND detector and signal wire to measuring device
- i_0 emitter's primary current
- i_l load current (measuring device)
- i_{cl} current of SPND signal wire
- i_{le} leak current

Figure B.1 – Circuit representation of a typical SPND detector

The useful signal of the SPND which diagram principle is presented in Figure B.1 is obtained using the following equation

$$i_l = (i_0 + i_{cl}) \times r / (r + R_s + R_l)$$

Il existe différents types de collectrons:

a) Les collectrons de type Compton

Ces collectrons exploitent la présence des électrons Compton et des photoélectrons créés lors de l'interaction du quantum gamma de la capture radioactive avec les matériaux de l'émetteur. Si l'on considère le processus de génération du courant, les collectrons Compton n'entraînent pas de retard du temps de réponse par rapport à la densité du flux neutronique.

b) Les collectrons à activation

Le processus de génération du courant dans les collectrons à activation est défini par la capture radioactive avec formation puis désintégration d'un nucléide bêta. Le courant ainsi généré est l'une des composantes d'activation du courant produit par un collectron à activation (i_{act}).

Les électrons Compton et les photoélectrons créent dans les collectrons à activation la composante Compton (instantanée) du courant ($i_{n\gamma}$). Typiquement, cette composante correspond à environ 5 % à 10 % du courant bêta. L'équation définissant le courant induit (i_n) créé par les neutrons dans le détecteur du collectron à rhodium est la suivante:

$$i_n + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{di_n}{dt} + \frac{1}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{d^2 i_n}{dt^2} = \eta_n \varphi + \left[\frac{\eta_{n\gamma} (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \times \lambda_2} + \frac{\eta_{1a}}{\lambda_2} \right] \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\eta_{n\gamma}}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

où

φ est la densité du flux neutronique à l'emplacement du détecteur ($m^{-2} \cdot s^{-1}$);

η_n est la sensibilité aux neutrons du détecteur ($A \cdot m^2 \cdot s$);

$\eta_{n\gamma}$ est la composante instantanée de la sensibilité aux neutrons ($A \cdot m^2 \cdot s$);

η_{1a} est la composante d'activation de la sensibilité aux neutrons déterminée par la génération directe de Rh_{104} ($A \cdot m^2 \cdot s$);

λ_1 est la constante de désintégration du nucléide Rh_{104} (s^{-1});

λ_2 est la constante de désintégration du nucléide Rh_{104m} (s^{-1});

$\lambda = 0,693/T_{1/2}$;

$T_{1/2}$ est la période ou la demi-vie du nucléide;

t est le temps.

Les équations mises au point pour les collectrons à rhodium permettent de déterminer la densité du flux neutronique quasiment sans retard du temps de réponse. Dans les faits, on utilise à la fois des méthodes de résolution analogiques et numériques.

B.3 Principales caractéristiques du collectron

Les principales caractéristiques du collectron sont les suivantes.

a) Réponse neutronique du collectron

Elle peut être exprimée par l'équation suivante:

$$\eta = e \times f \times N \times \sigma$$

où

e est la charge de l'électron;

f est un coefficient permettant d'intégrer la perturbation du flux neutronique par le détecteur, l'absorption des β , les électrons Compton et les photoélectrons dans les matériaux de l'émetteur et de l'isolant, l'absorption des γ provoqués par la capture radioactive dans les matériaux de l'émetteur et de l'isolant; cette valeur correspond à une fraction des neutrons contribuant au courant du collectron résultant de l'interaction avec le matériau de l'émetteur;

The types of SPNDs are:

a) Compton-type SPNDs

These detectors make use of Compton and photo-electrons born during interaction of gamma-quanta of radiation capture with emitter's material. The current of Compton-type SPND detectors has no delay in response time in respect to the neutron flux density, if we consider the basic current generation process.

b) Activation-type SPNDs

The basic current generation process in activation-type SPNDs is defined by radiation capture with formation and subsequent disintegration of a beta-nuclide. The current that is generated due to this process is an activation component of the activation-type SPND current (i_{act}).

Compton and photo-electrons create in activation SPNDs the Compton (prompt) component of the activation SPND current ($i_{n\gamma}$). Usually it represents about 5 % to 10 % of the beta-particles current. The equation of Rh-SPND detector's neutron induced current (i_n) is as follows:

$$i_n + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{di_n}{dt} + \frac{1}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{d^2 i_n}{dt^2} = \eta_n \varphi + \left[\frac{\eta_{n\gamma} (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \times \lambda_2} + \frac{\eta_{1a}}{\lambda_2} \right] \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\eta_{n\gamma}}{\lambda_1 \times \lambda_2} \times \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

where

φ is the neutron flux density in the detector's location place ($m^{-2} \cdot s^{-1}$);

η_n is the detector's neutron sensitivity ($A \cdot m^2 \cdot s$);

$\eta_{n\gamma}$ is the prompt component of neutron sensitivity ($A \cdot m^2 \cdot s$);

η_{1a} is the activation component of neutron sensitivity determined by Rh₁₀₄ direct generation ($A \cdot m^2 \cdot s$);

λ_1 is the Rh¹⁰⁴ nuclide disintegration constant (s^{-1});

λ_2 is the Rh^{104m} nuclide disintegration constant (s^{-1});

$\lambda = 0,693/T_{1/2}$;

$T_{1/2}$ is the nuclide's half-life;

t is the time

Equations developed for Rh-SPND make possible determination of neutron flux density virtually without delay in response time. In practice, both analog and digital methods of solving the equations are used.

B.3 SPND main characteristics

The main SPND characteristics are the following.

a) SPND neutron response

It can be represented by the following equation:

$$\eta = e \times f \times N \times \sigma$$

where

e is the electron charge;

f is a coefficient which takes into account perturbation of the neutron flux by the detector, absorption of β -particles, Compton and photoelectrons in emitter's and insulator's material, absorption of γ which is the quanta of radiation captured in the emitter's and insulator's material; it is equal to a fraction of the neutrons contributing to the SPND current as a result of interaction with the emitter's material;

N est le nombre d'atomes de l'élément sensible aux neutrons par unité de volume de l'émetteur;

σ est la section de capture radioactive.

b) Modification de la réponse du collectron (épuiement)

On peut exprimer le taux de réduction du nombre de noyaux de l'émetteur à la suite d'une réaction nucléaire de la manière suivante:

$$dN/dt = f_n \times N \times \sigma \times \varphi$$

où f_n est le coefficient traduisant la perturbation du flux neutronique par le détecteur.

La variation de réponse est fonction de la charge électrique (q) générée par le collectron: $d\eta/dq = f_n \times \sigma$. Il est pratique d'utiliser le taux de variation de la réponse comme valeur initiale de la réponse: $B = d\eta / (\eta_0 dq)$.

c) La reproductibilité de la réponse initiale (δ_0)

Elle correspond à l'écart de la réponse ($\Delta\eta_0$) par rapport à la valeur nominale sur la valeur nominale de réponse:

$$\delta_0 = \Delta\eta_0 / \eta_0$$

d) Réponse-gamma (η_γ)

C'est le courant généré par le collectron dans un champ gamma à un débit de dose unitaire:

$$\eta_\gamma = i_\gamma / P$$

où P est le débit de dose.

e) Courant du câble de transmission

C'est le courant généré suite à l'interaction du rayonnement ionisant du réacteur avec le câble de transmission. Les courants produits dans le câble comprennent les composantes liées aux neutrons, aux électrons et rayonnements gamma

f) Retard du temps de réponse

Des techniques de mesure ont été mises au point avec des collectrons à activation afin de mesurer la densité du flux neutronique sans retard du temps de réponse.

g) Résistance d'isolement

- Il n'existe aucun lien direct entre la résistance d'isolement du collectron dans des conditions climatiques normales (20 °C) et dans les conditions d'exploitation. Il convient que la valeur de la résistance d'isolement soit fournie par le fabricant, et sa vérification sert de preuve que le collectron a passé avec succès toutes les étapes du procédé de fabrication. Il convient que la valeur recommandée à 20 °C (y compris dans les assemblages) ne soit pas inférieure à $10^9 \Omega$.
- La résistance d'isolement du collectron dans les conditions d'exploitation est déterminée en fonction de la valeur admissible du courant de fuite, par l'équation:

$$i_{le} = i_l \times (R_s + R_l) / r$$

Il convient que la résistance d'isolement recommandée ne soit pas être inférieure à $10^5 \Omega$, soit $i_{le}/i_l \leq 0,1 \%$. La valeur limite est susceptible de changer en cas d'une modification de la valeur admissible du courant de fuite.

h) Durée de vie du collectron

Elle est déterminée essentiellement par deux facteurs prépondérants:

- la dégradation des composants du collectron;
- une augmentation de l'erreur de mesure au-delà de la marge d'erreur admissible. Il convient que l'erreur fractionnée maximale recommandée (voir Article B.4) soit inférieure à $\delta f_n = \pm 6 \%$ (l'erreur quadratique moyenne la plus importante, $\sigma = \pm 2 \%$).

N is the number of atoms of neutron sensitive element in a unit of emitter's volume,
 σ is the radiation capture cross-section.

b) Change of SPND response (burn-up)

The rate of reduction of a number of emitter's nuclei as a result of nuclear reaction can be shown as

$$dN/dt = f_n \times N \times \sigma \times \varphi$$

where f_n is the coefficient which takes into account perturbation of the neutron flux by the detector.

The variation of response is a function of the electrical charge (q) produced by the SPND: $d\eta/dq = f_n \times \sigma$. It is convenient to use the rate of response variation referred to as the original response value $B = d\eta/(\eta_0 dq)$.

c) Reproducibility of initial response (δ_0)

This is the deviation of response ($\Delta\eta_0$) from the nominal value referred to the nominal value of response :

$$\delta_0 = \Delta\eta_0 / \eta_0$$

d) Gamma-response (η_V)

This is the current generated by the SPND in the gamma field at unit dose rate

$$\eta_V = i_V / P$$

where P is the dose rate.

e) Current of the signal wire (standards.iteh.ai)

This is the current generated as a result of the interaction of reactor ionizing radiation with the SPND signal wire. Signal wire currents include neutron, electron and gamma constituents. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/96e287d8-9710-47f1-b1d3-177fe3b5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003>

f) Delay in response time 177fe3b5c5d3/iec-61468-2000-amd1-2003

Measurement techniques have been developed using activation type SPNDs that ensure measurement of neutron flux density without a delay in response time.

g) Insulation resistance

- There is no unequivocal link between SPND insulation resistance in normal climatic conditions (20 °C) and in operating conditions. The value of insulation resistance should be given by the manufacturer, and its fulfillment serves as an evidence that the detector has successfully passed all process procedures during manufacture. The recommended value at 20 °C (including that within assemblies) should be no less $10^9 \Omega$.
- SPND insulation resistance in operation conditions is determined on the basis of the admissible value of leakage current in equation

$$i_{le} = i_l \times (R_s + R_l) / r$$

The recommended insulation resistance should be no less than $10^5 \Omega$, which means $i_{le}/i_l \leq 0,1 \%$. The limit value can be changed in case of change of the permissible value of leakage current.

h) SPND service life

It is determined mainly by two factors:

- degradation of SPND components;
- increase of the measurement error above the permissible level. The recommended maximum fractional error (see Clause B.4) should be below $\delta'_n = \pm 6 \%$ (RMS, the highest probable error, $\sigma = \pm 2 \%$).

B.4 Erreurs de mesure

L'erreur maximale partielle relative à la détermination du courant induit par le flux neutronique (δi_n) dans le collectron est la suivante:

$$\delta i_n = \delta_0 + \delta \eta_t + \delta i_\gamma + \delta i_{cl} + \delta i_e + \delta_d$$

où

δ_d est l'erreur de l'instrument de mesure;

δ_0 est l'erreur déterminée par la dispersion de la réponse initiale du collectron.

Il convient que la technologie spécifique employée pour la fabrication et la conception du collectron garantisse la reproductibilité de la réponse initiale aux limites de précision prédéterminées pour l'application concernée. Dans les cas où les procédés de fabrication ne permettent pas de garantir la reproductibilité de la réponse initiale, il peut s'avérer nécessaire de fournir une mesure d'étalonnage pour un lot de fabrication de collectrons. Il est recommandé de trier les détecteurs, en retenant uniquement ceux qui sont conformes aux exigences de la spécification technique applicable, selon les résultats de l'étalonnage du lot de fabrication de détecteurs, tout en tenant compte de la déviation autorisée de la réponse par rapport à la valeur standard choisie. La variation maximale recommandée de la réponse pour les détecteurs d'un lot donné est de: $\delta_0 = \pm 1 \%$ ($\sigma = \pm 0,33 \%$).

Il existe plusieurs erreurs de mesure:

- a) Erreur de détermination de la réponse réelle du collectron ($\delta \eta_t$)

Elle est déterminée par la précision des corrections intégrées relatives à l'épuisement ou aux erreurs de calibration du collectron en cours d'exploitation.

L'erreur de détermination de la réponse réelle du collectron ($\delta \eta_t$) est déterminée comme suit:

$$\delta \eta_t = \frac{(\delta_B + \delta_Q) \times B \times Q}{100 - B \times Q}$$

où

$Q = \int_0^t i_n dt$ est la somme des charges électriques générées par le collectron;

B est la variation de réponse suite à l'épuisement par rapport à une charge électrique unitaire générée par un collectron lors de l'interaction des neutrons avec le matériau de l'émetteur;

δ_B et δ_Q sont les erreurs partielles liées à la détermination de B et Q .

La valeur maximale recommandée est de $\delta \eta_t = \pm 1 \%$ par année de fonctionnement du collectron ($\sigma = \pm 0,33 \%$).

La valeur de δ_Q a tendance à augmenter en même temps que l'accroissement de l'erreur de définition du courant induit par les neutrons du collectron. La valeur de δ_B dépend de la reproductibilité des paramètres déterminant la dispersion des caractéristiques de la réponse initiale (diamètre et longueur de l'émetteur, épaisseur et densité de l'isolant). Lorsque la technologie de fabrication utilisée ne garantit pas la reproductibilité des dimensions géométriques du collectron, l'étalonnage neutronique post-fabrication permet de déterminer la réponse neutronique initiale d'un lot de collectrons.

Lorsque des méthodes de calibration du collectron en service sont appliquées, la valeur maximale recommandée est la suivante: $\delta \eta_t = \pm 6 \%$ ($\sigma = \pm 2 \%$).

B.4 Measurement errors

Maximum fractional error of determining neutron induced current (δi_n) by SPND is as follows:

$$\delta i_n = \delta_0 + \delta \eta_t + \delta i_\gamma + \delta i_{cl} + \delta i_e + \delta_d$$

where

δ_d is the error of measuring instrument;

δ_0 is the error determined by scattering of SPND initial response.

The specific SPND design and fabrication technology should ensure reproducibility of the initial response within preset accuracy limits set for the particular application. In cases where it is not possible to ensure the reproducibility of the response required due to the manufacturing process, it may be necessary to provide a calibration measurement of a production lot of SPNDs. Based on the results of the calibration of the production lot of SPNDs, a selection process should be carried out for detectors which correspond to the requirements of the applicable technical specification with respect to the allowed deviation of response from the value accepted as a standard. The recommended maximum variation of response for detectors in a specific lot is $\delta_0 = \pm 1\%$ ($\sigma = \pm 0,33\%$).

Different types of errors can occur:

- a) Error for determination of SPND actual response ($\delta \eta_t$)

It is determined by the accuracy of entering corrections on the burn-up or error of the SPND in-service calibration. (standards.iteh.ai)

Error of determination of SPND actual response ($\delta \eta_t$) is determined as follows:

$$\delta \eta_t = \frac{(\delta_B + \delta_Q) \times B \times Q}{100 - B \times Q}$$

IEC 61468:2000/AMD1:2003
https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec-61468-2000/amd1-2003

where

$Q = \int_0^t i_n dt$ is the sum of the electrical charges generated by an SPND;

B is the change of response due to burn-up in respect to a unit of electrical charge generated by an SPND due to interaction of the emitter's material with neutrons;

δ_B and δ_Q are the fractional errors of determining B and Q .

The recommended maximum value is $\delta \eta_t = \pm 1\%$ per year of SPND operation ($\sigma = \pm 0,33\%$).

The value of δ_Q tends to grow with the increase of error of definition of SPND current induced by neutrons. The value of δ_B depends on the reproducibility of the SPND parameters determining the scattering of the initial response characteristics (emitter's diameter and length, thickness and density of insulation). When manufacturing technology is used which does not ensure reproducibility of SPND geometrical dimensions, neutron calibration may be used following fabrication to determine the initial neutron response of a lot of SPNDs.

When in-service methods of SPND calibration are used, the following is the recommended maximum value: $\delta \eta_t = \pm 6\%$ ($\sigma = \pm 2\%$).