

«ОТПАЯННЫЕ» ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ВЧ-ГЕНЕРАТОРОВ

Ю. А. Фешина, Д. В. Вялых, В. С. Жданов, И. Л. Львов, С. А. Садовой, Е. А. Садчиков

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведутся работы по созданию мощных импульсных газоразрядных ВЧ-генераторов [1–4]. Исследования направлены в том числе и на уменьшение габаритов ВЧ-генераторов. Одним из факторов, определяющим габариты ВЧ-генераторов, является наличие вакуумной системы. Использование «отпаянных» газоразрядных камер (ГК) позволяет отказаться от вакуумной системы и значительно уменьшить размер и массу генераторов.

«Отпаянная» газоразрядная камера представляет собой замкнутый объем, ограниченный полым катодом и анодом. Необходимый для работы камеры газ получается непосредственно в ее объеме, с помощью генератора газа.

Исследования по оптимизации конструкции «отпаянных» газоразрядных камер ведутся уже несколько лет [5, 6]. На основе полученного опыта была сконструирована и изготовлена «отпаянная» газоразрядная камера ГДП30. На рис. 1 представлен её внешний вид и конструкция.

Камера представляет собой полый катод 1 и анод 4, разделенные керамическим изолятором 2. Поверхность керамического изолятора закрыта дополнительными электродами 3. В анодной части камеры размещен генератор газа 5, который отделен от газоразрядной области анодом. В аноде имеются отверстия, через которые рабочий газ от генератора газа поступает в межэлектродный промежуток. Накал генератора газа соединен с выводом 6. Дополнительные электроды 3 состоят из двух частей. Одна часть гальванически связана с полым катодом и является его продолжением, вторая – с анодом. Зазор между электродами равен 1 мм. Наличие дополнительных электродов 3 и небольшой зазор между ними обеспечивают защиту поверхности изолятора от напыления материала электродов на неё.

В данной конструкции, в качестве газа используется дейтерий. Генератор дейтерия представляет собой толстостенную трубку, которая изготавливается из спеченного мелкодисперсного порошка металлического титана или циркония. При нагревании

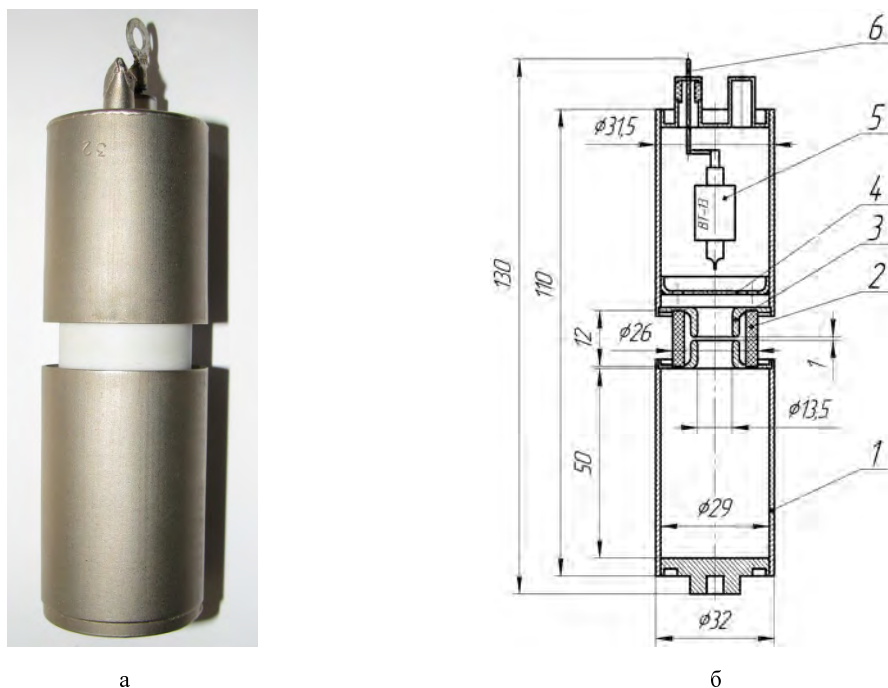
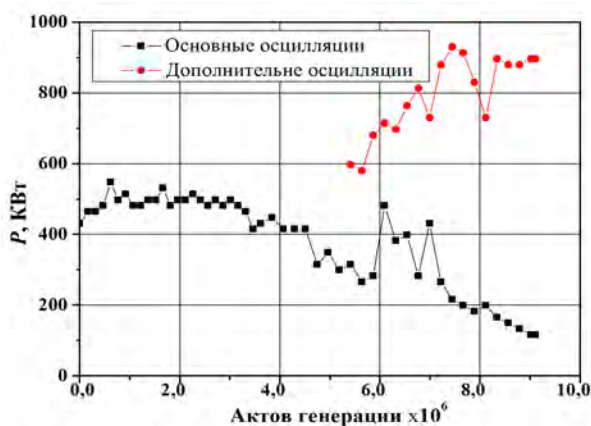
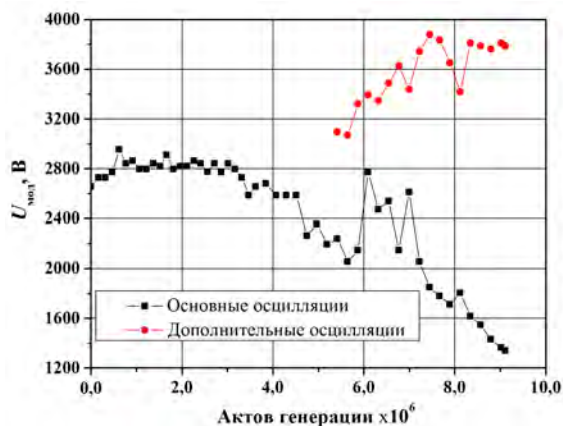


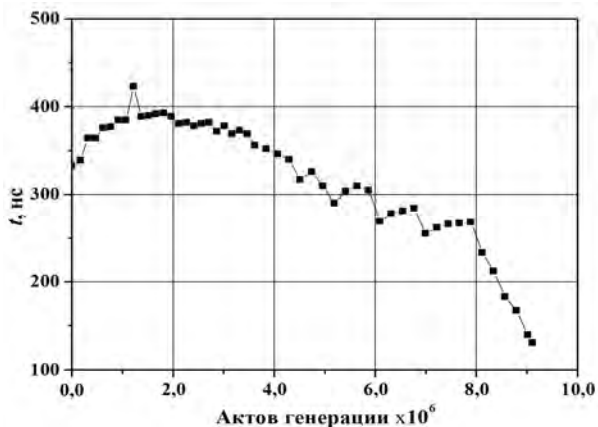
Рис. 1. «Отпаянная» газоразрядная камера ГДП30: а – внешний вид, б – схема конструкции: 1 – полый катод; 2 – керамический изолятор; 3 – дополнительные электроды; 4 – анод; 5 – генератор газа; 6 – вывод накала генератора газа



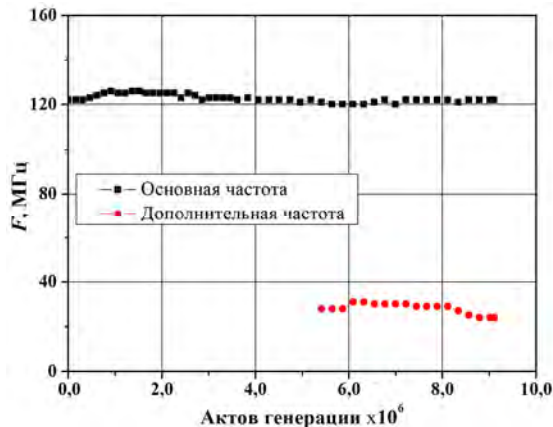
а



б



в



г

Рис. 2. Основные зависимости, демонстрирующие работу «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП30: а – выходная мощность; б – напряжение ВЧ-осцилляций; в – длительность генерации; г – частота генерации в зависимости от количества актов генерации

в вакууме до температуры 800 °С титан активируется и после охлаждения насыщается очищенным дейтерием. При температуре ниже 300 °С система титан-дейтерий состоит из твердого раствора дейтерия в α -титане и гидрида титана. Вмонтированный в трубку изолированный нагреватель позволяет регулировать температуру резервуара. При нагревании выше 300 °С гидрид обратимо разлагается с выделением дейтерия, таким образом давление дейтерия определяется температурой резервуара.

Основные зависимости, демонстрирующие работу «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП30, представлены на рис. 2.

На представленных графиках видно, что выходная мощность и длительность ВЧ-осцилляций, в течение $4 \cdot 10^6$ импульсов, остаются на одном уровне и мало изменяются. Далее величины выходной мощности и длительности ВЧ-осцилляций снижаются и наблюдается появление дополнительных частот. Электротехнические характеристики газоразрядной камеры ГДП30 представлены в табл. 1.

Таблица 1
Основные электротехнические характеристики «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП30

Диаметр катода, мм	29
Глубина катода, мм	50
Высота изолятора, мм	12
Материал электродов	12X18N10T
Наполнение генератора газа	дейтерий
Максимальное напряжение на катоде, кВ	6
Напряжение на катоде, кВ	3
Амплитуда тока анода, А	800
Частота повторения импульсов, Гц	500–1500
Длительность генерации, нс	350
Величина основной накопительной ёмкости, нФ	10
Мощность ВЧ-генерации, МВт	0,4
Частота генерации, МГц	90–120
Ток накала генератора газа (оптимальный), А	1,34
Максимальный ток накала генератора газа, А	2,5
Время готовности, мин	2
Ресурс работы, импульсов	$9,1 \cdot 10^6$

Осмотр внутренней поверхности элементов конструкции после проведения ресурсных испыта-



а

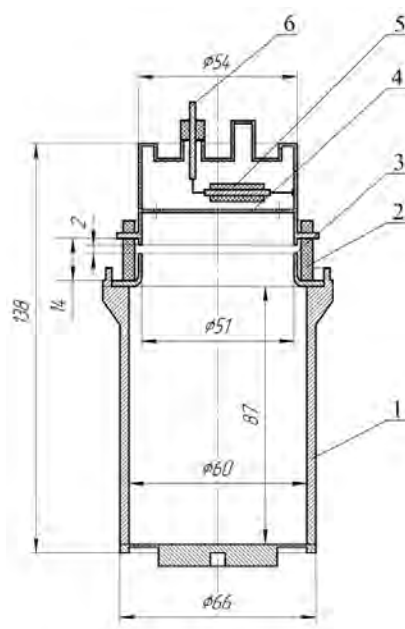


б

Рис. 3. Внешний вид после проведенных испытаний: а – поверхности катода, б – поверхности изолятора



а



б

Рис. 4. «Отпаянная» газоразрядная камера ГДП60: а – внешний вид, б – схема конструкции: 1 – полый катод; 2 – керамический изолятор; 3 – дополнительные электроды; 4 – плоский анод; 5 – генератор газа; 6 – вывод накала генератора газа

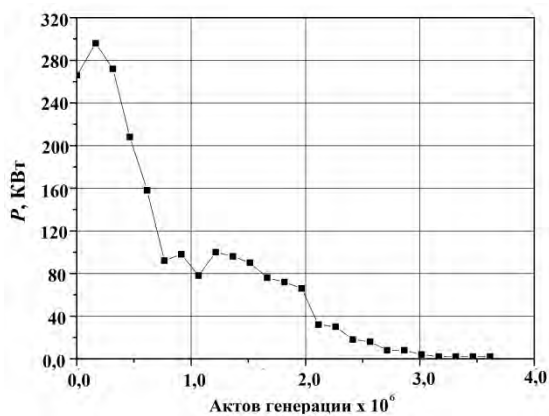
ний показал наличие металлизированного налета на внутренней поверхности изолятора. Внешний вид поверхности катода и изолятора после проведенных испытаний продемонстрирован на рис. 3. Наличие проводящего налета на поверхности изолятора приводит к ухудшению эффективности работы ВЧ-генератора и прекращению ВЧ-генерации.

Частота генерации газоразрядного ВЧ-генератора [1–4] определяется собственной частотой колебательного контура, который состоит из ёмкости прикатодного слоя газового разряда и суммарной индуктивности элементов газоразрядного контура: плазмы газового разряда, электродов, обратного токопровода (кожуха), узла вывода ВЧ-осцилляций. Ёмкость прикатодного слоя определяется площадью внутренней поверхности полого катода, а индуктивность – конструкцией кожуха. Используя минимально индук-

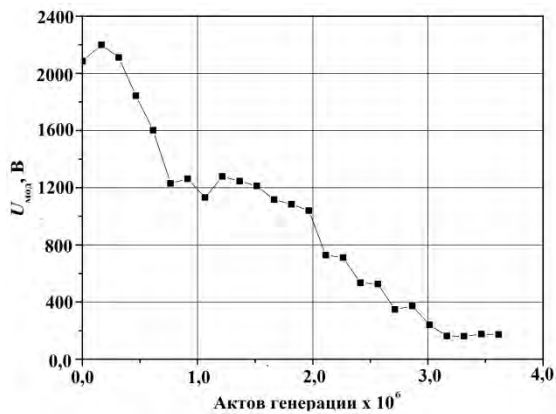
тивную конструкцию кожуха для газоразрядной камеры ГДП30, получаем максимально возможную частоту генерации 120 МГц (см. табл. 1). Увеличивая размеры кожуха и, соответственно, увеличивая индуктивность колебательного контура возможно уменьшить частоту генерации (см. табл. 1).

Значительное увеличение индуктивности колебательного контура приводит к уменьшению выходной мощности ВЧ-осцилляций. Для эффективного снижения частоты генерации необходимо увеличивать ёмкость колебательного контура и, соответственно, увеличивать размеры полого катода. Поэтому была разработана и изготовлена новая конструкция газоразрядной камеры ГДП60. Её внешний вид и схема конструкции представлены на рис. 4.

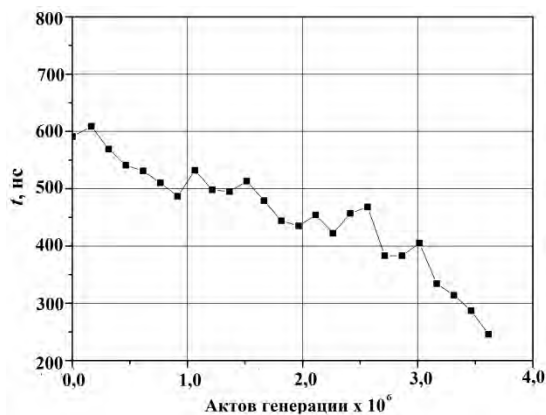
Конструкция идентична конструкции газоразрядной камеры ГДП30. Увеличен внутренний диа-



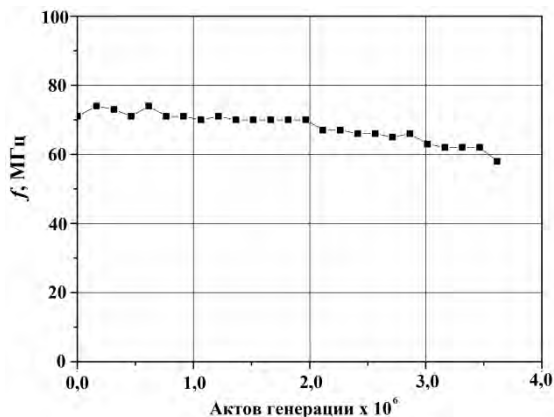
а



б



в



г

Рис. 5. Основные зависимости, демонстрирующие работу отпаянной газоразрядной камеры ГДП60: а – выходная мощность; б – напряжение ВЧ-осцилляций; в – длительность генерации; г – частота генерации в зависимости от количества актов генерации

метр полого катода и его глубина. В связи с техническими трудностями при изготовлении минимальный зазор между дополнительными электродами составил 2 мм.

Основные зависимости, демонстрирующие работу «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП60 представлены на рис. 5.

По сравнению с предыдущей конструкцией в новой падение эффективности ВЧ-генерации наблюдается в течение всего времени работы. Это связано с тем, что зазор между электродами в данной конструкции больше (2 мм), и напыление на поверхность изолятора происходит быстрее, чем в предыдущей конструкции. Внешний вид поверхности катода и изолятора после проведения испытаний представлен на рис. 6.

В табл. 2 представлены основные электротехнические характеристики «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП60.

Таблица 2

Основные электротехнические характеристики «отпаянной» газоразрядной камеры ГДП60

Диаметр катода, мм	60
Глубина катода, мм	87
Высота изолятора, мм	14
Материал электродов	12Х18Н10Т
Наполнение генератора газа	Дейтерий
Максимальное напряжение на катоде, кВ	6
Напряжение на катоде, кВ	3–5
Амплитуда тока анода, А	800
Частота повторения импульсов, Гц	500–1500
Величина основной накопительной ёмкости, нФ	22
Длительность генерации, нс	750
Мощность ВЧ-генерации, МВт	0,32
Частота генерации, МГц	50–90
Ток накала генератора газа (оптимальный), А	1,53
Максимальный ток накала генератора газа, А	2,5
Время готовности, мин	2
Ресурс работы, импульсов	2,5 · 10 ⁶



а



б

Рис. 6. Внешний вид после проведенных испытаний: а – поверхности катода, б – поверхности изолятора

Представленные две конструкции «отпаянных» газоразрядных камер позволяют создать малогабаритные импульсные генераторы мегаваттного уровня мощности. Обе камеры охватывают частотный диапазон генерации от 50 МГц до 120 МГц. Достигнутый ресурс камер позволяет использовать их в ряде приложений: приборы с низкими частотами следования импульсов генерации, радары, аварийная радиосвязь и т. д. Для более широкого применения требуется увеличение ресурса работы приборов. В работе показано, что основной механизм выхода приборов из строя – напыление проводящего слоя на изолятор. Работы по дальнейшей оптимизации приборов продолжаются.

Литература

1. Bulychev S. V., Dubinov A. E., L'vov I. L., Popolev V. L., Sadovoy S. A., Selemir V. D., Valiulina V. K., Vyalykh D. V., and Zhdanov V. S. Autonomous portable pulsed-periodical generator of high-power radiofrequency-pulses based on gas discharge with hollow cathode // Review of scientific instruments. V 87.

2. Bulychev S. V., Dubinov A. E., L'vov I. L., Sadovoy S. A., Selemir V. D., Valiulina V. K.,

Vyalykh D. V., Zhdanov V. S. High-Power Compact P-Band UHF Oscillator Based on Hollow Cathode Discharge // IEEE Transactions on plasma science. V. 43. № 6, JUNE 2015.

3. Dubinov A., Kornilova I., L'vov I., Sadovoy S., Selemir V., Vyalykh D., Zhdanov V. Generators of High-Power High-Frequency Pulses Based on Sealed-Off Discharge Chambers With Hollow Cathode // IEEE Transactions on plasma science. 2010. № 11. V. 38.

4. Булычев С. В., Вялых Д. В., Дубинов А. Е., Жданов В. С., Корнилова И. Ю., Львов И. Л., Садовой С. А., Сайков С. К., Селемир В. Д. Результаты исследований генераторов мощных ВЧ-импульсов на основе разряда с полым катодом // Физика плазмы. 2009. Т. 35. № 11. С. 1019.

5. Дубинов А. Е., Львов И. Л., Садовой С. А., Сайков С. К., Селемир В. Д., Вялых Д. В., Жданов В. С., Бочков В. Д., Ушич В. Г. Отпаянная газоразрядная камера с полым катодом для генерации мощных ВЧ-импульсов // ПТЭ 2011 № 1 С. 161–162.

6. Пат. 90932 Российская федерация, МПК H01J 17/38. Высокочастотный генератор на основе разряда с полым катодом / А. Е. Дубинов, И. Л. Львов, С. А. Садовой, В. Д. Селемир // 2010. Бюл. № 2.