

УДК 614.8

*И.Н. Грицына, канд. техн. наук, С.А. Виноградов, канд. техн. наук, Н.О. Консуров***ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СТРУИ ЖИДКОСТИ КАК СРЕДСТВО  
ГИДРОРАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ  
ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

В работе рассмотрен механизм разрушения твердого хрупкого материала при воздействии на него высокоскоростной струей жидкости. Определены необходимые параметры струи для успешного разрушения бетонных и кирпичных элементов строительных конструкций. Предложена конструкция устройства гидроразрушения.

*Ключевые слова:* аварийно-спасательный инструмент, разрушение, высокоскоростная струя жидкости, гидропушка.

*I. Gritsyna, Cand. of Sc. (Eng.), S. Vinogradov, Cand. of Sc. (Eng.), N. Konsurov***HIGH AS A MEANS OF LIQUID JET GIDRORAZRUSHENIYA ELEMENTS DURING  
CONSTRUCTION RESCUE OPERATIONS**

In this paper, the mechanism of destruction of solid brittle material when subjected to a high-speed liquid jet . The necessary parameters of the jet for the successful demolition of concrete and brick construction elements . A design of the device gidrorazrusheniya.

*Keywords:* rescue tool, destruction, high-speed jet of liquid water cannon.

Успех аварийно-спасательных работ при разрушении зданий в основном зависит от времени, затраченного на их проведение. Это время зависит от средств, при помощи которых проводятся аварийно-спасательные работы, умений и навыков в их использовании, а также от умений правильно организовывать проведение аварийно-спасательных работ (АСР).

Очень часто при разрушении зданий образуются пустоты, в которых могут находиться пострадавшие. Для их спасения необходимо произвести проломы в стенах или в перекрытиях. При этом нужно помнить, что завал - это хаотическое нагромождение обломков строительных конструкций, мебели и сантехнического оборудования, зачастую с непредсказуемой стойкостью. Поэтому аварийно-спасательный инструмент, необходимый для создания проломов, должен обеспечивать достаточную производительность, быть компактным, переносным, работать по возможности без вибраций и обеспечивать минимальное пылеобразование. Предпочтительно, чтобы такой инструмент был безыскровым.

Наиболее полно вопрос о применении аварийно-спасательного инструмента рассмотрен в [1, 2]. Самым применяемым аварийно-спасательным инструментом является традиционный ручной, гидравлический, электрический и пневматический. К наиболее перспективным инструментам следует отнести системы гидроабразивной резки типа «Собра» или ее российский аналог «Гюрза» [3]. Применение данных устройств целесообразно, когда речь идет о разрушении пластичных материалов, в том числе и для деблокирования пострадавших в ДТП. Однако при создании проломов в конструкциях разрушенных зданий мы имеем дело с бетоном, железобетоном, кирпичной кладкой. Любой из этих материалов намного лучше противостоит сжатию, чем растяжению, а во всех перечисленных выше устройствах реализуется разрушение сжатием (к примеру, внедрение твердого наконечника и даже воздействие высокоскоростной струей жидкости).

Чередование в строительных конструкциях напряжений сжатия и растяжения выше предельных значений при создании проломов позволит повысить производительность инструмента. Реализовать знакопеременные напряжения в конструкции можно с использованием импульсной ультраструи. Взаимодействие импульсной струи жидкости и твердотельной преграды рассматривалось в [4, 5].

В основу работы положена задача определения механизма разрушения твердого хрупкого материала при воздействии на него высокоскоростной струей жидкости, определение необходимых параметров струи и конструкции устройства гидроразрушения.

При воздействии импульсной струи жидкости на поверхность твердого тела, повреждение материала имеет различные особенности [4]. В хрупких и недостаточно пластичных материалах, к которым следует отнести бетон и кирпич, при скоростях удара, превышающих критическую скорость разрушения, образуются трещины. Они обычно зарождаются при прохождении волны напряжения в зонах высоких напряжений растяжения, которые возникают у границы области углубления вблизи поверхности преграды на некотором расстоянии от места удара. Сначала в зоне прохождения волны преобладают напряжения сжатия, но после того, как от контактной области отделяется волна сдвига, на значительное расстояние по радиусу распространяются напряжения растяжения заметной величины. Разрушение происходит либо вследствие прохождения волн напряжения, либо вследствие деформации, в зависимости от скорости распространения волн в материале преграды, а также от характеристик прочности материала на разрыв.

При воздействии волн напряжения, возникающих при ударе, очаги разрушения могут развиваться на некотором расстоянии от контактного пятна, где давление максимально. Разрушение может произойти в результате взаимодействия волн напряжения с небольшими поверхностными трещинами и другими микроструктурными образованиями, которые являются концентраторами напряжений. Разрушение может также возникать и под действием волн напряжения, амплитуда которых в течение достаточно длительного промежутка времени превышает динамический предел прочности материала преграды. При этом повреждение материала волной напряжения не обязательно определяется взаимодействиями с микроструктурными элементами материала.

При средних скоростях распространения волн кольцевые трещины, обусловленные воздействием больших радиальных составляющих растягивающих напряжений, появляются раньше следов разрушения, возникающих вследствие деформации, или почти одновременно с ними. Конечно, во многих твердых хрупких материалах деформация в зоне контакта бывает небольшой, и при таком виде повреждений не достигается критического уровня напряжений, вызывающего разрушение материала.

При разрушении зданий возникает необходимость производить разрушение в стенах и плитах перекрытий. Толщина большинства стен для нашей климатической зоны не превышает 0,5-0,6 м, а плит перекрытий – 0,3 м.

Разрушения строительных бетонных конструкций высокоскоростной струей жидкости (ультраструей) наблюдается при скоростях порядка 500-600 м/с, при этом максимальная толщина фундаментного блока разрушенного экспериментально с первого выстрела – 0,5 м [5].

Процесс разрушения бетонной плиты упрощенно представлено на рис. 1. При воздействии ультраструи 5 на поверхности образуется динамическая воронка – разрушение за счет сжатия. Зона разрыхления (гидроэрозии) 2 образуется за счет активного образования трещин в бетоне при знакопеременных нагрузках. Большая часть измельченного материала выносится из зоны хвостовой частью ультраструи. В зоне пластической деформации 3 разрушений не происходит. Напряжения в материале меньше предельных. Разрушения в данной зоне возможны при местном ослаблении материала (каверны, трещины и т.д.). В некоторых случаях возможно образование зоны откола 4. Наличие данной зоны типично для бетонных конструкций и приводит к тому, что пробитие конструкции возможно при меньших энергетических затратах. При аварийно-спасательных работах даже не большие

отверстия в конструкции увеличивают шансы на спасение пострадавших. В отверстие можно подать воздух, воду, обеспечить связь или оказать психологическую помощь.

Для оценки глубины проникновения  $L_{пр}$  можно использовать формулу [6]

$$L_{пр} = k_n \lambda \frac{m}{d_c^2} V_c \cos \alpha \quad (1)$$

где  $k_n$  – коэффициент прочности поверхности, зависящий от качества материала (для высокопрочного бетона  $k_n=9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \cdot \text{с}/\text{кг}$ );

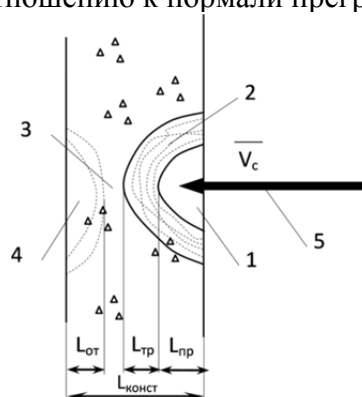
$\lambda$  – коэффициент, характеризующий относительное влияние формы струи (для оценки принимаем  $\lambda = 1$ );

$m$  – масса заряда, кг;

$d_c$  – диаметр струи, м (для оценки можно принимать равным калибру установки);

$V_c$  – скорость струи в момент столкновения с преградой, м/с;

$\alpha$  – угол падения струи по отношению к нормали преграды.



1 – динамическая воронка, 2 – зона разрыхления, 3 – зона упругих колебаний (зона сотрясения), 4 – зона откола, 5 – ультразвукая

Рисунок 1 – Разрушение бетонной плиты при воздействии на нее ультразвуку:

Проверка адекватности данной формулы по результатам, приведенным в [5], показал сходимость в пределах 20%. Формула не дает возможности определять протяженность зоны разрыхления  $L_{тр}$  и зоны возможного откола  $L_{от}$ . Протяженность этих зон, как правило, определяется экспериментальным путем.

Величина проникновения струи в преграду из высокопрочного бетона по формуле (1) при  $\alpha=0^0$  (падение струи по нормали),  $d_c=0,015$  м приведена в таблице 1. Масса заряда варьировалась в пределах от 50 до 200 грамм.

Анализ результатов (табл.1) показывает, что для пробития бетонных стен толщиной 0,2-0,5 м зарядом жидкости массой 100-150 г необходимо обеспечивать скорости струи в месте контакта с преградой  $V_c \approx 1000$  м/с.

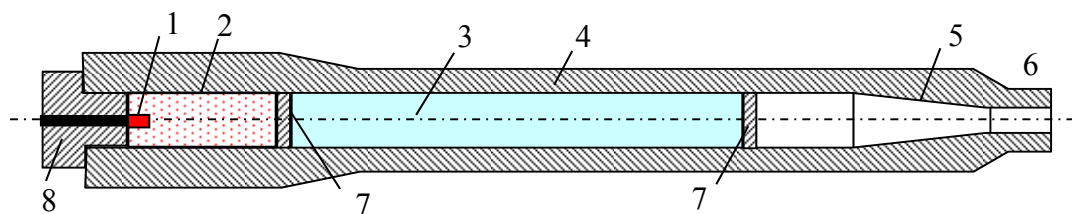
Таблица 1 — Глубина проникновения водяных струй в бетонную преграду в зависимости от скорости струи и массы заряда

Масса заряда $m$ , кг	Скорость струи $V_c$ , м/с							
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0,05	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
0,1	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4	0,44	0,48
0,15	0,3	0,36	0,42	0,48	0,54	0,6	0,66	0,72
0,2	0,4	0,48	0,56	0,64	0,72	0,8	0,88	0,96

Для компенсации отдачи при создании огнестрельного оружия придерживаются соотношения, при котором масса оружия в 100 раз тяжелее заряда. С учетом данного соотношения, масса установки должна быть 20-25 кг. Установка такой массы относится к переносным, а расчет не превышает двух человек.

Для обеспечения скоростей  $V_c \approx 1000$  м/с целесообразно использовать гидропушку. Принципиальная особенность гидропушки – получение импульсных струй, динамический напор которых намного превышает статическое давление в стволе установки. Для проведения аварийно-спасательных работ установка должна обладать определенной автономностью, этим требованиям удовлетворяют гидропушки с пороховым приводом. Схематическая конструкция пороховой гидропушки представлена на рис. 2. При допустимых внутренних давлениях можно получать скорости более 2000 м/с [5], при этом динамический напор будет превышать 30 ГПа.

Процессы в пороховой гидропушке (ГП) начинаются с момента воспламенения пороха. В начальный момент (рис.2) воспламенитель 1 зажигает пороховой заряд, расположенный в камере сгорания 2. Пороховые газы разгоняют водяной заряд 3 в стволе 4, жидкость втекает в сопло 5. При втекании жидкости в сужающееся сопло вода дополнительно разгоняется и значительно увеличивает свою скорость. Сопло заканчивается коллиматором 6, который предназначен для стабилизации струи и увеличения дальности ее подачи.



1 – воспламенитель, 2 – камера сгорания, 3 – вода, 4 – ствол, 5 – сопло, 6 – коллиматор, 7 – пыж, 8 – затвор со спусковым механизмом.

Рисунок 2 – Пороховая гидропушка

Для создания аналогичных устройств целесообразно использовать гладкоствольные оружейные системы. Наиболее распространенными системами являются гладкоствольные ружья 12 калибра. Механика данных ружей отлично зарекомендовала себя. При упрочнении стволов и оборудовании их сопловыми приспособлениями можно создать установку, способную разрушать бетонные и кирпичные конструкции при проведении аварийно-спасательных работ. При длине 1 м в стволе может разместиться 0,2 кг воды, при этом разгонный участок составит  $\approx 0,3$  м. Полная зарядка ствола водой – 0,28 кг, в этом случае устройство будет работать в режиме импульсного водомета, дальность подачи струи увеличится, а скорости истечения уменьшатся.

**Выводы.** Гидроимпульсные технологии являются перспективным направлением развития аварийно-спасательного инструмента. В работе показано, что разрушение строительных конструкций возможно импульсными струями массой 0,05-0,2 кг со скоростями падения на преграду 700-1200 м/с. Для получения таких параметров импульсной струи целесообразно использовать гидропушки, созданные с использованием существующих гладкоствольных систем. Масса установки для компенсации отдачи должна быть 20-25 кг. Это дает возможность необходимого упрочнения ствола. Таким образом, создание переносных устройств импульсного разрушения строительных конструкций жидкостью является возможным и перспективным направлением развития аварийно-спасательного инструмента.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Учебник спасателя. / [С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Крилов и др.] – Краснодар: «Советская Кубань», 2002. – 528 с.
2. Аветисян В.Г. Рятувальні роботи під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій: посібник // Аветисян В.Г., Адаменко Н.И., Александров В.Л. – Київ: Основа, 2006. – 239 с.
3. Применение мобильного комплекса «Гюрза» для проведения операций повышенной сложности на объектах энергетики / [Алешков М.В., Безбородько М.Д., Емельянов Р.А., Плосконосов А.В.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2012. – №2. – С. 4-9.
4. Абашин М.И. Механизм гидроэрозионного разрушения твердотельной преграды / Абашин М.И., Хафизов М.В. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – 2011. – №10. – Режим доступа к журналу: <http://technomag.edu.ru/doc/223166.html>.
5. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко - Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
6. Ефимов М.Г. Теория проектирования артиллерийских снарядов. Часть II. Действие снарядов. / Ефимов М.Г. – Л.: Изд. Артиллерийской академии РККА им. Дзержинского, 1935. – 77 с.

