

## ИМПУЛЬСНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ИСТОЧНИК (ИРИ) ДЛЯ КАЛИБРОВКИ МИКРОДОЗИМЕТРОВ НА “ТЕПЛЫХ ЖИДКОСТЯХ” И ТЕСТИРОВАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ТИПА

В. В. Сиксин

*Разработан ИРИ для калибровки микродозиметров и тестирования детекторов телевизионного типа (ДТеТ), а также для проверки качества образцов тетраметилсилана (ТМС) после его очистки от электроотрицательных примесей. Описана конструкция и принципиальная схема ИРИ. Описывается импульсный рентгеновский источник на твердотельном разряднике с усовершенствованной системой запуска управляемого разрядника и внешних устройств, обладающий минимальными шумовыми характеристиками.*

**Ключевые слова:** импульсный рентгеновский источник, твердотельный разрядник, электроотрицательные примеси, “теплые жидкости”, выход свободных электронов, тетраметилсилан (ТМС), жидкостные ионизационные камеры, детектор телевизионного типа.

*Введение.* Обычно импульсные рентгеновские источники (ИРИ) применяются для изучения временных характеристик ионизационных детекторов и новых сцинтилляторов [1, 2]. Разработанную технологию применения ИРИ первоначально предполагалось использовать для имитации в активных средах детекторов треков заряженных частиц больших импульсов.

В данной работе рассматривается использование ИРИ для определения выхода свободных электронов в активной среде (АС) микродозиметров (МД).

Одним из основных условий удовлетворительной работы дозиметров на “теплых жидкостях” (ТЖ) является низкое содержание в активной среде дозиметра электроотрицательных примесей. Для ТЖ концентрация электронных акцепторов  $A$  не должна

превышать несколько единиц на  $10^{-8}$  моль/л. Поэтому перед заполнением дозиметра необходимо измерять концентрацию примесей в очищенной АС микродозиметров.

В настоящей работе описывается ИРИ, разработанный и сконструированный для изучения характеристик ТЖ, предназначенных для изготовления МД, применяемых в протонной терапии. В данном варианте ИРИ имеет усовершенствованную систему коммутации по высокому напряжению на твердотельном разряднике и усовершенствованную систему запуска управляемого разрядника и внешнего управления.

Разработанный ИРИ обладает минимальными шумовыми характеристиками, что важно при работе с зарядово-чувствительными усилителями для высокоемкостных детекторов. Также ИРИ может применяться для калибровки детектора телевизионного типа (ДТеТ) при его сборке и наладке.

*Оценка собираемого заряда при облучении активной среды микродозиметра с помощью ИРИ.* Основное назначение разработанного ИРИ – это определение количества электроотрицательных примесей в АС микродозиметров на ТЖ. Проводимость или количество заряда, собираемого в АС микродозиметра, связаны с количеством электроотрицательных примесей, присутствующих в нем. Поэтому важно знать количество заряда, генерируемого с помощью ИРИ в АС микродозиметров.

Так как проводимость в диэлектрических жидкостях, таких как Аг, TMS, TMP и других, линейно зависит от поглощенной дозы за импульс ИРИ, то по генерируемому заряду в АС можно судить о количестве электроотрицательных примесей в АС и о пригодности МД к работе на установке.

Влияние основных электроотрицательных примесей на ток проводимости в диэлектрических жидкостях было исследовано Свансом [3], Шмидтом и Алленом [4, 5]. Их метод состоял в ионизации АС жидкости коротким импульсом излучения, после чего производилось измерение заряда, собираемого на электроды измерительной ячейки для различных поглощенных доз.

При достаточно небольших поглощенных дозах в жидком Аг (до 1 мР/имп) и достижении тока насыщения (при напряженности поля между электродами измерительной ячейки 10 кВ/см), имеется характерная зависимость проводимости от степени чистоты АС.

Время жизни основных носителей  $T_e$  определяется методом, основанном на измерении электропроводности АС детектора под воздействием импульса ионизирующего излучения. На рис. 1 приведена ожидаемая форма импульса тока, наведенного облучением жидкости импульсом от ИРИ.

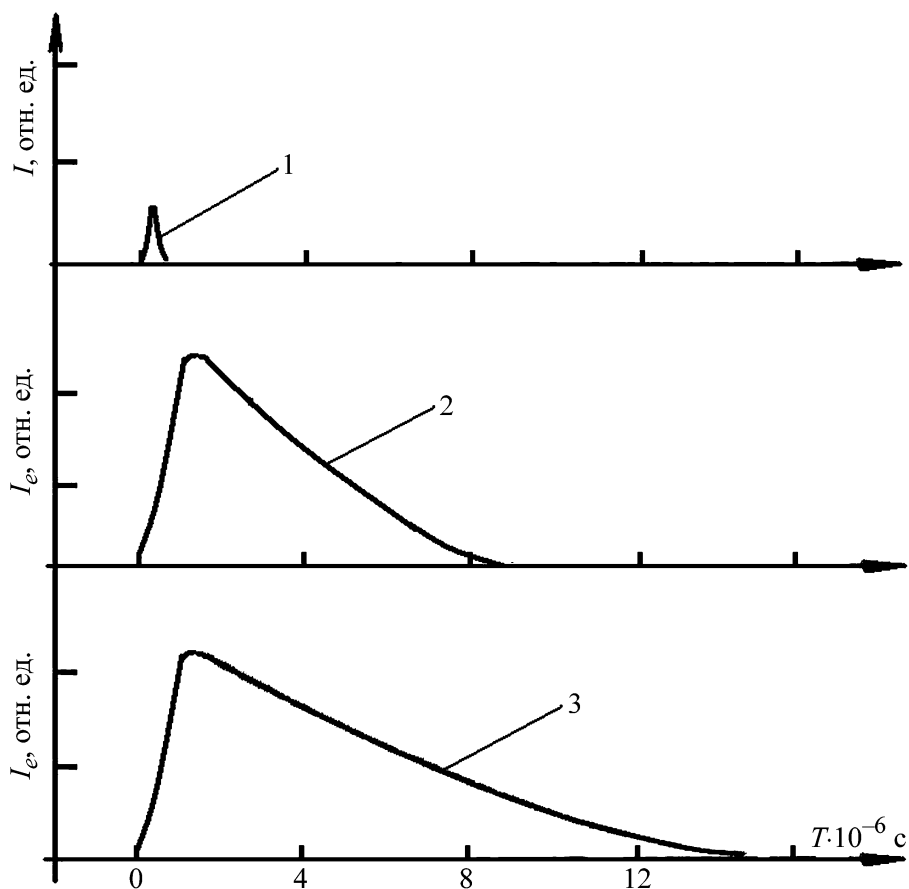


Рис. 1: Ожидаемая временная зависимость формы импульса тока, наведенного облучением “теплой жидкости” TMS импульсом от ИРИ: 1 – импульс от ИРИ, 2 – ток  $I_e$  через ионизационную камеру дозиметра ИК-TMS (при напряжении  $\sim 500$  В), 3 – то же при напряжении  $\sim 50$  В.

Видно, что при низких напряжениях на электродах измерительной ячейки ( $U = 50$  В) форма спада импульса тока описывается экспоненциальной зависимостью. Из экспоненциальной зависимости тока от времени (кривая 3) можно определить время жизни электронов  $T_e$ . Измеряя время жизни электронов и зная константу скорости захвата электронов для основных примесей в АС, можно определять концентрацию примесей по формуле:

$$A = \frac{1}{T_e \cdot K}, \quad (1)$$

где  $A$  – концентрация электронных акцепторов (моль/л);  $K$  – константа скорости реакции захвата избыточных электронов акцепторами (л/моль·с).

В этом и заключается метод контроля за концентрацией примесей в АС микродозиметров на ТЖ, в том числе на тетраметилсилане (TMS).

Важной характеристикой для ТЖ является зависимость собранного заряда в АС микродозиметра от дозы ИРИ за импульс при достаточно большой напряженности поля между электродами. Из работ [4, 5] следует, что зависимость собранного с электродов заряда является линейной функцией от поглощенной дозы за импульс. На рис. 2 приведены результаты измерения заряда в зависимости от дозы для неопентана и циклогексана [6], а также расчетная оценка, проведенная для TMS.

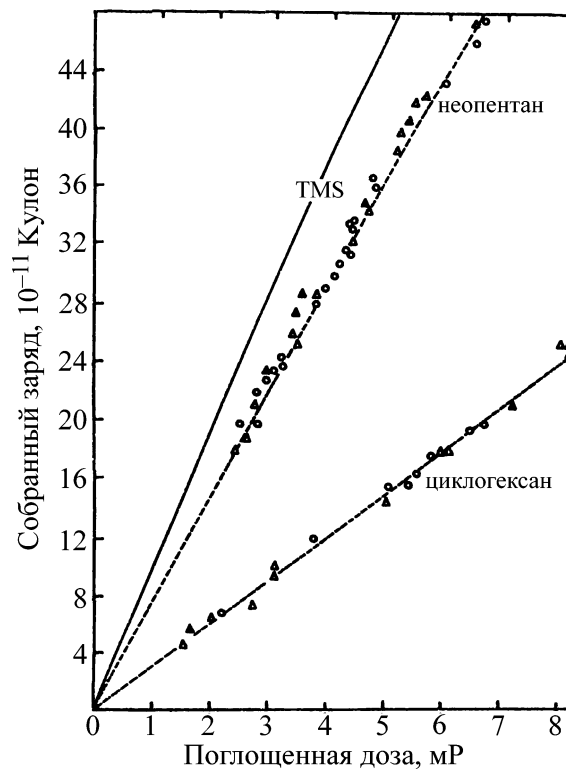


Рис. 2: Собранный заряд  $Q$  в зависимости от дозы  $D$  за импульс.  $\Delta$  и  $\circ$  – результаты работы [6], прямая – расчетная оценка для TMS.

Расчетная оценка проводится с учетом количества собираемого заряда для измерительной ячейки объемом  $2 \text{ см}^3$  с TMS при облучении ее с помощью ИРИ, используя формулу [5]:

$$Q = G_{fi} \cdot D \cdot d \cdot v \cdot 10^{-10}, \quad (2)$$

где  $G_{fi}$  – выход пар свободных ионов;  $D$  – поглощенная доза (мР);  $d$  – плотность жидкости ( $\text{г}/\text{см}^3$ );  $v$  – объем измерительной ячейки ( $\text{см}^3$ ).

Результаты оценки показывают, что МД на TMS возможно калибровать и проверять с помощью разработанного ИРИ в области дозы около 1 мР/имп.

*Блок управления и принципиальная схема ИРИ.* Разработанный и созданный ИРИ состоит из блока управления (рис. 3) и разрядно-накопительной системы (РНС) с высоковольтным блоком (ВБ) (рис. 4), которые соединяются между собой двумя кабелями I и II.

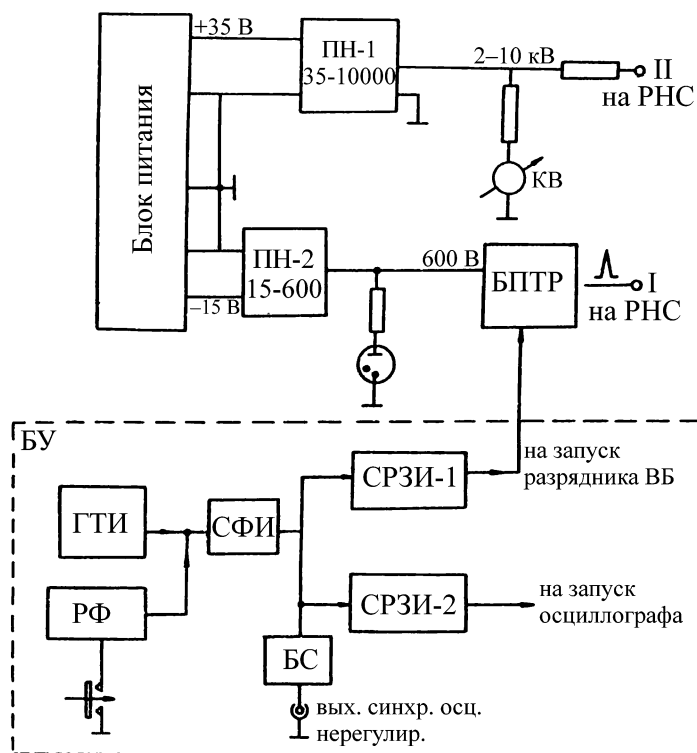


Рис. 3: Блок-схема ИРИ. БУ – блок управления, ГТИ – генератор тактовых импульсов, РФ – формирователь запуска от кнопки, СФИ – схема формирования импульсов, БС – буферная схема, СРЗИ-1 и СРЗИ-2 – схемы регулируемой задержки импульсов, БПТР – блок поджига тиристоров разрядников, ПН-1 и ПН-2 – преобразователи напряжения.

Разрядно-накопительная система (РНС) предназначена для импульсного питания ИРИ. Регулируемый преобразователь напряжения Пн-1 35-10000 служит для заряда накопительной конденсаторной батареи РНС С1–С6 до необходимого уровня. Преобразователь ПН-2 15-600 обеспечивает заряд накопительной емкости БПТР для запуска тиристоров V1–V10 управляемого разрядника РНС. ТЗ – импульсный трансформатор, V11 – разрядник-обостритель, V12 – рентгеновская трубка ИМА2-150Д.

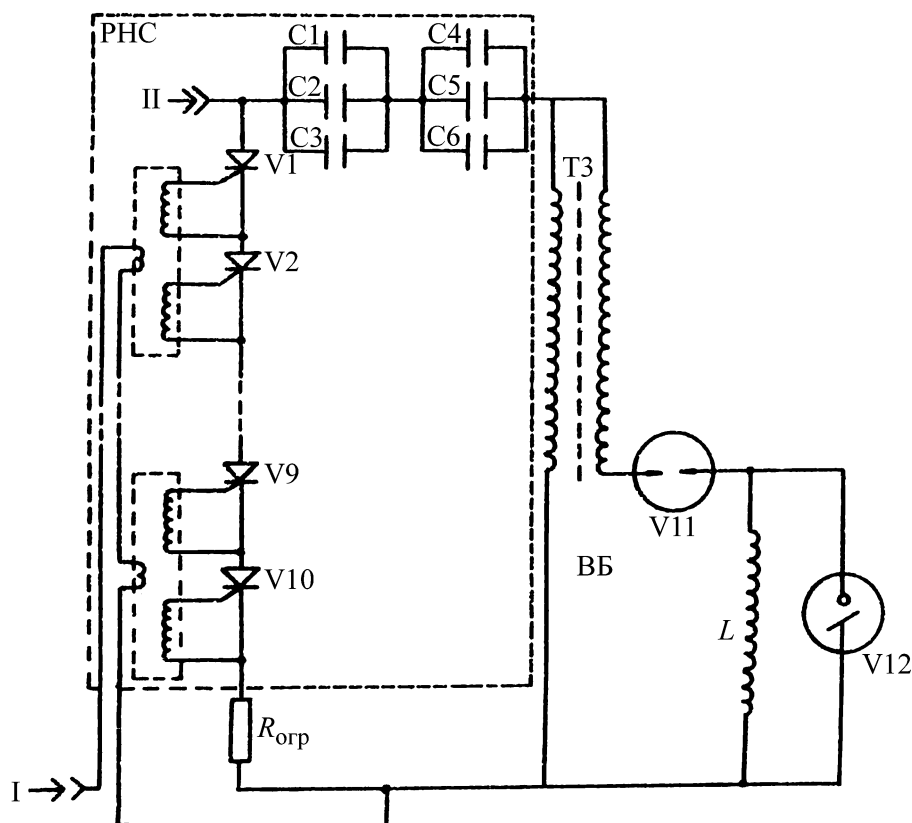


Рис. 4: Принципиальная схема разрядно-накопительной системы (РНС) и высоковольтного блока (ВБ) импульсного рентгеновского источника. Пояснения в тексте.

Блок управления (БУ) осуществляет автоматическое и ручное формирование импульсов, запускающих блоки задержки. Цикличность в автоматическом режиме составляет: 0.5; 0.15; 0.075 и 0.05 Гц.

Блоки задержки СРЗИ-1 и СРЗИ-2 аналогичны и позволяют получить на выходе задержку относительно входного запускающего импульса сигналов амплитудой 2 В в диапазонах: первый диапазон – 0.05–5 мкс, второй диапазон – 0.5–500 мкс, третий диапазон – 0.5–5 мс и четвертый диапазон – 5–11 мс.

Сигнал со схемы СРЗИ-1 поступает на вход блока поджига тиристоров разрядника (БПТР), с выхода которого импульс с амплитудой 600 В подается на вход I РНС, индуцируя в обмотках тороидальных ферритовых трансформаторов необходимые импульсы для открытия тиристоров разрядника РНС. По входу II на РНС постоянно подается высокое напряжение в интервале 2–10 кВ. Остальные элементы ВБ аналогичны схеме, описанной в работе [1].

Результаты испытаний ИРИ. Схема испытаний ИРИ приведена на рис. 5.

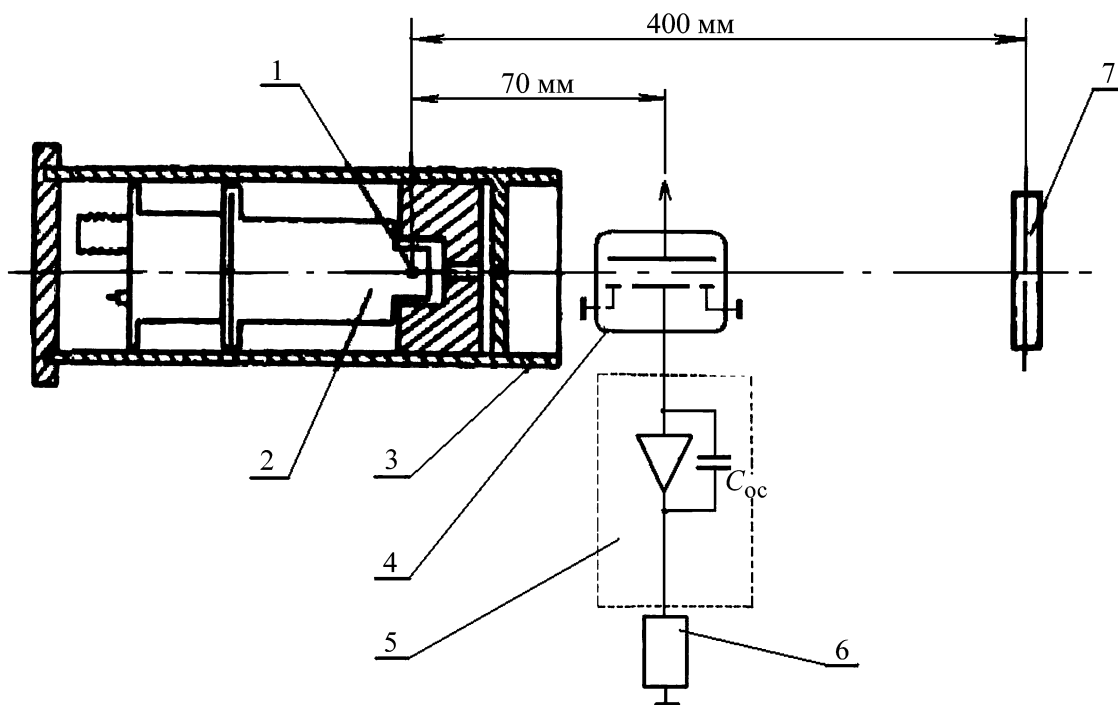


Рис. 5: Импульсный рентгеновский излучатель и схема испытаний ИРИ. 1 – рентгеновская трубка, 2 – высоковольтный блок, 3 – защитный корпус (от электромагнитной волны), 4 – ионизационная камера – дозиметр на TMS, 5 – электрометрический усилитель типа ДРГ2-01, 6 – вольтметр, 7 – сцинтилляционный счетчик.

Ионизационная камера TMS (ИК-TMS) располагалась на расстоянии 7 см от торца излучателя, а за ней – сцинтилляционный счетчик. Сигнал со счетчика подавался на осциллограф, который запускал СРЗИ-2.

Схема регулируемой задержки СРЗИ-1 и СРЗИ-2 дает возможность видеть, как весь сигнал в целом, так и его фрагменты (экспандер времени), что необходимо при определении времени жизни основных носителей.

С помощью регулируемого преобразователя ПН-1 осуществлялось изменение величины зарядного напряжения накопительных конденсаторов – этим регулировалась экспозиционная доза излучения в точке расположения ИК-TMS (поз. 4 на рис. 5). Изменяя напряжение питания на ПН-1 и определяя экспозиционную дозу в ИК-TMS, мы построили зависимость поглощенной дозы от напряжения, подаваемого на рентгеновскую трубку. Эта зависимость оказалась линейной и совпадающей с результатами, полученными в работе [1].

При электрометрических измерениях весьма существенными являются вопросы защиты от электромагнитных наводок, поэтому комплекс мер по максимально возможному уменьшению помехоизлучения является определяющим. Такими мерами в нашем случае являются: создание безыскрового управляемого твердотельного разрядника, рациональный монтаж разрядно-накопительной системы (РНС), уменьшение индуктивности подводов и конструкция многослойного экранирующего кожуха. Все это позволяет снизить уровень паразитного излучения в  $\sim 150$  раз.

В заключение автор выражает благодарность О. А. Еремину за разработку принципиальной схемы ИРИ на тиристорах, А. И. Львову за поддержку данной работы.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ 88-195 (ИФВЭ, Серпухов, 1988).
- [2] В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ 89-209 (ИФВЭ, Серпухов, 1989).
- [3] D. W. Swan, Proc. Phys. Soc. **82**, 74 (1963).
- [4] A. Hummel and A. O. Allen, J. Chem. Phys. **46**, 5037 (1967).
- [5] W. F. Schmidt and A. O. Allen, J. Chem. Phys. **52**, 2345 (1970).
- [6] W. F. Schmidt and A. O. Allen, J. Chem. Phys. **72**, 3730 (1968).

Поступила в редакцию 13 июня 2018 г.