

Высокоскоростные струи жидкости как механизм разрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ

¹ *Виноградов Станислав Андреевич, кандидат технических наук, старший преподаватель*

² *Консуров Николай Олегович, аспирант*

³ *Грицына Игорь Николаевич, кандидат технических наук, доцент
Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

Аннотация: 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-спасательные работы, аварийно-спасательный инструмент, разрушение, высокоскоростная струя жидкости, гидропушка.

Постановка проблемы. 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.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее полно вопрос о применении аварийно-спасательного инструмента рассмот-

рен в [2, 4]. Самым применяемым аварийно-спасательным инструментом является традиционный ручной, гидравлический, электрический и пневматический. К наиболее перспективным инструментам следует отнести системы гидроабразивной резки типа «Cobra» или ее российский аналог «Гюрза» [6]. 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 рас-

смагивалось в [1, 7]. В работах [3, 4] импульсные высокоскоростные струи жидкости рассматривались как средство тушения пожаров газовых фонтанов.

Постановка задачи и ее решение. 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 [1]. 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 [7].

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 части 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 [5]

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

где k_n – коэффициент прочности поверхности, зависящий от качества материала (для высокопрочного бетона $k_n = 9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 \cdot \text{с} / \text{кг}$); λ – 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; α – угол падения струи по отношению к нормали преграды.

Проверка адекватности данной формулы по результатам, приведенным в [7], показал сходимость в пределах 20%. Формула не дает возможности определять протяженность зоны разрых-

ления $L_{тр}$ и зоны возможного откола $L_{от}$. Протяженность этих зон, как правило, определяется экспериментальным путем.

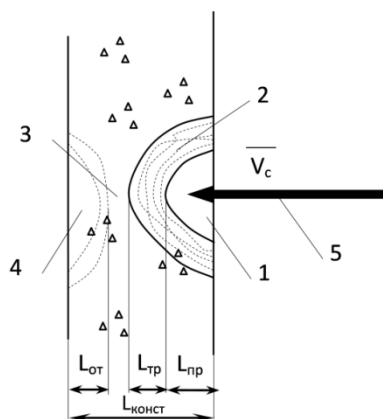


Рис.1 – Разрушение бетонной плиты при воздействии на нее высокоскоростной струи: 1 – динамическая воронка, 2 – зона разрыхления, 3 – зона упругих колебаний (зона сотрясения), 4 – зона откола, 5 – высокоскоростная струя.

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.

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. Установки такой массы относятся к переносным, а расчет не превышает двух человек.

Таблица 1
Величина проникновения водяной струи в бетонную преграду

Масса заряда $m, \text{ кг}$	Скорость струи $V_c, \text{ м/с}$							
	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 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 [7], 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 вытекает в сопло 5. При вытекании жидкости в сужающемся сопле вода дополнительно разгоняется и значительно увеличивает свою скорость. Сопло заканчивается коллиматором 6, который предназначен для стабилизации струи и увеличения дальности ее подачи.

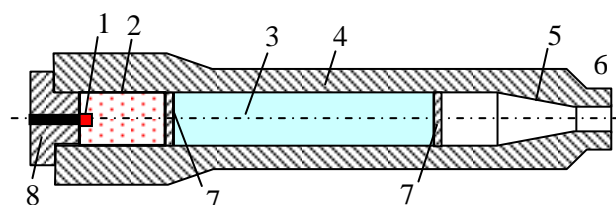


Рис. 2. – Пороховая гидропушка: 1 – воспламенитель, 2 – камера сгорания, 3 – вода, 4 – ствол, 5 – сопло, 6 – коллиматор, 7 – пыж, 8 – затвор со спусковым механизмом.

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 увеличиться, 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.

Литература

1. 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>.
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. Виноградов С.А. Повышение эффективности тушения газовых фонтанов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн наук: спец. 21.06.02 «Пожарная безопасность» / С.А. Виноградов. – К., 2012. – 24 с.
4. Виноградов С.А. Чинники впливу водяного струменя високої швидкості на процес припинення горіння газового фонтана / Виноградов С.А. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – Київ, 2012. - № 1 (25). – С. 21-25.
5. Ефимов М.Г. Теория проектирования артиллерийских снарядов. Часть II. Действие снарядов. / Ефимов М.Г. – Л.: Изд. Артиллерийской академии РККА им. Дзержинского, 1935. – 77 с.
6. 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.
7. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко - Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
8. Учебник спасателя. / [С.К. Шойгу, М.И. Фалеев, Г.Н. Крилов и др.] – Краснодар: «Советская Кубань», 2002. – 528 с.

Vinogradov S.A., Konsurov N.O., Hritsyna I.N.

Liquid high-speed jets as a mechanism destruction of elements building construction during rescue operations

Abstract: To rescue people in accidents, usually necessary to make breaches in the walls or overlapping's. It needs to use rescue tool. Modern requirements for it are such that the rescue tool needed to create the breaches should provide enough productivity, be compact, portable, work as possible without vibration and ensure a minimum of dust. Preferably, such tool should be non-sparking. The main modern building materials - concrete, reinforced concrete and brick. Any of these materials is much better resists compression than tension. However, the alternation in structures compression and extension stresses above the limit values in creating the breaches and these things increasing productivity of tool. To realize alternating tensions in design is possible using impulse liquid high-speed jets. When liquid high-speed jet exposed on a concrete slab, a dynamic funnel formed on its surface – destruction due to compression. Loosening zone formed by the active formation of cracks in the concrete under alternating loads. The majority of particulate material carried from the zone using tailpiece of jet. In some cases, the formation of spalling zone is possible. The presence this zone is typically for concrete structures and will lead that the construction may break at a lower energy costs. The analysis of the theoretical results show that for breaking concrete walls up to 0.5 m thick fluid charge 100-150 g weight is necessary to ensure the jet velocity at the contact with a barrier about 1000 m/s. To provide such speeds appropriate to use hydrocannon. The principal feature of hydrocannon is getting pulse jets, which dynamic pressure is much higher than the static pressure in the barrel installation. Setting for holding rescue operations should have some autonomy, and these requirements are met by hydrocannon with gunpowder drive. To compensate for the impact with the creation of firearms adhere to the ratio at which the mass of firearms 100 times heavier than the charge. With this ratio, the weight of the installation should be 20-25 kg. The installation of such weight applies to portable and shall not exceed two persons. Thus, the creation of portable devices pulse destruction of building structures liquid is possible and promising direction of development of emergency rescue tools.

Keywords: rescue operations, rescue tool, destruction, liquid high-speed jet, hydrocannon.