



УКРАЇНА

09)

UA

C2

(51) 7G01T3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) БУДОВА КАНАЛУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТОКУ НЕЙТРОНІВ (ВАРІАНТИ)

(21) 96030922

(22) 11.03.1996

(24) 15 03 2001

(46) 15 03.2001. Бюл. № 2, 2001 р

(72) Чукляев Сергей Васильевич (RU), Пепьолишев
Юрій Ніколаєвич (RU)(73) НАУЧНО-ІССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (RU), ЧУКЛЯЕВ
СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ (RU). ПЕПЬОЛИШЕВ ЮРИЙ
НИКОЛАЕВИЧ (RU)(56) Є К Малышев, Ю Б Засадыч, С А Стабровс-
кий "Газоразрядные детекторы для контроля ядер-
ных реакторов", Москва, "Энергоатомиздэт". 1991,
с. 65-66(57) 1. Устройство канала для измерения потока
нейтронов, состоящее из первичного преобразо-
вателя, содержащего два нейтроночувствитель-
ных объема с электрически изолированными сиг-
нальными электродами, в одном из которых поме-
щен материал с количеством ядер n_1 , испускаю-
щих заряженные частицы в реакциях с нейтрона-
ми, и электронный блок, содержащий два тракта
измерения скорости счета импульсов реакции де-
ления, входы которых соединены линией электри-
ческой связи с отдельными сигнальными электро-
дами, отличающееся тем, что электронный блок
дополнительно содержит тракт измерения элект-
рического тока, а второй нейтроночувствительный
объем первичного преобразователя содержит ма-
териал с меньшим количеством n_2 тех же ядер,
при этом

$$K/D < n_2/n_1 \cdot 5 Q D N_{\min}/(K I_b),$$

$$\text{или } \kappa/P < K\tau/K < 6 Q D fW(* I_b),$$

где $1 < \kappa \leq 0.1$ - коэффициент перекрытия линейных участков в режимах измерения скорости счета импульсов реакции и электрического тока, δ - относительное отклонение нагрузочной характеристики от линейной, $D = N_{\max}/N_{\min}$ - диапазон загрузки тракта измерения скорости счета импульсов реакции деления; N_{\min} - минимальная загрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакции деления, N_{\max} - максимальная загрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакции деления; Q - средний заряд, образующийся в одной реакции нуклида с нейтронами в первом нейтроночувствительном объеме, I_b - собственный фоновый ток в первом нейтроночувствительном объеме, $K\tau/K_i$ - отношение чувствительностей к нейтронам второго и первого объемов, а

вход тракта измерения электрического тока соеди-
нен с сигнальным электродом первого нейтроно-
чувствительного объема с количеством ядер p_1 .

2. Устройство канала для измерения потока нейт-
ронов, состоящее из первичного преобразователя,
содержащего два нейтроночувствительных объе-
ма с электрически изолированными сигнальными
электродами, в одном из которых помещен мате-
риал с количеством ядер p_1 , испускающих заря-
женные частицы в реакциях с нейтронами, и элек-
тронный блок, содержащий два тракта измерения
скорости счета импульсов реакции деления, вхо-
ды которых соединены линией электрической свя-
зи с отдельными сигнальными электродами, отли-
чающееся тем, что первичный преобразователь
дополнительно содержит третий нейтроночувсти-
тельный объем, отношение a собственного фоно-
вого тока в котором к собственному фоновому то-
ку в первом нейтроночувствительном объеме
меньше отношения их чувствительностей к ней-
тронам, а второй нейтроночувствительный объем
первичного преобразователя содержит материал
с меньшим количеством p_2 тех же ядер, что и пер-
вый нейтроночувствительный объем, при этом

$$\kappa/D < p_2/p_1 < p_8 Q D N_{\min}/(a K I_b), \text{ или}$$

$$K/D < K_2/K_1 < p_5 O D N_{\min}(1/(a K I_b)), \text{ где } 1 < \kappa < D^{1/6} p_6 Q$$

$N_1^{1/6}$ - коэффициент перекрытия линейных
участков в режимах измерения скорости счета
импульсов реакции и электрического тока; δ -
относительное отклонение нагрузочной

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТ ПИНИНОЙ, $D = N_{\max}/N_{\min}$ -

диапазон загрузки тракта измерения скорости сче-
та импульсов реакции, N_{\min} - минимальная загрузка
тракта измерения скорости счета импульсов
реакции, N_{\max} - максимальная загрузка тракта из-
мерения скорости счета импульсов реакции, Q -
средний заряд, образующийся в одной реакции
нуклида с нейтронами в первом нейтроночувсти-
тельном объеме, I_b - собственный фоновый ток в
первом нейтроночувствительном объеме, K_2/K_1 -
отношение чувствительностей к нейтронам второ-
го и первого объемов, а электронный блок допол-
нительно содержит тракт измерения электрическо-
го тока, вход которого соединен с сигнальным элек-
тродом третьего нейтроночувствительного объема

3. Устройство по п 1 или п 2, отличающееся тем,
что второй нейтроночувствительный объем содер-
жит две размещенные с противоположных сторон

CM
O

00

C0

<
>

первого нейтроночувствительного объема секции с электрически изолированными сигнальными электродами, а канал измерения скорости счета импульсов реакции содержит дополнительный

вход, соединенный с отдельным сигнальным электродом второго нейтроночувствительного объема

Изобретение относится к области технической физики, а точнее - к области регистрации нейтронов. Наиболее эффективно изобретение может быть использовано при измерении потока нейтронов первичными преобразователем на основе блока ионизационных камер в системе управления и защиты ядерного реактора, критической сборки и других источников нейтронов.

Известно устройство канала для измерения потока нейтронов в ядерном реакторе, содержащее первичный преобразователь, в качестве которого используется скомпенсированная по току от фонового γ -излучения ионизационная камера с борным покрытием, и электронный блок, содержащий тракт измерения электрического тока, вход которого соединен линией электрической связи с сигнальным электродом камеры (см., например, Чуляев С. В. Газонаполненные ионизационные камеры с борным покрытием для измерения плотности потока нейтронов в реакторе. Атомная энергия, 1993, т. 74, вып. 5 с 454-456).

Работа канала основана на измерении электрического тока, возникающего в чувствительном объеме первичного преобразователя под воздействием потока нейтронов.

Недостатком этого канала является наличие собственного фонового тока в первичном преобразователе, величина которого вносит нелинейный вклад в сигнал от нейтронов и не позволяет измерить ток от тепловых нейтронов с погрешностью менее 2% при плотности потока ниже $3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Известно устройство канала для измерения потока нейтронов в реакторе, содержащее первичный преобразователь, в качестве которого используется скомпенсированная по току от фонового γ -излучения газонаполненная ионизационная камера деления, содержащая один нейтроночувствительный объем, и электронный блок с трактом усиления и измерения скорости счета импульсов реакции деления и трактом измерения электрического тока, входы которых соединены линией электрической связи с сигнальным электродом камеры (см., например Малышев Е. К., Белозеров В. Г., Щетинин О. И. Широкодиапазонная камера деления для СУЗ ядерных реакторов. Атомная энергия, 1979, т. 47, вып. 4, с 271-272).

Работа канала основана на измерении скорости счета отдельных импульсов и электрического тока, возникающего в чувствительном объеме первичного преобразователя при делении ядер ^{235}U под воздействием потока нейтронов.

Недостатком этого канала является ограничение загрузки тракта усиления и измерения скорости счета импульсов, обусловленное мертвым временем электронной аппаратуры, и наложением импульсов тока. Ограничение по загрузке этого тракта не позволяет измерить поток тепловых нейтронов плотностью выше $1 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при

отклонении нагрузочной характеристики от линейной менее 2%.

Другим недостатком этого канала является наличие собственного фонового тока в первичном преобразователе, обусловленного α -активностью делящегося материала. Величина собственного фонового тока не позволяет измерять поток тепловых нейтронов плотностью ниже $1 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ даже при использовании делящегося материала, обедненного по α -активному нуклиду ^{234}U . При этом отсутствует возможность перекрытия и сшивки линейных участков диапазонов измерения в режимах счета отдельных импульсов реакции и измерения электрического тока, что может повлечь ошибку в управлении ядерным реактором.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению по большинству совпадающих признаков является устройство канала для измерения потока нейтронов, состоящее из первичного преобразователя, содержащего два нейтроночувствительных объема с электрически изолированными сигнальными электродами, на поверхности одного из которых нанесен делящийся материал с нуклидом ^{235}U , а другого - делящийся материал с нуклидом ^{239}Pu , и электронный блок, содержащий два тракта усиления и измерения скорости счета импульсов реакции, входы которых соединены линией электрической связи с отдельными сигнальными электродами (см., например, Малышев Е. К., Засадыч Ю. Б. Стабровский С. А. Газонаполненные детекторы для контроля ядерных реакторов. М. Энергоатомиздат, 1991, с 65-66).

Недостатком этого канала является ограничение загрузки тракта усиления и измерения скорости счета импульсов тока, обусловленное мертвым временем электронной аппаратуры и наложением импульсов.

Другим недостатком является необходимость учета температуры нейтронов и введения поправки для сшивки показаний из-за значительного различия в энергетических чувствительностях объемов в области энергии тепловых нейтронов.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что в устройстве канала для измерения потока нейтронов, состоящем из первичного преобразователя, содержащего два нейтроночувствительных объема с электрически изолированными сигнальными электродами, в одном из которых помещен материал с количеством ядер π , испускающих заряженные частицы в реакциях с нейтронами, и электронного блока, содержащего два тракта измерения скорости счета импульсов реакции, входы которых соединены линией электрической связи с отдельными сигнальными электродами, электронный блок дополнительно содержит тракт измерения электрического тока, а вто-

рой чувствительный объем первичного преобразователя содержит материал с меньшим количеством p ? тех же ядер, при этом

$$K7D \leq \frac{p}{n} \leq \frac{S}{Q} D \frac{I}{W} \{ \kappa \cdot l \},$$

$$\text{или } \frac{1}{D} \frac{I}{t} \leq \frac{K}{K^A} S Q D r$$

где $1 < \kappa < Q$ - коэффициент перекрытия линейных участков в режимах измерения скорости счета импульсов реакции и электрического тока, 5 - относительное отклонение нагрузочной характеристики от линейной; $D = N_{\max}/N_{\min}$ - диапазон загрузки тракта измерения скорости счета импульсов реакции; bl_{\min} - минимальная нагрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакций деления; N_{\max} - максимальная нагрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакции, Q - средний заряд, образующийся в одной реакции нуклида с нейтронами в первом чувствительном объеме; 1γ - собственный фоновый ток в первом чувствительном объеме, Kg/Ki - отношение чувствительностей к нейтронам второго и первого объемов, а вход тракта измерения электрического тока соединен с сигнальным электродом первого нейтроночувствительного объема с количеством ядер pt , или первичный преобразователь дополнительно содержит третий нейтроночувствительный объем, отношение a собственного фонового тока в котором к собственному фоновому току в первом чувствительном объеме меньше отношения p их чувствительностей к нейтронам, а второй чувствительный объем первичного преобразователя содержит материал с меньшим количеством p_2 тех же ядер, что и первый чувствительный объем, при этом

$$\frac{K}{D} \frac{p_2}{n_2} \leq \frac{p}{n} \leq \frac{S}{Q} D \frac{I}{W} \{ \kappa \cdot l \}, \text{ или}$$

$$\frac{1}{D} \frac{I}{t} \leq \frac{K}{K^A} \frac{p}{n} \leq \frac{S}{Q} D \frac{I}{W} \{ \kappa \cdot l \},$$

$$\text{где } 1 < \kappa < r \leq \frac{1}{S}$$

$$b \leq Q \quad - \text{коэффициент перекрытия}$$

линейных участков а режимах измерения скорости счета импульсов реакции и электрического тока; 5 - относительное отклонение нагрузочной характеристики от линейной, $D = N_{\max}/N_{\min}$ - диапазон загрузки тракта измерения скорости счета импульсов реакции; N^A - минимальная нагрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакции; M^A - максимальная нагрузка тракта измерения скорости счета импульсов реакции, Q - средний заряд, образующийся в одной реакции нуклида с нейтронами в первом чувствительном объеме; 1γ - собственный фоновый ток в первом чувствительном объеме; Kg/Ki - отношение чувствительностей к нейтронам второго и первого объемов, а электронный блок дополнительно содержит тракт измерения электрического тока, вход которого соединен с сигнальным электродом третьего нейтроночувствительного объема, при этом второй чувствительный объем содержит две размещенные с противоположных сторон первого чувствительного объема секции с электрически изолированными сигнальными электродами, а канал измерения скорости счета импульсов реакции содержит дополнительный вход, соединенный с отдельным сигнальным электродом второго чувствительного объема.

Предложенное устройство удовлетворяет критерию изобретения "новизна" и "изобретательский уровень" несмотря на известность неко-

торых использованных в нем признаков, так как совокупность изложенных признаков, взятая в новой взаимосвязи, позволяет увеличить точность и расширить линейный участок нагрузочной характеристики при заданном относительном отклонении за счет установленного авторами соотношения между характеристиками первичного преобразователя, его конструктивными признаками и параметрами электронной аппаратуры

Ниже изложен пример конкретного выполнения предложенного устройства канала для измерения потока нейтронов со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

Фиг 1 изображает схему выполнения канала с первичным преобразователем типа КНУ на основе блока из трех нейтроночувствительных объемов газонаполненных ионизационных камер,

фиг 2 изображает схему выполнения канала с первичным преобразователем типа КНИ на основе блока из двух нейтроночувствительных объемов газонаполненных ионизационных камер;

фиг. 3 изображает зависимости скорости счета импульсов деления ^{235}U N в первом и втором чувствительных объемах, нормированные на минимальную нагрузку тракта измерения скорости счета импульсов реакции $N_{\min} = 1 \text{ с}^{-1}$ и тока от нейтронов I в первом и борсодержащем третьем чувствительных объемах, нормированные на величину тока от нейтронов $Wn = Q \cdot N_{\text{ср}}^{\text{TM}}$, при минимальной нагрузке тракта измерения скорости счета импульсов реакции N_{\min} в первом объеме с количеством ядер ^{235}U P_1 , от плотности потока тепловых нейтронов Φ ;

фиг. 4 изображает диаграмму для определения интервала отношения $P_1/I_1 = Kg/Ki$ в различных типах первичных преобразователей по величине отношения K/D при $N_{\min} = 1 \text{ с}^{-1}$ и таблицы, в которых:

Таблица 1 представляет основные характеристики первичных преобразователей типа КНИ и КНУ,

Таблица 2 представляет в единицах 1 Ю^{-3} интервалы отношения $p_2/p_1 = Kg/Ki$ в первичных преобразователях типов КНИ и КНУ для различных κ при $D = 1 \cdot 10^5$ и $N_{\min} = 1 \text{ с}^{-1}$

Устройство канала для измерения потока нейтронов (фиг 1, 2) состоит из первичного преобразователя 1, содержащего два нейтроночувствительных объема 2, 3 с различным числом p и t ядер ^{235}U соответственно, и электронного блока 4, содержащего два тракта усиления и измерения скорости счета импульсов реакции деления 5, входы которых соединены линией электрической связи с отдельными сигнальными электродами первичного преобразователя, и по крайней мере один тракт усиления и измерения электрического тока 6, вход которого соединен с сигнальным электродом чувствительного объема 2 с большим количеством делящихся ядер pt , или первичный преобразователь содержит третий нейтроночувствительный объем 7 с нуклидом ^{10}B , отношение a собственного фонового тока, в котором к собственному фоновому току в первом чувствительном объеме меньше отношения p их чувствительностей к нейтронам, а электронный блок 4 дополнительно содержит по крайней мере один тракт усиления и измерения электрического тока 6, вход которого

соединен с сигнальным электродом первого чувствительного объема 2 и/или с сигнальным электродом третьего нейтроночувствительного объема 7. В качестве первичных преобразователей могут быть использованы, например, блоки ионизационных камер типа КНУ и КНИ.

Блок КНУ (фиг. 1) 1 состоит из трех чувствительных объемов, 2, 3 и 7, установленных один за другим и сваренных между собой посредством переходных фланцев. Крайний объем содержит систему из трех электродов, размещенных в герметичном цилиндрическом корпусе внешним диаметром 50 и толщиной стенки 0,8 мм. Сигнальный электрод этой секции состоит из 44, а два других из 23 и 22 дисков диаметром 44 и толщиной около 0,36 мм, закрепленных на трех металлических рейках. Диски на периферии имеют вырезы для прокладки реек и выступы, которые заведены в отверстия несущих реек, загнуты и приварены к последним точечной электросваркой. Рейки изолированы от корпуса опорными изоляторами из высокоглиноземистой керамики марки ВК 100-2, установленными в специальные гнезда во фланцах. Отверстия в рейках расположены таким образом, что между соседними дисками разноименных электродов образуется зазор 1,6 мм, и каждый диск сигнального электрода оказывается размещенным между двумя дисками двух других электродов, образующих с ним две секции. Одна из реек каждого электрода соединена токоведущим проводником с отдельным стандартным электровводом 8, изготовленным из спая корундовой керамики с коваром и вваренным в крышку этого объема. Поверхности дисков в одной из секций покрыты слоем борсодержащего материала 9 толщиной около 1 мг/см² и образуют третий объем (ИК-3) 7, чувствительный к нейтронам и γ -излучению. Другая секция не содержит нейтроночувствительного материала и служит для компенсации ионизационного тока фонового γ -излучения в цепи сигнального электрода. Общая площадь покрытия борсодержащим материалом составляет 1100 см².

Второй объем блока содержит аналогичную сборку из трех электродов, каждый из которых состоит из одного диска, размещенного в корпусе того же диаметра и толщины стенки. Через отверстия во фланцах и опорных изоляторах рейки соединены токоведущими проводниками с электрическими вводами одноименных электродов крайнего чувствительного объема. Поверхность одного из дисков, соединенного с электродом секции, не содержащей борного покрытия, покрыта делящимся материалом 10 толщиной 1 мг/см² с количеством ядер ^{235}U $\text{Пг}/2$, и образует с сигнальным электродом первую секцию второго объема (ИК-2) 3 с количеством ядер ^{235}U п^* . Площадь делящегося покрытия в каждой секции равна 12,5 см².

Третий объем блока содержит установленные на фланцах последовательно первый нейтроночувствительный объем (ИК-1) 2 и вторую секцию второго нейтроночувствительного объема (ИК-2) 3, представляющих собой сборки из двух электродов, размещенных в корпусе того же диаметра и толщины стенки. Сигнальные электроды этихборок набраны соответственно из 26 и 13 дисков, установленных между 27 и 14 дисками второго электрода. Обращенные друг к другу по-

верхности дисков третьего чувствительного объема 2 покрыты слоем 11 U_3Oe 90%-го обогащения по массе ^{235}U толщиной 1 мг/см². Общая площадь покрытия в этом нейтроночувствительном объеме составляет 1300 см², а количество ядер ^{235}U равно Пг . Во второй секции второго нейтроночувствительного объема 3 аналогичное, как в первой секции, покрытие изготовлено на поверхности крайнего электрода 12. При этом геометрический центр чувствительного объема 2 приблизительно совпадает с центром чувствительного объема 3, что позволяет снизить влияние анизотропии потока нейтронов на соотношение показаний объемов 2 и 3. Через отверстие во фланце и опорном изоляторе рейка электрода во второй секции чувствительного объема 3 соединена токоведущим проводником с рейкой первой секции и с электрическим вводом не содержащей борного покрытия секции крайнего чувствительного объема. Токоведущий проводник изолирован керамической трубкой, проложенной внутри экранирующей металлической трубки, закрепленной в вырезе дисков электродной системы третьего нейтроночувствительного объема 2 с количеством ядер ^{235}U пг . Одна из реек каждого электрода второй секции второго нейтроночувствительного объема 3 соединена токоведущими проводниками с отдельным стандартным электровводом 13, изготовленным из спая корундовой керамики с коваром и вваренным в крышку корпуса. Через отверстие во фланце и опорном изоляторе рейка второго электрода третьего нейтроночувствительного объема 2 соединена токоведущим проводником с рейкой первой секции второго чувствительного объема 3 и с электрическим вводом электрода борсодержащей секции крайнего чувствительного объема 7. Одна из реек каждого электрода объема 2 соединена проводниками с отдельным стандартным электровводом, вваренным в крышку корпуса. Токоведущие проводники так же изолированы керамическими трубками, проложенными внутри экранирующих металлических трубок, закрепленных в вырезах дисков электродной системы второй секции второго нейтроночувствительного объема 3. Сигнальные электроды борсодержащего объема 7 и первой секции объема 3 соединены с отдельным стандартным электровводом, вваренным в крышку корпуса. Токоведущий проводник так же изолирован и проложен внутри экранирующих металлических трубок, закрепленных последовательно в вырезах дисков электродной системы объема 2 с количеством ядер ^{235}U пг и второй секции объема 3.

Блок КНИ (фиг. 2) 1 состоит из размещенных в герметичном цилиндрическом корпусе внешним диаметром 42 и толщиной стенки 0,5 мм трех модулей, установленных один за другим. Каждый модуль представляет собой систему из десяти цилиндрических электродов диаметром 8 и 12, длиной 200, толщиной 0,3 и 0,2 мм соответственно. Противоположные концы электродов снабжены соответственно двумя и шестью штырями диаметром 1 мм, которые при сборке заводят в отверстия опорных изоляторов, изготовленных из высокоглиноземистой керамики в виде трубки длиной 10 мм с выступом диаметром 5 и толщиной 2 мм в средней части. Выступы закреплены в сваренных из двух пластин диаметром 40 и толщиной

0,5 мм фланцах с отверстиями диаметром 3,9 мм для прокладки изоляторов. Отверстия расположены в вершинах правильных десяти- и двух пятиугольников на расстояниях около 17, 12 и 6 мм от центра пластины. При этом *каждый* электрод диаметром 8 мм оказывается размещенным коаксиально внутри электрода диаметром 12 мм, а между поверхностями внешних электродов образуется зазор около 2 мм. Расстояние между разноименными электродами около 1,7 мм. Фланцы каждого модуля скреплены металлической трубкой толщиной стенки 1 мм, вваренной в отверстиях диаметром 3,9 мм в центре пластин. Соседние модули установлены соосно на расстоянии около 17 мм и скреплены пятью прямоугольными пластинами, вваренными в вырезы по периферии фланцев. Аналогично закреплены торцевой фланец сборки и дно корпуса. Пластины снабжены пружинными амортизаторами, обеспечивающими электрический контакт со стенкой корпуса. В торцевой части первого модуля четыре пары одноименных электродов соединены параллельно токоведущими проводниками. Через отверстия в опорных изоляторах соосные одноименные электроды соседних модулей соединены между собой токоведущими проводниками и образуют электридную систему первого (ИК-1) 2 и второго (ИК-2) 3 чувствительных объемов с восьмью и двумя аксиальными электродами в каждом модуле. Один из штырьков в торцевой части крайнего модуля соединен через отверстие в опорном изоляторе, закрепленном в торцевом фланце, электрически соединен с отдельным стандартным электровыводом 13, изготовленным из спая корундовой керамики с коваром и вваренным в крышку корпуса. Обращенные одна к другой поверхности разноименных электродов в первом чувствительном объеме 2 покрыты слоем $^{11}\text{B}_2\text{O}_3$ 90%-го обогащения по массе ^{235}U и толщиной 1 мг/см². Общая площадь покрытия в этом нейтроночувствительном объеме около 1450 см², а количество ядер ^{235}U равно π .

- входная чувствительность	2 нА;
- динамический диапазон	120 дБ;
- количество ступеней коэффициента преобразования	4;
- количество ступеней коэффициента усиления	64;
- частота среза фильтра нижних частот	4 кГц,
- максимальная скорость счета импульсов, Nme*	10^5 Гц,
- диапазон скорости счета импульсов, D	10^5 ,
- амплитуда входного синхросигнала	(-15 - 0 В)

Напряжение питания модуля +24, -24 и +5 В. Входным модулем. Модуль содержит аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и параллельный интерфейс.

Модуль ввода-вывода предназначен для преобразования измеряемого сигнала в цифровой код, ввода его в компьютер, а также для управле-

количество входных каналов	В;
количество разрядов АЦП	10;
режимы работы АЦП	(0-10 В), (-6- +5 В);
время преобразования АЦП	менее 30 мкс;
погрешность преобразования АЦП - режимы считывания	0,25%; программный, DMA

Предусмотрена работа АЦП в режиме фиксированного входного канала или в режиме сканирования по каналам

Обращенные одна к другой поверхности разноименных электродов во втором чувствительном объеме 3 покрыты материалом 10 толщиной 1 мг/см² с количеством ядер ^{235}U . Площадь покрытия в этом нейтроночувствительном объеме около 360 см².

За исключением узлов электрических вводов все металлические детали блоков изготовлены из нержавеющей стали аустенитного класса. После обезгаживающего отжига в вакуумной печи при температуре 750 К ИК-3 блока КНУ-5 заполнили смесью гелия с аргоном до давления 0,4 МПа. Парциальное давление аргона составило 0,06 МПа. ИК-3 блока КНУ-3. ИК-1, -2 блоков КНУ-3.-5 и КНИ - смесью азота, гелия и аргона до давления 0,13, 0,45 и 0,5 МПа соответственно. Парциальное давление азота и гелия одинаковое и соответственно равно 3, 9 и 10 кПа. При температуре 300 К сопротивление электрических вводов не ниже 1 Ω . Основные характеристики первичных преобразователей типов КНИ и КНУ приведены в табл 1.

Электронный блок (фиг 1, 2) 4 состоит из входного, согласующего модулей, модуля ввода-вывода (СМ - МАВ) и персонального компьютера (IBM PC).

Входной модуль предназначен для преобразования токового сигнала в напряжение усиления, фильтрации, подавления синфазных помех и согласования сигнала "старт" со входом модуля аналогового ввода. Модуль содержит

- программный преобразователь ток-напряжение,
 - программируемый усилитель электрического тока 6 (А),
 - дифференциальный усилитель импульсов тока (ДУ),
 - пересчетный прибор 5 (ПП),
 - фильтр нижних частот,
 - формирователь синхросигнала "старт".
- Основные характеристики модуля

Основные характеристики АЦП.

Параллельный интерфейс содержит 11 линий вывода и 2 линии ввода. Тип интерфейса - TTL.

Модуль изготовлен в стандарте электроники IBM PC/XT/AT и установлен в один из разъемов расширений системного блока персонального компьютера

Погрешность измерения обусловлена, главным образом, флуктуациями тока от тепловых нейтронов, собственного фонового тока детектора 1_б, который в камере деления связан с α -активностью нуклида и остаточной радиоактивностью продуктов деления, тока от фонового γ -излучения 1_т, шумами измерительного тракта и шумами, возникающими при преобразовании аналогового сигнала в цифровой код. Суммарная дисперсия статистических шумов измеряемого тока оценивается соотношением

$$\sigma^2 / I^2 = 4 A t Q / (I m) (1 + 0, W / (Q I) + Q_T I_T / (A I) + v^2 / (Q I)) + (0,29 W G e t I f,$$

где $D f$ - полоса пропускания аналогового фильтра, установленного в цепи измерительной электроники, m - число усреднений, p - разрядность АЦП, $0, \gg 1,4 \cdot 10$ - средний заряд, протекающий в чувствительном объеме камеры деления на 1 α -частицу, Кл. $Q_T \approx 2 \cdot 10^{10}$ - средний заряд, протекающий в чувствительном объеме камеры на 1 фотон, Кл, (гг, - максимальный ток камеры, v^2 - интенсивность флуктуационной помехи измерительного тракта, Ge - импульсная характеристика измерительной аппаратуры. При включении оптимальной фильтрации и усреднения многократных измерений потока тепловых нейтронов относительная среднеквадратическая погрешность уменьшается до 500 раз. Шумы дискретизации в режиме работы электронной аппаратуры с переменным коэффициентом усиления не превышают 1%.

Программное обеспечение построено по принципу разветвленного меню, работающего под MS DOS, и состоит из измерительной и обрабатывающей программ.

Измерительная программа реализована на языке Turbo Pascal и включает в себя весь комплекс процедур нижнего уровня, работающих с электронной аппаратурой и организующих измерение и накопление данных. Программа позволяет автоматически включать или отключать фильтр нижних частот, оптимально устанавливать период дискретизации АЦП от 30 мкс до 35 мс, период и число отсчетов в одном измерении, диапазон входного сигнала до 2, 20, 200 или 2000 мкА, число циклов измерения в том числе с усреднением, нормировкой и графической визуализацией данных, записью в конфигурационный файл для последующего восстановления результатов и условий измерения. При этом программа предусматривает возможность оптимального выбора и автоматического переключения коэффициента усиления по ступеням от 1 до 64 в каждом диапазоне.

Обрабатывающая программа реализована на языке FORTRAN77 и включает процедуры обработки результатов измерения. Конечным результатом обработки данных является определение плотности потока нейтронов и других параметров реактора.

Взаимодействие измерительной и обрабатывающей программ осуществляется на уровне файлов данных.

Устройство работает следующим образом. При создании внешними источниками питания (ИП) напряжения 200-400 В на электродах электрические сигналы, вырабатываемые под воздействием нейтронов в чувствительных объемах 7, 2, 3 первичного преобразователя 1, поступают в электронный блок А, синхронизированный сигналом "старт" с системой управления реактором. Массив измеренных значений записывается в оперативную память компьютера и в конце измерения - на диск для детальной обработки.

На фиг 3 показаны зависимости скорости счета импульсов деления ^{235}U N в ИК-1 14 и ИК-2 15, нормированные на максимальную загрузку тракта измерения скорости счета импульсов реакции $N_{\text{нп}} - 1 \text{ с}^{-1}$, и тока от нейтронов I в ИК-1 16 и ИК-3 17 чувствительных объемах первичного преобразователя на основе блока ионизационных камер типа КНУ-3 от плотности потока тепловых нейтронов Φ . Для удобства значения t нормированы на величину тока от нейтронов $I^{**} = 0 \text{ N}^{\wedge}$, где Q - средний заряд, образующийся в одной реакции деления ^{235}U в чувствительном объеме ИК-1. Видно, что в ГИГЕИНОМ Диапазоне $D_{\text{ss}} N_{\text{ма}} V N_{\text{мин}}$, где $N_{\text{ма}}^*$ - максимальная загрузка тракта, скорость счета импульсов деления в ИК-1 и ИК-2 ограничена при плотности потока тепловых нейтронов $\Phi \leq N_{\text{ма}} V T < \Phi_4 = N_{\text{ма}} / K_2$ соответственно, где K_1, K_2 - чувствительности ИК-1 и ИК-2 в режиме измерения скорости счета импульсов деления при нулевом уровне дискриминации. В режиме измерения электрического тока вклад собственного фонового тока ИК-1 1_б обуславливает отклонение нагрузочной характеристики от линейной при низкой плотности потока нейтронов. Относительное отклонение нагрузочной характеристики от линейной 5*1 связано с плотностью потока нейтронов Φ_3 соотношением $5 \cdot 0 \cdot K_1 \cdot \Phi_3 = 1$.

Если линейный участок нагрузочной характеристики ИК-2 в режиме измерения скорости счета импульсов деления перекрывает интервал плотности потока нейтронов от Φ , до Φ_3 между линейными участками нагрузочной характеристики ИК-1 в счетном и токовом режимах, то можно записать соотношение $k / D \cdot 5 \cdot \Phi / \Phi_4 \leq \Phi / (k \cdot \Phi_3)$, из которого следует

$$k \leq K_1 / K_2 \cdot S \cdot Q \cdot D \cdot 1 W (k \cdot I_b). \quad (1)$$

где k - коэффициент перекрытия линейных участков а режиме измерения скорости счета импульсов деления и электрического тока. Когда фактор ослабления нейтронного потока стенкой корпуса и электронными системами ИК-1 и ИК-2 одинаковый, и выражение (1) приобретает вид

$$(2)$$

Максимальное значение k достигается, когда $K/D = 5 \cdot Q \cdot D \cdot N_{\text{нп}} W (K \cdot t_b)$

Отсюда $1 < k \leq D$

При плотности потока тепловых нейтронов $3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и напряжении питания 400 В нагрузочная характеристика ИК-1 отклоняется от

линейной из-за ограничения электрического тока объемным зарядом в межэлектродном промежутке. Когда в третьем борсодержащем объеме ИК-3 отношение $a = W/t_i$ собственного фонового тока к собственному фоновому току в ИК-1 меньше отношения p их чувствительности к нейтронам, минимальное значение плотности потока нейтронов Φ k а $Y \{ 6 p Q KO$, при которой вклад I_{Φ} в сигнал от нейтронов не превышает b . меньше Φ_3 . Если использовать ИК-3 в режиме измерения тока, то аналогично (1) и (2) получим $k/D \leq K/gK$, $Y P 5 Q D tW(a k \frac{1}{b})$ (3)

или $K/D < fVn_i < P 5 QOrW(aic k)$, (4)

где $K k^*D VPo$

плотности потока нейтронов $1 \cdot 10^n \text{ см}^{-2}$

Ограничение тока объемным зарядом в борсодержащем чувствительном объеме проявляется при $\frac{p}{n_1 n_2}$

с^{н1} В таб-

лице 2 представлены интервалы отношения $n/n_i = K/gKt$ в первичных преобразователях различных типов, рассчитанные соответственно по формулам (1), (2) и (3), (4) для различных k при $D = 10$ и $I_{\Phi}^* = 1 \text{ с}^{-1}$. Видно, что максимальное значение k достигается в первичных преобразователях типа КНУ. При $n_{\text{пюа}} 1 \text{ с}^{-1}$ интервал отношения $= K/g(K)$ удобно определять по величине $от^*$

ношения k/D с помощью диаграммы, показанной на фиг. 4 для первичных преобразователей на основе блоков газонаполненных ионизационных камер типов КНИ 18, КНУ-3 19 и КНУ-5 20

Таким образом, предложенное устройство с первичным преобразователем на основе блока ионизационных камер типов КНИ или КНУ и IBM-совместимого персонального компьютера, снабженного установленной в нем электронной платой или автономным блоком, имеющим интерфейс, соединенный с одним из входов расширения памяти компьютера, позволяет измерять плотность потока тепловых нейтронов в интервале от 0,6 до $2 \cdot 10^9$ или от 0,8 до $1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ соответственно с погрешностью не более 3% при относительном отклонении нафюзочной характеристики от линейной не более 2% и перекрытии линейных участков диапазонов в режимах измерения скорости счета импульсов деления и электрического тока до 50 илдо140отнед.

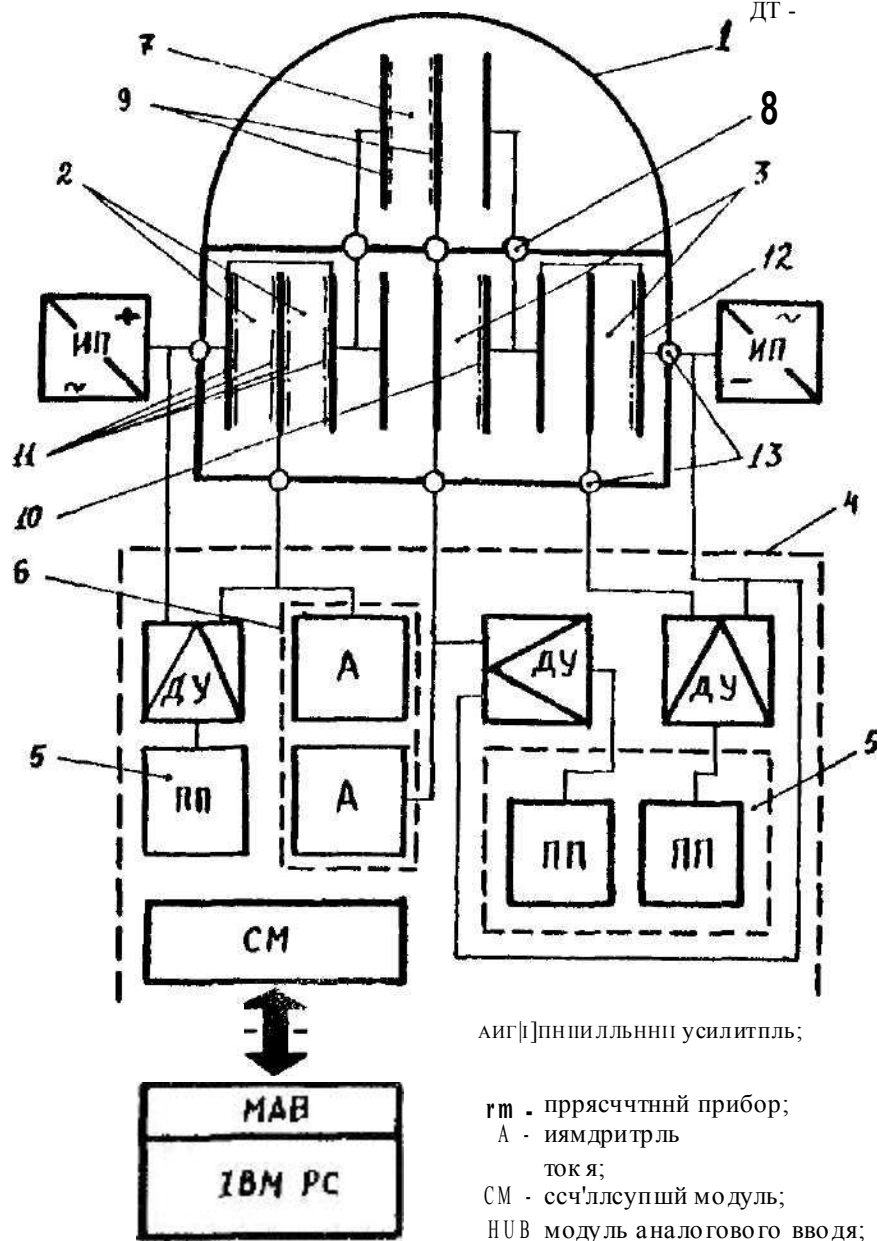
Сокращение	Расшифровка
КНИ ■	Камера нейтронная импульсная
КНУ	Камера нейтронная унифицированная

Таблица 1

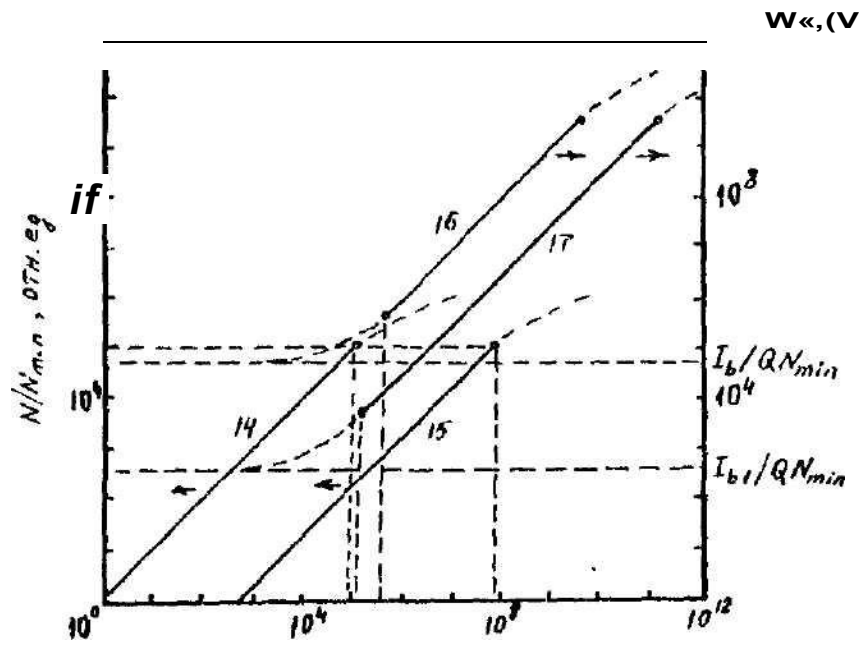
Характеристика, единица измерения	КНИ		КНУ			КНУ-5		
	ИК-1	ИК-2	ИК-1	ИК-г	ИК-3	ИК-1	ИК-2	ИК-Э
Материал покрытия (Ч обогащения по массе)	^{235}U (90)	^{235}U (90)	^{235}U (90)	^{235}U (90)	^{235}U (природный)	^{235}U (90)	(90)	^{235}U (природный)
Чувствительность к тепловым нейтронам в режиме измерения								
- скорости счета импульсов, см^{-2}	1,8	0,0015	1,3	0,0016	-	1,3	0,0018	-
- электрического тока, $10^{-13} \text{ Кл см}^{-1}$	4,7-	0,004	3,7	0,004	0,1	3,7	0,005	0,14
Средний заряд на один акт деления. 10^{-13} Кл	2,5	2,5	2,6	2,6	—	2,6	2,6	—
Собственный фоновый ток, 10^{-13} А	1,7	0,0014	1,4	0,0016	0,01	1,4	0,0018	0,01
Электрическая емкость. пФ	400	100	340	170	610	340	170	610

Таблица 2

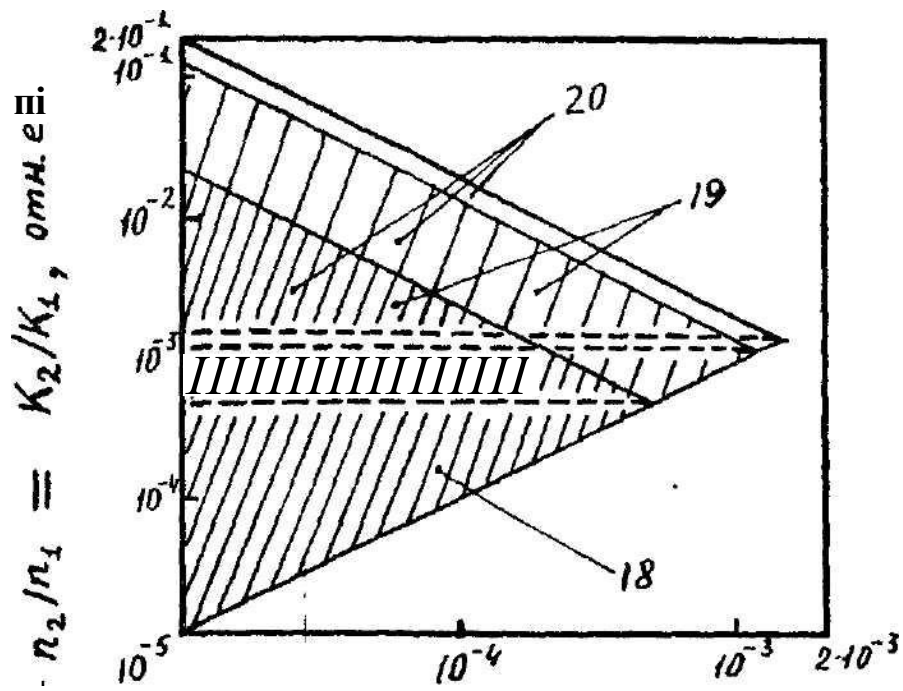
Тип	10^4 отн. ад.	k, отн. «д.					
		2,0	10	50	100	130	140
КНИ	0,83 0,54	0,02-15 0,02-15	0,1-2,9 0,1-2,9	0,5-0,6	-	-	-
КНУ-3	1,2 1,2	0,02-70 0,02-70	0,1-14 0,1-14	0,5-2,8 0,5-2,8	1,0-1,4 1,0-1,4	1,2 1,2	-
КНУ-5	1,4	0,02-98	0,1-20	0,5-3,9	1,0-1,7	1,2-1,7	1,4



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4

Тираж 50 екз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна. 88000, м Ужгород, вул Гагаріна. 101

(03122)3-72-89 {03122)2-57-03