

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.107.5

МОНИТОР ПОТОКА НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14 МэВ ИМПУЛЬСНОГО КАНАЛА НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НГ-12И

© 2020 г. В. В. Намаконов^{а,*}, Д. М. Габбасов^а, В. П. Пасечников^а

^а РФЯЦ–ВНИИ технической физики им. акад. Е.И. Забабахина
Россия, 456770, Снежинск Челябинской обл., ул. Васильева, 13

*e-mail: vlnamakonov@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.09.2019 г.

После доработки 09.09.2019 г.

Принята к публикации 15.09.2019 г.

Разработан монитор потока нейтронов с энергией 14 МэВ, предназначенный для настройки нейтронного генератора НГ-12И в импульсном режиме работы и измерения относительного потока 14-МэВ нейтронов. Рассмотрен принцип работы импульсного канала нейтронного генератора НГ-12И. Приведена структурная схема монитора и описан принцип его работы. Монитор позволяет в реальном времени контролировать относительный поток 14-МэВ нейтронов и фоновую составляющую, обусловленную действием источника нейтронов в интервалах времени между импульсами. Приведены результаты показаний монитора.

DOI: 10.31857/S0032816220010243

ВВЕДЕНИЕ

Нейтронный генератор НГ-12И является основной установкой для проведения ядерно-физических исследований методом времени пролета в РФЯЦ–ВНИИТФ [1]. Результаты таких исследований необходимы для тестирования и корректировки библиотек ядерных констант [2]. Характеристики нейтронного генератора НГ-12И как источника нейтронов с энергией 14 МэВ имеют важное значение для точности получения экспериментальных данных. К основным выходным параметрам генератора, влияющим на точность измерений, относятся:

- стабильность потока нейтронов во времени;
- соотношение эффект/фон, т.е. выход нейтронов в импульсе и между импульсами.

Для настройки оптимальных параметров нейтронного генератора и поддержания их в стабильном состоянии необходимо устройство, позволяющее отображать в реальном времени эти параметры. Целью настоящей работы являлась разработка монитора нейтронов с энергией 14 МэВ для измерения в реальном времени относительного потока и фоновой составляющей в интервалах времени между импульсами. На основе показаний монитора будет проводиться настройка импульсного режима работы нейтронного генератора НГ-12И с целью получения оптимального соотношения эффект/фон и поддержания его на время измерений.

ИМПУЛЬСНЫЙ КАНАЛ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НГ-12И

При проведении ядерно-физических исследований на импульсном канале нейтронного генератора НГ-12И на точность получаемых результатов влияют два параметра установки — стабильность потока нейтронов во времени и соотношение эффект/фон. Эти параметры зависят от режима работы установки.

Рассмотрим принцип работы импульсного канала. Конструкция импульсного канала (рис. 1) содержит следующие основные элементы: генератор отклоняющих импульсов; отклоняющие пластины, установленные на высоковольтных керамических изоляторах; ионопровод; диафрагму; металло-третиевую мишень. Генератор отклоняющих импульсов предназначен для формирования импульсов длительностью 20 нс, частотой следования 200 кГц и амплитудой 4 кВ, которые подаются на отклоняющую систему. Импульсно-периодический режим реализуется следующим образом. При отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах пучок ионов дейтерия попадает на край диафрагмы, охлаждаемой водой, и не достигает третиевой мишени. При подаче на отклоняющие пластины импульсов напряжения амплитудой 4 кВ отклоненный пучок ионов транспортируется по ионопроводу, проходит диафрагму и попадает на охлаждаемую водой мишень диаметром 22 мм, установленную в мишен-

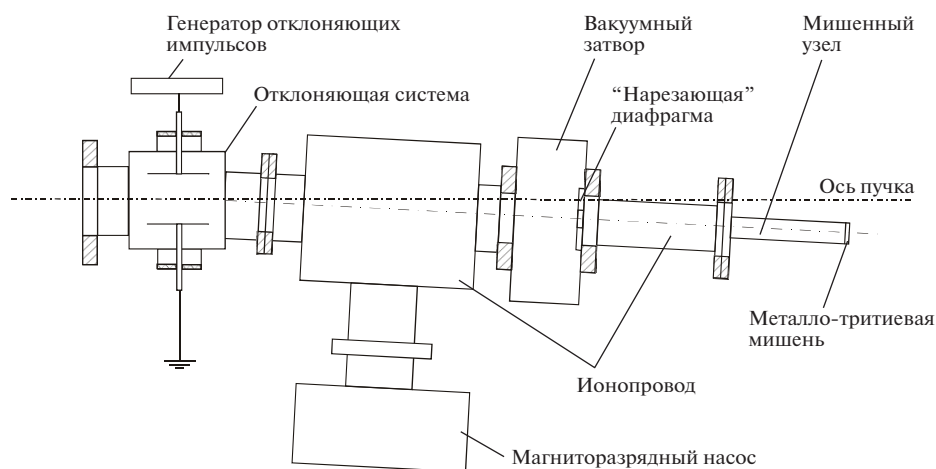


Рис. 1. Импульсный канал нейтронного генератора НГ-12И. Вид сбоку.

ном узле. В результате реакции синтеза ($d + t$) образуются нейтроны с энергией 14 МэВ.

На практике при отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах небольшая часть пучка ионов дейтерия проходит через край диафрагмы и попадает на мишень, что приводит к возникновению в промежутках между импульсами генерации нейтронов из мишени, не связанной с генерацией основного импульса, т.е. появляется фон. Фон можно устранить путем настройки фокусировки пучка дейтронов, однако при этом может существенно уменьшиться поток нейтронов из мишени.

Основные параметры, которые используют при настройке импульсного режима нейтронного генератора НГ-12И, — это ток диафрагмы и ток мишени, который возникает в результате попадания дейтронов на данные элементы. Однако с использованием этих параметров затруднительно настроить оптимальный режим работы нейтронного генератора, т.е. получить минимальный фон или его отсутствие при максимальном выходе нейтронов в импульсе. При такой настройке возникают три основные проблемы:

1) невозможно определить, насколько сфокусирован пучок дейтронов и в какую часть мишени он попадает (с краю или в центр), в результате при

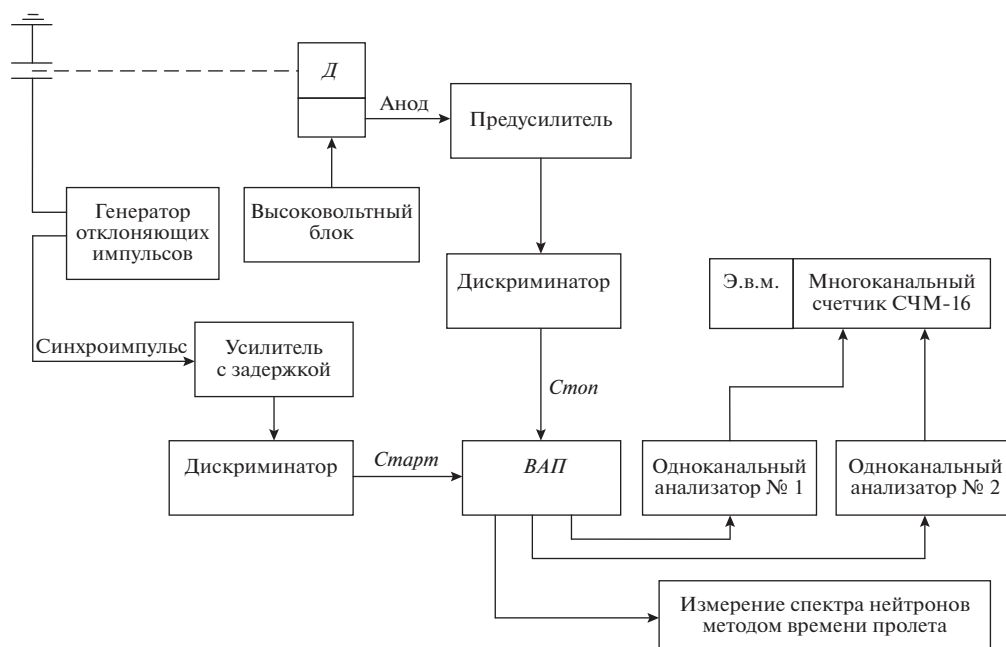


Рис. 2. Блок-схема измерительной аппаратуры. Д — детектор; ВАП — времяамплитудный преобразователь.

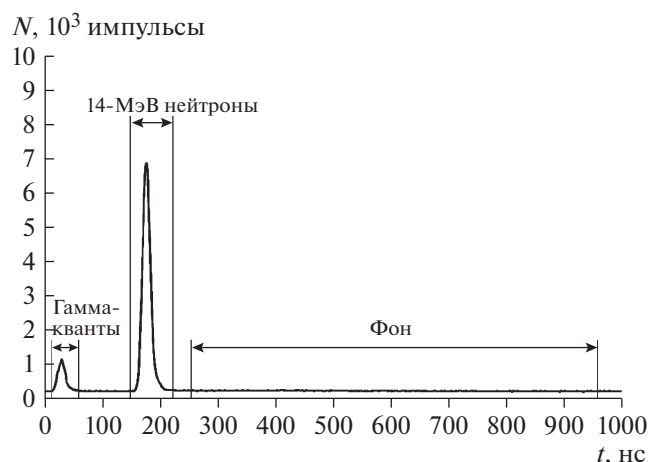


Рис. 3. Спектр, измеренный методом времени пролета из мишени нейтронного генератора НГ-12И.

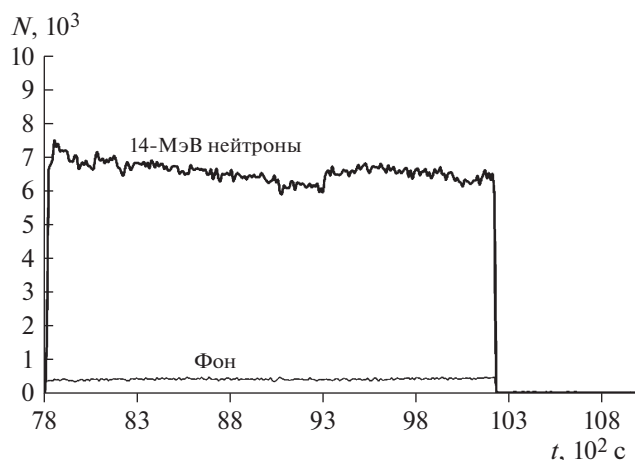


Рис. 4. Иллюстрация работы монитора потока нейтронов с энергией 14 МэВ при работе нейтронного генератора НГ-12И в импульсном режиме.

одинаковом токе на мишени поток нейтронов может отличаться в разы;

2) невозможно сфокусировать пучок дейтронов так, чтобы при отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах ток на мишени был минимальным или отсутствовал (минимизировать прохождение дейтронов на мишень между импульсами), а при подаче напряжения на отклоняющие пластины ток на мишени был максимален;

3) нет прямых показаний потока нейтронов.

Для решения данных проблем был создан импульсный монитор потока 14-мегаэлектронвольтных нейтронов.

МОНИТОР ПОТОКА НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14 МэВ

Идея разработки устройства заключается в регистрации нейтронов в импульсе и между импульсами (фоновая компонента). Для регистрации этих двух компонент были использованы спектрометрическая аппаратура в стандарте NIM [3] и многоканальный счетчик импульсов СЧМ-16. В качестве детектора использовался сцинтилляционный детектор с кристаллом стилибена $\varnothing 70 \times 70$ мм. Расстояние между металло-третиевой мишенью и детектором составляло 9.2 м. Разделение нейтронов в импульсе и фоновой компоненты проводилось методом времени пролета [4]. Блок-схема измерительной аппаратуры представлена на рис. 2.

Принцип работы измерительной аппаратуры следующий. Для измерения времени пролета нейтронов между мишенью и детектором в качестве точки отсчета используется импульс от генератора отклонения ионного пучка установки НГ-12И. Синхронно с высоковольтным импульсом с генератора отклоняющих импульсов подается

сигнал на усилитель с задержкой. Задержанные импульсы поступают на быстрый дискриминатор, и уже сформированные прямоугольные импульсы в качестве стартового сигнала подаются на вход времяамплитудного преобразователя ВАП.

Зарегистрированные детектором D нейтроны создают электрические импульсы, которые поступают на вход предусилителя. Предварительно усиленный сигнал подается на вход дискриминатора, и уже сформированный сигнал в качестве стопового поступает на вход ВАП.

В ВАП формируется сигнал, амплитуда которого пропорциональна времени пролета регистрируемых частиц. Запуск преобразователя осуществляется сигналом с генератора отклоняющих импульсов (C_{apm}), остановка преобразователя — сигналом с детектора (C_{mon}). Преобразованные импульсы амплитудой до 10 В поступают на одноканальные анализаторы № 1 и № 2. Последние настраиваются с помощью временного окна так, что на выходе анализатора № 1 появляются сигналы только от зарегистрированных нейтронов в импульсе, а на выходе анализатора № 2 — сигналы, возникающие только от фоновой составляющей. Сигналы с одноканальных анализаторов поступают на счетчик СЧМ-16, встроенный в э.в.м., на мониторе которой в реальном времени отображается относительный поток нейтронов и фон, возникающий в интервалах времени между импульсами.

Настройка и проверка работоспособности монитора проводилась с использованием аппаратурных спектров, измеренных методом времени пролета (рис. 3). На спектре отображены следующие составляющие: пик гамма-излучения (10–60 нс), пик 14-МэВ нейтронов (170–220 нс) и фоновая составляющая (250–950 нс). В зависимости от

Таблица 1. Результаты экспериментов с использованием монитора потока нейтронов с энергией 14 МэВ и без него

Эксперимент	Составляющая 14-МэВ нейтронов (эффект), импульсы	Составляющая фона (фон), импульсы	Эффект/фон
без монитора	61914	22911	2.7
с монитором	81360	6082	13.4

условий эксперимента выбранные временные области можно изменять. Каждый анализатор проверялся путем подачи стробирующего сигнала (в режиме совпадений) на многоканальный анализатор. Анализатор № 1 регистрирует частицы во временной области 170–220 нс, анализатор № 2 – во временной области 780–970 нс.

На рис. 4 представлены показания монитора при работе нейтронного генератора НГ-12И в импульсном режиме в течение 1 ч. Верхний график описывает выход нейтронов, нижний – фоновую составляющую. Наблюдая за показаниями монитора, оператор установки может в реальном времени проводить настройку режима работы нейтронного генератора НГ-12И. Согласно рисунку, нейтронный генератор работал стабильно (выход нейтронов во времени был практически постоянен, относительный уровень фона не превышал за все время измерений 5%).

В табл. 1 приведены экспериментальные данные (суммарное количество импульсов во временной области фона и нейтронов), полученные в измерениях методом времени пролета без монитора и с монитором потока нейтронов. По данным таблицы видно, что фоновая составляющая с монитором в 3.7 раза меньше, при этом составляющая нейтронов в импульсе на 25% больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан монитор потока нейтронов с энергией 14 МэВ, используемый для настройки нейтронного генератора НГ-12И в импульсно-периодическом режиме работы. Приведена блок-схема и описан принцип действия устройства. Представлены показания монитора, с помощью которых в реальном времени проводится настройка режима работы нейтронного генератора НГ-12И.

Использование разработанного монитора в измерениях позволило контролировать относительный поток нейтронов с энергией 14 МэВ, а также проводить настройку оптимального режима работы нейтронного генератора НГ-12И с наилучшим соотношением эффект/фон. В результате существенно увеличился поток 14-МэВ нейтронов и при этом в три раза уменьшился фон. Также, из-за уменьшения фона, ресурс металло-третиевой мишени возрос (до 2 раз).

С использованием монитора потока нейтронов с энергией 14 МэВ выполнен цикл измерений спектральных характеристик гамма-нейтронного излучения, образующегося при взаимодействии 14-МэВ нейтронов с конструкционными материалами [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин Г.Г., Морозов А.В., Свинин М.П., Солнышков Д.А., Кирюшкин С.В., Магда Э.П., Мокичев Г.В., Сауков А.И., Семков А.Л. // Атомная энергия. 2003. Т. 94. Вып. 2. С. 127.
2. Горячев И.Г., Колеватов Ю.И., Семенов В.П., Трыков Л.А. Интегральные эксперименты в проблеме переноса ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Каталог. Московское представительство Pribori Oy официальный представитель ORTEC. Web site: www.pribori.com
4. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Андреев С.А., Габбасов Д.М., Зацепин О.В., Намаконов В.В., Соколов Ю.А., Хатунцев К.Е., Хмельницкий Д.В. // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2018. Вып. 2. С. 161.