

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ ПОД ВОДОЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАСТРУИ ГИДРОПУШКИ

Семко А.Н.,

Донецкий национальный университет,

Бигвава В.А., Козак Т.Н.,

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Искра",
г. Луганск*

В данной работе рассмотрены теоретические исследования по взаимодействию импульсных гидроструй с плоской преградой. Выявлены характерные особенности процесса взаимодействия. Рассмотрена зависимость давления струи на преграду от расстояния до нее при выстреле в затопленное пространство.

Ключевые слова: гуманитарное разминирование, гидропушка, обезвреживание взрывных предметов, профилированные сопла.

Введение. Гуманитарное разминирование – обезвреживание мин и неразорвавшихся боеприпасов (НВБ) в гражданских целях, которое осуществляется в соответствии с международными стандартами ООН International Mine Action Standards (IMAS). В отличие от военного разминирования, гуманитарное разминирование является более сложной и трудоемкой задачей, так как требует стопроцентной очистки территорий от взрывоопасных предметов (ВОП) и максимального снижения уровня рисков, как для населения, так и для окружающей среды и инфраструктуры территорий. Эффективность и безопасность гуманитарного разминирования напрямую зависит от технологий и применяемых образцов техники для поиска и обезвреживания мин и других ВОП.

Одной из задач гуманитарного разминирования является очистка водных акваторий от взрывоопасных пережитков войны, а также обезвреживание террористических ВОП, установленных под водой на гидротехнических сооружениях, морских и речных судах и прочих объектах. Об актуальности этой задачи можно судить по многочисленным сообщениям в СМИ о неожиданном обнаружении и проблеме обезвреживания очередной подводной мины или другого взрывного устройства в различных частях акватории, прилегающей к Крымскому побережью. И это при том, что планомерная очистка этих акваторий от ВОП, оставшихся после Второй мировой войны и после многочисленных военных испытаний и учений, в рамках противоминной деятельности в Украине, как и в других странах, еще не начиналась.

Одним из перспективных способов обезвреживания ВОП при гуманитарном разминировании является разрушение гидроструей [1] с помощью специальных гидродинамических устройств с пороховой энергетикой, так называемых «гидропушек» (ГП). Суть этого способа

заключається в том, що струя жидкости, разогнанная в стволе порохowymi газами, пробивает корпус ВОП, дробит монолит ВВ, создавая внутреннее давление, разрушает корпус ВОП и разбрасывает продукты его разрушения. Важно, чтобы расстояния разброса продуктов разрушения были больше расстояния возможной передачи индукционной детонации к фрагментам ВВ в случае срабатывания взрывателей.

ГП серийно выпускаются в Великобритании, Швейцарии, ФРГ, России, Израиле и ряде других стран. Они успешно используются полицейскими силами для нейтрализации диверсионных взрывных устройств относительно небольшой массы (обычно не более 1-2 кг), с непрочными корпусами типа пакетов, картонных коробок, жестяных ящиков или банок и тому подобной тары. Однако большинство этих ГП представляют гладкоствольные системы, спроектированные по законам традиционной ствольной баллистики, которая налагает ряд ограничений на их характеристики и, в связи с этим, они имеют ограниченную энергетику. Скорость истечения струй из этих устройств не превышает 300...500 м/с что не достаточно для разрушения прочных корпусов и тем более для обезвреживания ВОП под водой.

Не вникая в теорию механики гидродинамического разрушения наполненных оболочковых конструкций, которыми, по сути, являются все корпусные ВОП, можно с уверенностью заявить, что энергия, необходимая для разрушения таких конструкций под водой, в несколько раз превосходит энергию, необходимую для разрушения аналогичных конструкций на воздухе. Достичь таких энергий струи, используя традиционные гладкоствольные системы, при разумных массогабаритных характеристиках ГП невозможно. Преимущество профилированного сопла заключается в том, что при сохранении длины ствола можно увеличить длину струи, что соответственно позволит более эффективно воздействовать на корпус ВОП.

Решение задачи. Задачей данной работы является анализ эффективности и перспектив использования ГП с профилированным соплом при проведении операций по гуманитарному разминированию, в том числе для обезвреживания ВОП и НВБ, имеющих прочный корпус или находящихся под водой.

Технологии на основе импульсных высоконапорных струй жидкости нашли применение в горном деле при разрушении негабаритов и проходке выработок, в строительстве при разрушении бетонных блоков и конструкционных материалов, в машиностроении при штамповке, пробивании фасонных отверстий, упрочнении поверхности наклепом и т.д. Общим для этих устройств является превращение внутренней энергии источника (сжатого газа, продуктов сгорания горючей смеси или пороха, электрического разряда в жидкости) в кинетическую энергию высокоскоростной импульсной струи жидкости – ультраструи. Водяной заряд в ГП предварительно разгоняется в цилиндрическом стволе, а окончательно – в сужающемся специально спрофилированном сопле, дополнительно ускоряясь в несколько раз.

Характер истечения струи жидкости при выстреле гладкоствольных ГП (цилиндрический ствол без профилированного сопла) и ГП с профилированным соплом в корне отличаются.

При выстреле гладкоствольной ГП водяной заряд движется в стволе с практически одинаковой по длине скоростью без изменения своего поперечного сечения. Достигая среза ствола, водяной заряд истекает из ствола, причем, его начальная скорость на срезе ствола равна как для головы струи, так и для ее хвоста. При выходе из ствола голова струи замедляется из-за сопротивления воздуха, а хвост струи продолжает ускоряться за счет давления продуктов сгорания пороха. При движении внутри ствола избыточное давление в хвосте водяного заряда передается в головную часть и не приводит к утолщению струи. При истечении струи избыточное давление приводит к интенсивному радиальному течению в струе и образованию пучностей (утолщений) на теле струи, которые движутся со средней скоростью двух прилегающих к пучности участков. В голову струи при истечении избыточное давление не передается. Образование пучностей приводит к интенсивному обдиранию струи воздухом. Поэтому скорость головы струи на реальных гладкоствольных ГП не превышает, как правило, 300...500 м/с.

В отличие от гладкоствольной ГП, при выстреле ГП с профилированным соплом, водяной заряд, разгоняясь в цилиндрическом стволе до скоростей 300...500 м/с, втекает в сужающееся сопло. При втекании в сужающееся сопло в жидкости возникает радиальное течение, направленное к оси, которое приводит к локальному повышению давления вблизи свободной поверхности. От зоны повышенного давления распространяются в противоположные стороны волны сжатия, которые ускоряют передние частицы жидкости вблизи свободной поверхности, т.к. направлены по движению, и тормозят задние, т.к. распространяются против движения. Таким образом, происходит перераспределение энергии в нестационарном потоке жидкости в сужающемся канале. Передние частицы жидкости имеют большую удельную кинетическую энергию, чем задние. Волны сжатия, отражаясь периодически от заднего и переднего фронта водяного заряда, вызывают пульсации скорости истечения импульсной струи жидкости. Струя истекает прерывисто, отдельными порциями, каждая из которых имеет скорость, значительно превышающую скорость втекающего в сопло столба жидкости (рис. 1).

Задача взаимодействия гидроструи с корпусом ВОП может быть рассмотрена как задача взаимодействия струи с преградой. Под действием импульсной струи жидкости в материале происходит целая гамма процессов, каждый из которых способен привести к разрушению. Чтобы обеспечить эффективность разрушения ВОП и в то же время максимально снизить вероятность детонации ВВ, необходимо оптимизировать скорость струи (это один из основных показателей мощности).

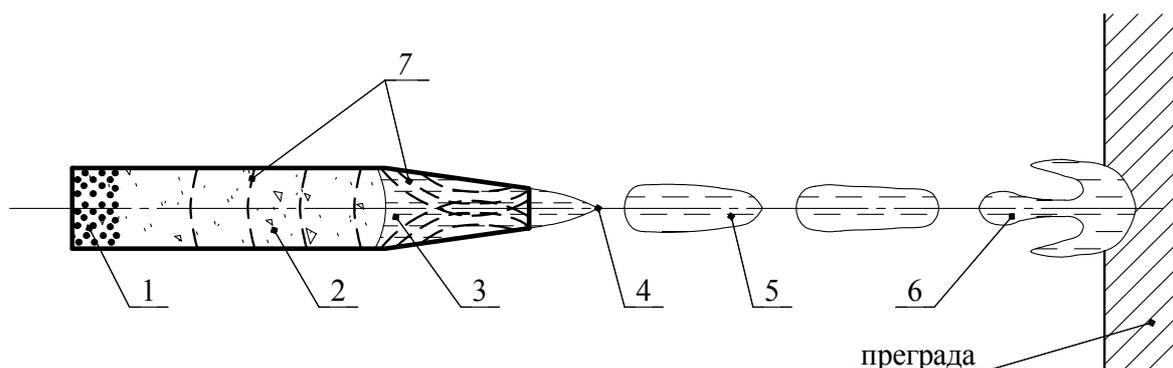


Рисунок 1. Схема выстрела гидропушки с профилированным соплом

1 – метательный заряд, 2 – пороховые газы, 3 – столб метаемой жидкости,
 4 – голова очередной формирующейся «капли», 5 – сформированная «капля»,
 6 – голова струи, взаимодействующая с преградой,
 7 – ударные волны в жидкости и в газе

В работе «Особенности применения гидропушек для обезвреживания взрывоопасных предметов» [2] подробно рассмотрена математическая модель безударной ГП и исследованы баллистические характеристики гидроимпульсных устройств с пороховым зарядом. Модель построена на предположении истечения струи в вакуум. Наличие же воздуха в сопле, по оценкам различных исследователей, снижает скорость истечения на 10-15 %. Переход на газодинамическую модель горения пороха, с учетом волновых процессов, и учет влияния воздуха в сопле позволят улучшить совпадение теории с экспериментом.

При столкновении струи с преградой в струе, в направлении, противоположном ее движению, начинает распространяться волна торможения. Продолжительность действия высокого давления на преграду зависит от массы и скорости жидкости, а также от формы головы струи.

При ударе струи жидкости с плоским торцом возникает ударная волна, которая распространяется в глубь струи, останавливая жидкость [3]. На рисунке 2 представлена схема удара цилиндрического столба жидкости с плоским торцом. Заштрихованная область соответствует сжатой неподвижной жидкости.

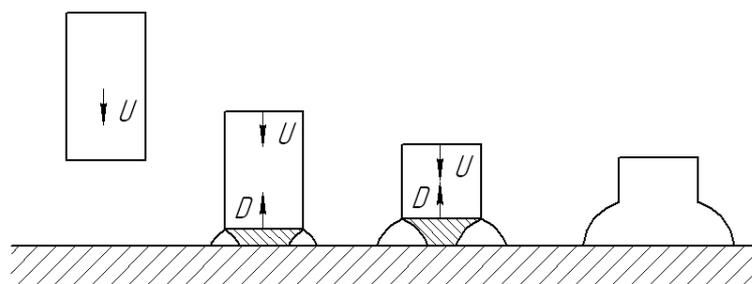


Рисунок 2. Схема удара цилиндрического столба жидкости с плоским торцом о преграду

Отраженная ударная волна распространяется от свободной поверхности к оси струи. Зона, занятая сжатой жидкостью, увеличиваясь вдоль оси струи, уменьшается по радиусу. Таким образом, процесс соударения характеризуется высоким давлением, действующим в течение короткого промежутка времени, равного радиусу струи, деленному на скорость волны.

Если струя имеет искривленный профиль, то процесс соударения усложняется. Контакт жидкости с преградой происходит в точке (на оси) и только затем пятно контакта увеличивается. Пятно контакта увеличивается быстрее, чем распространяется радиальная волна. В результате волна локализуется внутри струи, повышая тем самым давление на преграду.

Отличительными особенностями способа гидродинамического разрушения является ступенчатый характер процесса обезвреживания. Профиль ствола формирует ультраструю в виде трех капель, имеющих на таких скоростях свойства твердого тела. Первая капля разрушает оболочку ВУ, вторая капля разбивает заряд ВВ на мелкие части, третья – разбрасывает их в стороны, препятствуя развитию детонации. Рабочая жидкость имеет свойства обволакивания обломков ВВ, дополнительно блокируя детонационные процессы [4].

В работе «Высокоскоростной удар капли о преграду» [5] (Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН) показана картина соударения капли жидкости с преградой со скоростью, сравнимой со скоростью звука в жидкости. Схема удара капли представлена на рисунке 3.

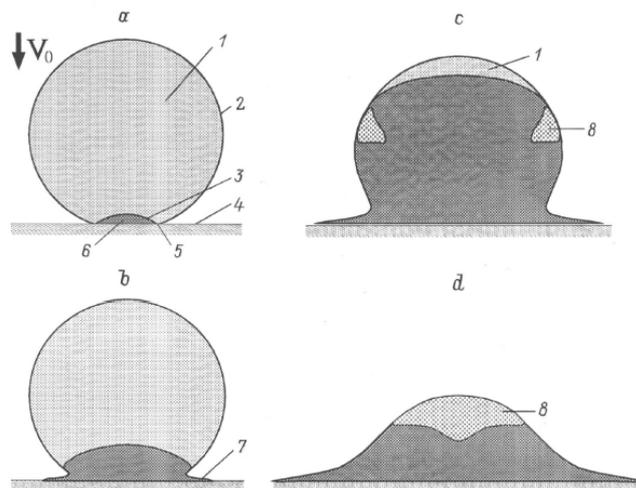


Рисунок 3. Схема удара капли о преграду

- а – до растекания; б – образование струи; с – подход ударной волны к вершине капли, образование тороидальной области разрежения;
- д – образование обширной области разрежения с очагом кавитации.
- 1 – невозмущенная жидкость, 2 – свободная поверхность, 3 – ударная волна,
- 4 – твердая поверхность, 5 – граница пятна контакта,
- 6 – область сжатой жидкости, 7 – струя, 8 – область кавитации.

Поперечное растекание капли начинается только после того, как ударная волна уже продвинется вдоль свободной поверхности, оторвавшись от пятна контакта. Результаты численного моделирования процесса соударения и экспериментальных данных (измерения проводились с помощью пьезодатчиков) подтвердили теоретический вывод о том, что давление на начальной стадии течения, когда ударная волна присоединена к периметру пятна контакта (в сферической капле) распределено по кольцу (рис. 3, с).

Аналогичные результаты были получены в работе [6], где произведено численное моделирование столкновения капли, движущейся со скоростью 500 м/с, с плоской жесткой преградой. Изначально она имеет обтекающую форму. При столкновении мгновенно создается отраженная ударная волна, которая движется навстречу движению капли и остается прижатой к пятну контакта, так как скорость движения капли выше, чем скорость отраженной волны.

Когда ударная волна отходит от пятна контакта и взаимодействует со свободной поверхностью капли, образуется пристеночная высокоскоростная струя кумулятивного типа. При отражении ударной волны от верхней части капли следующая за ней волна разрежения вызывает образование тороидальной области кавитации. Волны разрежения, распространяясь от нижней поверхности, уменьшают область сжатой жидкости вблизи преграды. Затем волна фокусируется на оси симметрии, образуя еще одну область кавитации. Эта область впоследствии объединяется с областью кавитации, образовавшейся при отражении головной ударной волны от верхней части капли.

Численное моделирование процесса соударения капли с плоской преградой полностью подтверждено рентгеновским снимком (рис. 4) [6], который показывает эволюцию плотности капли в течение столкновения. Область, обозначенная черной линией, соответствует очень низкой плотности.

По мере распространения волны разрежения к твердой поверхности область кавитации заполняет почти весь объем капли. Затем эта жидкая оболочка разрушается, и капля разбрызгивается на мелкие фрагменты.

В работе [7] минимальная скорость истечения струи, при которой капля воды становится абсолютно жесткой и не подвержена деформации, определена как:

$$V_{\min} = \frac{\lambda}{\eta}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

η – динамическая вязкость, Па·с.

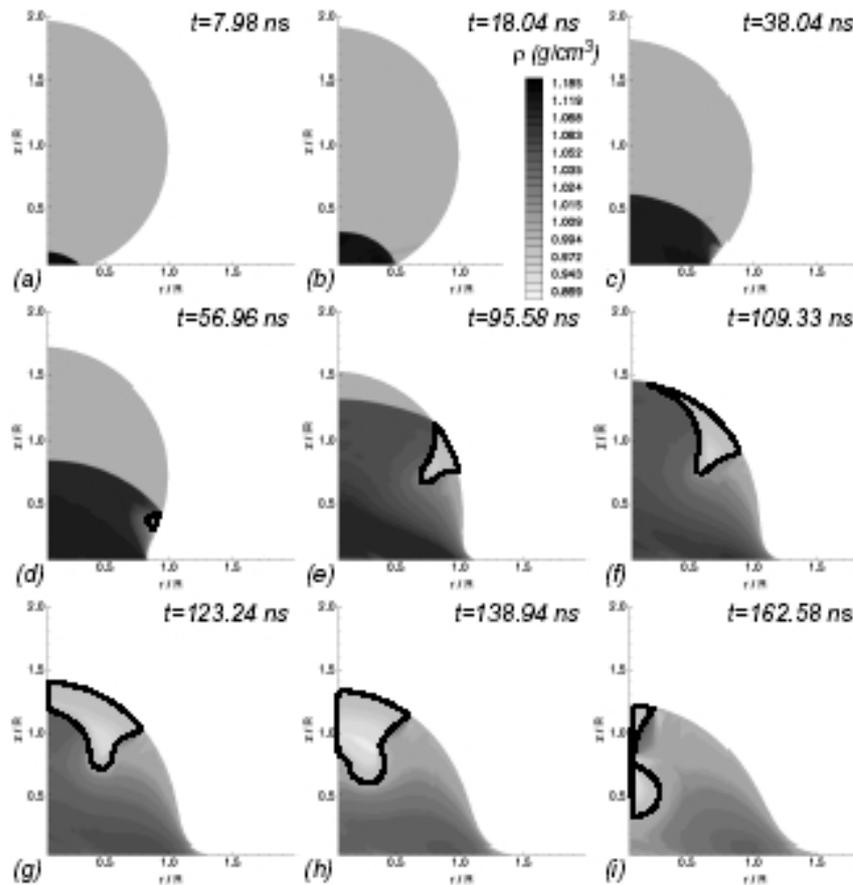


Рисунок 4. Изменение плотности во времени при столкновении капли с преградой

При нормальных условиях (температура воздуха $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление $P = 101\text{ кПа}$) поверхностное натяжение для воды $\lambda = 0,072\text{ Н/м}$; динамическая вязкость для воды $\eta = 0,001\text{ Па}\cdot\text{с}$.

$$V_{\min} = \frac{0,072}{0,001} = 72\text{ м/с}.$$

Давление в месте мгновенного контакта с неподвижной преградой можно определить по формуле Жуковского для гидроудара:

$$P_{y\delta} = c\rho v, \quad (2)$$

где c – скорость звука в воде (м/с); ρ – плотность воды (кг/м^3); v – скорость струи (м/с).

Подставив значения скорости распространения звука в воде (1500 м/с), плотности воды (1000 кг/м^3) и минимальной скорости струи (72 м/с) в формулу (2), получим величину ударного давления при минимальной скорости струи.

$$P_{y\delta} = 1500 \cdot 1000 \cdot 72 = 108 \cdot 10^6\text{ Па} = 110\text{ МПа}$$

Таким образом, получены аналитические зависимости [7] количественных значений величины минимальной скорости струи v_{min} , при которой может происходить разрушение материала и определена величина возникающего при этом ударного давления, развивающегося в месте контакта струи с преградой.

Результаты теоретических исследований взаимодействия импульсной струи ГП с преградой под водой приведены в монографии «Импульсные струи жидкости высокого давления» [8]. Ниже приведены некоторые результаты расчетов для пороховой ГП со следующими параметрами: радиус ствола 20 мм, радиус сопла 10 мм, длина ствола 400 мм, длина сопла 86 мм, длина коллиматора 70 мм, объем камеры сгорания 135 см^3 , масса водяного заряда 400 г. Начальное давление наружной воды равнялось 1 МПа, что соответствует глубине погружения 100 м. На рисунке 5 изображена зависимость скорости втекания и истечения струи и давления в центре преграды от времени: расстояние до преграды $L_r = 8 R_s$. Скорость отнесена к начальной скорости истечения a_0 , а давление – к скоростному напору $p_0 = \rho_0 u_0^2 / 2$.

Струя начинает истекать в момент времени $t_{out} = 1,13 \text{ мс}$ с начальной скоростью $u_0 = 1140 \text{ м/с}$. При ударе струи возникает ударная волна с давлением на фронте $p_u = 1580 \text{ МПа}$.

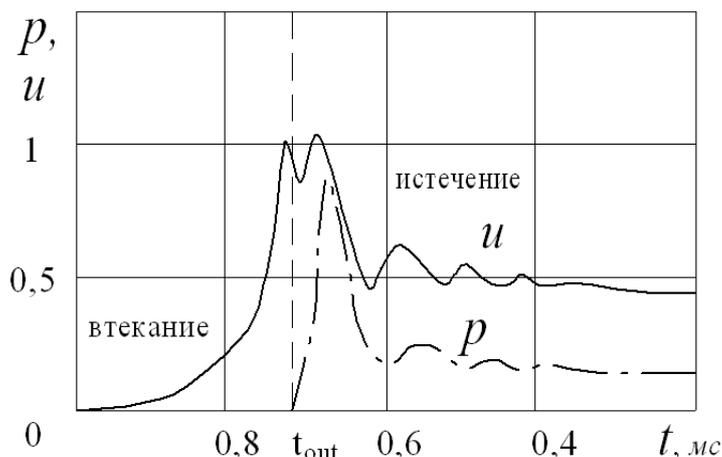


Рисунок 5. Зависимость скорости истечения струи и давления на преграде от времени

На рисунке 6 приведена зависимость давления в центре преграды от времени для разных расстояний до преграды, равных: $L_r = 2, 4, 6$ и $8 R_s$ (кривые 1, 2, 3 и 4 соответственно). Давление на графиках отнесено к скоростному напору p_0 .

Ударная волна, достигнув преграды, скачком повышает давление на ней (первый пик на кривых). Затем на преграду начинает натекать струя, и давление повышается почти до скоростного напора. Максимальное давление

на преграді слабо залежить від відстані до прегради і близько до швидкісного напору p_0 .

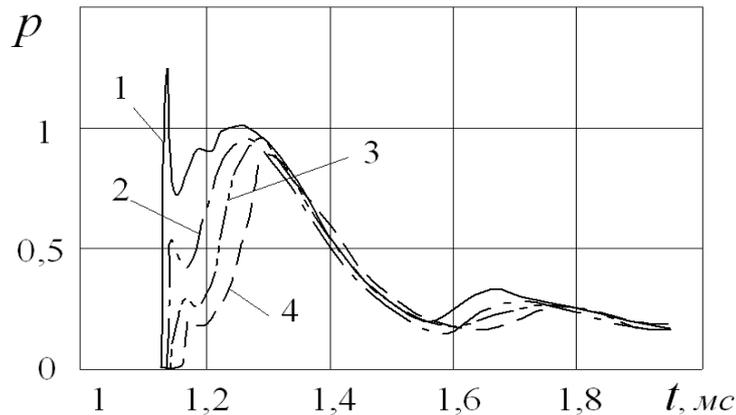


Рисунок 6. Залежність тиску від часу для різних відстаней до прегради

В НІПКИ «Искра» була розглянута задача по встановленню і виявленню особливостей і закономірностей розповсюдження і взаємодії імпульсної затопленої струї рідини з преградою [1].

Імпульсний характер процесу і великі градієнти параметрів течії дозволяють пренебрати в'язкістю рідини і розглядати течію в рамках моделі газової динаміки для ідеальної рідини. Наявність осової симетрії робить зручним застосування циліндричної системи координат і спрощає задачу. Ось x направлена вздовж осі ГП, початок системи координат поміщено на срезі сопла. В обраній системі координат течію рідини буде описуватися наступною системою рівнянь нестационарної газової динаміки

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho r)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u r)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v r)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u r)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(\rho u^2 + p)r] + \frac{\partial(\rho u v r)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho v r)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v r)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial r}[(\rho v^2 + p)r] &= p, \end{aligned} \quad (3)$$

де t – час; x і r – осова і радіальна координати; u , v – компоненти швидкості по осям x і r ; p – тиск; ρ – густина рідини. Закривається система рівнянням стану води в формі Тэта

$$p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right], \quad (4)$$

где $B = 304,5$ МПа, $n = 7,15$, $\rho_0 = 10^3$ кг/м³ – эмпирические константы уравнения состояния.

Сформулированы начальные и граничные условия. Движение жидкости происходит в затопленном пространстве с момента времени t_c , когда ускоряемая в ГП вода достигает среза сопла. На этот момент времени вода в затопленном пространстве покоится, давление в ней равно p_0 .

$$\begin{aligned} u(t_c, x, r) &= 0, & v(t_c, x, r) &= 0, \\ p(t_c, x, r) &= p_0 \quad 0 < x \leq L, \quad 0 \leq r \leq \infty, \end{aligned} \quad (5)$$

где L – расстояние до преграды. На срезе сопла начальные условия разрывны. Справа они определяются условиями (5), а слева устанавливаются в процессе расчета течения в ГП

$$u(t_c, x) = u_G, \quad p(t_c, x) = p_G, \quad x < 0, \quad (6)$$

где u_G и p_G – скорость и давление жидкости на фронте втекания.

Граничные условия следующие. На преграде ставится условие непротекания

$$u(t, L, r) = 0, \quad 0 \leq r \leq \infty. \quad (7)$$

Подобное условие ставится на поверхности, проходящей через срез сопла и являющейся торцом ГП.

$$u(t, 0, r) = 0, \quad r_c \leq r \leq \infty, \quad (8)$$

где r_c – радиус выходного сечения сопла ГП. В выходном сечении ГП ($x = 0$, $0 \leq r \leq r_c$) никаких граничных условий не ставится, расчет здесь проводится сквозным образом, так как на период истечения вода в ГП и затопленном пространстве образует единую непрерывную область.

На оси x ставятся условия симметрии течения

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=0} &= 0, & \left. \frac{\partial v}{\partial r} \right|_{r=0} &= 0 & \left. \frac{\partial p}{\partial r} \right|_{r=0} &= 0 \\ 0 \leq x \leq L, & & t &> t_c. \end{aligned} \quad (9)$$

Если ГП с преградой находятся в безграничном объеме жидкости, то на бесконечности ставятся условия для невозмущенного состояния жидкости

$$u(t, x, r) = 0, \quad v(t, x, r) = 0, \quad (10)$$

$$p(t, x, r) = 0, \quad r \rightarrow \infty.$$

Если же внешний объем жидкости ограничен некоторой поверхностью, расположенной на расстоянии R от оси ГП, то на этой поверхности ставится условие непротекания

$$v(t, x, r) = 0, \quad 0 \leq x \leq L. \quad (11)$$

Таким образом, математически задача о распространении и взаимодействии затопленной струи жидкости с преградой сводится к совместному решению уравнений (3) нестационарной газовой динамики в частных производных и уравнений внутренней баллистики ГП при соответствующих начальных и граничных условиях. Решение поставленной задачи выполнено численно конечно-разностным методом Годунова.

В начальный момент струя жидкости истекает с постоянной скоростью u_0 равной 1000 м/с, что близко к значениям для реальной ГП, имеющей диаметр сопла $d_0 = 20$ мм, расстояние до преграды варьировалось в пределах от 1 до 200 мм. Начальное давление в жидкости полагалось равным атмосферному $P_0 = 10^5$ Па. На рисунках 7 и 8 представлены результаты математического моделирования расчетов.

На рисунке 7 приведена зависимость максимального давления на преграде, которая размещалась на разных расстояниях от выхода сопла. Максимальное давление $P = 900$ МПа наблюдается при $L < d_0$. С увеличением расстояния до преграды давление на ней уменьшается. На расстоянии $L = 50$ мм оно составляет около 500 МПа, а на расстоянии $L = 200$ мм – около 400 МПа, уменьшаясь примерно на 50%.

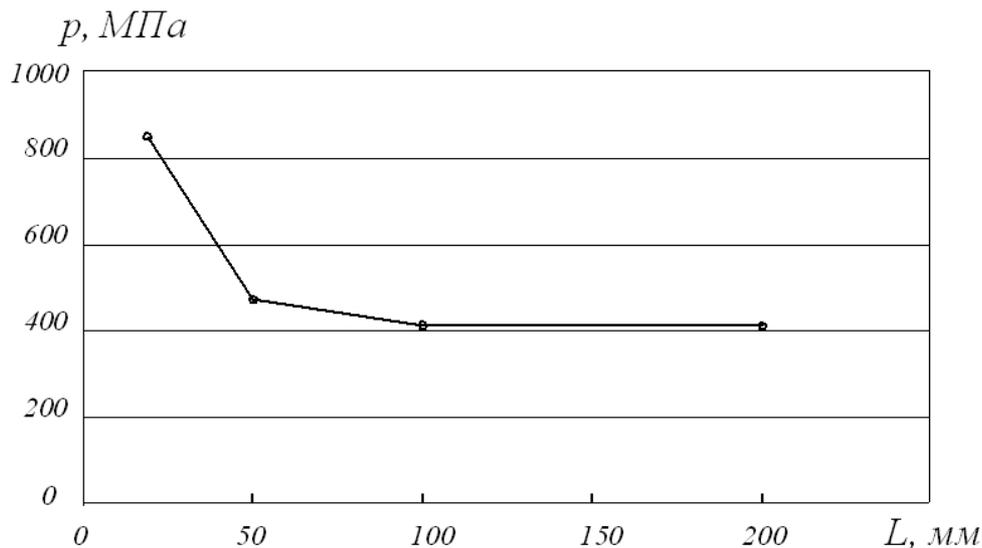


Рисунок 7. Зависимость давления на преграде от расстояния до нее

На рисунке 8 дано распределение давления по поверхности преграды $p = p(r)$ для различных расстояний до преграды (кривые 1, 2, 3 и 4 для расстояний $L=20, 50, 100$ и 200 мм соответственно).

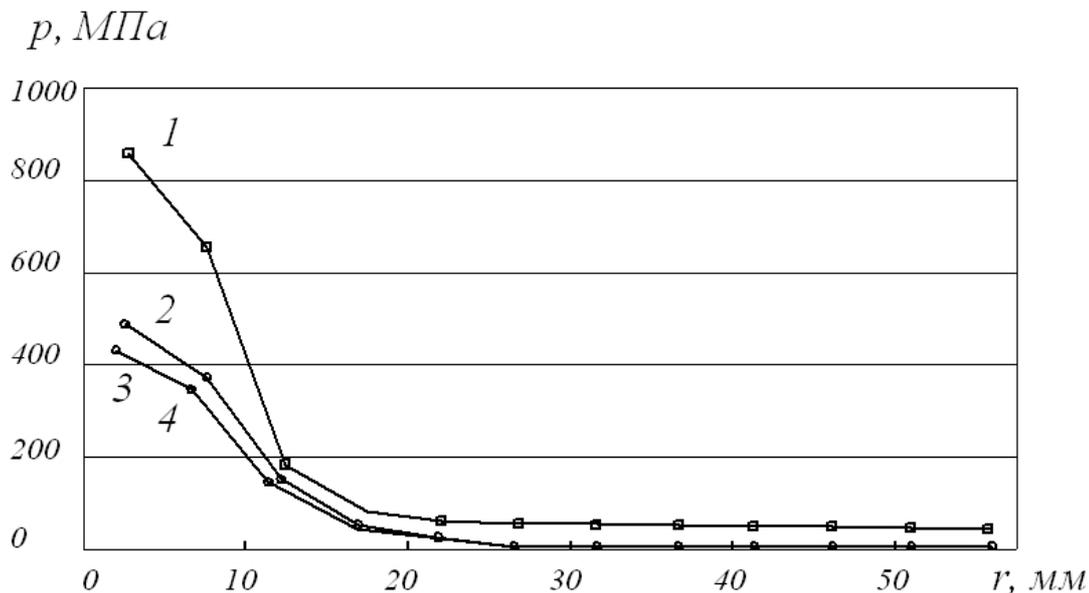


Рисунок 8. Распределение давления по преграде для различных расстояний до нее

Максимальное давление достигается на оси струи и быстро уменьшается с удалением от центра. На расстоянии $r=d_0$ (удвоенный радиус сопла) давление составляет 5...10% от максимального.

Ниже показан результат расчета выстрела в затопленное пространство для реальной ГП со следующими параметрами: диаметр сопла $d_0=20$ мм, диаметр ствола = 40 мм, длина сопла 135 мм, длина ствола 400 мм, масса метаемой жидкости 0,4 кг. Расстояние до преграды $L=30$ мм. Зависимость давления в центре преграды от времени представлена на рисунке 9. Максимальное давление (около 600 МПа) наблюдается через 0,05 мс после начала истечения струи. Так как скорость истечения из ГП со временем уменьшается, уменьшается и давление на преграде. Характер изменения давления на преграде пульсирующий. Истечение струи длится около 2 мс, а весь процесс выстрела ГП продолжается около 3,8 мс. К концу выстрела давление на преграде около 200 МПа. Результаты расчета сопоставимы с результатами, полученными в работе [8] (рис. 6).

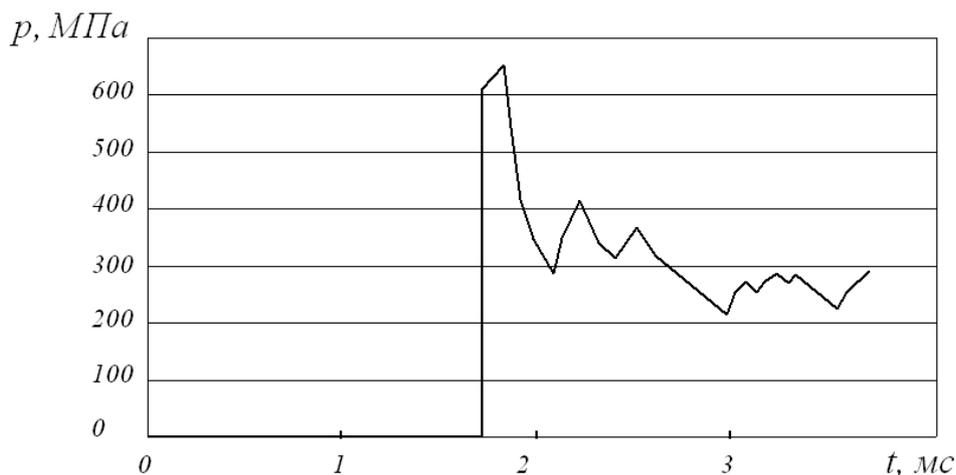


Рисунок 9. Залежність тиску на преграді від часу (відстань до прегради $L = 30$ мм)

Аналіз результатів розрахунку модельної задачі виходу імпульсної затопленої струї дозволяє зробити наступні висновки. Тиск на преграді зменшується з віддаленням від центру соударення, однак, величина тиску достатня для руйнування багатьох матеріалів. Представлені графіки (рис. 7-9) показують характерну картину розподілу тиску на преграді, а також ефективність впливу на преграду, розташовану на відстані, рівному декільком радіусам сопла.

Образці розроблених НІПКІ «Іскра» гідродинамічних руйнівників з пороховим зарядом і спеціальним профілем ствола дозволяють сформувати імпульсну струю рідини зі швидкістю більше 1000 м/с. Це дає можливість здійснювати бездетонаційне руйнування вибухних пристроїв з масою вибухової речовини до 25 кг, в тому числі в міцному металевому корпусі товщиною до 5 мм, і під водою на глибинах до 40 м [9]. На рисунку 10 показано результат впливу струї ГП «ГДУ 32/15» на металеву пластину товщиною 7 мм.

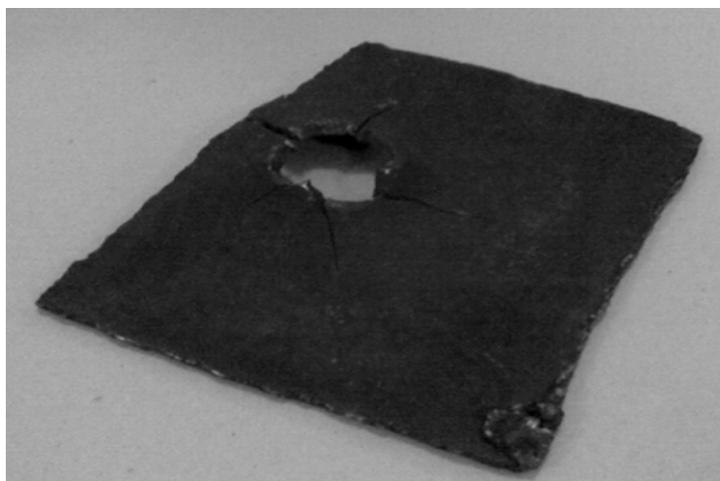


Рисунок 10. Пластина після впливу струї гідропушки

Получены положительные результаты экспериментальных исследований и испытаний опытных образцов ГП. На рисунке 11 показан результат обезвреживания установленного под водой ВОП с массой взрывчатого вещества 25 кг и с пятью степенями защиты от обезвреживания. Обезвреживание производилось с помощью ГП на глубине 24 м [4].

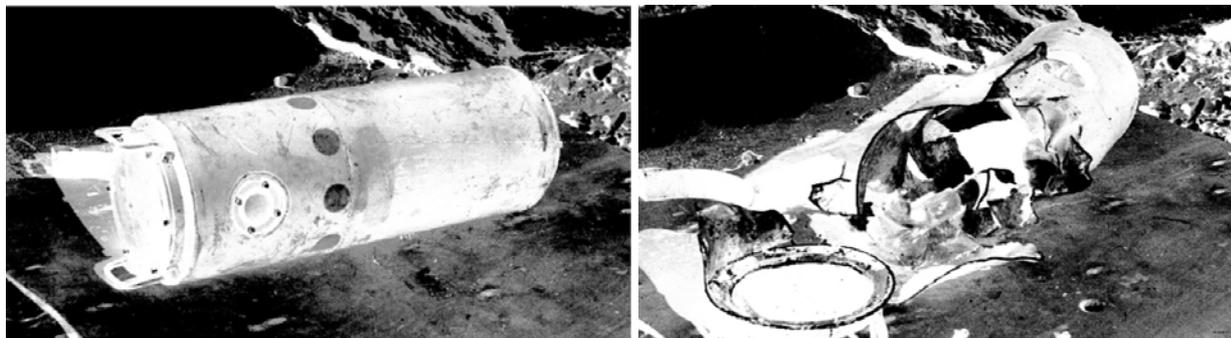


Рисунок 11. Обезвреживание установленного под водой ВОП

Выводы. Рассмотрены перспективы гуманитарного разминирования ВОП и НВБ при помощи импульсных высоконапорных струй жидкости. Задача по разминированию ВОП и НВБ усложняется их многообразием и состоянием на момент обезвреживания. Изложены физические принципы ускорения жидкости в профилированном сопле ГП. Показано, что в ГП определенных конструкций можно добиться истечения пульсирующей струи в виде нескольких порций, что может быть благоприятным для разрушения ВОП. На модельных задачах проанализированы гидродинамические поля, возникающие при ударе струи и отдельных капель с твердой поверхностью. Численно исследовано взаимодействие импульсной затопленной струи жидкости ГП конкретной конструкции с преградой. Показано, что импульсная струя жидкости под водой может эффективно воздействовать на различные объекты, оказывая практически такое же давление, как на воздухе. Проведены натурные испытания экспериментальных образцов ГП при разрушении бетонных и железобетонных изделий, пробивании стальных пластин разной толщины, дефрагментации макетов взрывообразных предметов и ликвидации ВОП. Показано, что ГП могут эффективно разрушать такие объекты.

Для более детального изучения процессов взаимодействия импульсных струй жидкости с конкретными объектами необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований и разработок по созданию новых средств, адаптированных к задачам гуманитарного разминирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дослідження теоретичних засад приладового, технологічного і методичного забезпечення гуманітарного розмінування: Звіт про НДР (заключний) / Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут “Іскра”; Науковий керівник проф. В.А. Ульшин. – № ГР 0106U001178, Інв. № 75. – Луганськ, 2008.

Ч. 1. – 397 с.

Ч. 2. – 423 с.

2. Бигвава В.А. Особенности применения гидропушек для обезвреживания взрывоопасных предметов / В.А. Бигвава, А.В. Кочергин, Г.Л. Логунова // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – № 4. – С. 24–29.

3. Атанов Г.А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород / Г.А. Атанов. – Киев: Вища школа, 1987. – 152 с.

4. Шаповалов В.Д. Приборы и технологии для чрезвычайных ситуаций // Надзвичайна ситуація. – 2007. – № 8. – С. 56–59.

5. Чижов А.В. Высокоскоростной удар капли о преграду / А.В. Чижов, А.А. Шмидт // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70, Вып. 12. – С. 18–27.

6. Kristian Haller Knezevic. High-Velocity Impact of a Liquid Droplet on a Rigid Surface: The Effect of Liquid Compressibility: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences 28.08.72 / Kristian Haller Knezevic – Zurich, 2002. – 144 p.

7. Ковалев В.И. Основные физические параметры процесса соударения струи суспензии с преградой в безножевой размольной установке / В.И. Ковалев, А.А. Ерофеева, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2009. – № 3. – С. 165–168.

8. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.

9. Семко А.Н. Повышение экологической безопасности при гуманитарном разминировании при помощи импульсных струй жидкости / А.Н. Семко, В.А. Бигвава // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки. – 2009. – № 2. – С. 310–319.

Семко О.М., Бигвава В.А., Козак Т.М. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ПІД ВОДОЮ ДІЄЮ УЛЬТРАСТРУМЕНЯ ГІДРОПУШКИ

У статті розглянуто теоретичні дослідження по взаємодії імпульсних гідроструменів з плоскою перешкодою. Виявлені характерні особливості процесу взаємодії і можливість регулювання величини тиску на перешкоді. Розглянуто залежність тиску струменя на перешкоду від відстані до неї при пострілі в затоплений простір.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, гідропушка, знешкодження вибухонебезпечних предметів, профіліровані сопла.

Semko A.N., Bigvava V.A., Kozak T.N. RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF UNDERWATER DISPOSAL OF EXPLOSIVE OBJECTS BY WATER-GUN JETS

In this work theoretical researches are considered on the interaction of impulsive water jets with a flat barrier. The characteristic features of process of interaction are revealed and possibility of regulating the amount of pressure exerted on the barrier is studied. A jet pressure, exerted upon the barrier, is considered depending on the distance to it at a shot in the flooded space.

Key words: humanitarian mine clearance, water jet gun, disposal of explosives, nozzle profiling.