

Локализирующие взрывозащитные устройства РФЯЦ-ВНИИТФ, предназначенные для исследований токсичных и радиоактивных веществ

Д.Г. Панкратов, В.В. Орехов, И.Н. Гордеев, И.В. Минаев
d.g.pankratov@vniitf.ru

*Федеральное Государственное унитарное предприятие
«Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е. И. Забабахина»
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»)
г. Снежинск, Челябинская область, Россия*

Основным способом получения информации о динамических свойствах веществ является исследование их поведения под воздействием ударных волн. Генерация ударных волн в материалах возможна при взрывном нагружении.

Некоторые материалы в силу своей природы небезопасно исследовать на открытом воздухе. Это в первую очередь токсичные и радиоактивные материалы, например бериллий или уран.

Для исследования таких материалов в РФЯЦ-ВНИИТФ разработана линейка локализирующих взрывозащитных устройств (ВЗУ), позволяющих выполнить взрывное нагружение исследуемых образцов с обеспечением экологической безопасности эксперимента.

Разработанные ВЗУ имеют простую конструкцию, обеспечивают подрыв ВВ с тротиловым эквивалентом до 10 кг без нарушения их герметичности. Давно и успешно используются во ВНИИТФ при исследованиях образцов из токсичных и радиоактивных материалов.

Введение

История создания локализирующих ВЗУ в РФЯЦ-ВНИИТФ начинается в 1972 году, когда А.К. Музыря с сотрудниками разработал двухконтурное ВЗУ для исследования образцов токсичных материалов [1]. Масса ВЗУ составляла 80 кг, тротиловый эквивалент (ТЭ) ВВ, допустимый к подрыву в таком устройстве, составлял несколько десятков грамм, рисунок 1.

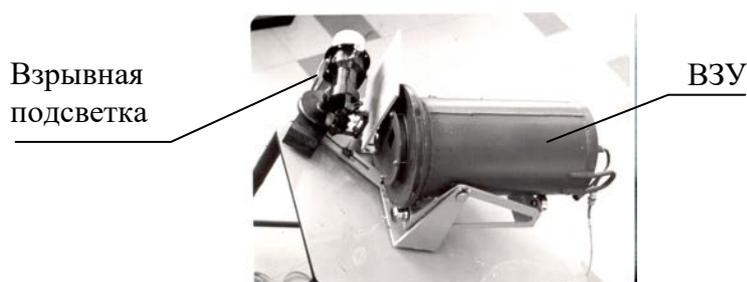


Рисунок 1

В 1985 году были сконструированы и испытаны малогабаритные двухконтурные ВЗУ массой до 500 кг, которые позволяли проводить в них подрыв заряда ВВ ТЭ до 300...400 г без нарушения герметичности (**ВЗУ №1**). Конструкция оказалась удачной. Было разработано несколько вариантов исполнений такого ВЗУ:

- только с электрическим разъемом (подрыв ВВ), предназначен для опытов по сохранению образцов;
- с прозрачным окном, предназначенным для оптической регистрации процессов в образцах – методика оптического рычага;
- с электрическими разъемами (до 2х шт) – методика манганинового датчика, пьезоэлектрическая методика;

- с волоконно-оптическими герморазъемами (до 2х шт), предназначенными для ввода/вывода излучения – лазерно-интерферометрические методики, фотоэлектрическая (индикаторная) методика.

ВЗУ такого типа до сих пор успешно используются при проведении исследований токсичных и радиоактивных материалов.

В период 2020...2024 годы выполнена разработка ВЗУ повышенной несущей способности (**ВЗУ №2**). Это также двухконтурное ВЗУ, по конструкции аналогичное малогабаритному ВЗУ, описанному выше, с увеличенными размерами несущей конструкции и элементами усиления. При общей массе 1 т, ВЗУ позволяет подрывать в ней ВВ массой до 1,5 кг ТЭ.

Некоторые операции по подготовке опыта требуют создания эргономичных условий, обеспечивающих удобство работы непосредственно внутри ВЗУ. Для этого в 2010 году в практику экспериментальных работ института была внедрена ВЗУ с составным корпусом (**ВЗУ №3**) с несущей способностью по ВВ до 10 кг ТЭ. Общая масса ВЗУ – 5,5 т. Кроме того, что ВЗУ позволяет работать непосредственно внутри неё, еще одним достоинством является возможность подрыва в ней нескольких узлов одновременно.

Изучение динамических свойств конструкционных материалов возможно созданием в них нагрузок двумя способами с использованием ВВ, рисунок 1:

- контактное нагружение ВВ;
- ударно-волновое нагружение ударником, разогнанным продуктами взрыва ВВ.

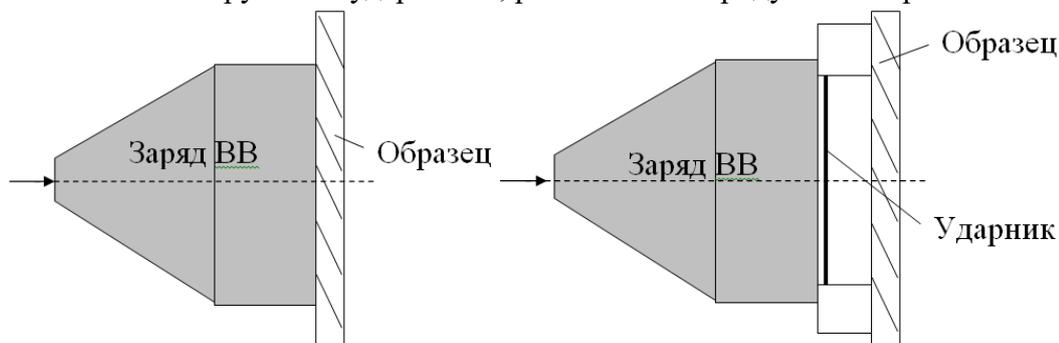


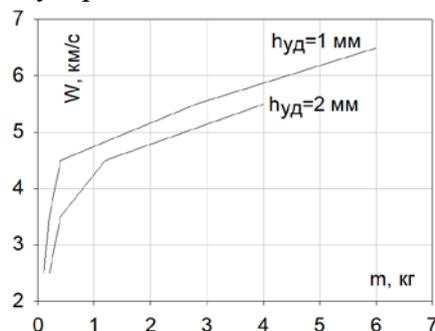
Рисунок 1 – Способы динамического нагружения материалов с использованием ВВ

В случае контактного нагружения продольное напряжение (давление) в исследуемом материале определяется только мощностью используемого ВВ. Мощные составы на основе октогена позволяют реализовать, например, в образцах из Ве (токсичный материал) напряжения до ~ 40 ГПа, в образцах из U (радиоактивный) – до ~ 70 ГПа.

При ударно-волновом нагружении продольное напряжение (давление) в материале определяется скоростью ударника, таблица 1.

Таблица 1 – Зависимость напряжения в образце от скорости ударника и массы ВВ

W, км/с	ТЭ НУ, (h _{ударника} = 1 мм)	ТЭ НУ, (h _{ударника} = 2 мм)	P _{Ве} , ГПа	P _U , ГПа
до 2,5	до 0,1 кг	до 0,2 кг	30	80
до 3,5	до 0,2 кг	до 0,4 кг	50	130
до 4,5	до 0,4 кг	до 1,2 кг	70	180
до 5,5	до 2,8 кг	до 4,0 кг	90	250
до 6,5	до 6,0 кг	-	110	320

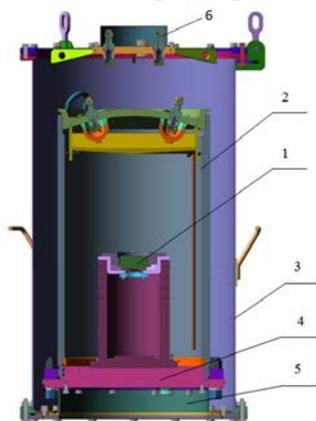


Разработанная в РФЯЦ-ВНИИТФ линейка ВЗУ позволяет проводить исследования во всем, указанном в таблице 1, диапазоне скоростей с соблюдением норм экологической безопасности: до 0,2 кг ТЭ – ВЗУ №1, до 1,2 кг ТЭ – ВЗУ №2, до 6 кг ТЭ – ВЗУ №3.

ВЗУ №1

Эскиз ВЗУ №1 показан на рисунке 2, фотографии несущих элементов – на рисунке 3.

Двухконтурный ВЗУ без дополнительных элементов усиления. Прочность обеспечивается размерами несущих элементов: поддона и корпуса. Общая масса ВЗУ №1 – 0,5 т. Внешние размеры: $\varnothing 0,6 \times 1,2$ м. Толщина стенок корпуса 20 мм, поддона – 45 мм.



- 1 – капсула с образцом и ВВ
- 2 – внутренний силовой корпус
- 3 – внешний герметичный контейнер
- 4 – поддон, 5 – подставка
- 6 – вентили для стравливания ПВ

Рисунок 2 – Эскиз ВЗУ №1

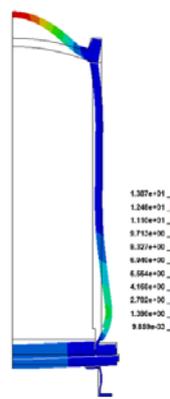


Рисунок 3 – а) корпуса: внутренний и наружный, б) поддон

Аттестован на подрыв ВВ ТЭ до 0,2 кг (запас $1,5^x - 0,3$ кг ТЭ). Неоднократно выдерживал подрыв в нём ВВ с ТЭ 0,4 кг с сохранением герметичности, рисунок 4.



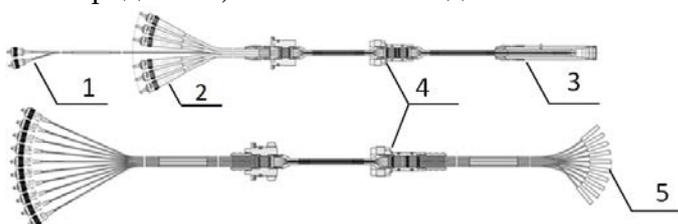
а)



б)

Рисунок 4 – Внешний вид ВЗУ №1 после подрыва в нём ВВ с ТЭ 0,4 кг (а) и распределение эквивалентных напряжений на момент времени $t=0,54$ мс

В ВЗУ №1 могут быть установлены различные типы герметизированных жгутов (электрических или оптических), позволяющих выводить информацию на комплексы регистрации. Количество отверстий в ВЗУ для установки герможгутов – 2 шт. Для примера на рисунке 5 показаны варианты герможгутов оптических, предназначенных для регистрации процессов лазерно-интерферометрическими методиками (Фабри-Перо, VISAR, лазерно-гетеродина). Количество отдельных оптических волокон в жгуте – до 19 шт.

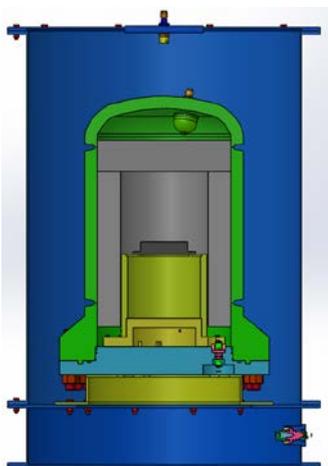


- 1 – каналы ЛГМ
- 2 – каналы Фабри-Перо
- 3 – головка оптическая совмещенная
- 4 – гермопроходники
- 5 – коллиматоры ЛГМ

Рисунок 5 – Внешний вид герметизированных жгутов оптических

ВЗУ №2

Эскиз ВЗУ №2 показан на рисунке 6, внешний вид 1-й ступени герметизации ВЗУ – на рисунке 7. Двухконтурный ВЗУ с дополнительными элементами усиления – вставками из сетки Рабица. Прочность обеспечивается как выбранными размерами несущих элементов: поддона и корпуса, так и наличием усиливающих вставок. Общая масса ВЗУ №2 – 1 т. Внешние размеры: $\varnothing 0,9 \times 1,5$ м. Толщина стенок корпуса 35 мм, поддона – 45 мм.



- 1 – капсула с образцом и ВВ
- 2 – внутренний силовой корпус
- 3 – внешний герметичный контейнер
- 4 – поддон,
- 5 – подставка
- 6 – вентили для стравливания ПВ



Рисунок 6 – Эскиз ВЗУ №2

Рисунок 7– Внешний вид ВЗУ №2

Испытан на подрыв ВВ ТЭ до 1,5 кг. На рисунке 8 представлено распределение эквивалентных напряжений в модели ВЗУ на разные моменты времени (ТЭ 1,5 кг).

Также как и для ВЗУ №1, в ВЗУ №2 могут быть установлены различные типы герметизированных жгутов, аналогичные ВЗУ №1. Количество отверстий в ВЗУ №2 для их установки – 2шт.

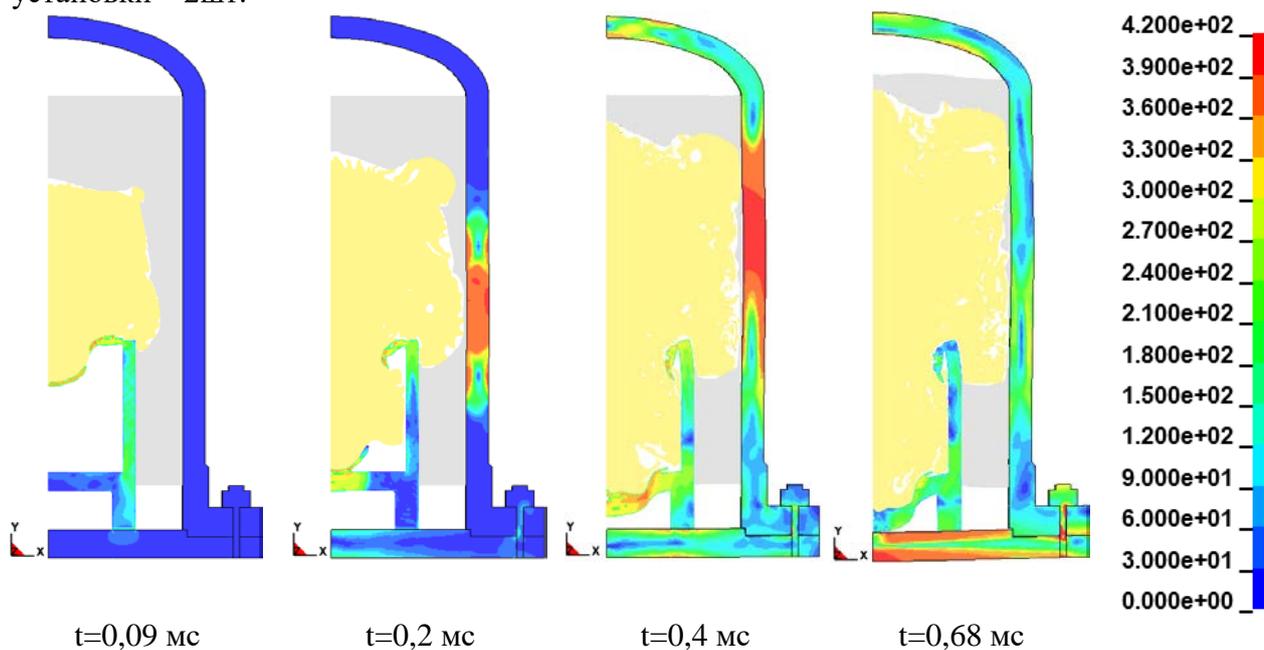
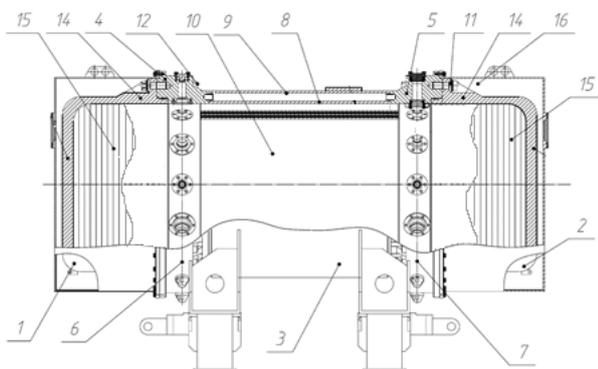


Рисунок 8 – Распределение эквивалентных напряжений

ВЗУ №3 [2-4]

Эскиз ВЗУ №2 показан на рисунке 9, внешний вид – на рисунке 10. Общая масса ВЗУ №3 – 5,5 т. Максимальная несущая способность по ВВ до 17 кг ТЭ (аттестован на подрыв 10 кг). Размер $\varnothing 1,2 \times 2,7$ м.



- 1, 2 – крышки
- 3 – центральная часть
- 4, 5 - фланцы
- 6, 7 – пояса герморазъемов
- 8 – внутренняя труба
- 9 – наружная труба
- 10 - силовая вставка
- 11, 12 – болтовые соединения
- 14 – фланцевая часть крышек
- 15-сетчатые демпферы
- 16 – крышка второго контура

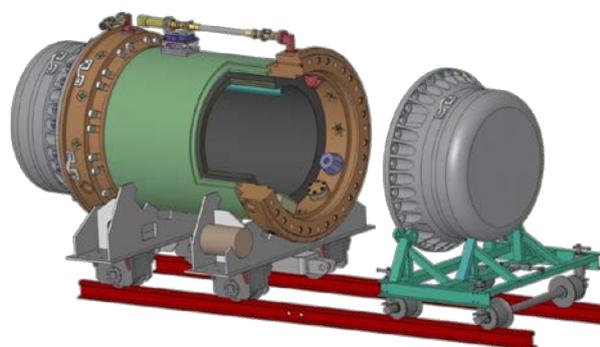


Рисунок 9 – Эскиз ВЗУ №3

Рисунок 10 – 3D- модель и внешний вид ВЗУ №3

Работа ВЗУ происходит следующим образом: срабатывает заряд ВВ, продукты взрыва и твердые фрагменты (осколки) распространяются в осевом и радиальном направлениях. При этом: за счет упругопластической деформации слоев силовой вставки происходит значительное поглощение энергии взрыва и частичное отражение возникающего потока осколков, воздушный зазор между силовой вставкой и внутренней обечайкой корпуса уменьшается. Продукты взрыва, летящие в осевом направлении, воздействуют на сетчатые демпферы, которые снижают их ударно-волновое воздействие в несколько раз, осколки внедряются в демпферы, не достигая внутренней поверхности днищ. Деформированные силовая вставка (а) и сетчатые демпферы (б) после испытаний подрывом ВВ с ТЭ 17 кг, показаны на рисунке 11.



Рисунок 11 – Внешний вид силовой вставки (а) и сетчатых демпферов (б) (ТЭ 17 кг ВВ)

В ВЗУ №3, как и в ВЗУ №1 и 2 могут быть установлены различные типы герметизированных жгутов (электрических или оптических). Количество отверстий в ВЗУ для установки герможгутов – 24 шт. Для примера на рисунке 12 представлен эскиз герможгута оптического, предназначенного для регистрации процессов лазерно-интерферометрическими методиками. Количество оптических волокон в жгуте – до 48 шт.

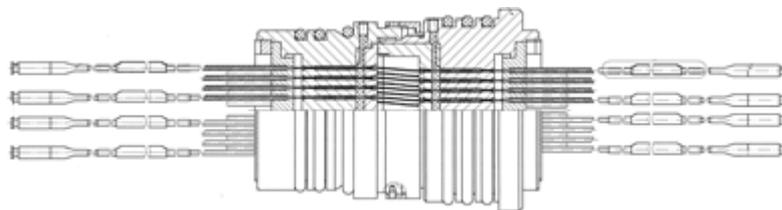


Рисунок 12 – Внешний вид герметизированного жгута оптического

Сводная информация по трём локализирующим взрывозащитным устройствам разработки РФЯЦ-ВНИИТФ, предназначенным для исследований токсичных и радиоактивных веществ представлена в таблице 2.

Таблица 2

	Размер м	Масса т	ТЭ кВт	Элементы усиления	Методики регистрации	Особенности
ВЗУ №1	0,6x1,5	0,5	0,2	-	ЛГМ ФЭМ ММД ЛИМ VISAR Возможна комбинация методик Сохранение	<u>Вакуум (давление):</u> Предварительное (до сборки ВЗК)
ВЗУ №2	1x1,5	1	1,0	Вставки из сетки Рабица		<u>Групповой подрыв:</u> Нет
ВЗУ №3	1,2x2,7	5,5	10	Силовая вставка Демпферы из сетки Рабица		<u>Вакуум (давление):</u> Непосредственно до момента подрыва <u>Групповой подрыв:</u> да

Общее для ВЗУ №2 и №3: возможность использования несколько раз

Литература

- Музыря А.К. Механика деформируемых материалов и конструкций: учеб. изд-е. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ. 2023. – 224с
- Патент на изобретение №2450243 РФ, МПК F42D 5/00 (2006.01), F42D 5/045 (2006.01), F42B 39/00 (2006.01). Взрывозащитная камера/Ногин В.Н., Кузьмин В.П., Степанов А.С. и др.// Бюллетень №13 «Изобретения. Полезные модели». 10.05.2012.
- Патент на изобретение №2447398 РФ, МПК F42B 39/14 (2006.01), F42D 5/04 (2006.01). Взрывозащитная камера/ Кузьмин В.П., Степанов А.С., Липатников М.А. и др.// Бюллетень №10 «Изобретения. Полезные модели». 10.04.2012.
- Степанов А.С., Гордеев И.Н. Экспериментальная отработка взрывозащитной камеры // Сборник докладов 13-й научно-технической конференции «Молодежь в науке», Саров. 2015. с. 344-348.