

УДК 539.3

doi: 10.53816/20753608_2025_3_88

**СУПЕРКАВИТИРУЮЩИЕ УДАРНИКИ —
ЭФФЕКТИВНОЕ ПОДВОДНОЕ ОРУЖИЕ БЛИЖНЕГО БОЯ**
**SUPERCAVITATING KINETIC IMPACTOR ARE AN EFFECTIVE UNDERWATER
CLOSE COMBAT WEAPONS**

Академик РАРАН М.В. Сильников, чл.-корр. РАРАН Н.М. Сильников, В.В. Залетин, А.С. Пучков

НПО Спецматериалов

M.V. Silnikov, N.M. Silnikov, V.V. Zaletin, A.S. Puchkov

Опыт ведения боевых действий в условиях СВО демонстрирует существенно возросшую роль боевых робототехнических средств на линии боевого соприкосновения.

Настоящая статья посвящена возможности применения суперкавитирующих ударников, в качестве оружия ближнего боя, для защиты от атакующих легких подводных автономных необитаемых аппаратов.

Ключевые слова: вода, подводные боевые робототехнические комплексы, суперкавитирующий ударник, пробивная способность, испытания.

The experience of military operations in the conditions of the SVO demonstrate a significantly increased role of combat robots on the battle line.

This article is devoted to the possibility of using supercavitating kinetic impactor as weapons to protect against attacking light underwater autonomous unmanned vehicles.

Keywords: water, underwater combat robotic systems, supercavitating impactor, punching ability, tests.

Введение

Технологически развитые страны активно разрабатывают боевые робототехнические комплексы, создают подводные отряды на основе автономных необитаемых аппаратов с целью мониторинга водных границ и ведения боевых действий без участия человека. К 2030 году в вооруженных силах США планируется увеличение доли беспилотных и безэкипажных средств до 30 % от общего состава боевых средств вооружения. По оценкам военных специалистов, боевые возможности подразделений, оснащенных перспективными высокоточными робототехническими средствами, возрастут в 2–2,5 раза [1].

Анализ боевых действий в современных вооруженных конфликтах демонстрирует их гибридный характер. При этом, морская и речная критическая инфраструктура (мосты, ГЭС, АЭС, дамбы и т.д.) любого из участников конфликта может быть подвергнута нападению, даже если находится за сотнями, тысячами километров от линии боевого соприкосновения. Атака может быть проведена как подводными диверсионными силами, так и с помощью легких подводных дронов.

В современных условиях сложно обеспечить мониторинг и охрану водных границ (протяженность морских границ РФ составляет около 40 000 км) только с использованием традиционных судов и кораблей. Одним

из основных способов решения такой задачи является организация распределенных сетей подводных легких ударных робототехнических комплексов (РТК) защиты водных объектов, объединенных в одну сеть и взаимодействующих между собой.

При этом, актуальным является вопрос вооружения легких подводных ударных РТК защиты. В данных условиях кинетические средства поражения, применяемые в стрелковом оружии, малоэффективны. Так, дальность полета пули под водой и ее поражающее действие составляет не более 1,5 м и не может быть применено для эффективного поражения атакующего автономного необитаемого аппарата.

В то же время, кинетические средства поражения, движущиеся под водой в режиме суперкавитации, могут решить такую задачу.

Описание суперкавитирующего движения под водой

Высокоскоростное движение тел определённой конструкции в воде сопровождается явлением суперкавитации, т.е. появлением разреженных полостей (каверн) на границе взаимодействия тела с потоком [2]. В этом случае, большая часть поверхности тела не взаимодействует с набегающим потоком, существенным образом уменьшая результирующую силу сопротивления движению (рис. 1). Кинетические средства поражения, движущиеся в воде в режиме суперкавитации, получили название — суперкавитирующие ударники (СКУ).

При этом суперкаверна может оказывать на ударник стабилизирующее воздействие [3], позволяя сохранять первоначально заданное направление движения без стабилизации оперением или вращением.

Основным параметром, характеризующим суперкавитирующее движение, является число кавитации [4]:

$$\sigma = 2 \frac{p_{\text{атм}} + \rho gh - p_c}{\rho V^2},$$

где V — скорость ударника, м/с; ρ — плотность воды, кг/м³; $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па; g — ускорение свободного падения, м/с²; h — глубина залегания траектории, м; p_c — давление в суперкаверне (давление насыщенного водяного пара), Па.

Чем меньше число кавитации, тем каверна более развита. Приведенные оценки [5] показали, что при значениях числа кавитации $\sigma < \sigma_{\text{кр}} = 0,06$ суперкавитирующая модель испытывает гораздо меньшее сопротивление движению, чем та же модель при сплошном обтекании. По сути, значение 0,06 можно принять граничным. Т.е. при значении числа кавитации превышающим 0,06, режим суперкавитирующего движения нестабилен.

При допущении, что водная среда неподвижна, а движение СКУ осуществляется прямолинейно и параллельно горизонтальной оси, суперкаверну можно считать стационарной и осесимметричной относительно продольной оси. Для построения приближенного контура суперкаверны (рис. 2) применяется полуэмпирическая формула [6]:

$$\bar{R}^2 = 3,659 + 0,847(\bar{x} - 2) - 0,236\sigma(\bar{x} - 2)^2, \\ \bar{x} \geq 2,$$

где $\bar{R} = R_c / R_n$, $\bar{x} = x / R_n$; R_c — радиус каверны в точке x , м; R_n — радиус кавитатора (носовая оконечность ударника), м; x — координата сечения каверны ($x = 0$ — положение кавитатора, $x = 1$ — координата положения основания модели).

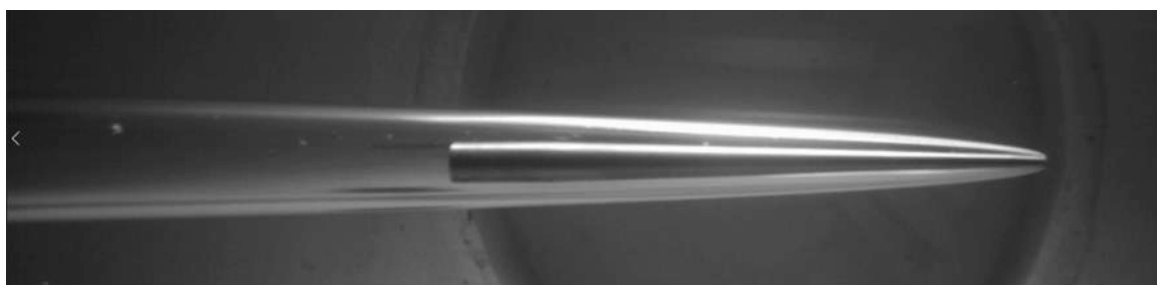


Рис. 1. Движение кинетического ударника в воде в режиме суперкавитации

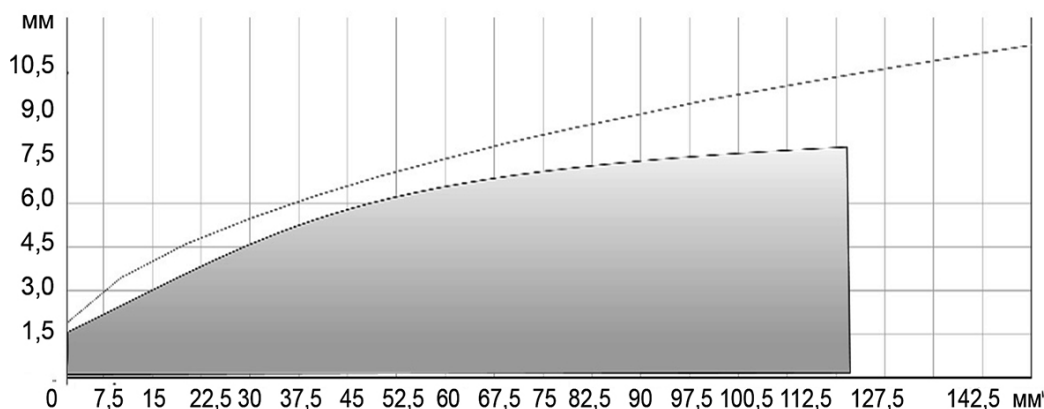


Рис. 2. Результат расчета контура суперкаверны

Следует отметить, что с увеличением глубины применения СКУ, увеличивается число кавитации σ . Это может привести к срыву каверны. Так, при скорости движения СКУ 350 м/с, глубина применения не превышает 300 метров (рис. 3).

Скорость движения СКУ, в зависимости от пройденного расстояния определяется выражением [7]:

$$V = e^{(\ln V d - L \cdot k)},$$

где

$$k = \frac{\rho \cdot Cx \cdot Sc}{2m}; \quad Cx = 0,82(1 + \sigma),$$

где ρ — плотность воды, кг/м³; σ — число кавитации; Sc — площадь кавитатора, м².

Толщина пробиваемой преграды (в «нормаль») по эмпирической формуле Жокоба де-Мара определяется как:

$$b = \frac{m^{0,75}}{d^{1,07}} \left(\frac{V}{K} \right)^{1,43},$$

где b — толщина пробиваемой преграды, дм; V — скорость встречи с преградой, м/с; d — диаметр основания ударника, дм; m — масса ударника, кг; K — коэффициент, характеризующий свойства материала преграды (для алюминиевого сплава $K = 1500$, для стали $K = 2500$).

Испытания СКУ

При движении под водой СКУ обладают достаточно высокой пробивной способностью.

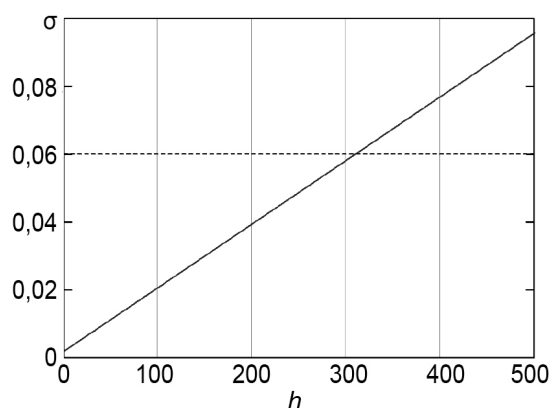


Рис. 3. Ограничение по глубине применения СКУ, движущегося со скоростью 350 м/с

На рис. 4 приведены фотографии, иллюстрирующие процесс подводного взаимодействия суперкавитирующего ударника с мишенью из алюминиевого сплава на расстоянии 12 метров [8].

В рамках совместных исследований АО «НПО Спецматериалов» и НИИ ПММ ТГУ проводились натурные испытания СКУ, при пушечном старте из короткоствольной метательной установки, по оценке возможности поражения (сквозного пробития) мишени из алюминиевого сплава толщиной 10 мм на расстоянии 10 метров. В результате испытаний получены сквозные пробития мишени (рис. 5) [9].

АО «НПО Спецматериалов» совместно с АО «Концерн Морское подводное оружие — Гидроприбор», в рамках инициативной работы, были проведены натурные испытания короткоствольных метательных установок с СКУ по поражению мишени (Ст. 40, 4 мм) на глубинах до 100 метров (рис. 6).

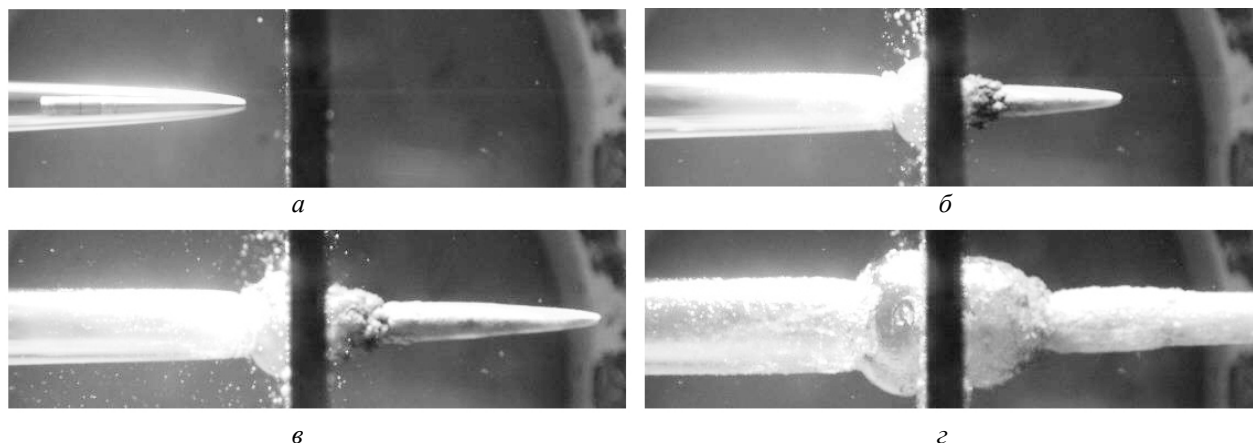


Рис. 4. Процесс взаимодействия суперкавитирующего ударника с преградой при скорости 235 м/с

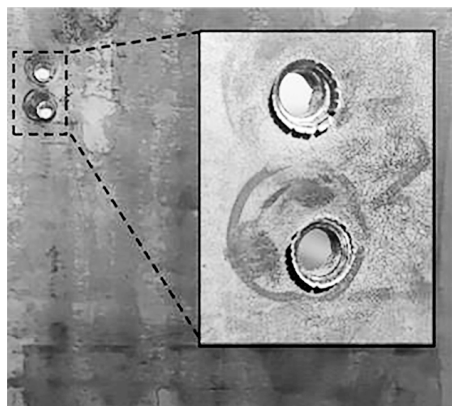


Рис. 5. Поражение мишени из алюминиевого сплава толщиной 10 мм на расстоянии 10 м

При проведении испытаний получены сквозные пробития мишени на глубинах 25, 50, 95 м (рис. 7) [10].

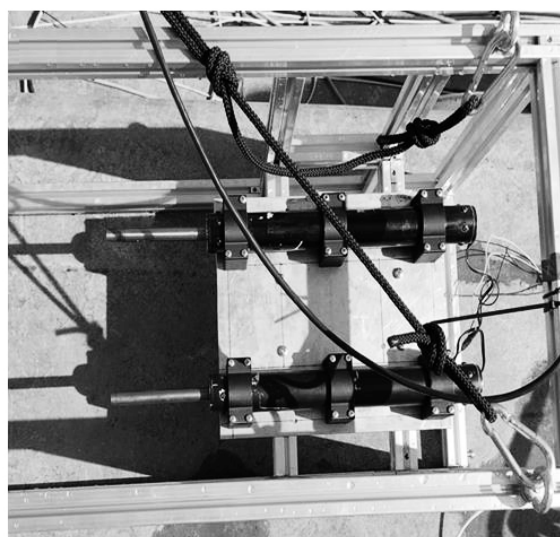
Заключение

Таким образом, СКУ являются эффективным оружием для поражения подводных целей на небольших (несколько десятков метров) дистанциях.

Разработанные и испытанные в АО «НПО Спецматериалов» метательные установки (подводные пушки) калибром 8 мм и 11 мм, для стрельбы СКУ, имеют малые габариты и вес, и



а



б

Рис. 6. Испытательный стенд (а) и макетный образец подводной системы залпового огня (б) на борту исследовательского судна перед началом испытаний

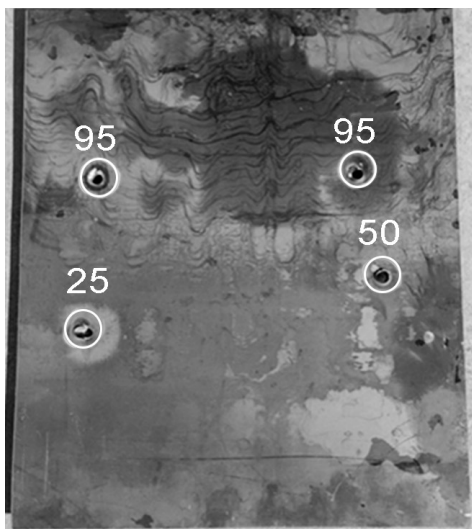


Рис. 7. Результаты поражения (сквозные пробития) мишени на глубинах 25, 50 и 95 м

успешно интегрированы на легкие необитаемые подводные аппараты.

Следует отметить, что видимость под водой в реальных условиях, составляет от 0,5 до 10–12 м, а возможности прицеливания, с использованием оптического канала, ограничены дальностью 3–5 м. Увеличения дальности прицеливания, и как следствие этого дистанции эффективного применения данного вида подводного оружия, возможно за счет использования высокочастотного гидроакустического канала. В настоящее время, устройства такого типа достаточно широко применяются как в любительской (например, эхолоты для рыбаков), так и в профессиональной деятельности. В этом случае, расстояние обнаружения и поражения подводной цели увеличится до 100 метров.

Список источников

1. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения — современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасность. 2016. № 2. С. 73–127.
2. Ищенко А.Н., Аникин Р.Н., Афанасьева С.А., Борисенков И.Л. и др. Исследование высокоскоростного движения суперкавитирующих тел в воде и их взаимодействия с подводными преградами // Фундаментальная и прикладная физика. 2015. Т. 8, № 4. С. 5–10.
3. Логвинович Г.В. Некоторые вопросы глисирования и кавитации // Труды ЦАГИ. 1980. Вып. 2052. С. 250–270.
4. Савченко Ю.Н., Зверховский А.Н. Методика проведения экспериментов по высокоскоростному движению инерционных моделей в воде в режиме суперкавитации // Прикладная гидромеханика. 2009. Т. 11, № 4. С. 69–75.
5. Савченко Ю.Н., Семененко В.Н., Путилин С.И. Нестационарные процессы при суперкавитационном движении тел // Прикладная гидромеханика. 1999. Т. 1 (73), № 1. С. 79–97.
6. Савченко Ю.Н. Моделирование суперкавитационных процессов // Прикладная гидромеханика. 2000. Т. 2, № 3. С. 75–86.
7. Ищенко А.Н., Афанасьева С.А., Буркин В.В., Дьячковский А.С. и др. Исследование взаимного влияния группы ударников при высокоскоростном одновременном входе в воду // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45, вып. 20. С. 47–50.
8. Ищенко А.Н., Сильников М.В., Залетин В.В., Якушенко Е.И. и др. Разработка малогабаритной подводной баллистической установки и экспериментально-теоретическое исследование параметров выстрела калиберным суперкавитирующим ударником // XI Международный военно-морской салон, 2023; сб. ст. СПб.: СПбГЭУ, 2024. С. 141–148.
9. Протокол испытаний. Утвержден: генеральным директором АО «НПО Спецматериалов», директором НИИ ПММ ТГУ. Согласован: Начальником НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ, 2022. 7 с.
10. Протокол испытаний макетного образца подводной системы залпового огня. Утвержден: генеральным директором АО «Концерн МПО — Гидроприбор» и генеральным директором АО «НПО Спецматериалов», 2024. 8 с.