

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ РЕЖУЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ОСНОВАНИЙ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

*А. Н. Катыхов, Е. В. Артемчук, А. М. Васильев, И. В. Занегин,
Д. Е. Зотов, М. П. Калинин, И. В. Шиберин*

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

Введение

В последние десятилетия в связи с прекращением функционирования расположенных на морском шельфе нефтегазопромысловых сооружений – морских стационарных платформ (МСП), остро встает вопрос об их демонтаже и последующей утилизации. Подавляющая часть МСП являются сооружениями свайного типа, поэтому основная сложность при их демонтаже связана с разборкой и извлечением из моря (с глубин до 200 м) их оснований – опорных блоков, состоящих из металлических свай и связей, формирующих в подводной части жесткие каркасные конструкции, способные противостоять подводным течениям и волнениям на море.

Существующие на сегодняшний день технологии резки силовых элементов опорных блоков МСП (резка алмазными канатами, орбитальными дисковыми резаками, абразивной резкой SABRE) [1], с учетом специфики работ в морской среде на значительных глубинах, в большинстве своем являются трудоемкими и дорогостоящими. Перспективным в этом плане является применение взрывных технологий, обладающих перед традиционными способами резки рядом преимуществ, основным из которых является снижение времени проведения демонтажных работ.

При помощи взрывных технологий решается задача одновременной, либо последовательной резки металлических свай – толстостенных трубчатых конструкций диаметром от 540 мм до 1500 мм, с толщиной стенки от 20 до 50 мм. В зависимости от технологического процесса демонтажа, разрабатываемого индивидуально для каждой МСП, резка свай может производиться как снаружи, так и изнутри (условия подрезки свай у морского дна, когда рез свай должен производиться на 1,5–3 м ниже уровня морского дна).

Взрывная резка металлических конструкций под водой может осуществляться несколькими методами. На сегодняшний день наиболее распространенным и известным является метод взрывной резки конструкций удлиненными (или линейными) кумулятивными зарядами (УКЗ) [2].

УКЗ представляет собой заряд бризантного ВВ, заключенный в тонкостенную медную оболочку с профилированной кумулятивной выемкой. Они используются для разрезания объектов в заданном сечении, с исключением откольных явлений на тыльной стороне преграды. Технические характеристики

серийно выпускаемых УКЗ позволяют проводить резку металлоконструкций с толщиной преграды до 25 мм стали. При разрезании и разрушении металлоконструкций, без предъявления требований к качеству поверхности кромки реза, применяются шнуровые кумулятивные заряды [3], заряды эластичные кумулятивные удлиненные [2] и заряды кумулятивные линейные баллиститные [4], способные разрушать преграды из сталей толщиной до 60 мм. Существенным недостатком для всех типов кумулятивных зарядов при их применении в водной среде является обязательное обеспечение изолированности зоны формирования кумулятивной струи.

Помимо этого использование УКЗ различных типов для фрагментации толстостенных (более 25 мм) стальных конструкций малоэффективно, так как связано с изготовлением специальных дорогостоящих зарядов, содержащих большое количество ВВ, срабатывание которых оказывает интенсивное фугасное воздействие на окружающую обстановку и требует применения защитных мероприятий.

Взрывная резка ударными волнами разрежения

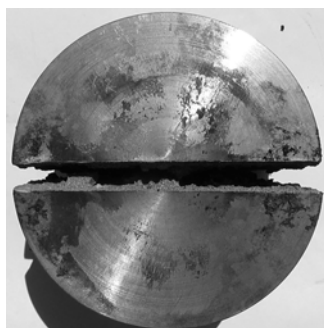
Основные задачи по повышению безопасности и экономической эффективности, путем уменьшения количества ВВ при разрезании стальных конструкций толщиной более 30 мм, как на воздухе так и в водной среде, успешно решаются при помощи взрывных устройств, в основе работы которых находится взаимодействие ударных волн разрежения (УВР) [5].

Впервые к разработке таких взрывных устройств РФЯЦ-ВНИИЭФ приступил с середины 90-х годов прошлого века. В рамках конверсионной деятельности были разработаны взрывные режущие устройства (ВРУ), принцип действия которых основан на генерации и взаимодействии в стальных преградах ударных волн разрежения. Причиной образования УВР в железе является наличие аномального участка адиабаты разгрузки в области фазового перехода ($\alpha\text{-Fe} \leftrightarrow \epsilon\text{-Fe}$). Явление образования УВР зарегистрировано как открытие в 1986 г. [6]. При взаимодействии двух УВР растягивающие напряжения возникают в очень узкой зоне материала, определяемой шириной фронта УВР, что приводит к образованию «гладкой» поверхности откола. Подобный ха-

раक्टर носит откольное разрушение в стальной пластине при столкновении (взаимодействии) на ее поверхности двух встречных детонационных волн распространяющихся в слое взрывчатого вещества, размещенном в контакте с поверхностью стальной пластины (см. рис. 1). Образование гладкого откола инициирует возникновение и распространение вглубь пластины хрупкой трещины, проходящей через линию встречи детонационных волн, способной разделять очень толстые стальные преграды.



а



б



в

Рис. 1. Продольная резка стального цилиндра $\varnothing 120 \times 100$ мм: а – заряд $140 \times 140 \times 4$ мм из ТГ5/5, б – разделенный цилиндр, в – сечение реза

Аналогичное явление происходит и в сплошном цилиндрическом образце или толстостенной трубе, если встречные детонационные волны инициировать в кольцевой полосе взрывчатого вещества, наклеенного на поверхности цилиндра.

При резке стальных конструкций, с толщиной стенки более 20 мм, используемое во ВРУ количество взрывчатого вещества в несколько раз меньше, чем при других известных способах взрывной резки металла, в частности, при использовании УКЗ. Это в большинстве случаев позволяет уложиться в экологические нормативы, устанавливаемые в ряде стран для выполнения взрывных работ на морском шельфе.

Первая продуктовая линейка автономных ВРУ для демонтажа свай МСП создана в серии международных контрактов с фирмой Halliburton (США) (см. рис. 2).

2001–2004 гг. – проект МНТЦ № В506099 – разработка внутреннего резака УВР-660 для стальных свай $\varnothing 762 \times 51$ мм (Бронзовая медаль на Женевском салоне 2008 г., патент RU 2204689).

2006–2009 гг. – проект МНТЦ № 3362р – разработка наружного резака НКС-2 для стальных свай $\varnothing 762 \times 51$ мм (1-е место Нижегородская ярмарка 2008 г. патент RU 2270681).

В последние годы в РФЯЦ-ВНИИЭФ с использованием современной расчетно-вычислительной базы, проводилась разработка нового поколения экологически безопасных ВРУ, предназначенных для подводного демонтажа толстостенных стальных опор МСП. Это поколение ВРУ адаптировано под использование промышленных взрывчатых составов и средств инициирования, обладает высокой степенью модернизируемости за счет применения аддитивных технологий.

ВРУ представляет собой кольцевое устройство монтируемое на сваю по наружной или внутренней поверхности (см. рис. 3).

ВРУ состоит из 4...12 сегментных зарядов (длина дуги основания одного сегментного заряда $l = 250 - 320$ мм, ширина $h = 150...200$ мм), изготавливаемых под конкретный диаметр демонтируемой сваи по технологии 3D печати. Сегментный заряд снаряжается промышленным составом взрывчатого вещества (эластичный состав на основе гексогена). Зазоры между соседними сегментами ($5 \div 30$ мм) позволяют компенсировать наличие одного или двух сварных соединений и наличие возможных деформаций сваи.

Монтаж сегментных зарядов на поверхность сваи осуществляется водолазом. Место монтажа ВРУ, кольцевой фрагмент сваи ($h+100$ мм), предварительно очищается от морского обрастания. Фиксация сегментных зарядов на стальной поверхности осуществляется при помощи магнитных держателей. Иницирование зарядов осуществляется от разводки из последовательно соединенных безопасных электродетонаторов.

Для наглядного примера работы ВРУ на рис. 4 представлены фотографии с модельного эксперимента по поперечной резке фрагмента сваи – стальной трубы $\varnothing 762 \times 45$ мм длиной 900 мм, размещенной внутри деревянного короба $1500 \times 1500 \times 1500$ мм заполненного водой. Масса взрывчатого вещества в эксперименте составила ~ 10 кг в тротиловом эквиваленте, что почти в 2 раза меньше массы заряда УКЗ-Л ($\sim 19,5$ кг в тротиловом эквиваленте) [2], разработки НИИ проблем конверсии и высоких технологий при Самарском ГТУ, необходимого для резки данной трубы на воздухе.

В таблице представлены основные технические характеристики нового поколения ВРУ.

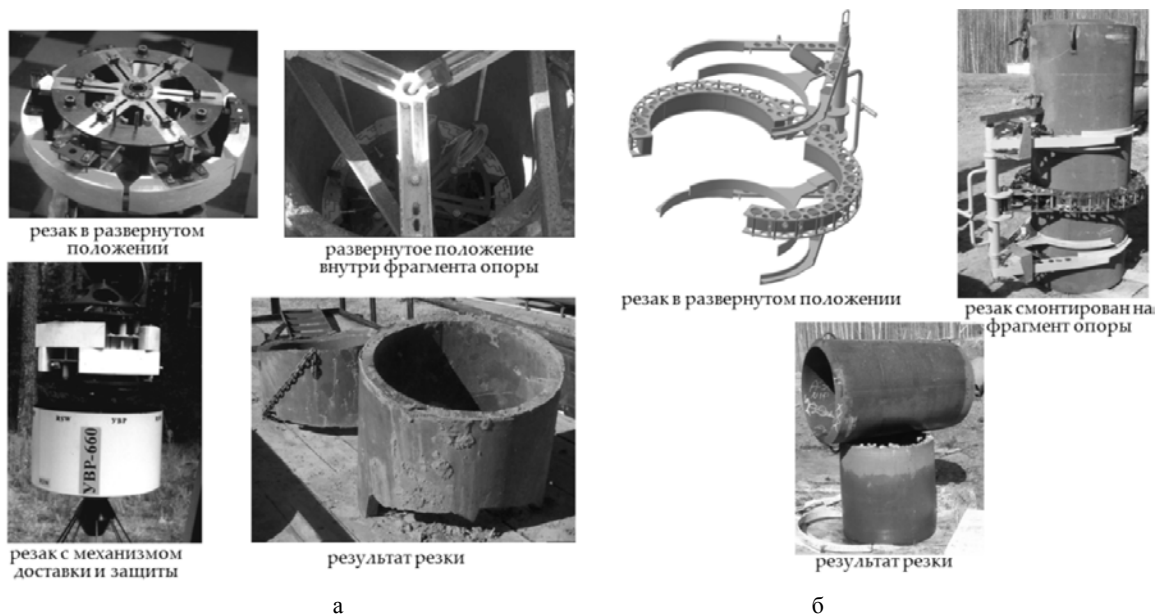


Рис. 2. Автономные ВРУ для резки стальных свай $\varnothing 762 \times 51$ мм: а – взрывной резак УБР-660 для внутренней резки, б – взрывной резак НКС-2 для наружной резки

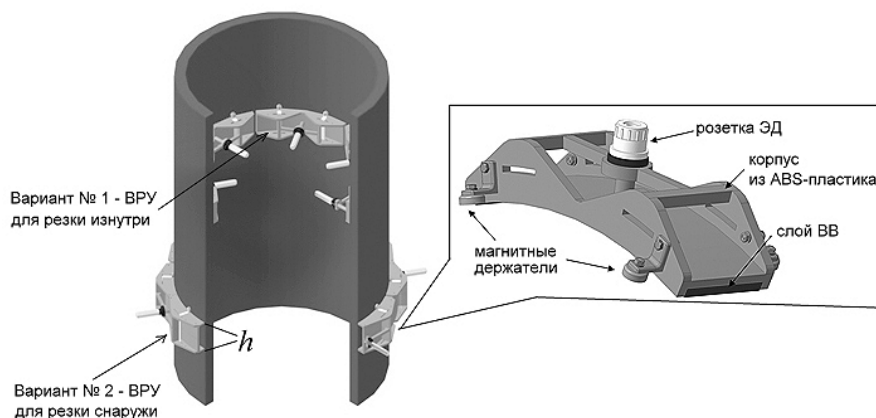


Рис. 3. Эскиз размещения ВРУ нового поколения на свае

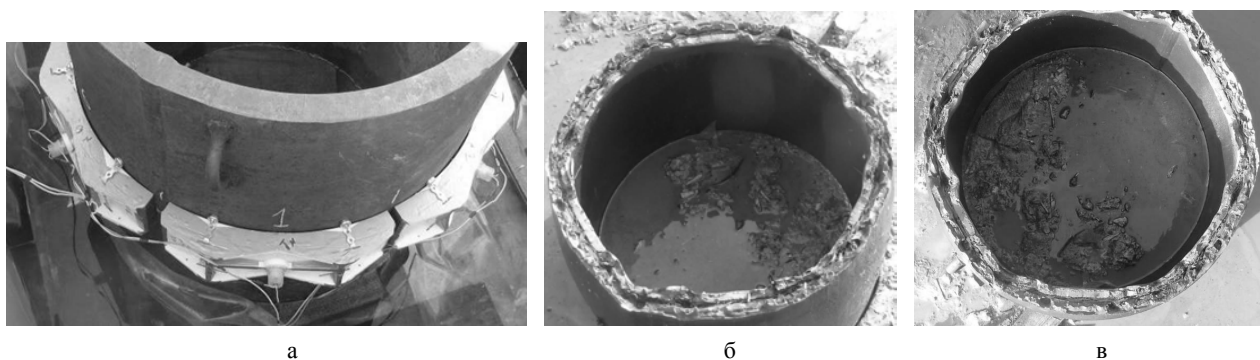


Рис. 4. Модельный эксперимент по взрывной резке стальной трубы $\varnothing 762 \times 45$ мм: а – сегментные заряды на трубе, б – общий вид кромки реза нижней части, в – общий вид кромки реза верхней части

Основные технические характеристики нового поколения ВРУ

Тип	Диаметр сваи, мм	Толщина стенки сваи, мм	Масса ВВ в ВРУ, кг/м	Количество сегментов, шт.
Наружное ВРУ	200–1500	20–50	1,5–3,2	4–12
Внутреннее ВРУ	600–1500	20–50	1–2,1	6–10

Отработка технология применения ВРУ, в условиях приближенных к реальным, осуществлялась на комплексе для подводных взрывных исследований ИФВ при проведении резки стальной трубы $\varnothing 720 \times 20$ мм под водой.

Использование ВРУ разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ позволит сократить время проведения демонтажных работ и, как следствие, значительно снизить затраты на использование вспомогательного флота в процессе утилизации свайного основания МСП.

Заключение

В РФЯЦ-ВНИИЭФ на базе современных технологий разработаны ВРУ, предназначенные для демонтажа силовых элементов опорных оснований МСП стальных толстостенных трубчатых конструкций. Преимуществами ВРУ нового поколения являются простота установки и высокая эффективность реза металлоконструкций под водой, с использованием меньшего количества ВВ, чем у существующих аналогов.

Следует оговориться об ограниченности применения ВРУ нового поколения на основе УВР только для разделения стальных преград на основе α -железа.

1. Петушков В. Г. Применение взрыва в сварочной технике // Киев: Наукова Думка, 2005. С. 754.
2. Аттетков А. В., Гнуськин А. М., Пырьев В. А., Сагидуллин Г. Г. Резка металлов взрывом // Москва: СИП РИА, 2000. С. 260.
3. Заряд кумулятивный шнуровой. Технические условия ТУ 84-988-84.
4. Заряд кумулятивный линейный баллистический. Технические условия ТУ 3-402-50-90.
5. Новиков С. А. Взрывные технологии и конверсия // ВАНТ. Сер. Импульсные реакторы и процессы критические сборки. 1994. Вып. 2. С. 40–47.
6. Зельдович Я. Б., Иванов А. Г., Новиков С. А. и др. Диплом № 321. МКИ 42Д 3/00-3/06.
7. Кудинов В. М., Коротеев А. Я., Волгин Л. А. и др. Опыт применения подводной резки взрывом при демонтаже трубчатых оснований морских стационарных платформ // Автоматическая сварка. 1987. № 6. С. 27–29.