

## Лабораторная работа №2

**Изучение работы прибора для определения выхода нейтронов ТПИВН61, основанного на активационной методике. Определение выхода 2,5 МэВ-ных нейтронов в реакции синтеза D+D при работе генератора ИНГ-103 на камере плазменного фокуса**

**Цель работы:** изучение принципов активационной методики на основе естественного серебра и ее применение для определения выхода нейтронов генератора ИНГ-103 (на камере плазменного фокуса)

### Теоретическая часть

#### *Назначение прибора*

Прибор ПИВН предназначен для измерения выхода нейтронов от импульсного нейтронного излучателя (импульсного нейтронного генератора или другого импульсного нейтронного источника) с энергией нейтронов от 80 до 2400 фДж (от 0,5 до 15 МэВ).

ПИВН представляет собой активационный детектор, совмещенный с бета счетчиками наведенной активности.

#### *Устройство прибора*

ПИВН состоит из двух отдельных блоков:

- выносного блока детектирования (БД);
- блока регистрации и питания (БРП).

Блоки подключаются друг к другу с помощью соединительного жгута длиной 25 м.

В состав ПИВН в зависимости от исполнения могут быть включены один или два типа БД:

- ТПИВН61.500;
- ТПИВН61.600.

БД каждого типа состоит из:

- электрической платы;

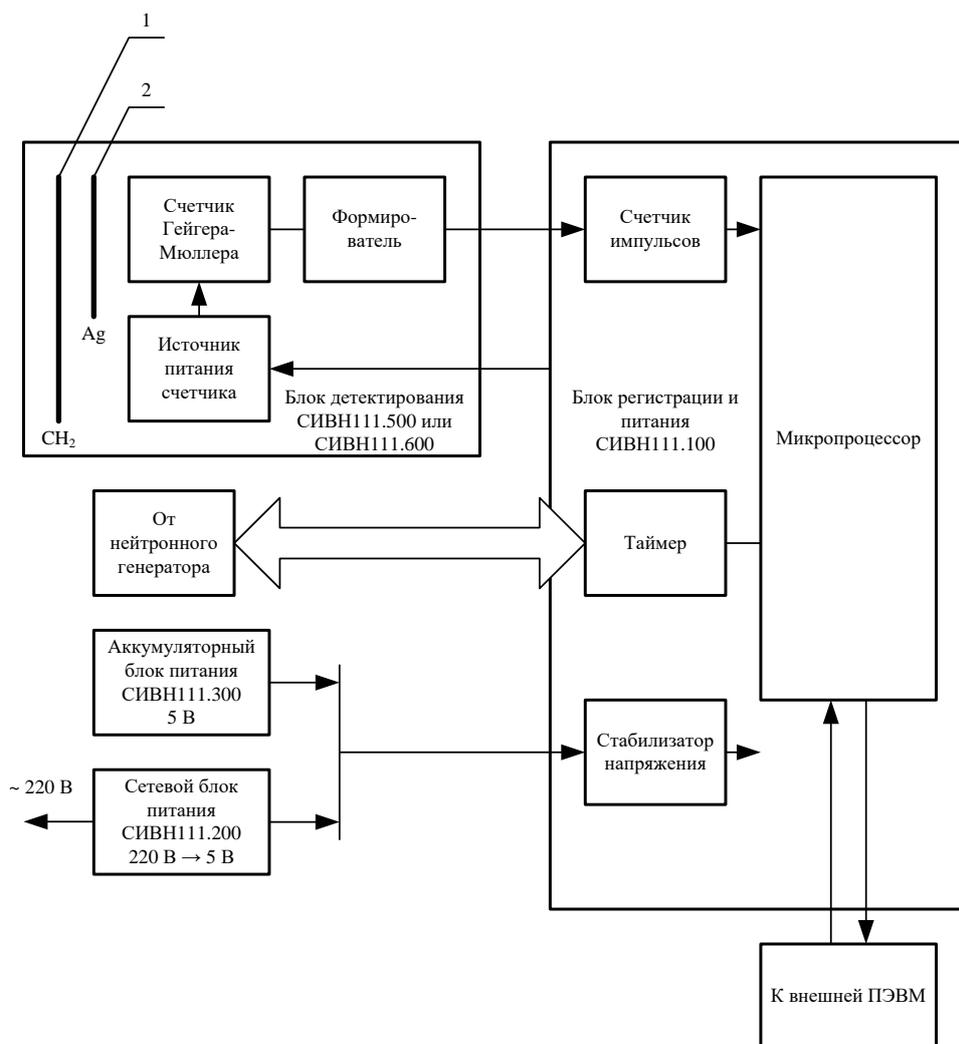
- шести счетчиков, каждый из которых обернут в серебряную фольгу толщиной 0,4 мм (для БД ТПИВН61.500 - счетчики типа СБМ19; для БД ТПИВН61.600 - счетчики типа СБМ21);

- полиэтиленового замедлителя;

- кадмиевых экранов;

- внешнего полиэтиленового экрана.

Структурная схема ПИВН представлена на рисунке 1. При подаче питания на БРП его микропроцессор с помощью генератора широтно-импульсной модуляции и источника питания БД создает высокое напряжение питания счетчика Гейгера-Мюллера (~ 400 В), значение которого выводится на ЖКИ БРП. После прохождения режима самоконтроля ПИВН переходит в режим «МЕНЮ» и ожидает выбора оператором режима работы: счета импульсов или измерения выхода нейтронов.



1 - замедлитель;

2 - детектор активационный;

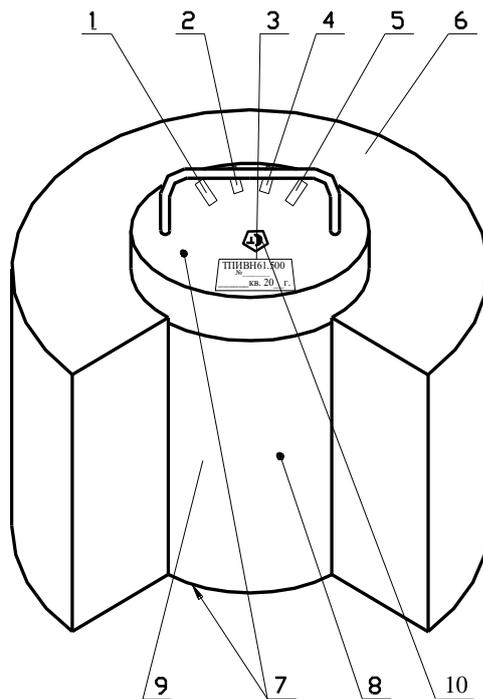
БРП - блок регистрации и питания ТПИВН61.100;

БД - блок детектирования ТПИВН61.500 (ТПИВН61.600);

ПЭВМ - персональный компьютер.

Рисунок 1 – Структурная схема ПИВН

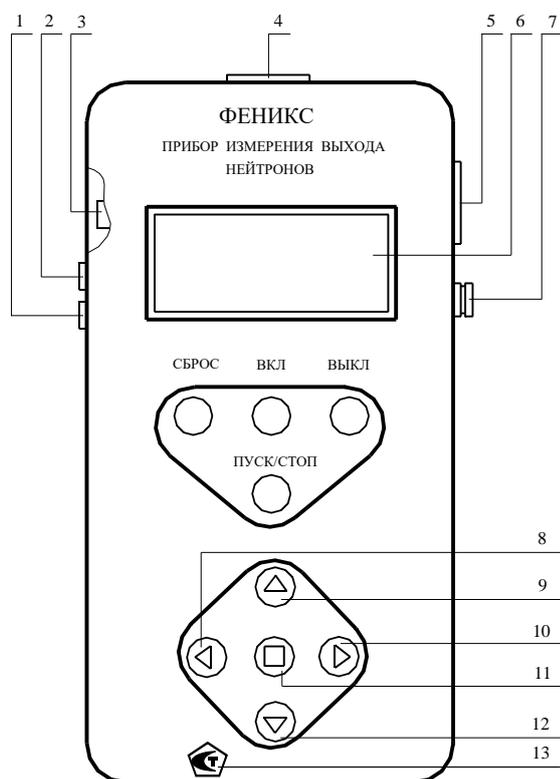
Внешний вид БД приведен на рисунке 2.



- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 - соединитель СИНХР. ВХ.; | 6 - экран;                  |
| 2 - соединитель БРП;        | 7 - пломба ОТК (2 шт.);     |
| 3 - этикетка;               | 8 - цветовая метка БД;      |
| 4 - соединитель КОНТР.;     | 9 - замедлитель;            |
| 5 - клемма « ⊥ »;           | 10 - знак утверждения типа. |

Рисунок 2 – Внешний вид БД

Внешний вид блока регистрации и питания на рисунке 3.



- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1 - соединитель СИНХР.ВЫХ.; | 7 - клемма « ⊥ »;                        |
| 2 - соединитель СИНХР.ВХ.;  | 8,10 - кнопки выбора меню;               |
| 3 - соединитель ПИТ;        | 9,12 - кнопки выбора значения параметра; |
| 4 - соединитель БД;         | 11 - кнопка ввода данных;                |
| 5 - соединитель ПК;         | 13 - знак утверждения типа.              |
| 6 - ЖКИ;                    |  |

«а»



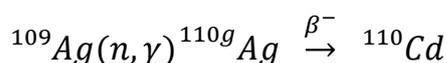
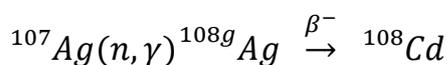
«б»

Рисунок 3 – Внешний вид панели БРП (а), фотография комплекта ПИВН61 (б)

## Принцип действия и режимы работы

После прохождения режима самоконтроля ПИВН переходит в режим «МЕНЮ» и ожидает выбора оператором режима работы: счета импульсов или измерения выхода нейтронов.

В режиме измерения выхода нейтронов, при срабатывании импульсного нейтронного излучателя быстрые нейтроны замедляются в полиэтиленовом замедлителе до тепловых энергий. Под действием тепловых нейтронов в серебряной фольге естественного изотопного (соотношение  $^{107}\text{Ag}$  и  $^{109}\text{Ag}$  примерно 50:50) состава протекают следующие основные реакции с образованием радионуклидов  $^{108g}\text{Ag}$  и  $^{110g}\text{Ag}$ :



Характеристики ядерных реакций и их продуктов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Облучаемый нуклид	Распространенность изотопа, п, %	Сечение ядерной реакции (п,γ), барн		Продукт реакции	Период полураспада, T <sub>1/2</sub>	Регистр. излучение (тип, энергия, его выход на распад)		
		тепловые нейтроны	резонансные нейтроны			вид распада	% ветвления	Ераспада, кэВ
$^{107}\text{Ag}$	51,84	37,6	756	$^{108g}\text{Ag}$	2,37 мин	β <sup>-</sup>	97,2	1650
$^{109}\text{Ag}$	48,16	86,3	1330	$^{110g}\text{Ag}$	24,62 с	β <sup>-</sup>	99,7	2870

Регистрация наведенной активности осуществляется счетчиками Гейгера-Мюллера. При этом регистрируется бета-излучение обоих нуклидов. Далее импульсы со счетчиков формируются в нормализованные и передаются на БРП.

Счет импульсов в заданных интервалах времени производится микропроцессором при запуске по программе:

- от внешнего импульса запуска импульсного нейтронного излучателя;
- после запуска импульсного нейтронного излучателя с помощью импульса от

ПИВН;

- вручную оператором.

ПИВН имеет следующие режимы работы:

- самоконтроль;
- счет импульсов;
- измерение естественного радиационного фона;
- измерение выхода нейтронов.

Режим работы ПИВН выбирают в зависимости от поставленной задачи.

Измерение выхода нейтронов ПИВН осуществляется путем обработки данных измерения счета импульсов по циклограмме рисунка 4. Запуск ПИВН осуществляется синхронно (в пределах  $\pm 10$  мкс) с нейтронным импульсом. Далее дается выдержка 0,2 с на высвечивание короткопериодных продуктов. В течение последующих интервалов,  $T_{и1} = 40$  с и  $T_{и2} = 231$  с, измеряется количество импульсов, которое переводится с помощью микропроцессора в количество нейтронов, излученных ИНИ. Задержка между этими интервалами установлена равной 100 с. Длительность всего цикла измерения составляет 371,2 с.

$t_{\phi}=400$ с	10 мкс	$t_{ож1}$	$t_{и1}=15$ с	$t_{и2}=25$ с	$t_{ож2}$	$t_{и3}=86,6$ с	$t_{и4}=144,4$ с	Остаточная активность + Фон
Фон	Запуск	0,2 с	$T_{и1}=40$ с для $^{110g}Ag$		100 с	$T_{и2}=231$ с для $^{108g}Ag$		
<b>ОЦФ</b>	Измерение выхода – 371,2 с							<b>ЭФОН</b>

где:  $t_{ож1}$ ,  $t_{ож2}$  - время ожидания спада активности короткопериодных продуктов распада наведенной активности элементов конструкции и основного нуклида серебра  $^{110g}Ag$ , соответственно;

$T_{и1}$ ,  $T_{и2}$  - время измерения распада нуклидов  $^{110g}Ag$  ( $t_{и1} + t_{и2} = 40$  с) и  $^{108g}Ag$  ( $t_{и3} + t_{и4} = 231$  с), соответственно;

ОЦФ - оценка фона;

ЭФОН - экспресс фон.

Рисунок 4 – Циклограмма измерения наведенной активности серебра в ПИВН

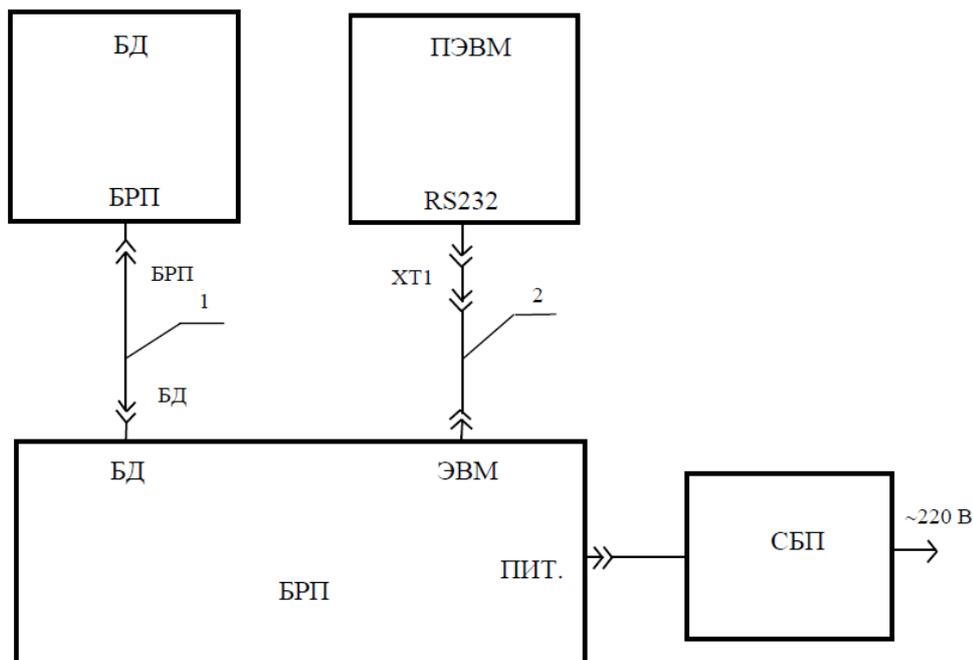
С целью контроля стабильности счетчика импульсов, таймера и расположения синхроимпульса относительно нейтронного импульса, каждый из интервалов измерения  $T_{и1}$ ,  $T_{и2}$  разбит на два подинтервала измерения  $t_{и1}$ ,  $t_{и2}$  и  $t_{и3}$ ,  $t_{и4}$ , соответственно.

Все режимы работы отображаются на ЖКИ БРП (рисунок 2).

ПИВН обеспечивает отображение результатов измерения на ЖКИ БРП и передачу результатов измерения на ПЭВМ по интерфейсу RS232.

### Использование по назначению

Для сборки ПИВН необходимо соединить составные части прибора в соответствии с рисунком 5.



БД - блок детектирования ТПИВН61.500 (ТПИВН61.600);

БРП - блок регистрации и питания ТПИВН61.100;

СБП - сетевой блок питания ТПИВН61.200;

ПЭВМ - персональный компьютер (в состав ПИВН не входит);

ХТ1 - переходник DB9M-DB25F (при необходимости);

1 - жгут ТПИВН61.010;

2 - шнур нуль-модем COM-COMDB9F-DB9F.

Рисунок 5 – Основная схема подключения ПИВН

Включить питание ПЭВМ, по завершению загрузки включить БРП и после выдачи на ЖКИ номера версии необходимо:

- выбрать язык сообщений;
- установить тип подключенного БД;
- проверить прохождение режима самоконтроля;
- проверить коэффициент преобразования гамма-излучения (в данной лабораторной работе не проверяется).

Допускается эксплуатация ПИВН при температуре окружающей среды от плюс 5 до плюс 35 °С, относительной влажности воздуха 75 % при температуре 30 °С, при более низких температурах без конденсации влаги.

Запрещается располагать посторонние предметы и элементы конструкции, не введенные в комплект поставки на измеряемый импульсный нейтронный излучатель, на расстоянии от него и БД меньше, чем  $2L$  ( $L$  - расстояние от БД до мишени излучателя), при этом расстояние до пола допускается устанавливать 1 м, при  $L > 50$  см.

Повторное включение импульсного нейтронного излучателя допускается производить после готовности БРП (через 5 мин).

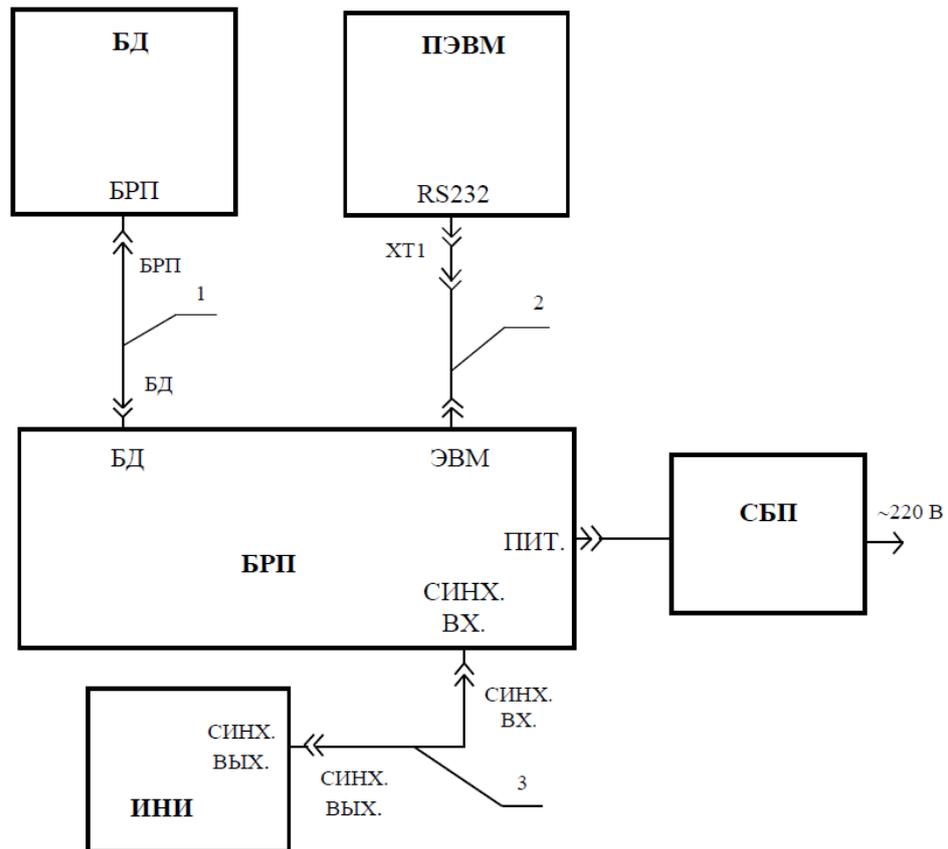
### *Проведение измерений с импульсным нейтронным излучателем*

Собрать схему измерения выхода нейтронов в соответствии с рисунком 6.

Установить БД на заданном расстоянии от импульсного нейтронного излучателя в соответствии с документацией на него (или по методике ТПИВН61Д60).

Включить ПИВН: включить питание ПЭВМ, по завершению загрузки включить БРП.

На БРП установить режим измерения выхода нейтронов, ввести значение коэффициента преобразования  $S_n$  из документации на ИНИ и провести измерение фона в течении 400 с (делается автоматически в процессе подготовки к измерению).



БД - блок детектирования ТПИВН61.500 (ТПИВН61.600);

БРП - блок регистрации и питания ТПИВН61.100;

СБП - сетевой блок питания ТПИВН61.200;

ПЭВМ - персональный компьютер;

ИНИ - импульсный нейтронный излучатель;

ХТ1 - переходник DB9M-DB25F (при необходимости);

1 - жгут ТПИВН61.010;

2 - шнур нуль-модем COM-COMDB9F-DB9F;

3 - жгут ТПИВН61.030.

Рисунок 6 – Схема измерения выхода нейтронов

Провести срабатывание импульсного нейтронного излучателя.

**ВНИМАНИЕ! СОБЛЮДАЙТЕ МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ СОГЛАСНО ДОКУМЕНТАЦИИ НА ИМПУЛЬСНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ.**

В течение 400 с на ЖКИ последовательно высвечиваются результаты измерения числа импульсов в интервалах времени  $t_{ож1}$ ,  $t_{и1}$ ,  $t_{и2}$ ,  $t_{ож2}$ ,  $t_{и3}$ ,  $t_{и4}$  согласно рисунку 4.



соединен жгутом управления с пультом дистанционного управления ИНГ-103 на рабочем месте в Д-116. Для обеспечения работы термоэлемента и напуска газа в камеру ПФ камера через фильтр нижних частот подключена к источнику низковольтного питания.

К разъему генератора «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ U1» подключен контрольный вольтметр АКТАКОМ АВМ-4084, предназначенный для измерения зарядного напряжения на емкостном накопителе. Коэффициент преобразования показаний вольтметра - 1,2, т.е. зарядное напряжение на конденсаторах емкостного накопителя генератора  $U_{зар} [кВ] = U_{мультимер} [В] / 1,2$ . Пример: 6 вольт на мультиметре соответствует  $U_{зар} = 5$  кВ.

Разъем на выходе пояса Роговского блока излучателя нейтронов ИНГ-103 подключен через делитель напряжения 1/10 ко входу цифрового осциллографа TDS2024C. Осциллограф используется для записи осциллограмм разрядного тока через камеру ПФ при срабатывании нейтронного генератора.

Детектор ТПИВН предназначен для измерения выхода нейтронов генератора ИНГ-103. Блок детектирования располагается в непосредственной близости от камеры ПФ (на расстоянии ~17 см в соответствии с паспортными данными, полученными при его абсолютной калибровке). Блок регистрации и питания размещен на рабочем месте ИНГ-103 в Д-116. Детектор ТПИВН должен быть включен в соответствии с ТПИВН61РЭ, пройден самоконтроль, проведено накопление фоновых данных в течение 400 с. Срабатывание генератора формирует синхросигнал на антенне входа синхронизации БД ТПИВН и автоматически запускает программу расчета выхода нейтронов.

## *Порядок выполнения работы*

**Внимание!** Все работы, связанные с приведением установки в рабочее состояние перед началом выполнения лабораторной работы, а также с пусками нейтронного генератора осуществляются только под наблюдением преподавателя!

1. Включить БРП ТПИВН, нажав кнопку ВКЛ на лицевой панели прибора. После выдачи на ЖКИ номера версии необходимо, используя стрелки для выбора ответа и «квадрат»  для подтверждения:
  - выбрать язык сообщений («РУС»);
  - установить тип подключенного БД («500»);
  - проверить прохождение режима самоконтроля (через 40 с напряжение на счетчиках должно быть  $(400 \pm 4)$  В).
2. После успешного прохождения самоконтроля ТПИВН переходит в режим МЕНЮ.
3. Для проверки функционирования ТПИВН произвести измерение фонового счета прибора:
  - 3.1 Установить режим счета импульсов, для чего переместить курсор в позицию «УСТ» в строке «СЧЕТ» и нажать кнопку .
  - 3.2 Установить время счета импульсов: 100 с (диапазон: 0 – 999,9 с).
  - 3.3 Установить напряжение на счетчиках: 400 В (варианты: 350, 400, 440 В).
  - 3.4 Вернуться в меню (символ «М»).
  - 3.5 Переместить курсор в позицию «РАБ» в строке «СЧЕТ» и нажать кнопку .
  - 3.6 Нажать кнопку ПУСК.
  - 3.7 Записать полученное значение фонового счета.
  - 3.8 Повторить измерения 4 раза, усреднить результат. Полученное число не должно превышать 1750 импульсов.
4. Перевести прибор в режим измерения выхода нейтронов:
  - 4.1 Переместить курсор в позицию «УСТ» в строке «NBЫХ» и нажать кнопку .
  - 4.2 Установить величину, обратную коэффициенту преобразования выхода нейтронов: 3,937Е3 (именно в таком формате).
  - 4.3 Вернуться в меню (символ «М»).

4.4 Переместить курсор в позицию «РАБ» в строке «NBЫX» и нажать кнопку □.

Запуск ТПИВН на измерение наведенной активности должен производиться после завершения первоначальной оценки фона (400 с).

После этого ТПИВН готов к измерению выхода нейтронов. Пока нет этой команды, прибор проводит экспресс-измерения фона (высвечивается режим «ЭФОН»), при этом на экране показывается текущее значение фона за 400 с, которое обновляется через каждые 10 с.

После нажатия кнопки ПУСК или прихода запускающего синхроимпульса начинается измерение наведенной активности серебра (под действием нейтронов импульсного источника), которая потом пересчитывается в выход нейтронов.

5. Подготовить к работе генератор нейтронов ИНГ-103:

5.1 Убедиться, что тумблеры ПИТАНИЕ излучателя нейтронов и переключатель ПИТАНИЕ (SUPPLY) устройства управления находятся в положении ВЫКЛ и ОТКЛ соответственно.

5.2 На низковольтном блоке питания камеры ПФ повернуть ручку выходного напряжения до упора влево. Включить ИП и, плавно повышая выходное напряжение (ступеньками по 1 В, выдерживая на каждом напряжении 5-10 с), довести ток потребления до 0,52 А (при этом напряжение д.б. в диапазоне 8-10 В).

5.3 На лицевой панели блока сигнализации ИНГ-103 установить переключатель автомата ЗАЩИТА СЕТИ в положение ВКЛ. Включить тумблеры 1-2-3.

5.4 Выдержать генератор в таком состоянии 3 минуты.

5.5 Включить контрольный вольтметр. При необходимости установить диапазон измерения напряжения (рабочий диапазон 0 - 30 В).

5.6 Включить осциллограф. Установить масштаб шкалы напряжения 5В/ дел, шкалы времени – 2,5 мкс/ дел. Множитель пробника должен быть  $\times 1$ , входное сопротивление канала 1 МОм, ограничение полосы пропускания отключено.

5.7 Запуск развертки установить по растущему фронту сигнала на уровне  $\sim 1$  В, начало развертки сместить на 3 клетки влево от середины экрана осциллографа.

5.8 Перевести осциллограф в режим одиночного запуска (ждущий режим для регистрации однократных процессов) нажав кнопку «Single» на лицевой панели прибора.

5.9 Включить зарядку высокого напряжения емкостного накопителя переключив тумблер ПИТАНИЕ (SUPPLY) на пульте управления ИНГ-103 в положение ВКЛ (ON) и зарядить накопитель до напряжения 10 кВ.

Контролировать значение зарядного напряжения по показаниям вольтметра АКТАКОМ АВМ-4084.

**Внимание!** Помните о коэффициенте преобразования показаний вольтметра!

5.10 При достижении требуемого значения зарядного напряжения перевести переключатель ПИТАНИЕ устройства управления в положение ОТКЛ (OFF), нажать и отпустить кнопку ПУСК (START) – генератор выдаст одиночный импульс нейтронов. На экране осциллографа наблюдать кривую разрядного тока и производную тока с интегрирующего и дифференцирующего поясов Роговского.

Повторное срабатывание импульсного нейтронного излучателя допускается производить не ранее чем через 5 мин.

6. Произвести срабатывание ИНГ-103 совместно с ТПИВН в режиме измерения выхода нейтронов и провести измерение выхода нейтронов генератора. Зарядное напряжение: 20 кВ. На осциллографе наблюдать разрядную кривую и «особенность» (момент генерации нейтронов). Записать в лабораторный журнал число отсчетов ТПИВН в интервалах T1 и T2 и результат расчетов нейтронного выхода с погрешностью.

7. Перевести прибор ТПИВН в счетный режим работы с посекундным выводом данных на ПК:

7.1 Запустить виртуальную среду VMware Workstation (иконка на рабочем столе ПК).

7.2 Выбрать в списке и запустить (кнопка POWER ON) виртуальную машину Windows ME. Дождаться загрузки ОС. В появившемся окне ВВОД СЕТЕВОГО ПАРОЛЯ вписать в графе ИМЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ «user», графу ПАРОЛЬ оставить пустой, нажать ОК.

7.3 На рабочем столе Win Me зайти в папку SHARA, запустить программу PIVN61\_SHET. Внешний вид окна программы представлен на рисунке 8.

Настройки программы: Порт COM3

Шаг измерений: 1 с

Количество измерений: 600

Файл результатов: ввести имя файла (с текущей датой в названии).

7.4 Для запуска программы нажать кнопку НАЧАЛИ, после чего запись данных стартует при нажатии кнопки ПУСК на БРП прибора ТПИВН.

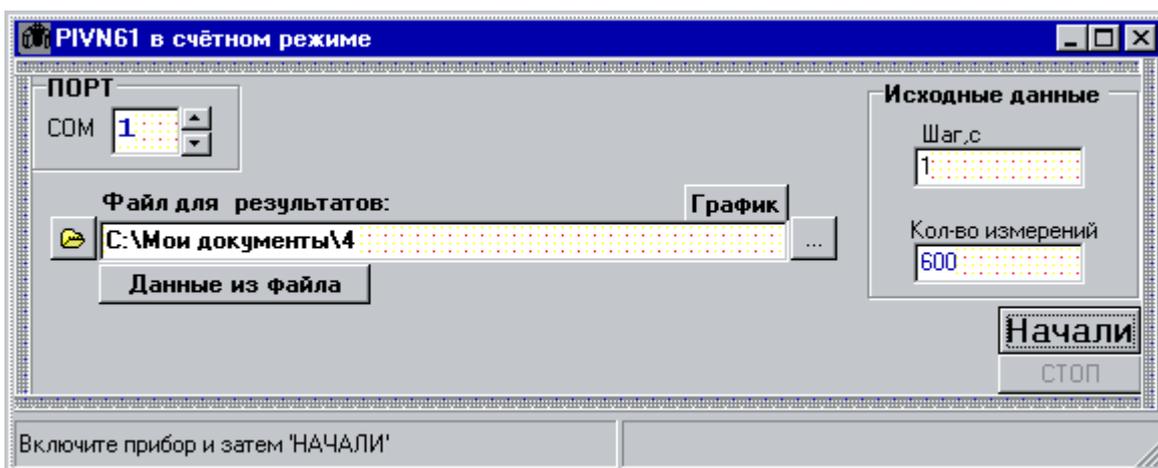


Рисунок 8 – Вид окна программы вывода счета ТПИВН в заданном временном интервале

8. Начать заряд конденсаторов ИНГ-103 до зарядного напряжения 21 кВ, переключив тумблер ПИТАНИЕ (SUPPLY) на пульте управления ИНГ-103 в положение ВКЛ (ON).
9. Нажать ПУСК на БРП ТПИВН. Запустится накопление данных в файл.
10. Произвести срабатывание генератора нейтронов ИНГ-103 при зарядном напряжении 21 кВ.
11. Для визуализации отсчетов прибора on-line нажать кнопку ГРАФИК в окне программы PIVN61\_SHET (см. рисунок 8).

По окончании набора сохранить график. Файл данных (сохраняется автоматически) и график перенести в папку пользователя в хостовой ОС. Для передачи файлов из Win Me использовать сетевой диск (Мой компьютер – Z:), доступный при работающей ВМ.

CTRL+ALT – переключение мыши из окна виртуальной машины в хостовую систему.

При обработке результатов данные о скорости счета прибора ТПИВН до срабатывания ИНГ-103 использовать для оценки фоновый уровень счета детектора.

12. По окончании работы выйти из программы, выключить ВМ через кнопку ПУСК Windows Me.

13. Типичный вид полученной зависимости представлен на рисунке 9.

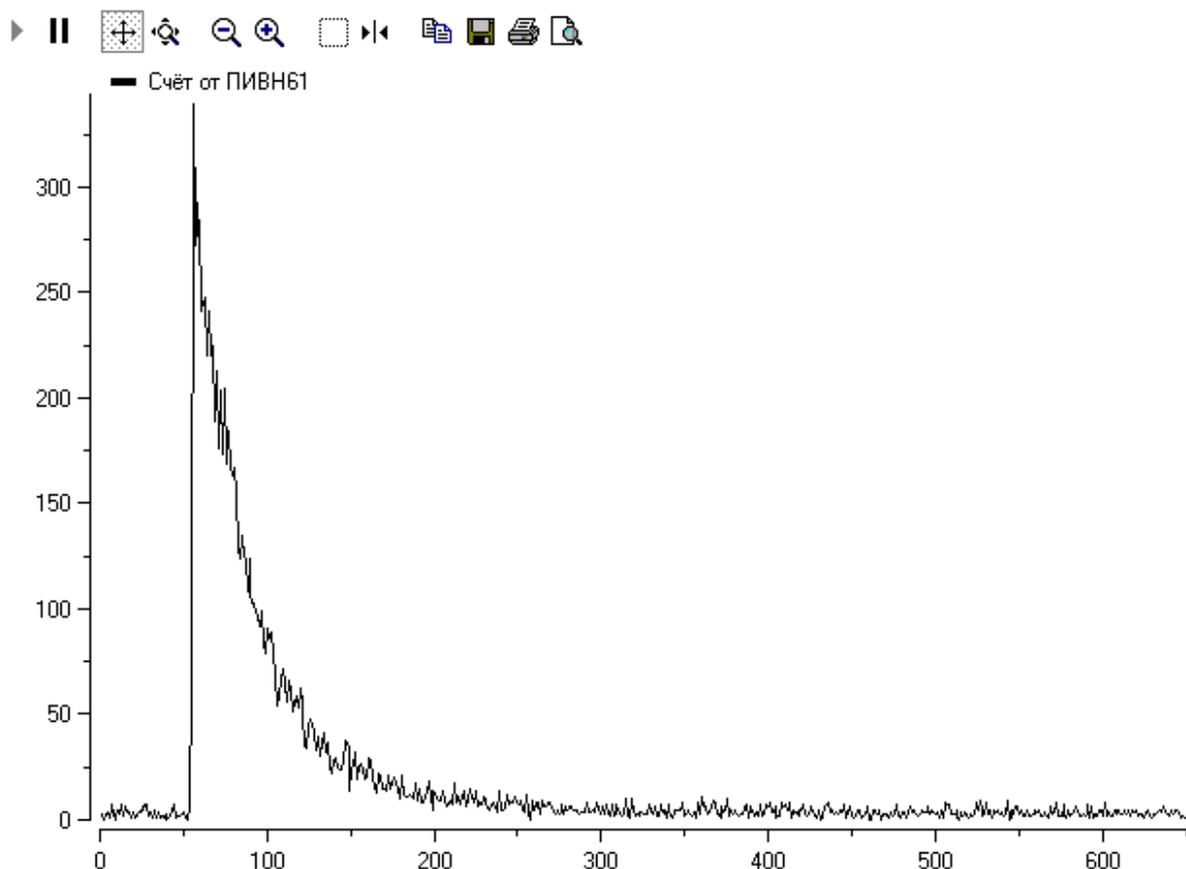


Рисунок 9 – Типовой вид профиля скорости счета ТПИВН при срабатывании нейтронного генератора ИНГ-103

## *Обработка результатов измерений*

Цель обработки: рассчитать по экспериментальным данным постоянные распада изотопов серебра (с погрешностями) и сравнить полученные результаты с табличными значениями. Объяснить расхождение, если оно будет иметь место.

Обработка результатов измерений производится любым доступным методом по согласованию с преподавателем. При обработке «вручную» удобно перевести данные в логарифмическую шкалу:

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \lambda = \ln 2 / \tau \quad \rightarrow \quad \ln N / N_0$$

Тогда компоненты распада на полученном графике могут быть экстраполированы прямыми.

Также допускается обработка в любой программе для научной графики (например, Origin), где можно сразу представить данные суммой экспонент, либо в среде MatLab. При этом для каждого метода необходимо согласовать с преподавателем перечень материалов, представляемых на защите лабораторной работы.

В большинстве методов для повышения точности обработки необходимо провести сглаживание временного профиля (например, скользящее среднее) и учет фонового уровня счета.

На графике:

Выделить на графике характерные временные области, отвечающие распаду быстрого и медленного изотопов серебра. Посчитать интегралы счета в выделенных областях (учесть наложение быстрой компоненты на медленную).

Отметить на графике временные области, отвечающие временным окнам измерения счета распадов изотопов серебра в применяемом алгоритме в детекторе ТПИВН. Посчитать интегралы счета в выделенных областях.

14. После окончания измерений выключить установку:

14.1 Для выключения генератора:

- нажать и отпустить кнопку ПУСК (START) устройства управления и убедиться по показаниям вольтметра, что на контрольных выходах зарядное напряжение отсутствует.
- отключить тумблеры 3-2-1 на лицевой панели блока сигнализации ИНГ-103, установить переключатель автомата ЗАЩИТА СЕТИ в положение ВЫКЛ.

14.2 Выключить низковольтный источник питания.

14.3 Выключить контрольный вольтметр и осциллограф.

14.4 Выключить ТПИВН, нажав кнопку ВЫКЛ на панели БРП.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие изотопы серебра используются в работе?
2. Какое процентное содержание различных изотопов серебра в природном серебре?
3. Какие более «быстрые» изотопы можно предложить для регистрации нейтронов активационным методом?
4. Можно ли использовать активационный метод для регистрации быстрых нейтронов?
5. Зачем проводят самотестирование ТПИВН61?
6. Зачем проводят измерение фона блока детектирования ТПИВН61.500?