

ВЗРЫВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПАКЕТА СТРОП В ВЕРТЛЮГЕ ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ

*Д. М. Гагаркин, И. Г. Галиуллин, А. Ю. Гармашев, А. В. Сарафанников,
В. И. Махров, О. В. Костицын, Д. В. Фролов, С. М. Ульянов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Снежинск Челябинской обл.

В докладе представлен краткий обзор основных этапов разработки и испытания взрывного устройства – детонирующего удлиненного заряда (ДУЗ), предназначенного для разделения пакета строп в вертлюге парашютной системы.

Ключевые слова: Детонирующий удлиненный заряд, высокостабильный детонирующий шнур (ВДШ), инициирование, испытание.

В составе многих современных летательных аппаратов имеются отделяемые (разделяемые) элементы и узлы. Как правило, для отделения используются устройства, в составе которых содержатся пороха или (и) взрывчатые вещества. Одним из таких взрывных устройств является ДУЗ, предназначенный для установки в вертлюг парашютной системы (ПС), и, являющийся частью ПС. Назначение ДУЗ – надежное разделение (разрезание) трех пакетов строп парашюта, состоящего из 32 текстильных лент, после срабатывания электродетонатора. Суммарная толщина пакета лент 13 мм (без нагрузки на стропы парашюта). Длина ДУЗ составляет 79 мм.

Вертлюг с ДУЗ размещается в негерметичном контейнере возвращаемого аппарата (ВА). ДУЗ вертлюга функционирует на заключительном этапе работы ПС, поэтому, согласно требованиям технического задания (ТЗ), он должен сохранять работоспособность после всех внешних воздействий во время полета, в том числе на окололунную орбиту.

ДУЗ должен срабатывать в следующих условиях:

- высота – от 0 до 2,0 км над уровнем моря;
- давление – от 770 до 596 мм рт. ст.;
- температура – от -50 до $+50$ °С.

Выбор конструкции ДУЗ

Для разрезания взрывом различных преград небольшой толщины, трубопроводов, тросов, кабелей широко применяются ДУЗ, имеющие в своей конструкции кумулятивную выемку. Такие заряды еще называют УКЗ. За счет использования кумуляции ДУЗ более эффективны при резании различных материалов, по сравнению с зарядами без кумулятивной выемки [1–5]. Наиболее распространенные сечения линейных УКЗ и их расположение относительно преграды показаны на рис. 1.

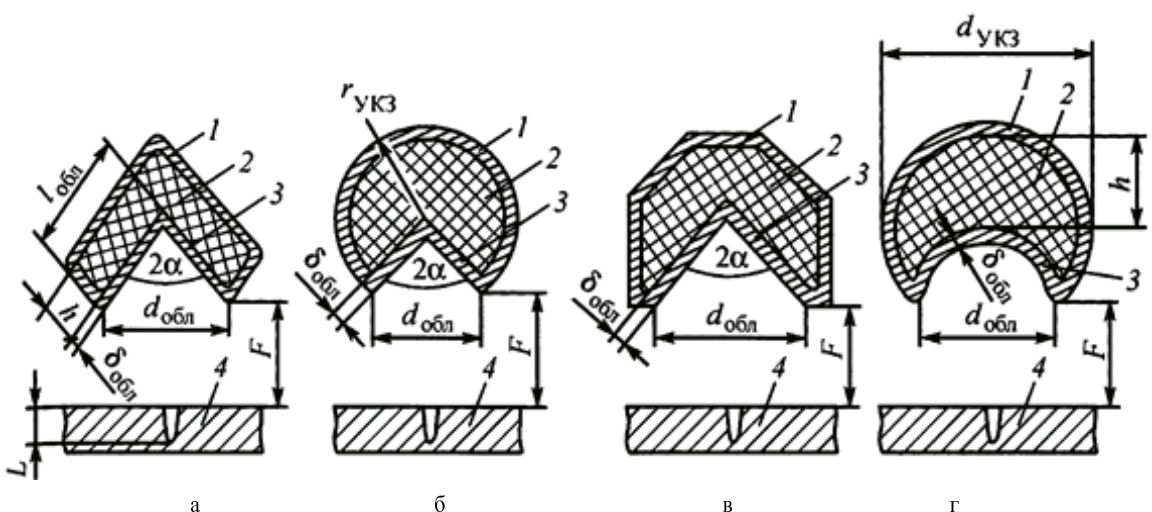


Рис. 1. Наиболее распространенные сечения УКЗ: а – в – клиновидная облицовка; г – полуцилиндрическая облицовка; 1 – оболочка; 2 – заряд ВВ; 3 – металлическая облицовка; 4 – преграда

При проектировании ДУЗ из всего многообразия форм УКЗ была выбрана наиболее технологичная – медная трубка с полуцилиндрической кумулятивной выемкой (рис. 2), для снаряжения было выбрано пластичное ВВ на основе ТЭНа.

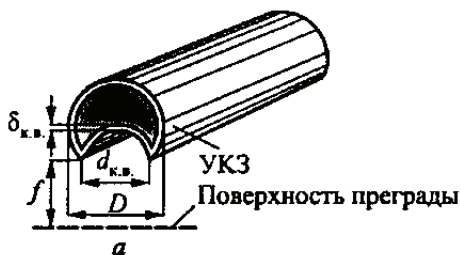


Рис. 2. Конструктивные размеры ДУЗ (УКЗ)

Расчет конструкции ДУЗ

С помощью пакета САПР были выполнены газодинамические расчеты предпочтительного размеров ДУЗ для наиболее эффективного и надежного разрезания строп.

Расчеты велись по Лагранж–Эйлеровому алгоритму с использованием сетки 0,1 мм для всех областей. Постановка задачи была планарной, то есть рассматривалось поперечное сечение ДУЗ и преграды. Задавалась мгновенная детонация всего слоя ВВ, что имитировало скользящую по ДУЗ детонационную волну.

Расчеты работы ДУЗ сравнивались с пробитием индикаторной преграды в эксперименте. Преградой была монолитная пластина из алюминиевого сплава АМг6 или стали Ст3. Дополнительно расчетами оценивалось влияние точки инициирования ДУЗ на эффективную глубину пробития, форму и направление движения струи. Окончательные расчеты резания проводились для ДУЗ в стальном корпусе конструкции, максимально приближенной к реальной конструкции ДУЗ в вертлюге ПС.

Сравнение глубины и формы расчетной каверны с экспериментом (преграда из алюминия АМг6) для ДУЗ диаметром 16 мм показано на рис. 3. Видно, что согласование для данного случая удовлетворительное.

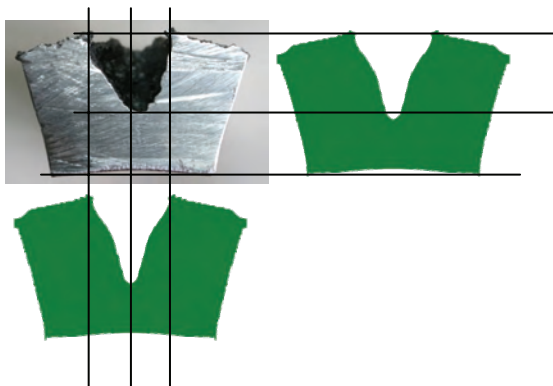


Рис. 3. Сравнение расчетной и экспериментальной каверны для ДУЗ диаметром 16 мм

На рис. 4 аналогичное сравнение приведено для стальной преграды и ДУЗ диаметром 12 мм, согласование также удовлетворительное.

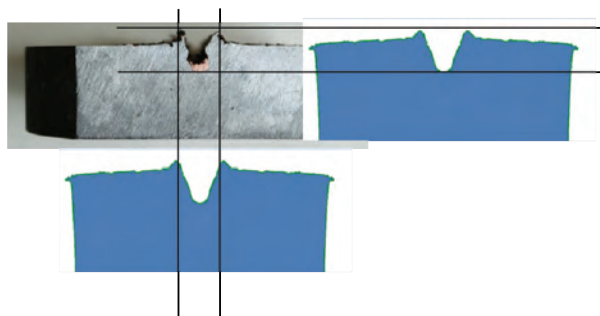


Рис. 4. Сравнение расчетной и экспериментальной каверны для ДУЗ диаметром 12 мм

На рис. 5 показан расчет влияния точки инициирования на работу ДУЗ. Возникающая кумулятивная струя в основном движется в направлении инициирования, а не вдоль плоскости симметрии ДУЗ, как необходимо. В этом случае струя по стропам будет скользить под острым углом, что значительно увеличит необходимую глубину резания, уменьшит контактное давление на границе реза и увеличит ширину зоны реза. Кроме того, возникающий боковой дрейф струи от несимметричного схлопывания кумулятивной выемки приводит к появлению змееподобной струи, что также уменьшает ее пробивное действие. Все это – негативные факторы. Поэтому для достижения оптимальных режимов резания необходимо инициирование ДУЗ вдоль оси заряда.

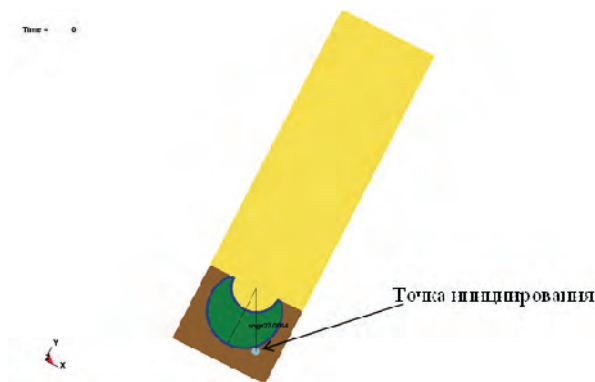


Рис. 5. Расчет бокового инициирования ДУЗ

Испытания и подтверждение конструкции на макетах

Испытания по подтверждению выбора размера ДУЗ проводились с помощью экспериментальных узлов, представленных на рис. 6.

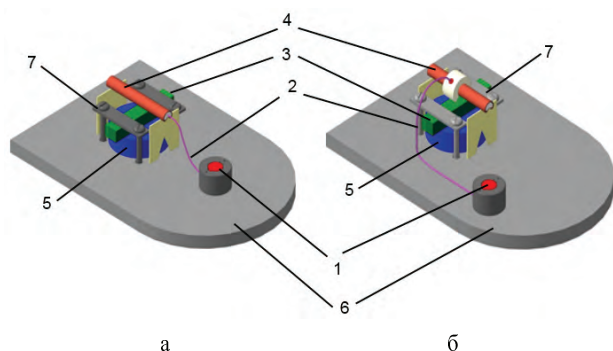


Рис.6. Схема экспериментального узла: а – инициирование с торца; б – инициирование через боковую поверхность под углом 40°; 1 – электродетонатор (ЭД); 2 – пруток ВВ; 3 – стропы; 4 – ДУЗ; 5 – стальная подложка; 6 – плита-основание; 7 – прижим

С помощью ЭД 1 осуществлялось инициирование прутка ВВ 2, который, передавал детонацию ДУЗ 4. Стропы 3 располагались на стальной подложке 5, а прижим 7 обеспечивал их фиксацию относительно ДУЗ. В опытах варьировались геометрические размеры ДУЗ, число строп и фокусное расстояние. Полученные результаты представлены в табл. 1.

ДУЗ для испытаний изготавливался в РФЯЦ-ВНИИТФ, при этом размеры D , d , δ и F выбирались согласно рекомендациям, приведенным [2, 5].

По результатам испытаний экспериментальных узлов (табл. 1) было получено, что ДУЗ диаметром 12 мм при инициировании с торца полностью перерезает двойное количество строп. Таким образом, можно обеспечить высокую надежность работы разрабатываемого изделия. Полученный результат согласуется с проведенными расчетами.

На рис. 7, в качестве примера, показан рез от ДУЗ диаметром 12 мм по стропам и стальному основанию.

Таблица 1

Результаты испытаний ДУЗ

Параметры ДУЗ								Опытные данные				
Диаметр $\varnothing D$, мм	диаметр кумулятивной выемки $\varnothing d$, мм		толщина стенки t , мм	высота H , мм		масса ВВ, г/мм	фокусное расстояние F , мм	Стальная преграда (подложка), мм	разрезано строп/исходное количество строп			
	теоретическая	фактическая		теоретическая	фактическая							
9	3,78–3,96	4...4,5	0,75	7,2	6,4	0,05	12				20/30	
		3...3,5			6,4						12,5	24/30
		4...4,5			6,2						11,5	9/30
		3...3,5			6,6						9	9/32
9,5	3,99–4,18	4	0,65	7,6	7,4	0,06	9,5				32/32	
		3,5			7,5						9,5	29/32
10	4,2–4,4	4...4,5	0,5	8	7,7	0,06	10				32/32	
					8,0						0,07	5
12	5,04–5,28	5...5,5	0,8	9,6	9,6	0,09	12	30/30				
					9,6			6	30/30			
					9,7			12	40/40			
					9,7			9	48/48			
					9,7			9	52/52			
16	6,72–7,04	6,5...7,0	0,75	12,8	12	0,18	16	30/30				
		~8			12,22			8	30/30			
Иницирование через боковую поверхность												
12	5,04–5,28	5...5,5	0,8	9,6	9,7	0,09	12		32/32			
					9,6				9	22/64		

Выбор способа иницирования ДУЗ

Расчетами было показано, что для достижения оптимальных режимов резания необходимо иницировать ДУЗ вдоль оси заряда. Согласно ТЗ конструкция вертлюга ПС, предусматривает иницирование ДУЗ от электродетонатора через боковую поверхность ДУЗ, под углом 40° от плоскости симметрии заряда (рис. 8), что существенно снижает эффективность резания.

Для перехода к иницированию вдоль оси ДУЗ был выбран вариант иницирования с использованием радиального концевика представленного на рис. 9. Концевик состоит из детонационного шнура ВДШ-0,8 и усилительного заряда ТЭНа, заключенного в алюминиевый корпус.

С помощью радиального концевика детонационный сигнал от электродетонатора передается на торец заряда и иницирует его вдоль оси (рис. 10). Такая схема позволяет иницировать ДУЗ вдоль оси заряда и избежать возникновения бокового дрейфа струи от несимметричного схлопывания кумулятивной выемки.



Рис. 7. Рез от ДУЗ, иницированного с торца

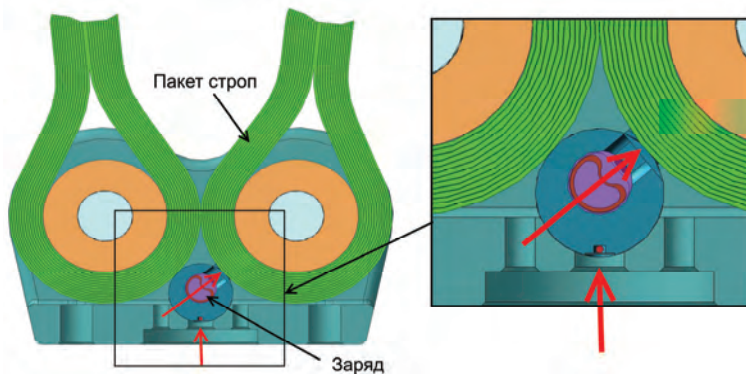


Рис. 8. Схема расположения ДУЗ в корпусе вертлюга

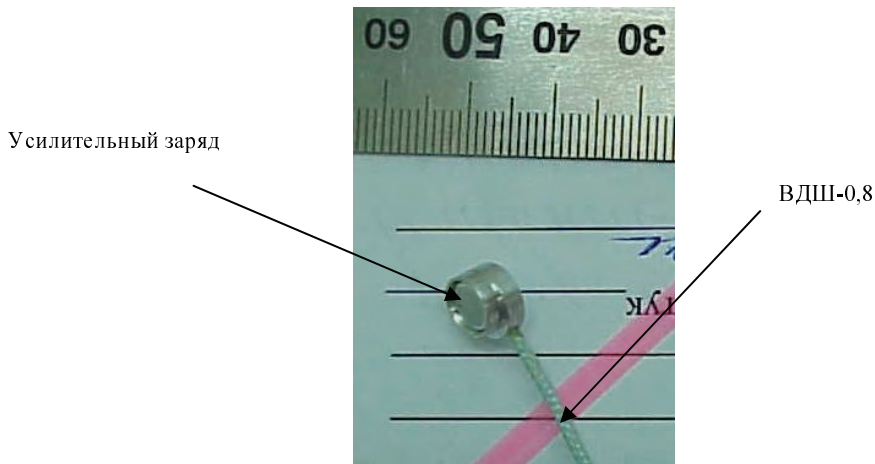


Рис. 9. Радиальный концевик

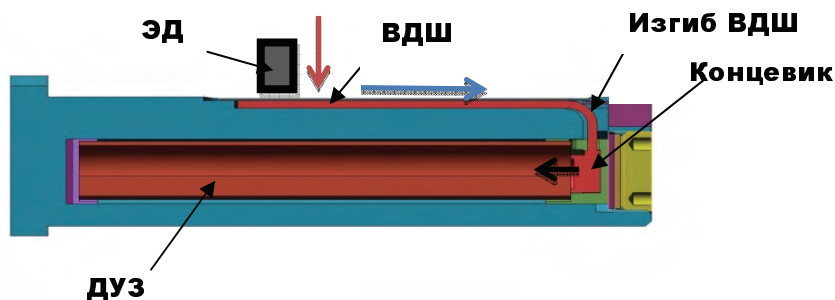


Рис. 10. Схема инициирования ДУЗ

Проверка инициируемости ВДШ-0,8

Таблица 2

Проверка надежности инициирования ВДШ-0,8 от ЭД через воздушный зазор осуществлялась с помощью ЭУ, показанного на рис. 11.

В ЭУ воздушный зазор обеспечивался с помощью двух равных по высоте пластин. ВДШ-0,8 укладывался в паз стальной подложки, глубина пазов 1,5; 2,0 и 2,5 мм, ширина паза оставалась неизменной 1,5 мм.

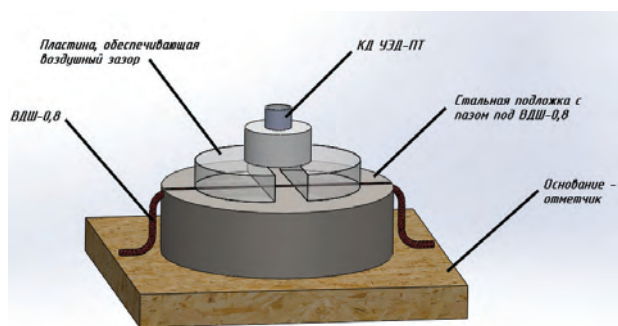


Рис. 11. ЭУ для оценки инициируемости ВДШ-0,8 через воздушный зазор

Целью данного эксперимента являлось определение предварительной оценки максимальной величины воздушного зазора, при котором будет обеспечиваться стабильное инициирование ВДШ-0,8. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Согласно полученным результатам инициирование ВДШ-0,8 от детонатора обеспечивается при воздушном зазоре, значительно превышающем значение, обеспечиваемого конструкцией ПС, равное 3 мм.

Инициирование ВДШ-0,8 через воздушный зазор

№	Глубина паза, мм	Размер воздушного зазора, мм	Срабатывание (+) либо отказ (-), в каждую сторону от места инициирования
1	1,5	0	++
2	1,5	7,1	++
3	1,5	12,1	++
4	1,5	14,0	++
5	1,5	18,0	++
6	2,0	2,0	++
7	2,0	6,0	++
8	2,0	10,0	++
9	2,0	13,9	++
10	2,0	18,2	+ -
11	2,0	21,8	++
12	2,5	4,0	++
13	2,5	6,0	++
14	2,5	7,0	++
15	2,5	7,5	++
16	2,5	8,0	+ -
17	2,5	8,5	++
18	2,5	9,0	++
19	2,5	10,0	+ -

Испытания по подтверждению работоспособности ДУЗ

По результатам экспериментальной обработки на макетах была определена окончательная конструкция ДУЗ. В РФЯЦ-ВНИИТФ были изготовлены опытные образцы ДУЗ для проведения испытаний по подтверждению работоспособности, внешний вид которых представлен на рис. 12.

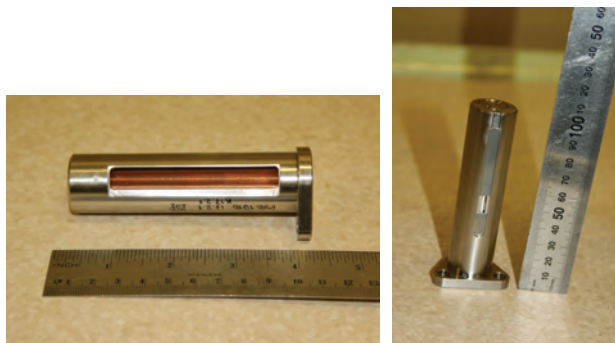


Рис. 12. Внешний вид опытных образцов ДУЗ

В ходе испытаний была проверена работоспособность трех ДУЗ при температуре окружающего воздуха минус 5 °С, температурах плюс 50 °С и минус 50 °С. Внешний вид экспериментального узла, подготовленного к подрыву представлен на рис. 13.

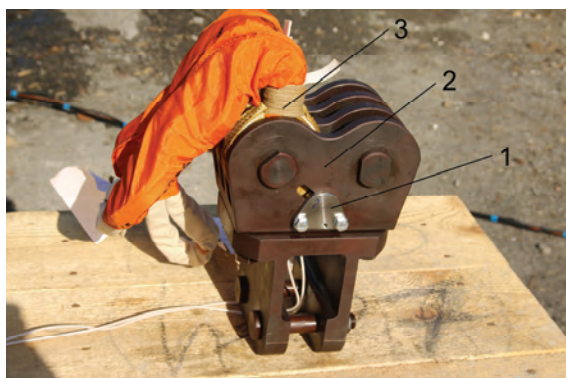


Рис. 13. Внешний вид ЭУ, подготовленного к подрыву:
1 – ДУЗ; 2 – имитатор вертлюга; 3 – макет строп

Охлаждение ЭУ проводилось в контейнере парами жидкого азота. Температура в объеме контейнера контролировалась датчиками (медный термометр сопротивления).

Нагрев ЭУ проводился в нагревательном устройстве тепловой установки «ТО-1». В качестве теплоносителя, задающего температуру ЭУ, выступал воздух, нагрев которого регулировался по показаниям

термопары (тип ХК), установленной вблизи ЭУ. Режим нагрева «ТО-1» задавался с помощью системы управления электронагревательными устройствами.

Общий вид ЭУ после испытаний представлен на рис. 14.



Рис. 14. ЭУ, после испытаний по проверке работоспособности ДУЗ

По результатам испытаний установлено, что ДУЗ обеспечивает заданные требования ТЗ по работоспособности при температурах от минус 50 °С до плюс 50 °С.

Выводы

В ходе проделанной работы была определена конструкция ДУЗ, проведены расчеты и обработка изделия на макетах, изготовлены опытные образцы, успешно прошедшие испытания по подтверждению работоспособности в соответствии с требованиями ТЗ.

Литература

1. Ладов С. В., Кобылкин И. Ф. Использование кумулятивных зарядов во взрывных технологиях. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995.
2. Селиванов В. В., Кобылкин И. Ф., Новиков С. А. Взрывные технологии : учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.
3. Физика взрыва. 3-е изд., перераб. / Под ред. Л. П. Орленко. М.: Физматлит, 2002.
4. Аттетков А. В., Гнускин А. М., Пырьев В. А., Сагидуллин Г. Г. Резка металлов взрывом М.: СИП РИА, 2000.
5. Петушков В. Г. Применение взрыва в сварочной технике. Киев, 2005.