

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ДДС-1 ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНОВ

С.В. Сыромуков

АННОТАЦИЯ

Разработан удобный и компактный датчик давления ДДС-1 для газонаполненных вакуумных приборов. Представлены результаты его испытаний. Датчик позволяет регулировать давление в миниатюрных линейных ускорителях с газоразрядными источниками ионов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, ВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

PRESSURE SENSOR FOR MINIATURE LINEAR ACCELERATOR OF IONS WITH GAS-DISCHARGE ION SOURCES

S. V. Syromukov

ABSTRACT

The convenient and compact sensor of pressure of DDS-1 is developed for gas-filled vacuum devices. Results of its tests are presented. The sensor allows to regulate pressure in tiny linear accelerators with gas-discharge sources of ions.

KEYWORDS

PRESSURE MEASUREMENT, VACUUM DEVICES

Генераторы нейтронов используются в нефтеразведке, обнаружении опасных веществ, термоядерных исследованиях, медицине. Современные генераторы — это регулируемые электрофизические источники излучения. Основным устройством генератора является вакуумный, высоковольтный прибор - запаянная трубка [1]. Трубка включает источник ионов, систему ускорения, мишень, размещенные в герметичном запаянном корпусе, в котором также находится регулируемый геттер, насыщенный дейтерием. В процессе нагревания геттера, дейтерий выделяется в объем трубки. Образованные в газоразрядном источнике ионы ускоряются на мишень насыщенную тритием и образуют нейтроны в результате реакции ${}^3\text{H}(\text{d},\text{n}){}^4\text{He}$.

Давление рабочего газа является одним из основных параметров газонаполненной трубки. Неконтролируемое изменение давления может привести к выходу трубки из строя. Основной проблемой автоматизации работы таких устройств является контроль и регулирования давления в вакуумном объеме.

В миниатюрных линейных ускорителях с мишенью под высоким потенциалом в качестве датчика давления используется источник ионов. Устройства такого типа имеют потоки до 10^9 нейтр/с. В ускорителях с большими потоками, где требуется принудительное охлаждение мишени, источник ионов находится под высоким потенциалом. В этом случае с необходимо использовать специальный датчик давления, размещенный в области мишени [2]. Такой датчик должен измерять давление в диапазоне 10^{-4} - 10^{-1} Тор, иметь простую и прочную конструкцию, простую схему питания, малые по сравнению с трубкой габариты и

не требовать специальной настройки после сборки, отжига и отпайки трубки. Работа датчика не должна оказывать влияния на работу трубки.

Удовлетворяющие этим требованиям датчики не промышленностью не выпускаются. Наиболее подходящими по диапазону измерения являются инверсно-магнетронные манометрические преобразователи. Однако, имеющиеся датчики, например, широко используемый датчик ПММ-32-1 [3], предназначены для работы в откачных вакуумных установках, имеют значительные габариты и избыточную сложность.

Здесь представлен инверсно-магнетронный датчик ДДС-1 разработанный специально для контроля давления в миниатюрных линейных ускорителях с газоразрядными источниками ионов.

Особенностью датчика ДДС-1 являются рекордно малые размеры и простота питания. Его фотография показана на рис.1. ДДС-1 представляет собой цилиндр на одном конце которого находится металлокерамический ввод анодного напряжения, а другой конец соединен с объемом нейтронной трубки. Датчик имеет центральный анод, а его катодом служит внутренняя поверхность трубчатого корпуса. Снаружи датчик охватывается кольцевым магнитом. После создания в трубке давления и включения датчика, в его объеме зажигается разряд в скрещенных полях. По току разряда можно судить о величине давления в трубке.

Размеры газоразрядной камеры и диаметр анода были выбраны экспериментально. Калибровочная кривая датчиков этого типа подчиняется закону $I = S \cdot P^n$ [4]. Степенная зависимость усложняет задачу автоматического регулирования давления в трубке. Поэтому для получения более линейной зависимости в рабочем диапазоне давлений газонаполненных трубок в схему питания введен резистор, корректирующий вид этой зависимости. Сопротивление резистора является одинаковым для всех датчиков. Оно обеспечивает близкий к линейному вид калибровочной кривой при максимальных значениях тока и не требует.



Рис. 1. Внешний вид датчика давления ДДС-1

На рис. 2 представлены калибровочные кривые, измеренные при различных угловых положениях магнита на датчике. Как было показано экспериментально, калибровочные кривые датчика практически не зависят от угла поворота магнита на оси прибора. Изменения тока разряда датчика относительно средней величины не превышает 6 %. Это ниже характерной для датчиков инверсно-магнетронной системы, систематической погрешности [4]. В типичном рабочем диапазоне запаянных газонаполненных трубок 100 – 300 мкА калибровочные кривые имеют близкий к линейному характер. Это обеспечивает надежное регулирование давления в трубках с заземленной мишенью. Проведенные испытания показали, что датчик ДДС-1 может быть рекомендован для систем регулирования давления в газонаполненных запаянных трубках.

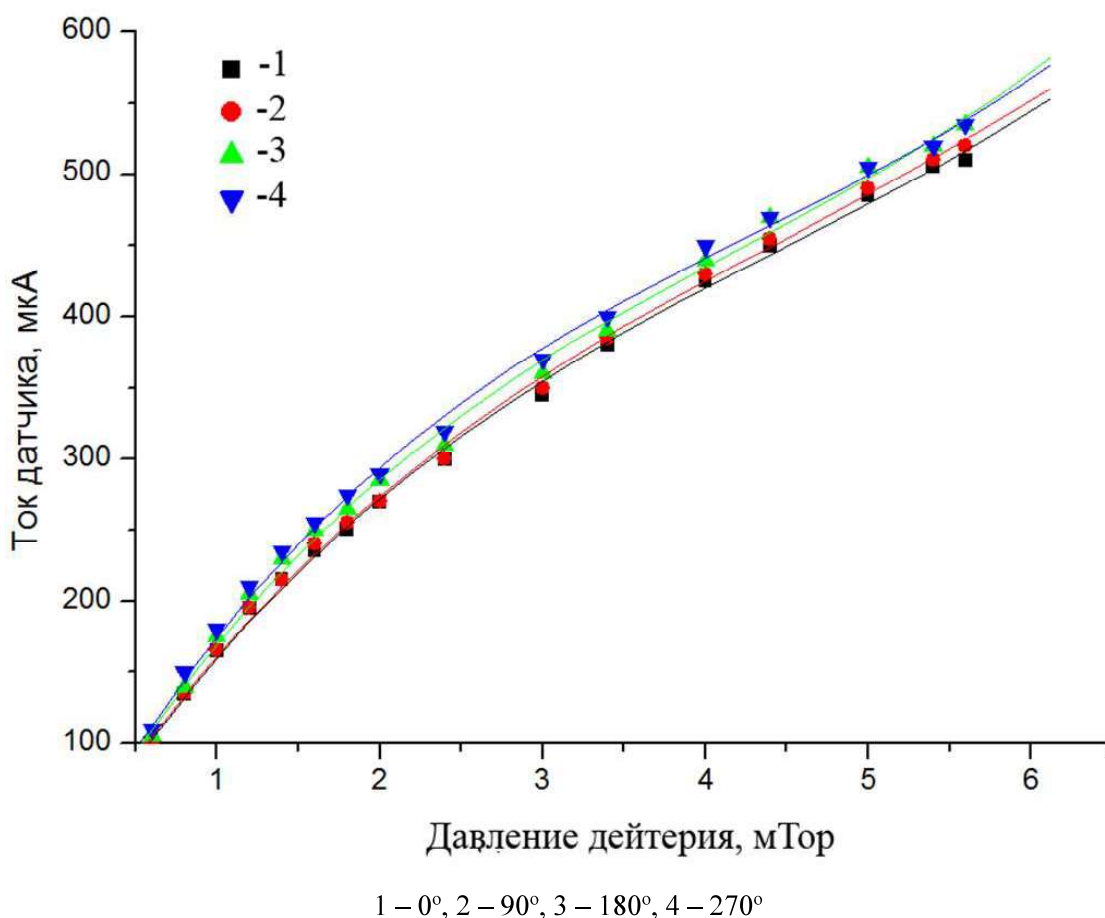


Рис. 2. Калибровочные кривые датчика давления ДДС-1 для различных углов поворота магнита вокруг оси датчика

Процесс регулирования давления в объеме трубки иллюстрируют диаграммы, представленные на рис. 3. Обратная связь по току датчика давления обеспечивает управление током геттера. Это позволяет устанавливать и поддерживать заданный уровень давления в трубке. Верхняя, кривая на рисунке относится к току геттера, а нижняя к датчику давления. До начала работы давление в трубке практически отсутствует. Включается питание геттера и через небольшой промежуток времени ток датчика начинает быстро увеличиваться. Обратная связь уменьшает ток геттера и давление начинает уменьшаться. Ток геттера увеличивается и в конечном итоге система выходит на уровень рабочего давления

Пример включения НГ-14 представлен на рис. 4. Показаны зависимости ускоряющего напряжения и тока трубки от времени при включении генератора нейтронов. В момент включения наблюдаются небольшие колебания тока трубки. Они обусловлены процессами регулирования давления в момент включения источника ионов.

Рис. 5 демонстрирует использование датчика давления ДДС-1 [5- 7]. На рисунке показаны генераторы НГ-14 и НГ-24. Отмечены датчики давления ДДС-1.

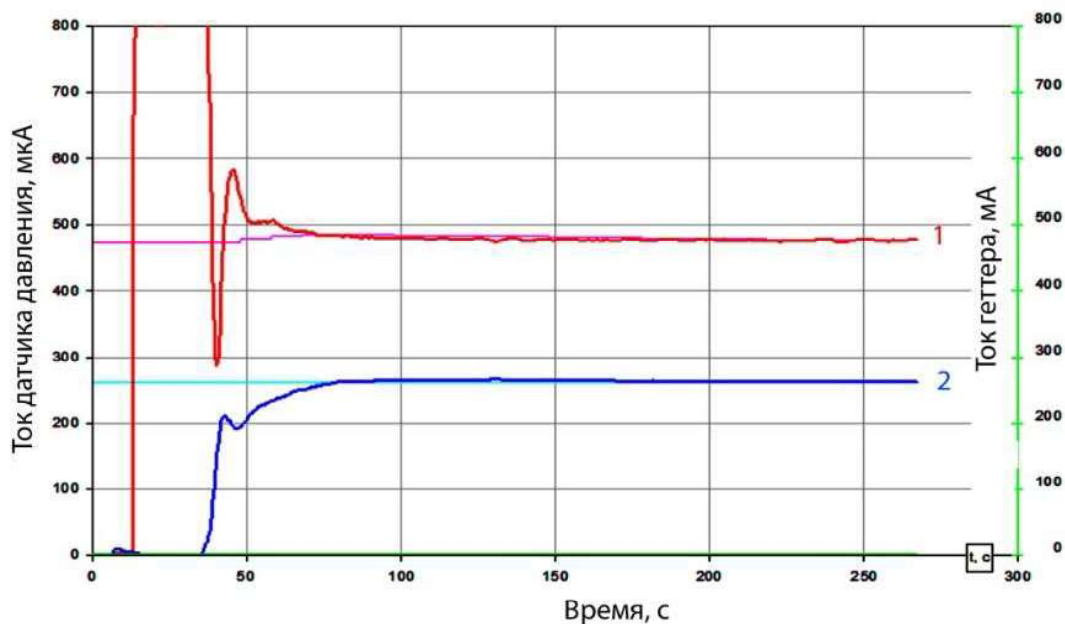
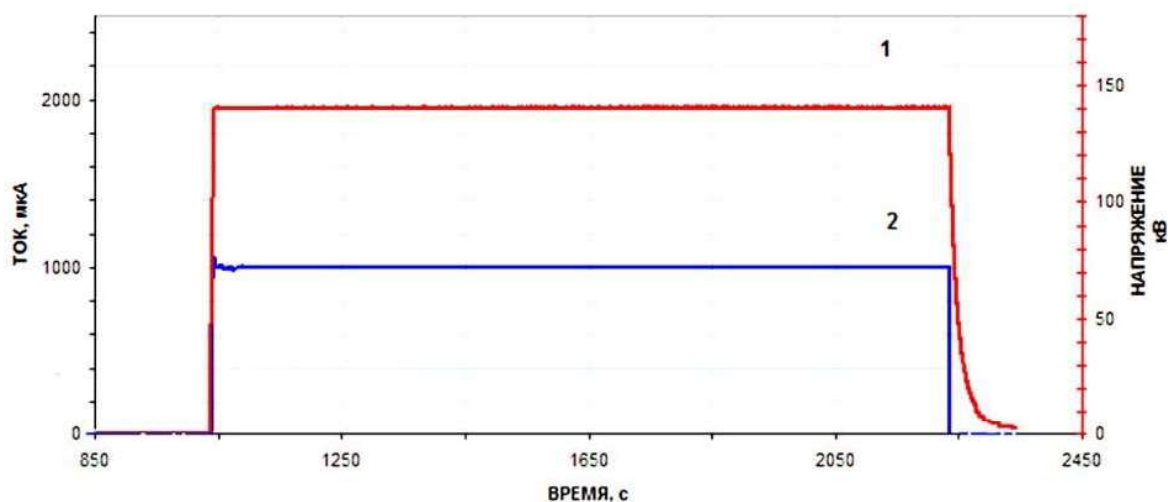
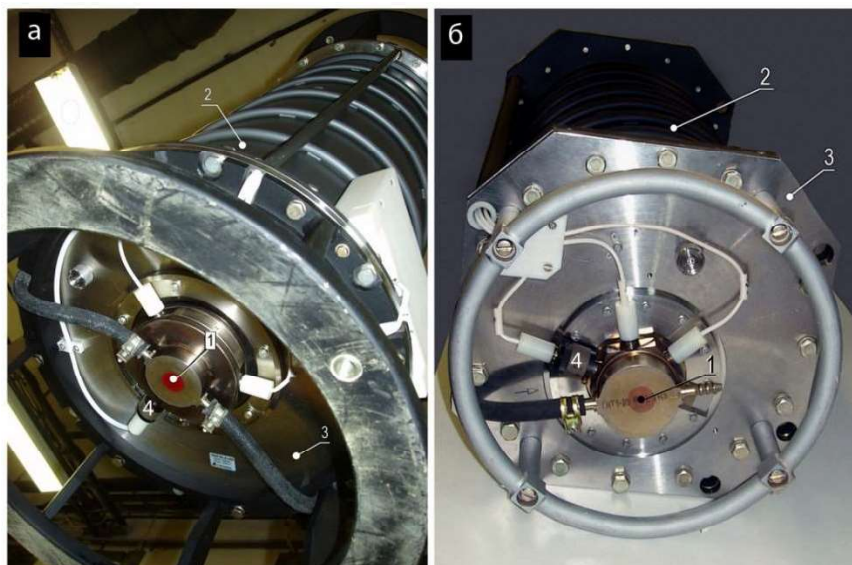


Рис. 3. Диаграммы зависимости тока датчика давления от времени при регулировании давления в приборе



1 – ускоряющее напряжение; 2 – ток трубки

Рис. 4. Зависимости ускоряющего напряжения и тока трубки от времени при включении линейного ускорителя ионов



1 – мишень трубки, излучающая нейтроны, 2 – блок трубки (излучатель нейтронов),
3 – заземленный фланец, 4 – датчик ДДС-1
Рис. 5. Пример использования датчика ДДС-1 в генераторах нейтронов НГ-24(а) и НГ-14(б)

Таким образом, разработан удобный и компактный датчик давления ДДС-1 для газонаполненных запаянных нейтронных трубок. Датчик показал свою эффективность при работе в составе запаянных электровакуумных приборов с газоразрядными источниками ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов Е.П., Сыромуков С.В. Запаянные ускорительные нейтронные трубки ВНИИА для лучевой терапии // В материалах научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника», Сочи (Дагомыс), октябрь 2008 г., с. 155-160.
2. Сыромуков С.В. Регулирование давления в газонаполненных запаянных трубках генераторов нейтронов.// Сб. докладов 22-й научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника», 2015, Россия, Крым, Феодосия, с. 211 -213.
3. www.nd-gsi.ru
4. Вакуумная техника: Справочник / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александров и др.: Под общ. Ред. Е.С. Фролова-М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
5. www.vniia.ru
6. Сыромуков С.В., Добров Р.В., Мельник А.В., Степнов В.В., Старостин А.Н., Сысоев В.И., Богатиков К.В., Летичевский Р.Д. Генератор нейтронов НГ-24 для ядерной медицины и термоядерных исследований. – Атомная энергия, 2015, т. 119, вып. 1, с. 58-60.
7. Сыромуков С.В., Добров Р.В., Мельник А.В., Степнов В.В., Сысоев В.И. Мощный генератор нейтронов НГ-14 с запаянной трубкой для ядерных технологий. – Атомная энергия, 2014, т. 117, вып. 6, с. 350-352.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

С.В. Сыромуков – кандидат технических наук, главный специалист,
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л.
Духова», г. Москва. e-mail: vnii4@vnii4.ru.