

Деформирование и разрушение подводной преграды при взрыве фугасных и кумулятивных зарядов

© С.В. Ладов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрены особенности деформирования и разрушения осесимметричной стальной пластины, которая жестко закреплена в цилиндрической матрице с герметичной воздушной полостью, помещенной в воду, при воздействии взрыва фугасных и кумулятивных зарядов. Приведены результаты экспериментального исследования особенности сквозного разрушения преграды в зависимости от расстояния центра массы заряда взрывчатого вещества до преграды и ее толщины при раздельном действии фугасного, кумулятивного и при совместном действии кумулятивно-фугасного подводного взрыва. На основе металлографического анализа представлен механизм разрушения преграды путем образования и развития магистральных макротрещин разрыва, связанных с краем отверстия, от действия кумулятивной струи.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, кумулятивная струя, кумулятивно-фугасное действие, деформирование, разрушение, трещина, преграда

Введение. В настоящее время достаточно подробно исследовано проведение подводного взрыва цилиндрического заряда взрывчатого вещества (ВВ) с плоскими торцами, который принято называть фугасным зарядом (ФЗ). Этот заряд обеспечивает образование и распространение ударной волны (УВ) и гидропотока (сильно сжатой продуктами взрыва среды) [1–3]. Менее исследован подводный взрыв цилиндрического заряда ВВ с конической или полусферической металлической облицовкой, вставленной в выемку на торце, противоположном месту инициирования, который принято называть кумулятивным зарядом (КЗ) [4–6]. При этом наряду с взрывной УВ происходят образование и распространение кумулятивной струи (КС) и баллистической УВ [7].

Известно, что при действии фугасных и кумулятивных зарядов на подводные конструкции, представляющие собой жестко закрепленные металлические преграды конечной толщины, за которыми находится герметичная воздушная полость, их разрушающий эффект будет не одинаков [3, 8–14]. При использовании ФЗ преграда начинает деформироваться под действием проходящей УВ и движущегося потока жидкости (гидропотока). После того как будет достигнут ее максимальный прогиб, соответствующий расстоянию от центра массы заряда ВВ до преграды R_{ϕ} , т. е. радиус разрушения $R = R_{\phi}$, она разрушается с нарушением сплошности и образованием магистральных трещин разрыва (лепестков). При использовании КЗ с максимального расстоя-

ния $R = R_k$ (R_k — радиус разрушения) нарушение сплошности преграды определяется исключительно сквозным отверстием от воздействия КС без видимых макротрещин разрыва. При этом $R_k > R_\phi$, однако площадь образуемой сквозной пробоины при использовании КЗ существенно меньше, чем в случае применения ФЗ.

В связи с этим интересно проанализировать ситуацию, в которой расстояние R_k будет сближаться с расстоянием R_ϕ до момента реализации так называемого совместного кумулятивно-фугасного эффекта взрыва, когда образованное КС сквозное отверстие начнет «разворачиваться» по магистральным трещинам разрыва (лепесткам) за счет дополнительного фугасного действия баллистической (от движения элементов КС) и взрывной УВ, что приводит к увеличению площади сквозной пробоины в преграде. В этом случае речь может идти о так называемом расстоянии (радиусе) кумулятивно-фугасного разрушения $R_{к-ф}$, т. е. $R = R_{к-ф}$. Следует отметить, что если радиус разрушения R_k зависит в основном от конструктивных особенностей КЗ (формы и материала кумулятивной облицовки, размера воздушной полости перед облицовкой и т. п.), то радиусы разрушения $R_{к-ф}$ и R_ϕ зависят в большей степени от массы и свойств заряда ВВ, материала и толщины преграды, а также размера воздушной запреградной полости.

Для выявления всех особенностей разрушения подводной преграды при действии кумулятивных и фугасных зарядов с одинаковой массой ВВ, а также определения конкретных границ зон реализации кумулятивного, кумулятивно-фугасного и фугасного видов разрушения преграды в зависимости от различных параметров используемых зарядов и преград, были проведены лабораторные взрывные эксперименты, а также металлографический анализ разрушенных преград.

Экспериментальные и металлографические исследования. В качестве базовой мишенной обстановки для испытаний была использована цилиндрическая матрица с жестко закрепленной на ней круглой металлической пластиной, над которой фиксировался соответствующий заряд и которую помещали в бак с водой. Варьировались параметры зарядов из одного и того же ВВ (R_0 — приведенный к сферическому радиус заряда ВВ) и толщина δ_n преграды. По результатам эксперимента фиксировались максимальный прогиб Y_m преграды и площадь S_0 сквозной пробоины размерами $l_1 \times l_2$, по значению которой рассчитывался так называемый приведенный диаметр сквозной пробоины D_0 (рис. 1).

Использовались цилиндрические кумулятивные и фугасные заряды диаметром 20...22 мм и массой заряда ВВ из флегматизированного гексогена примерно 7,5 г ($R_0 = 10,4$ мм). Соответствующий диаметру герметичной воздушной полости, внутренний диаметр матрицы $D = 100$ мм, высота воздушной полости $h = 65$ мм, толщина преград

из стали марки Ст3 варьировалась в диапазоне $\delta_{\text{п}} = 1,0 \dots 3,0$ мм. В случае КЗ с конической медной кумулятивной облицовкой перед ней обеспечивалась герметичная воздушная полость для нормального формирования КС [7].

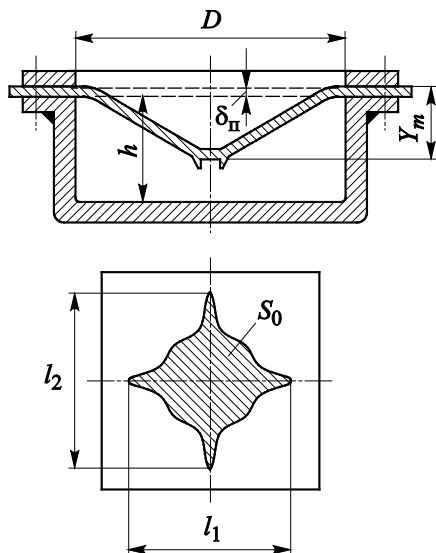


Рис. 1. Схема разрушения преграды

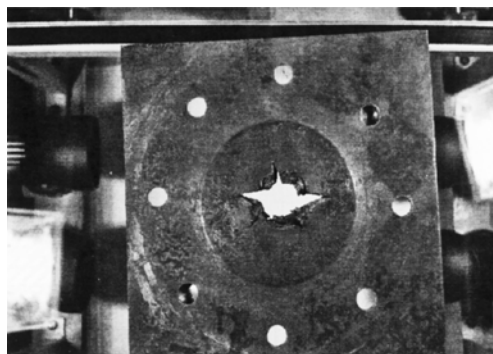


Рис. 2. Общий вид разрушения преграды при действии КЗ

Общий вид разрушения преграды при действии КЗ, соответствующий случаю реализации обозначенного выше кумулятивно-фугасного эффекта взрыва, представлен на рис. 2.

Результаты лабораторных экспериментов, приведенные в таблице, показали, что в рассматриваемом диапазоне изменения параметров R и $\delta_{\text{п}}$ были определены предельные значения радиусов $R_{\text{к-ф}}$, которые оказались в 2,3–3,0 раза больше радиусов $R_{\text{ф}}$. При этом предельные прогибы Y_m преграды оказались в 1,7–2,3 раза меньше, чем при реализации чисто фугасного эффекта. Одновременно наблюдалась тенденция возрастания преимущества КЗ перед ФЗ по эффективному радиусу разрушения с увеличением толщины преграды.

Помимо выявления соответствующих дистанций сквозного разрушения подводных преград, представляет интерес оценка зависимости площади S_0 сквозной пробоины от радиусов разрушения различных зарядов. Данные, приведенные в таблице, позволили сделать вывод, что с уменьшением радиуса разрушения приведенный диаметр сквозного пробития увеличивается, достигая максимального значения, соответствующего полному пролому преграды по диаметру запреградной воздушной полости матрицы (см. рис. 1).