

**АНЦЕЛЕВИЧ Михаил Александрович, доктор технических наук  
УДИНЦЕВ Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук**

### **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ АКВАТОРИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

В предыдущих публикациях [17, 18] была отмечена важность создания средств активной защиты объектов со стороны акваторий.

Основными способами противодействия подводным диверсантам (ПД) до сих пор являются водолазные обследования и профилактическое гранатометание. Анализ показал крайнюю скудность арсенала технических средств обнаружения в воде и практически полное отсутствие технических средств активного воздействия на нарушителя в воде.

В настоящее время основным и наиболее эффективным способом борьбы с ПД является подводный взрыв. Поиск способов защиты от ударной волны (УВ) позволил разработать средства лишь ослабляющие его действие. Но применение для защиты объектов таких способов реализации воздействия УВ, как профилактическое гранатометание является малоэффективным.

Учитывая, что особенностью данных объектов является наличие большего количества относительно дешевой электроэнергии (ЭЭ), наиболее целесообразно воздействовать на ПД либо непосредственно ею, либо найти способ наиболее экономичного преобразования ее в другой вид. Например, в механическую.

Преобразование ЭЭ в механическую без промежуточных звеньев с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) возможно осуществить на основе электрогидравлического эффекта (удара). Электрогидравлический эффект представляет собой импульсный электрический разряд в жидкости, при котором происходит быстрое, практически мгновенное, выделение энергии в канале разряда. В результате давление в канале разряда значительно превышает внешнее, канал быстро расширяется, что приводит к возникновению ударной волны и потоков жидкости.

Документально установлено [16], что электрические разряды в воде осуществляли уже более 200 лет назад, возникающие при этом мощные гидродинамические импульсы не нашли практического применения в то время. Обнаруженный эффект был надолго забыт. Позднее, по мере развития электротехники, при создании мощных высоковольтных электроустановок (трансформаторов, разъединителей и т.п.) вновь столкнулись с электрическими разрядами в жидкостях, используемых в этих установках в качестве диэлектриков. Разрушающее действие, возникающее при электрическом пробое диэлектрических жидкостей, сформировало устойчивое мнение о бесперспективности и даже вредности электрического разряда в жидкости. Многие десятилетия это мнение сохранялось среди ученых и инженеров-электриков.

В 1950 году Л.А. Юткин [2] предложил использовать гидродинамические импульсы, возникающие при электрическом разряде в жидкости, в технологических процессах. Так был изобретен "Способ получения высоких и сверхвысоких

разряде в жидкости, в технологических процессах. Так был изобретен "Способ получения высоких и сверхвысоких давлений". Электрический разряд в жидкости есть не что иное, как электрический взрыв. Образующееся при электрическом взрыве высокое давление через жидкость передается в окружающую среду. Предложения Л.А. Юткина по применению "электрогидравлического эффекта", как его назвал автор изобретения, оказались весьма своевременными, были незамедлительно востребованы.

В ходе исследований процессов, происходящих при электрическом разряде в жидкостях, и прикладного использования сопутствующих эффектов, было защищено более 70 диссертаций, одновременно были сделаны сотни изобретений. Лицензии на ряд технологий были проданы в Великобританию, Венгрию, Германию, Испанию, США, Японию и другие страны.

В настоящее время данный эффект нашел самое широкое применение от уплотнения и дробления железобетона до переработки мусора и обработки металлов [2, 3, 11, 13, 14].

Обычно электрогидравлическая установка состоит из накопителя энергии **НЭ** (рис. 1), зарядного устройства **ЗУ** и технологического блока **ТБ**, содержащего некоторый объем жидкости, систему электродов **СЭ**, между которыми создается импульсный разряд, и обрабатываемый объект, располагаемый вблизи канала разряда **К**. Накопитель энергии, как правило, представляет собой батарею импульсных конденсаторов высокого напряжения емкостью **С**. Конденсаторная батарея соединяется с электродной системой в технологическом блоке через разрядник **Р**, наличие которого позволяет зарядить емкость **С** до требуемого напряжения от зарядного устройства **ЗУ** сравнительно небольшим током. Технологический блок может отсутствовать и вместо него использоваться перемещаемая электродная система, погружаемая в шпур, заполненный жидкостью, или в водоем.

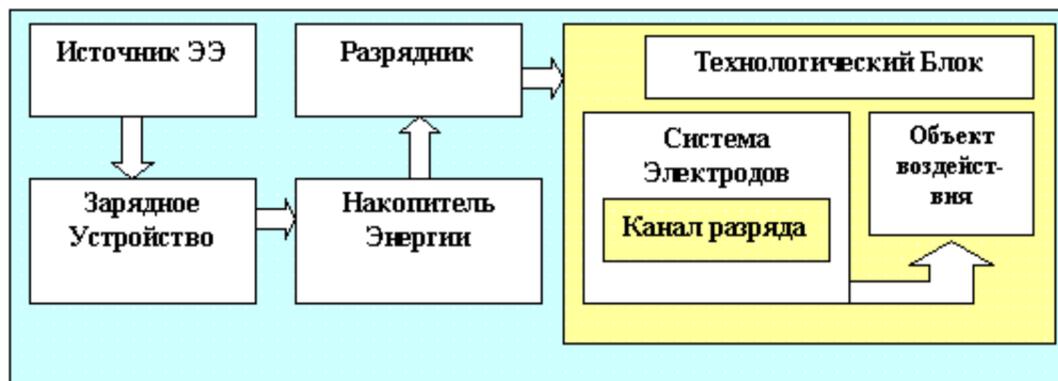


Рис. 1. Структурная схема

электрогидравлической установки

Установлено [16], что для электрических разрядов в воде характерна значительно меньшая скорость выделения энергии, чем при взрывах твердых взрывчатых веществ (ВВ). Так, электрические разряды в воде протекают обычно за время от десятков до сотен микросекунд. Время же выделения энергии при взрыве ВВ лежит в пределах от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд.

микросекунд до нескольких десятков микросекунд.

В результате ранее проведенных исследований [13, 14, 16] установлена связь энергии, запасенной в накопителе, с выделяемой на канале разряда (в тротиловом эквиваленте). Так, в зависимости от условий протекания разряда, 1 кВт•ч или 3,6 МДж энергии, запасенной в накопителе, соответствуют энергии 72? 300 г тротила, выделенной на канале разряда:

$$W (\text{кВт}\cdot\text{ч}) = G / (0,072 \div 0,3) \gg 10G \quad (1)$$

$$W (\text{Дж}) \gg 3,6 \times 10^7 \times G, \quad (2)$$

где  $W$  – энергия, запасенная в накопителе, кВт•ч или Дж;  
 $G$  – энергия, выделяемая на канале разряда (в кг тротила).

Зависимость максимального давления на фронте ударной волны от тротилового эквивалента заряда и расстояния до рассматриваемой точки определяется соотношением [1, 12]:

$$P = 532 \left( \frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^{1,13}, \quad (3)$$

где  $P$  – максимальное давление на фронте ударной волны, кг/см<sup>2</sup>;  
 $R$  – расстояние до рассматриваемой точки, м.

На основании известной связи (1) и (2) запасенной энергии с выделяемой и зависимости (3) максимального давления на фронте ударной волны от тротилового эквивалента заряда и расстояния до рассматриваемой точки получены соотношения (4) и (5), связывающие запасенную в накопителе энергию с максимальным давлением на фронте ударной волны и расстоянием до рассматриваемой точки.

$$W (\text{Джс}) \approx 3,6 * 10^7 \left( \sqrt[1,13]{P / 532 * R} \right)^3 \quad (4)$$

$$W (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \approx 10 \left( \sqrt[1,13]{P / 532 * R} \right)^3 \quad (5)$$

Физиология воздействия подводного взрыва на человека является достаточно изученной областью [3, 4, 5, 6, 7]. Установлено, что УВ вызывает наиболее тяжелые повреждения в тех органах человека, которые имеют неравномерную плотность составных частей или в которых содержится воздух: легкие, желудок, кишечник, костные пазухи и ушные раковины. В легких при сильном воздействии УВ обнаруживаются разрывы легочной ткани. Тяжелые повреждения получает кишечник в тех местах, где скапливаются отдельные пузырьки воздуха.

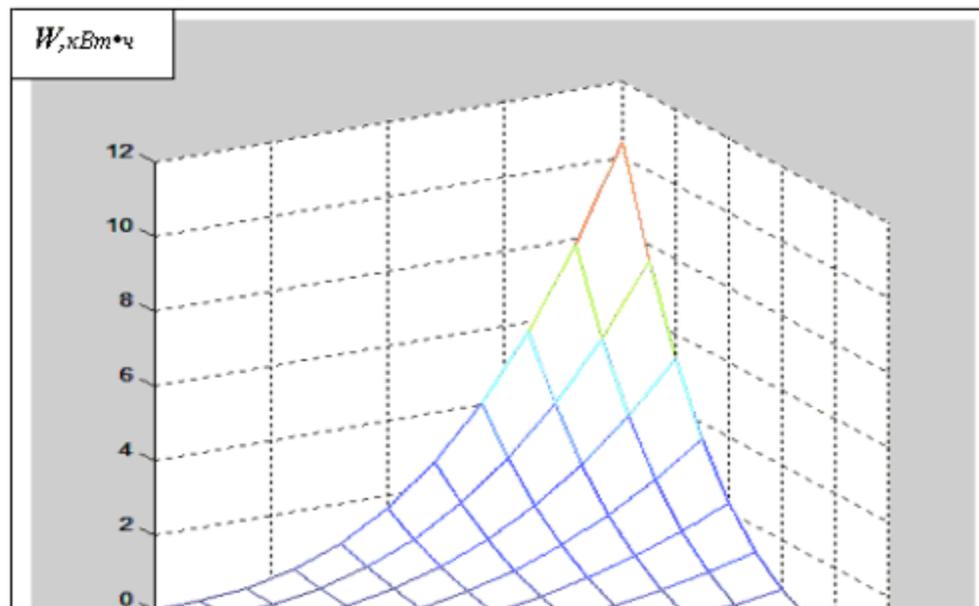
Анализ и обобщение результатов проведенных к настоящему времени исследований [3, 4, 5, 6, 7] позволил обосновать

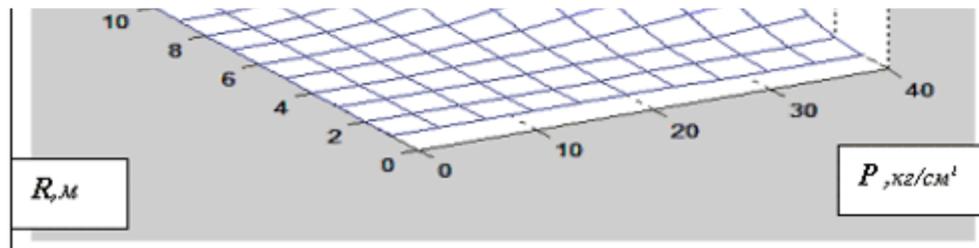
Анализ и обобщение результатов проведенных к настоящему времени исследований [3, 4, 5, 6, 7] позволил обосновать значения давления на фронте УВ соответствующие различным порогам физиологического воздействия подводного взрыва на человека. Так при избыточном давлении в  $0,2 - 0,3 \text{ кг/см}^2$  человек начинает ощущать ударную волну (табл. 1). Порог болевых ощущений наступает при  $1 - 1,5 \text{ кг/см}^2$ . Для нарушителя, оснащенного легководолазным костюмом, давление УВ, приводящее к шоку, соответствует  $4 \text{ кг/см}^2$ .  $20 \text{ кг/см}^2$  – давление УВ, приводящее к смерти. При использовании противовзрывного костюма соответственно  $16 \text{ кг/см}^2$  и  $40 \text{ кг/см}^2$ .

**Таблица 1. Пороги физиологического воздействия подводного взрыва на человека**

Порог воздействия подводного взрыва на человека	Давление на фронте УВ достаточное для наступления порога в зависимости от типа снаряжения, $\text{кг/см}^2$		
	Без снаряжения	Легководолазный ГК	Противовзрывной ГК
Ощущение УВ	0,2 – 0,3		
Болевые ощущения	1 – 1,5		
Шок	4		16
Смерть	15	20	35 – 40

Из представленного на рис. 2 графика видно, что для поражения в радиусе 10 метров от точки разряда ПД в противовзрывном костюме достаточно 9 кВт•ч ЭЭ, запасенной в накопителе.





**Рис.2. Зависимость максимального давления на фронте ударной волны от запасенной в накопителе энергии и расстояния до рассматриваемой точки**

Для обоснования возможности создания средств активной защиты акваторий на основе использования электрогидравлического эффекта необходимо оценить массогабаритные показатели установки и ее энергетические характеристики.

Элементом электрогидравлической установки, оказывающим определяющее влияние на ее массогабаритные показатели, является батарея конденсаторов служащая накопителем ЭЭ. Емкость батареи конденсаторов:

$$C = 2W_{и} / U^2, \text{ Ф} \quad (6)$$

где  $W_{и}$  – энергия одиночного импульса, Дж;

$U$  – рабочее напряжение установки, В.

Мощность, потребляемая установкой от сети, равна мощности зарядного устройства:

$$P_z = CU^2 f / 2\eta \cos \varphi, \quad (7)$$

где  $\eta$  – КПД установки;

$f$  – частота следования импульсов, Гц.

Например у установки с рабочим напряжением 10 кВ, частотой следования импульсов  $f = 0,01$  Гц способной создать шоковый эффект в  $1000 \text{ м}^3$  воды емкость накопителя  $C = 8200$  мкФ. Его масса, при выполнении на высоковольтных импульсных конденсаторах К41И-7 [10], составляет 4920 кг при объеме порядка  $3 \text{ м}^3$ . Мощность зарядного устройства 7 кВт.

В качестве примера приведем сравнение стоимости текущих затрат на поражение подводных пловцов существующими и предлагаемым средством. Одна из используемых для профилактического гранатометания ручная граната РГД-5 имеет радиус поражения пловца, оснащенного противозрывным гидрокостюмом, равный 5м. Ее себестоимость составляет порядка 70 – 80 рублей. Для обеспечения аналогичного эффекта при использовании электрогидравлического удара

порядка 70 – 80 рублей. Для обеспечения аналогичного эффекта при использовании электрогидравлического удара достаточно 1 кВт•ч ЭЭ, имеющей себестоимость порядка 0,15 – 0,3 рубля за 1 кВт•ч, что более чем в 200 раз дешевле. Ориентировочная оценка стоимости такого технического средства, затраты на его обслуживание, с одной стороны, и расходы на подготовку и содержание личного состава, получение и хранение боеприпасов, с другой, говорит о том, что затраты могут окупиться не более чем за 10 лет.

На средство активной защиты акваторий на основе использования электрогидравлического эффекта получен патент [15].

С целью снижения энергозатрат, улучшения массогабаритных показателей и расширения функциональных возможностей средства активной защиты акваторий на основе использования электрогидравлического эффекта необходимо разработать:

- методику расчета отбрасывания нарушителя электрогидравлическим ударом;
- методику расчета конструкций линейных частей позволяющих концентрировать энергию в нужном направлении;
- способы комплексирования со средствами обнаружения;
- схемно-конструктивные решения источника и преобразователя ЭЭ линейной части данного средства.

В заключение авторы выражают благодарность академику Саламахину Т.М. за оказанную консультационную помощь.

### **Литература**

1. Саламахин Т.М. Физические основы механического действия взрыва и методы определения взрывных нагрузок. Учебник.- М.: ВИА, 1974. 255с.
2. Л.А. Юткин. Электрогидравлический эффект.- М.: Машгиз, 1955.51с.
3. Яковлев Б.Е., Масленников В.А. Взрыв под водой. - М.: Воениздат, 1963. 80с.
4. Меренов И.В., Смолин В.В. Справочник водолаза.-Л.: Судостроение, 1985. 384с.
5. Кузнецов И.И. Руководство для водолаза. – М.: Изд.Водного транспорта, 1954. 180с.
6. Подготовка водолазов инженерных войск. – М.: Воениздат, 1980.
7. Справочник специалиста аварийно-спасательной службы ВМФ. Ч.III. Водолазное дело и спецфизиология. Подводно-технические работы.- М.: Воениздат, 1968.
8. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Изд 8-е переработанное. – М.: Наука, 1977. 440 с.
9. Ануфриев И.Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x.- СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
10. Справочник по электрическим конденсаторам/ М.И. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков и др.; Под общ. ред. И.И. Четвертакова и В.Ф. Смирнова.- М.: Радио и связь, 1983. 576 с.
11. Способ рыбозащиты Я.Я. Точилова. Патент на изобретение №1692184. Дата публикации 27.03.1995г.
12. Коул Р.Г. Подводные взрывы.- М.:Изд.Иностранной литературы, 1950.
13. Ясиевич Г.Н. Исследование способа изготовления буронабивных свай с помощью электрогидравлического эффекта и их работы под вертикальной нагрузкой. Диссертация КТН. - Л.: ЛИСИ, 1977. 225с.
14. Кутузов Б.Н. Взрывные работы.-М.: Недра, 1980. 392с.
15. Удинцев Д.Н. Малогуко Л.А. Средство активной защиты акваторий на основе использования электрогидравлического эффекта. Патент на полезную модель №33291. Приоритет от 26 июня 2003г.

15. Удинцев Д.Н. Малогуко Л.А. Средство активной защиты акваторий на основе использования электрогидравлического эффекта. Патент на полезную модель №33291. Приоритет от 26 июня 2003г.
16. К.А. Наугольных, Н.А.Рой. Электрические разряды в воде.М.: Наука, 1971. 155с.
17. Удинцев Д.Н. Создание средств активной защиты объектов, расположенных вблизи акваторий. Физиологический аспект.//Специальная техника, 2003, №3, с. 21 – 24.
18. Удинцев Д.Н. Мониторинг ограниченного объема водного пространства.//Специальная техника, 2003, №2, с. 16 – 19.