



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46133 (13) C2
(51) G 01 T 3/00, H 01 J 47/00, H 01 J 47/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) БЛОК ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ НЕЙТРОНІВ

1

2

(21) 99052956

(22) 27 05 1999

(24) 15 05 2002

(31) 98118479

(32) 12 10 1998

(33) RU

(46) 15 05 2002, Бюл. № 5, 2002 р

(72) Чукляев Сергей Васильевич, RU, Пельолишев
Юрий Николаевич, RU, Артемьев Валерий Ана-
тольевич, RU

(73) Научно-исследовательский институт технологи-
материалов, RU, Чукляев Сергей Васильевич, RU,
Пельолишев Юрий Николаевич, RU, Артемьев
Валерий Анатольевич, RU

(56) 1 RU 2084000 C1, МПК G 01 T 3/00,
10 07 1997

2 RU 2089926 C1, МПК G 01 T 3/00, 10 09 1997

3 GB 1 133 780 A, МПК G 01 T 3/00, 20 11 1968

4 US 4071764 A, МПК G 01 T 3/00, 31 01 1978

5 US 5192490, МПК G 01 T 3/00, 09 03 1993

(57) 1 Блок детекторов для измерения потока
нейтронов, який має два нейтроночутливих об'єми,
перший з яких містить нуклід, який випускає за-
ряджені частинки при реакції з нейтронами, та
електрично ізольований сигнальний електрод,
призначений для з'єднання лінією електричного
зв'язку з входом тракту вимірювання електричного
струму, а другий нейтроночутливий об'єм містить
електрично ізольований сигнальний електрод,
призначений для з'єднання з входом тракту
вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції,
який відрізняється тим, що другий нейтроночут-
ливий об'єм містить радіатор, який випускає за-
ряджені частинки при реакції з нейтронами, чут-
ливість K якого

$$\delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} / I_{b1} \leq K = K_2 \leq \delta^2 \cdot K_1 / (I_{b1} \cdot \chi \cdot \tau)$$

де $1 < \chi < D$ - коефіцієнт перекриття лінійних діля-
нок навантажувальної характеристики в режимах
вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції та
електричного струму, $D = N_{\max} / N_{\min} = \delta / N_{\min} \cdot \tau$ -

діапазон завантаження тракту вимірювання швид-
кості лічіння імпульсів реакції, N_{\max} - максималь-
не завантаження тракту вимірювання швидкості
лічіння імпульсів реакції, N_{\min} - мінімальне заван-
таження тракту вимірювання швидкості лічіння
імпульсів реакції, τ - середня тривалість імпуль-
сів струму, які виникають в другому нейтроночут-
ливому об'ємі при реакції з нейтронами, δ - відно-
сне відхилення навантажувальної характеристики
від лінійної, K_1 - струмова чутливість першого
нейтроночутливого об'єму, I_{b1} - власний фоновий
струм в першому нейтроночутливому об'ємі, K_2 -
максимальна чутливість до нейтронів другого ней-
троночутливого об'єму, при цьому відношення
власного фонового струму в другому нейтроночут-
ливому об'ємі до фонового струму в першому
нейтроночутливому об'ємі більше відношення їх
струмових чутливостей до нейтронів $Q \cdot K_2 / K_1$ не
більше, ніж в D_1 / χ разів, де Q - середній заряд,
який виникає в другому нейтроночутливому об'ємі
на одну реакцію, яка супроводжується вильотом
заряджених частинок з нейтроночутливого радіа-
тора, D_1 - відносний діапазон лінійності наванта-
жувальної характеристики першого нейтроночут-
ливого об'єму

2 Блок за п 1, який відрізняється тим, що пер-
ший нейтроночутливий об'єм утворений електрич-
ним з'єднанням сигнальних електродів аналогічних
нейтроночутливих об'ємів

3 Блок за п 1, який відрізняється тим, що другий
нейтроночутливий об'єм утворений електричним
з'єднанням сигнальних електродів аналогічних
нейтроночутливих об'ємів

4 Блок за п 1, який відрізняється тим, що
 $K_2 \geq K_1 / Q$, при цьому значення $I_{b1} < \delta \cdot Q / \tau$

(13) C2

(11) 46133

(19) UA

Винахід належить до області технічної фізики, а точніше, до області реєстрації нейтронів. Найбільш ефективно винахід може бути використаний при виготовленні блоків, вузлів, каналів для вимірювання потоку нейтронів на основі іонізаційної камери та лічильника, при використанні в системі управління та захисту ядерного реактора та інших джерел нейтронів.

Відома скомпенсована за струмом від фоновому γ -випромінювання газонаповнена іонізаційна камера типу КНК, яка містить нейтроночутливий об'єм, в якому розміщений борний радіатор в твердій або газовій фазі, та електричне ізольований сигнальний електрод, призначений для з'єднання лінією електричного зв'язку з трактом вимірювання електричного струму (див., наприклад, Чукляев С В, Грудский М Я, Артемьев В А Вторично-эмиссионные детекторы ионизирующих излучений М, Энергоатомиздат, 1995 г, с 176 - 182).

Робота цього детектора базується на перетворенні потоку нейтронів у електричний струм, який виникає в чутливому об'ємі під дією продуктів реакції нукліда ^{10}B з нейтронами.

Недоліком цього детектора є наявність власного фоновому струму, значення якого вносить непінійний вклад в сигнал від нейтронів і практично не дозволяє виміряти струм від нейтронів з похибкою менше 2% при щільності потоку теплових нейтронів нижче $3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. На фоні супутнього γ -випромінювання нижня межа фоновому струму може зростати на один - два десятичних порядки.

Найбільш близьким до запропонованого технічного рішення за більшістю подібних ознак є блок іонізаційних камер типу КНУ, який має два нейтроночутливих об'єми, один з яких містить нуклід ^{10}B , що випускає заряджені частки при реакції з нейтронами, та електричне ізольований сигнальний електрод, призначений для з'єднання лінією електричного зв'язку з трактом вимірювання електричного струму, а другий нейтроночутливий об'єм містить електричне ізольований сигнальний електрод, призначений для з'єднання з трактом вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції (див. Чукляев С В, Пепельшев Ю Н, Уваров Н А и др Блоки ионизационных камер для измерения потока нейтронов в реакторах Приборы и техника эксперимента, 1997, № 3, с 14 - 23).

Недоліком цього блока є високе значення власного фоновому струму в об'ємі, що містить бор, обумовлене внеском додаткового об'єму, який містить матеріал, що ділиться, що обумовлює необхідність використання додаткового тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції.

Суть запропонованого технічного рішення полягає в тому, що в блоці детекторів для вимірювання потоку нейтронів, який має два нейтроночутливих об'єми, перший з яких містить нуклід, який випускає заряджені частки при реакції з нейтронами, та електричне ізольований сигнальний електрод, призначений для з'єднання лінією електричного зв'язку з входом тракту вимірювання електричного струму, а другий нейтроночутливий об'єм містить електричне ізольований сигнальний електрод, призначений для з'єднання з входом тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів

реакції, другий нейтроночутливий об'єм містить радіатор, який випускає заряджені частки при реакції з нейтронами, чутливість K якого

$$\delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} / I_{b1} \leq K = K_2 \leq \delta_2 \cdot K_1 / (I_{b1} \cdot \chi \cdot \tau)$$

де $1 < \chi < D$ - коефіцієнт перекриття лінійних ділянок навантажувальної характеристики в режимах вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції та електричного струму,

$D = N_{\max} / N_{\min} = \delta / N_{\min} \cdot \tau$ - діапазон завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції,

N_{\max} - максимальне завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції,

N_{\min} - мінімальне завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції,

τ - середня тривалість імпульсів струму, які виникають в другому нейтроночутливому об'ємі при реакції з нейтронами,

δ - відносне відхилення навантажувальної характеристики від лінійної,

K_1 - струмова чутливість першого нейтроночутливого об'єму,

I_{b1} - власний фоновий струм в першому нейтроночутливому об'ємі,

K_2 - максимальна чутливість до нейтронів другого нейтроночутливого об'єму, при цьому відношення власного фоновому струму в другому нейтроночутливому об'ємі до фоновому струму в першому нейтроночутливому об'ємі більше відношення їх струмових чутливостей до нейтронів $Q \cdot K_2 / K_1$ не більше, як в D_1 / χ разів, де

Q - середній заряд, який виникає в другому нейтроночутливому об'ємі на одну реакцію, яка супроводжується вильотом заряджених часток з нейтроночутливого радіатора,

D_1 - відносний діапазон лінійності навантажувальної характеристики першого нейтроночутливого об'єму, при цьому перший нейтроночутливий об'єм утворений електричним з'єднанням сигнальних електродів аналогічних нейтроночутливих об'ємів, другий нейтроночутливий об'єм утворений електричним з'єднанням сигнальних електродів аналогічних нейтроночутливих об'ємів, до того ж $K_2 \geq K_1 / Q$, при цьому значення $I_{b1} < \delta^2 \cdot D \cdot Q \cdot N_{\min} = \delta^2 / \tau$.

Запропонований винахід задовольняє критеріям винаходу «новизна» та «винахідницький рівень», незважаючи на відомість деяких використаних ознак, оскільки сукупність викладених ознак в новому взаємозв'язку, дозволяє спростити конструкцію блока та зберегти лінійну ділянку навантажувальної характеристики при заданому відносному відхиленні 5 за рахунок встановлених співвідношень між характеристиками конструкції, фізичними властивостями та характеристиками використаних в ній матеріалів.

Нижче викладений приклад конкретного виконання пристрою з посиленням на додані креслення та таблиці.

Фіг 1 зображує схему блока детекторів та електричну схему його вмикання (СМ - узгоджувальний модуль, ДУ - диференціальний підсилювач імпульсів, ПП - перелічувальний прилад, А - вимірювач електричного струму, ИП1, ИП2, ИП3 - джерела

електричної напруги живлення)

Фіг. 2 зображує схему блока іонізаційних камер

Фіг. 3 зображує схему блока детекторів з електрично з'єднаними високовольтними електродами чутливих об'ємів та електричну схему його вмикання (СМ - узгоджуючий модуль, ДУ - диференціальний підсилювач імпульсів, ПП - перелічувальний прилад, А - вимірювач електричного струму, ИП1, ИП2 - джерела електричної напруги живлення)

Фіг. 4 зображує залежності швидкості лічіння N імпульсів поділу ^{235}U в другому нейтроночутливому об'ємі, нормованого на мінімальне завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції N_{min} , та струму від нейтронів I в першому і другому нейтроночутливих об'ємах, нормованого на величину струму $I_{\text{min}} = Q \cdot N_{\text{min}}$, від щільності потоку теплових нейтронів Φ_n , нормованої на щільність потоку Φ_1 при мінімальному завантаженні тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції в другому нейтроночутливому об'ємі

Фіг. 5 зображує діаграму для визначення інтервалу відношення чутливостей до теплових нейтронів другого та першого чутливих об'ємів в різних модифікаціях блока по величині відношення χ / D при $N_{\text{min}} = 1 \text{ с}^{-1}$

Таблиця 1 представляє середню довжину пробігу легких та важких продуктів поділу ^{235}U в радіаторах із різних матеріалів

Таблиця 2 представляє основні характеристики модифікацій блока газонаповнених іонізаційних камер

Таблиця 3 представляє інтервали відношення струмових чутливостей до нейтронів другого та першого чутливих об'ємів для різних модифікацій блока детекторів та різних χ при $D = 10^5$ та $N_{\text{min}} = 1 \text{ с}^{-1}$

Блок детекторів 1 (фіг. 1) містить два нейтроночутливих об'єми 2 і 3 з електрично ізольованими сигнальними електродами 4 і 5, відповідно. Перший нейтроночутливий об'єм 2 містить нуклід ^{10}B , який випускає заряджені частки при реакції з нейтронами. Сигнальний електрод 4 цього чутливого об'єму призначений для з'єднання за допомогою лінії електричного зв'язку 7 з входом тракту вимірювання електричного струму 8. Другий нейтроночутливий об'єм 3 містить радіатор 9 у вигляді шару матеріалу, що ділиться, чутливість якого K визначається співвідношенням $K = S \cdot N_A \cdot \xi \cdot \rho \cdot d \cdot \eta \cdot \sigma / A$, де S - площа шару нейтроночутливого матеріалу в другому нейтроночутливому об'ємі, N_A - число Авогадро, ξ - відносна кількість маси нейтроночутливого нукліда в нейтроночутливому матеріалі, ρ - щільність нейтроночутливого матеріалу, d - товщина шару нейтроночутливого матеріалу, η - середня кількість заряджених часток, що випадають із шару нейтроночутливого матеріалу на одну реакцію, σ - середній перетин реакції нукліда з нейтронами, A - атомна маса нейтроночутливого нукліда, і тотожно рівна максимальній чутливості до нейтронів K_2 цього об'єму в режимі вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції. Сигнальний електрод 5 цього чутливого об'єму призначений для з'єднання з входом тракту

вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції 10

Наприклад, для шару матеріалу, що ділиться, товщиною, яка не перевищує середню довжину пробігів важких продуктів поділу, значення η обчислюють за формулою

$$\eta = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (1 - d / 2R_{mi})$$

де R_{m1} , R_{m2} - середня довжина пробігів легких та важких продуктів поділу відповідно. Значення R_{m1} та R_{m2} продуктів поділу ^{235}U в різних матеріалах наведені в таблиці 1

Як блок детекторів може бути використаний набір із двоелектродної та триелектродної газонаповнених іонізаційних камер типу КНТ та КНК. Найбільш зручний в експлуатації - блок газонаповнених детекторів

Блок (фіг. 2) складається з двох чутливих об'ємів 2 і 3, встановлених, наприклад, один за другим та зварених між собою за допомогою перехідного фланця 11. Перший об'єм 2 складений з двох частин, встановлених одна за другою. Кожна частина містить систему з трьох електродів 12, розміщених в циліндричному корпусі 13 із зовнішнім діаметром 50 та товщиною стінки 0,8 мм. Один з електродів в кожній частині набраний з 44, а два інших - з 22 та 23 дисків діаметром 44 та товщиною біля 0,36 мм, закріплених на трьох металевих стояках 14. Стойки ізольовані від корпусу опорними ізоляторами 15 з високоглиноземистої кераміки. Кожний диск одного електрода, який прийнято називати сигнальним, розміщений між дисками двох інших високовольтних електродів, створюючи з сигнальним електродом дві секції. Відстань між сусідніми дисками різноіменних електродів 1,6 мм. Через отвори в перехідному фланці 16 і опорних ізоляторах стояки одноіменних електродів обох частин з'єднані між собою струмопровідними провідниками 17, а один із стояків кожного електрода однієї з частин електрично-з'єднаний з окремим електричним вводом 18, виготовленим шляхом спайки корундової кераміки з коваром та ввареним в кришку корпусу цього об'єму 11. Поверхні дисків в одній з секцій покриті шаром матеріалу товщиною ($\rho \cdot d$) біля $1 \text{ мг} / \text{см}^2$, який містить нуклід ^{10}B . Ця секція чутлива до нейтронів та до γ -випромінювання. Друга секція не містить нейтроночутливого матеріалу і служить для компенсації іонізаційних струмів від фонового γ -випромінювання в ланцюгу сигнального електрода. Для покриття електродів

може використовуватися бор аморфний з природним вмістом нукліда ^{10}B , продукт (80 - 95)%-ного збагачення по ^{10}B . Загальна площа покриття складає $0,22 \text{ м}^2$. Як перший чутливий об'єм можуть використовуватися скомпенсовані за струмом від фонового γ -випромінювання конструкції іонізаційної камери, що містять $^{10}\text{BF}_3$ в газовій фазі або ^3He

Другий об'єм 3 складений з двох електродів 19, зібраних з 53-х аналогічних дисків, закріплених на стояках 14. Диски на периферії мають вирізи для прокладки стояків та виступи, які при складанні електродної системи заводять в отвори несучих стояків, загинають та приварюють до останніх то-

чечною електрозваркою. Стояки ізольовані від корпусу опорними ізоляторами 15 з високоглиноземистої кераміки, встановленими в спеціальні гнізда у фланцях. Отвори в стояках розміщені таким чином, що між дисками різноіменних електродів утворюється зазор 1,6 мм, а кожний диск сигнального електрода виявляється розміщеним між двома дисками другого електрода, на який подають електричну напругу живлення. Звернені одна до одної поверхні дисків цього чутливого об'єму покриті шаром U_3O_8 90% нукліда ^{235}U товщиною біля $1 \text{ г} / \text{см}^2$. Загальна площа покриття $0,13 \text{ м}^2$. Через отвір у фланцях та опорних ізоляторах один із стояків кожного електрода з'єднаний струмопровідними провідниками 17 з окремим металокерамічним електричним вводом 18, встановленим в кришці корпусу блока 20.

Струмопровідні провідники першого об'єму ізольовані керамічною трубкою 21, яка прокладена усередині металевої трубки, встановленої у вирізі дисків електродної системи другого чутливого об'єму та закріпленої на опорних фланцях, і з'єднані з окремими електричними входами блока 18.

Складання може бути проведене в аксіально-циліндричній системі електродів, в якій зручно розмістити один чутливий об'єм усередині другого, або послідовним розміщенням чутливих об'ємів, сигнальні електроди яких відповідно з'єднані з сигнальними електродами першого та другого нейтроночутливих об'ємів.

За винятком вузлів електричних входів та опорних ізоляторів, всі металеві деталі виготовлені із нержавіючої сталі аустенітного класу. Перший об'єм заповнений аргоном до тиску 60 кПа та гелієм-4. Сумарний тиск суміші інертних газів 0,4 МПа. Другий об'єм заповнений сумішшю азоту, гелію та аргону до тиску 0,45 МПа. Парціальний тиск азоту та гелію однаковий і рівний 9 кПа. Основні характеристики модифікації блока іонізаційних камер, умовно позначених М1, М2, М3 та М4, наведені у таблиці 2.

Можливо зменшити кількість електричних входів 18, встановлених в кришці блока 20, та кількість джерел електричної напруги живлення шляхом з'єднання електричного вводу 18 високовольтного електрода першого об'єму з одним з металевих стояків високовольтного електрода другого чутливого об'єму (фіг. 3). Проте при цьому в тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів виникає додаткове джерело шумів, зумовлене флуктуаціями струму в секції першого чутливого об'єму під опроміненням.

Блок іонізаційних камер розташовують в циліндричному електромагнітному екрані із сталі-20, покритий мідною фольгою, та розміщують всередині герметичного корпусу підвіски 22. Екран, як правило, ізолюють від корпусу підвіски. В термінології ГОСТ 27445-87 «Системи контролю нейтронного потоку для управління та захисту ядерних реакторів. Загальні технічні вимоги» підвіска, що містить іонізаційну камеру (детектор, блок детекторів) та кабельну вставку, називається вузлом детектора.

Вузол детектора розміщують в каналі реактора або іншого джерела нейтронів і з'єднують з входами електронного блока 23. При цьому сигна-

льний електрод першого чутливого об'єму з'єднують з входом тракту вимірювання електричного струму 8, а сигнальний електрод другого чутливого об'єму - з входом тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів 10.

Електронний блок 23 складається з вхідного та узгоджуючого модулів, модуля вводу-виводу та персонального комп'ютера 24.

Вхідний модуль призначений для перетворення струмового сигналу в електричну напругу підсилення, фільтрації та подавлення синфазних завад. Модуль містить

- перетворювач струму в напругу,
- підсилювач електричного струму, вимірювач електричного струму (А),
- диференційний підсилювач імпульсів (ДУ),
- перелічувальний прилад з таймером (інтенсиметр) (ПП),

- фільтр нижніх частот.

Основні характеристики модуля

- вхідна чутливість	2 нА,
- динамічний діапазон	120 дБ,
- кількість ступенів коефіцієнта перетворення	4,
- кількість ступенів коефіцієнта підсилення	64,
- частота зрізу фільтра нижніх частот	4 кГц,
- діапазон частотних характеристик вище за	$1 \cdot 10^7 \text{ Гц}$,
- максимальна швидкість лічіння імпульсів поділу, N_{max}	$1 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$,

Модуль вводу-виводу призначений для перетворення вимірюваного сигналу в цифровий код, вводу його в комп'ютер, а також для управління вхідним модулем. Модуль містить аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та паралельний інтерфейс.

Основні характеристики аналого-цифрового перетворювача

- кількість вхідних каналів	8,
- кількість розрядів	10,
- час перетворення	< 30 мкс,
- похибка перетворення	0,25%,
- режим зчитування	програмний, DMA

Передбачено роботу АЦП в режимі фіксованого вхідного каналу або в режимі сканування по каналах.

Паралельний інтерфейс типу TTL містить 11 ліній виводу та 2 лінії вводу. Модуль розміщений в одному із з'єднувачів розширення системного блока комп'ютера.

Похибка визначення швидкості лічіння імпульсів поділу носить статистичний характер. При відносному відхиленні $\delta \ll 1$ навантажувальної характеристики від лінійної ймовірності прорахунків імпульсів ρ оцінюється за формулою $\rho = N_0 \cdot \tau_0$, де N_0 - потік продуктів реакції із шару матеріалу, що ділиться, або завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів, τ_0 - сумарний час відновлення вимірювальної схеми, включаючи середню тривалість імпульсів струму τ , що виникають в другому нейтроночутливому об'ємі при поділі нукліда під дією нейтронів. Звідси випливає, що за умови $\rho = \delta = 0,02$ і $\tau_0 > \tau = 200 \text{ нс}$, максимальне

завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів $N_{\max} = \delta / \tau = 1 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$. Мінімальне завантаження тракту N_{\min} пов'язане з інтенсивністю власних фонових імпульсів другого чутливого об'єму $N_F \leq N_{\min}$ (див таблицю 2)

Похибка вимірювання електричного струму I обумовлена, головним чином, флуктуаціями струму від теплових нейтронів, струму від фонового γ -випромінювання I_γ , шумами вимірювального тракту та шумами, що виникають при перетворення аналогового сигналу в цифровий код. Сумарна дисперсія статистичних шумів вимірюваного струму оцінюється співвідношенням

$$\sigma_I^2 \approx 4 \Delta f Q_\alpha [I + Q_\alpha I / Q_\alpha + v^2 / Q_\alpha] m + [0.29 I_{\max} / G_E \cdot 2^n] I^2$$

де Δf - полоса пропускання аналогового фільтра, m - число усереднень, n - розрядність АЦП, $Q_\alpha \approx 1 \cdot 10^{14}$ - середній заряд, що протікає в першому чутливому об'ємі на 1α - частку, K_γ , $\gamma \approx 1 \cdot 10^{17}$ - середній заряд, що протікає в чутливому об'ємі на 1 фотон, K_γ , I_{\max} - максимальний струм нейтроночутливого об'єму, v^2 - інтенсивність флуктуаційної завади вимірювального тракту, G_E - імпульсна характеристика вимірювальної апаратури. При вмиканні оптимальної фільтрації та усереднення результатів багаторазових вимірювань потоку теплових нейтронів відносна середньоквадратична похибка зменшується до 500 разів. Шуми дискретизації в режимі роботи електронної апаратури з перемінним коефіцієнтом підсилення не перевищують 1%.

Програмне забезпечення побудоване за принципом розгалуженого меню, яке працює під MS DOS, і складається з вимірювальної та обробної програм.

Вимірювальна програма реалізована на мові Turbo Paskal і включає в себе весь комплекс процедур нижчого рівня, які працюють з електронною апаратурою та організують вимірювання та накопичення даних. Програма дозволяє автоматично підключати та відключати фільтр нижніх частот, оптимально встановлювати період дискретизації АЦП від 30 мкс до 35 мс, період та число відліків в одному вимірюванні, діапазон входного сигналу до 2, 20, 200 або 2000 мкА, число циклів вимірювання, в тому числі з усередненням, нормуванням та графічною візуалізацією даних, записом в конфігураційний файл для подальшого відновлення результатів та умов вимірювання. При цьому програма передбачає можливість оптимального вибору та автоматичного перемикавання коефіцієнта підсилення по ступенях від 1 до 64 в кожному діапазоні.

Програма обробки реалізована на мові FORTRAN 77 і включає процедуру обробки результатів вимірювання. Кінцевим результатом обробки даних є визначення щільності потоку нейтронів, потужності, коефіцієнта реактивності та інших параметрів реактора.

Взаємодія вимірювальної та обробної програм здійснюється на рівні файлів даних.

Пристрій працює наступним чином:

При створенні зовнішніми джерелами (ІП1, ІП2, ІП3) електричних напруг живлення електричні сигнали, що виробляються під дією нейтронів в першому (ИК-1) 2 та в другому (ИК-2) 3 чутливих

об'ємах блока 1 іонізаційних камер, надходять в електронний блок 22. Масив виміряних значень швидкості лічіння імпульсів поділу в ИК-2 та електричного струму в ИК-1 записуються в оперативну пам'ять комп'ютера 22 і в кінці вимірювання - на диск для детальної обробки.

На фіг. 4 показані залежності швидкості лічіння N імпульсів поділу ^{235}U 25 в ИК-2, нормованої на мінімальне завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції N_{\min} , та струму від нейтронів 1 26 в ИК-1 з різною чутливістю від щільності потоку теплових нейтронів Φ_n , нормованою на щільність потоку Φ_1 при мінімальному завантаженні тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції в ИК-2. Тут же нанесена залежність струму від нейтронів 27 в ИК-2. Для зручності значення I нормовані на величину струму $I_{\min} = Q \cdot N_{\min}$, де Q - середній заряд, що виникає в ИК-2 на один осколок, який випає з шару матеріалу, що ділиться. Видно, що в лінійному діапазоні $D = N_{\max} / N_{\min} = \delta / N_{\min} \cdot \tau$, де N_{\max} - максимальне завантаження тракту вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції, τ - середня тривалість імпульсу струму, який виникає в другому нейтроночутливому об'ємі в одній реакції поділу, швидкість лічіння імпульсів поділу в ИК-2 обмежена при щільності потоку нейтронів $\Phi_3 = N_{\max} / K_2$, де K_2 - максимальна чутливість до нейтронів ИК-2 в режимі вимірювання швидкості лічіння імпульсів поділу. В режимі вимірювання електричного струму внесок власного фонового струму I_{b1} обумовлює відхилення навантажувальної характеристики ИК-1 від лінійної при низькій щільності потоку нейтронів. Відносне відхилення $\delta \ll 1$ навантажувальної характеристики від лінійної пов'язане з мінімальним значенням щільності потоку нейтронів Φ_2 співвідношенням $\delta \cdot K_1 \cdot \Phi_2 = I_{b1}$, де K_1 - струмова чутливість до нейтронів ИК-1.

Якщо лінійні ділянки навантажувальних характеристик ИК-1 та ИК-2 перехрещуються, то можна записати співвідношення $\Phi_1 / \Phi_3 = I / D \leq \Phi_2 / \Phi_3 \leq I / \chi$, з якого, враховуючи тотожну рівність значень K_2 чутливості K шару матеріалу, що ділиться, в ИК-2, виходить

$$\delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} / I_1 \leq K = K_2 \leq \delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} \cdot D / (I_{b1} \cdot \chi) = \delta^2 \cdot K_1 / (I_{b1} \cdot \chi \cdot \tau), \text{ де } 1 < \chi < D - \text{коефіцієнт перекриття лінійних ділянок навантажувальної характеристики в режимах вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції в ИК-2 та електричного струму в ИК-1.}$$

Коли відношення власного фонового струму I_{b2} в ИК-2, обумовленого головним чином α - активністю матеріалу, що ділиться, до власного фонового струму I_{b1} в ИК-1 перевищує відношення їх струмових чутливостей до нейтронів, значення Φ_2 менше мінімального значення щільності потоку нейтронів $\Phi_4 = I_{b2} / \delta \cdot Q \cdot K_2$, при якій вклад I_{b2} в струмовий сигнал ИК-2 від нейтронів не перевищує δ , потік нейтронів високої щільності вимірюють ИК-1. Тут $Q \cdot K_2$ - струмова чутливість ИК-2 до нейтронів. При високій щільності потоку нейтронів навантажувальна характеристика іонізаційної камери, яка працює в режимі вимірювання струму, відхиляється від лінійної через обмеження електричного струму об'ємним зарядом в мікеелектрод-

ному проміжку. Якщо лінійна ділянка навантажувальної характеристики ІК-1 перекриває лінійну ділянку навантажувальної характеристики ІК-2 в режимі вимірювання електричного струму, то можна записати $\Phi_5 / \Phi_4 = \Phi_2 \cdot D_1 / \Phi_4 \geq \chi$, де D_1 - відносний діапазон лінійності навантажувальної характеристики ІК-1. Із цього співвідношення, враховуючи, що $I_{b2} / I_{b1} > Q \cdot K_2 / K_1$, одержимо $Q \cdot K_2 / K_1 < I_{b2} / I_{b1} \leq (D_1 / \chi)(Q \cdot K_2 / K_1)$, тобто відношення власного фонового струму в ІК-2 до фонового струму в ІК-1 більше їх струмових чутливостей до нейтронів $Q \cdot K_2 / K_1$ не більше, ніж в D_1 / χ разів.

Конструкції, в яких $K_1 \leq Q \cdot K_2$ ($K_2 \geq K_1 / Q$), мають більш широкую лінійну ділянку навантажувальної характеристики в порівнянні з конструкціями із зворотним співвідношенням струмових чутливостей. В цьому випадку $K_1 / Q \leq K_2 \leq \delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} \cdot D / (I_{b1} \cdot \chi)$. Із цього співвідношення виходить, що максимальне значення власного фонового струму I_{b1} в ІК-1, при якому можливе перекриття діапазонів вимірювання швидкості лічіння імпульсів реакції в ІК-2 та електричного струму в ІК-1, визначається за формулою $K_1 / Q = \delta \cdot K_1 \cdot N_{\min} \cdot D / (I_{b1} \cdot \chi)$. Враховуючи, що $I < \chi < D$, одержим $I_{b1} < \delta \cdot D \cdot Q \cdot N_{\min} = \delta^2 \cdot Q / \tau$.

В таблиці 3 подані інтервали відношення $Q \cdot K_2 / K_1$ для різних модифікацій блока іонізаційних камер та різних χ при $\delta = 0,02$, $\tau = 200$ нс ($D = 10^5$) та $N_{\min} = 1$ с⁻¹. Видно, що за цих умов у модифікації

М2 перекриття діапазонів у режимах вимірювання швидкості лічіння імпульсів поділу в ІК-2 та електричного струму в ІК-1 складає біля одного десятичного порядку, а модифікація М1 може виконати вимогу ГОСТ 27445-87 при $\delta = 0,035$. Максимальне перекриття діапазонів досягається в модифікації М4. Однак, як зазначено вище, лінійна ділянка навантажувальної характеристики цієї модифікації вужча в порівнянні з модифікаціями М1 та М2. При $N_{\min} = 1$ с⁻¹ та $\delta = 0,02$ інтервал відношення чутливостей зручно визначати за величиною відношення χ / D за допомогою діаграми, показаної на фіг. 5. На цій діаграмі лінії 28, 29, 30 побудовані для модифікацій блока, в якому значення власного фонового струму I_1 в ІК-1 відповідно дорівнює $5 \cdot 10^{-12}$, $1 \cdot 10^{-11}$ та $5 \cdot 10^{-11}$ А. Тут же позицією 31 позначена модифікація, в якій $I_{b1} = \delta \cdot D \cdot Q \cdot N_{\min} = 5,2 \cdot 10^{-10}$ А.

Описаний вище пристрій дозволяє спростити конструкцію вузла детекторів, каналу в цілому та застосувати його для вимірювання щільності потоку теплових нейтронів в інтервалі від 1,0 до $5 \cdot 10^{11}$ см⁻²·с⁻¹ за умови перекриття лінійних ділянок діапазонів вимірювання швидкості лічіння імпульсів поділу та електричного струму не нижче одного десятичного порядку та відносному відхиленні навантажувальної характеристики від лінійної 2 - 3,5%.

Таблиця 1

Характеристика матеріалу, що ділиться	$R_{m1}, 10^{-3}$ г/см ²	$R_{m2}, 10^{-3}$ г/см ²
Діоксид урану	8,6	6,9
Закис діоксиду урану	8,1	6,5
U · Ni - сплав (5,7% Ni по масі)	10,55	8,4
Суміш закису діоксиду урану з діоксидом торію в рівних пропорціях по масі	8,3	6,7

Таблиця 2

Найменування характеристики, одиниця виміру	М1		М2		М3		М4	
	ІК-1	ІК-2	ІК-1	ІК-2	ІК-1	ІК-2	ІК-1	ІК-2
Матеріал радіатора	Бор	U ₃ O ₈	Бор	U ₃ O ₈	³ He	U ₃ O ₈	BF ₃	U ₃ O ₈
(% збагачення за масою)	(природний)	(90% ²³⁵ U)	(80 - 90% ¹⁰ B)	(90% ²³⁵ U)		(90% ²³⁵ U)	(80 - 90% ¹⁰ B)	(90% ²³⁵ U)
Чутливість до теплових нейтронів у режимі виміру струму K_1 , 10^{13} Кл·см	0,2		0,6		1,0		4,0	
Швидкості лічіння імпульсів K_2 , см ²	-	1,3	-	1,3	-	1,3	-	1,3
Діапазон лінійності завантажувальної характеристики D_1 , 10^7 відн. од.	2,0		2,0		0,02		0,06	-
Середній заряд на один акт ділення Q , 10^{13} Кл		2,6		2,6		2,6		2,6
Час збирання заряду τ , нс	-	200	-	200	-	200	-	200
Чутливість до γ -випромінювання джерела ⁶⁰ Co, 10^{15} Кл/Гр	< 0,003	3,6	< 0,003	3,6	< 0,003	3,6	< 0,01	3,6

13

46133

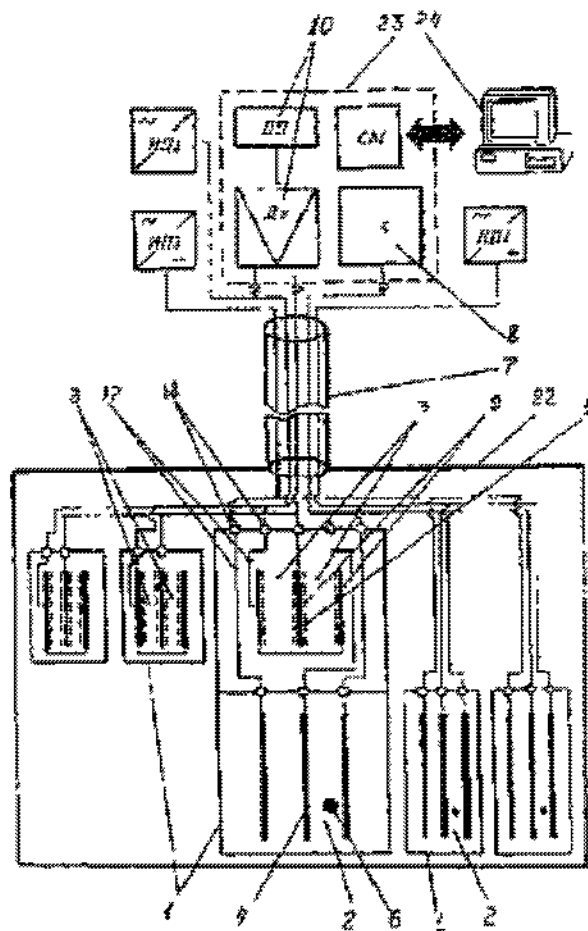
14

Власний фоновий струм при відсутності опромінювання $I_{b1}, I_{b2}, 10^{-10} \text{ А}$	$\leq 0,1$	≤ 140	$\leq 0,1$	≤ 140	≤ 10	≤ 140	$\leq 0,1$	≤ 140
Інтервал швидкості лічіння фонових імпульсів $N_{\Phi}, \text{ с}^{-1}$		0,1 - 0,3		0,1 - 0,3		0,1 - 0,3		0,1 - 0,3
Електрична ємність, пФ	1300	340	1300	340	160	340	800	340
Опір ізоляції електричних ввідів, Ом	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$
Інтервал напруги живлення, В	200 - 400	200 - 400	200 - 400	200 - 400	200 - 400	200 - 400	200 - 400	200 - 400

Таблиця 3

Позначення модифікації блока	$\lg \chi$							
	0,185	0,3	0,4881	0,7	0,968	1,0	1,787	1,8
M1	1 ÷ 34	1 ÷ 26	1 ÷ 16,9	—	—	—	—	—
M2	1 ÷ 34	1 ÷ 26	1 ÷ 16,9	1 ÷ 10,4	1 ÷ 5,6	—	—	—
M3	1 ÷ 3,4	—	—	—	—	—	—	—
M4	$5,2 \cdot 10^4 \div 34$	$5,2 \cdot 10^4 \div 26$	$5,2 \cdot 10^4 \div 16,9$	$5,2 \cdot 10^4 \div 10,4$	$5,2 \cdot 10^4 \div 5,6$	$5,2 \cdot 10^4 \div 5,2$	$5,2 \cdot 10^4 \div 845$	—

Примітка У відповідності до вимог ГОСТ 27445-87 «Системи контролю нейтронного потоку для управління та захисту ядерних реакторів Загальні технічні вимоги» значення $\chi \geq 10$



Фиг 1

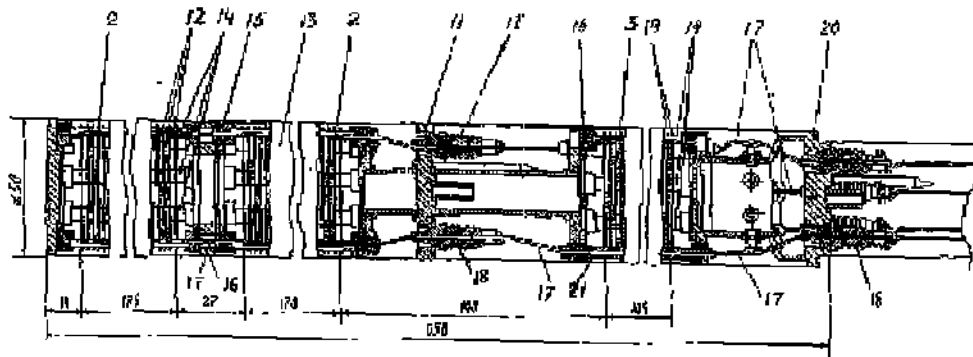


Fig. 2

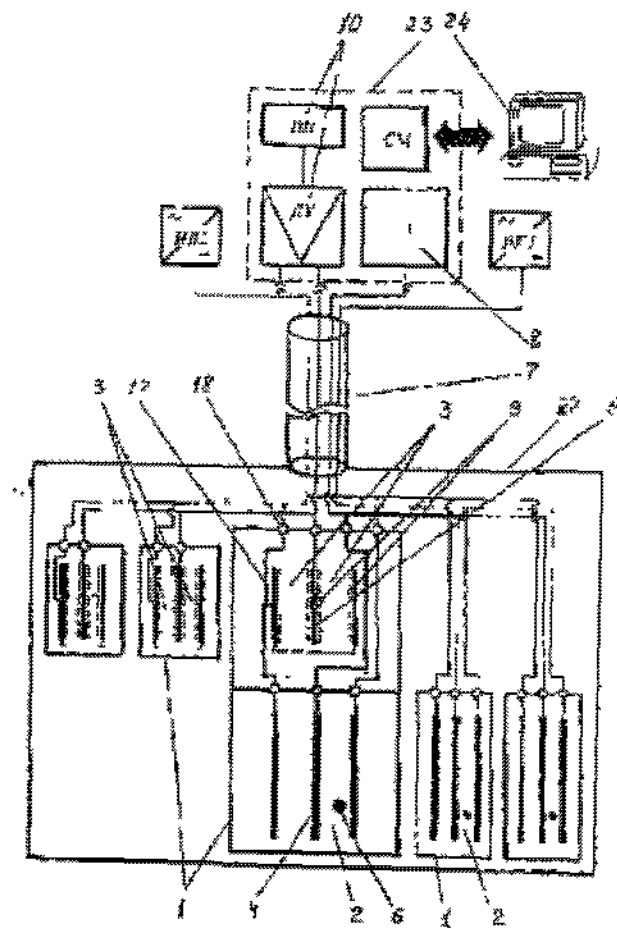
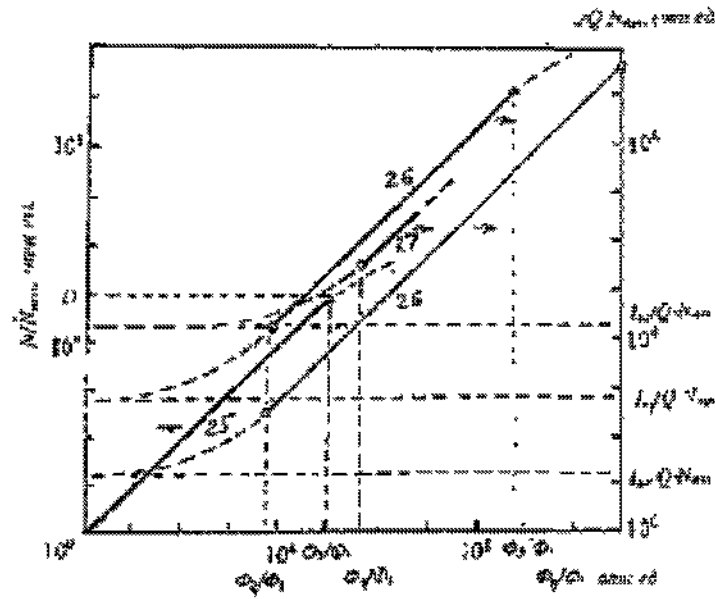
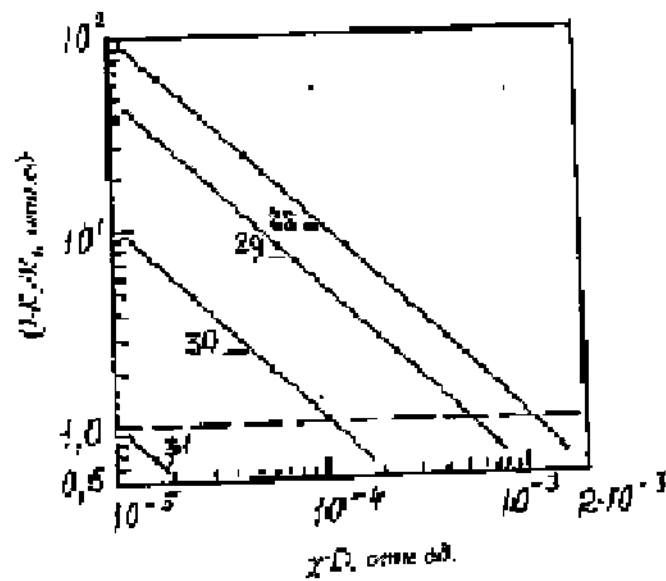


Fig. 3



Фиг 4



Фиг 5

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71