

- шлангового бетононасоса //Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 2. – №. 7 (80). С. 32–42.
7. Ємельянова І. А., Андренко П. М., Чайка Д. О. Оцінка надійності безпоршневого шлангового універсального бетононасоса на стадії його проектування //Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 162. С. 5–11.
 8. Ємельянова І. А., Андренко П. М., Чайка Д. О. Степень неравномерности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом как функция параметров рабочего процесса// Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – №. 165. С. 69–77.
 9. Emeljanova I., Andrenko P., Chayka D. Determination of capacities of concrete mix transportation by universal hydraulic hose concrete pumps under the conditions of a construction site// Norwegian Journal of development of the International Science. – 2017. – №3 Vol.1. - pp. 84 – 90.
 10. Меленцов Н.А. Создание растворобетононасоса с повышенной пропускной способностью клапанных узлов и стабильной подачей бетонных смесей: Диссертация кандидата технич. наук: 05.05.02/ Меленцов Николай Алексеевич. – Харьков, 2014 – 176 с.
 11. Ємельянова І.А. Двухпоршневые растворобетононасосы для условий строительной площадки: Монография / И.А. Ємельянова, А.А. Задорожный, С.А. Гузенко, Н.А. Меленцов/ под ред. Ємельяновой І.А. – Харьков: Тимченко А.Н., 2011. – 196 с.

Рецензент: д-р техн. наук Н.С. Болотских

УДК 614.84

Грицына И.Н., Виноградов С.А.

Национальный университет гражданской защиты Украины

Грицына Н.И.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Введение. Основным фактором успеха аварийно-спасательных работ при разборе завалов разрушенных зданий является – время, затраченное на проведение данных работ. Время зависит от умений правильно организовывать аварийно-спасательные работы (АСР), а также от технического оснащения спасательных подразделений.

Результаты исследований. Наиболее полно вопрос о применении аварийно-спасательного инструмента (АСИ) рассмотрен в [1]. В любом АСИ реализуется разрушение сжатием, тогда как, большая часть строительных материалов на сжатие работает намного лучше, чем на растяжение. Чередование напряжений сжатия и растяжения выше предельных значений при разрушении конструкций позволит

повысить производительность инструмента. Реализовать знакопеременные напряжения в конструкции можно с использованием импульсной ультразвуки. Взаимодействие импульсной струи жидкости и твердотельной преграды рассматривалось в [2, 3].

При воздействии импульсной струи жидкости на поверхность хрупких и недостаточно пластичных материалах, к которым следует отнести бетон и кирпич, при скоростях удара, превышающих критическую скорость разрушения, образуются трещины. 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 превышает динамический предел прочности материала преграды в течение достаточно длительного промежутка времени. 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.

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

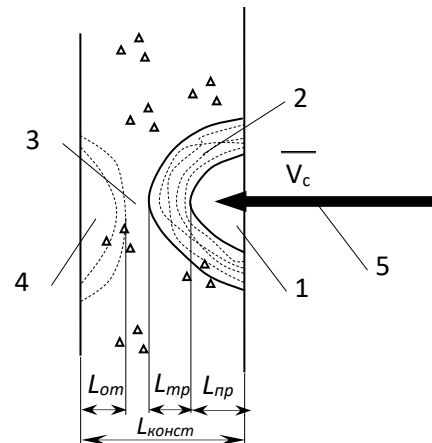


Рис. 1. Разрушение бетонной плиты при воздействии на нее ультраструи:

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

Для оценки глубины проникновения $L_{пр}$ можно использовать формулу [4]

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

где k_n – коэффициент прочности поверхности (для высокопрочного бетона $k_n=9 \cdot 10^{-7}$ м²·с/кг); λ – коэффициент 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 на преграде, м/с; α – угол падения струи по отношению к нормали преграды.

Проверка адекватности данной формулы по результатам, приведенным в [4], показала 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 бетона по формуле (1) приведена в таблице 1. Масса заряда жидкости варьировалась в пределах от 50 до 200 грамм,

угол падения струи $\alpha=0^0$, диаметр струи $d_c=0,015$ м.

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.

Существует два типа наиболее распространенных устройств, реализующих технологию гидроимпульсного разрушения: импульсный водомет (ИВ) и гидропушка (ГП) [3, 5]. Для обеспечения скоростей $V_c \approx 1000$ м/с целесообразно использовать гидропушку. Она позволяет получать большие скорости при меньших давлениях внутри

устройства. В этом случае уменьшаются требования к прочностным характеристикам АСИ, уменьшается его масса и увеличивается маневренность. При допустимых внутренних давлениях можно получать скорости более 2000 м/с [3], при этом динамический напор будет превышать 30 ГПа. Наиболее просто реализовать механизм гидроимпульсного разрушения, используя пороховой привод для АСИ. Поэтому авторами предлагается использовать схему аварийно-спасательного инструмента, который состоит из опоры с рукояткой, ствольной и сопловой части, а также набора удлинителей ствола с соединителями. Трехмерная модель предлагаемого АСИ представлена на рис. 2.

Таблица 1 – Величина проникновения водяной струи в бетонную преграду (L_{np} , м)

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

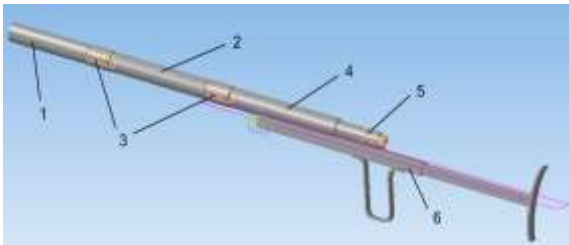


Рис. 2. Трехмерная модель аварийно-спасательного инструмента гидроимпульсного разрушения элементов строительных конструкций: 1 – сопло, 2 – удлинитель ствола, 3 – соединители, 4 – ствол, 5 – ударно-спусковой механизм, 6 – опора с рукояткой

На рис. 3 представлено схематическое изображение ствольной и сопловой части в собранном виде.

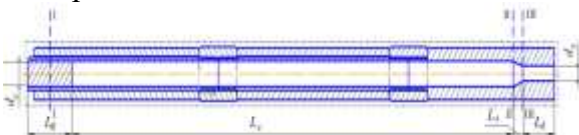


Рис. 3. Схематическое изображение ствольной и сопловой части АСИ

Для компенсации отдачи масса оружия в 100 раз тяжелее заряда. С учетом этого, масса установки должна быть 20-25 кг. Установка такой массы относиться к

переносным, а расчет не превышает двух человек.

Отметим, что наибольшее влияние на скорость струи оказывает соотношение диаметра ствола d_c и диаметра сопла d_s [6]. Необходимо определить соотношение этих параметров, при которых скорость струи достаточна для разрушения различных конструкционных материалов.

Работа ствольных гидроимпульсных устройств, имеющих сопловую часть, описывается системой уравнений в нестационарной постановке [5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} + \frac{a^2}{n-1} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{n-1} \right) = 0, \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho F) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho F u) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где u – скорость истечения струи из сопла; a – скорость звука в воде; ρ – плотность жидкости; F – площадь поперечного сечения ствола; $n=7,15$ – коэффициент, зависящий от энтропии; x – координата; t – время.

Краевые условия для системы (2) принимают вид

$$u(0, x) = 0, \quad p(0, x) = 0, \quad \rho(0, x) = \rho_0,$$

$$0 \leq x \leq L, \quad (3)$$

$$p(t, L) = 0, \quad u(t, x_g) = u_g, \quad p(t, x_g) = p_g, \quad (4)$$

где p – давление воды; L – длина водяного заряда; x_g, u_g – координата и скорость контактной поверхности; p_g – давление пороховых газов на контактной поверхности.

Параметры порохового заряда рассчитываются в постановке, стандартной для задач внутренней баллистики в артиллерии [7].

Расчет проводился для АСИ конкретной конструкции (рис. 3): длина патрона (камеры сгорания) $L_g=0,07$ м, длина ствола $L_c=0,7$ м, длина сопла $L_s=0,015$ м, длина коллиматора $L_k=0,055$ м, длина водяного заряда $L=0,35$ м, диаметр ствола $d_c=0,0185$ мм, масса порохового заряда $m_p=0,01$ кг.

На рис. 4-7 представлены результаты расчетов параметров АСИ с разным диаметром сопла d_s . Здесь кривая 1 – давление пороховых газов в патроне (сечение I-I на рис. 3), кривая 2 – давление воды на входе в сопло (сечение II-II на рис. 3), кривая 3 – давление воды на выходе из сопла (сечение III-III на рис. 3) и кривая 4 – скорость истечения воды из АСИ.

На графике (рис. 4) можно увидеть проявления волновых процессов, связанные с большой длиной водяного заряда. Скорость водяной струи достигает всего $u=600$ м/с. Давление пороховых газов $p_g=350$ МПа. На рис. 5 максимальная скорость струи достигает всего $u=980$ м/с. Поскольку количество пороха не менялось, давление пороховых газов остается прежним - $p_g=350$ МПа. Давление воды при этом составляет $p=450$ МПа.

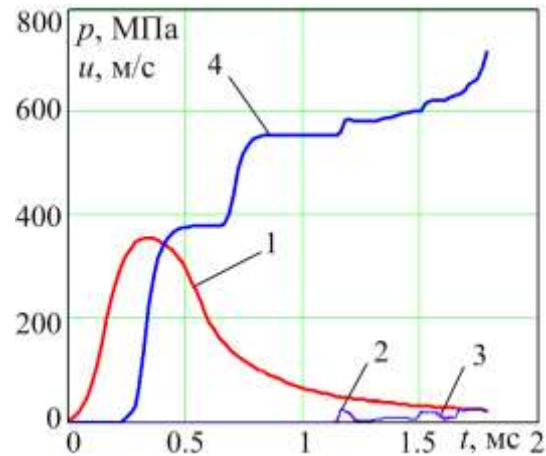


Рис. 4. Характеристики выстрела АСИ при $d_s=0,0185$ м

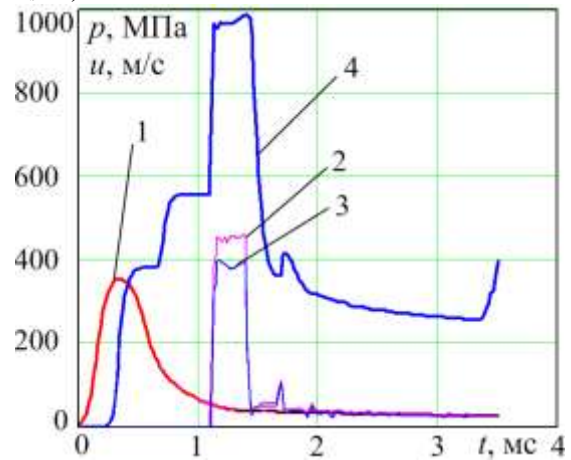


Рис. 5. Характеристики выстрела АСИ при $d_s=0,012$ м

На графике на рис. 6 скорость струи возросла до $u=1170$ м/с, а давление воды – до 670 МПа. В распределении скорости есть полочка, которая соответствует однородному участку струи с высокой скоростью. Таких параметров струи достаточно для разрушения большинства конструкционных материалов. При этом давление внутри установки приемлемое для улучшенных сталей. Параметры ГП, приведенные на рис. 7, достаточны для разрушения крепких материалов (бетон, гранит и т.д.). Самый напряженный участок вблизи сопла. Таким образом, для разрушения крепких конструкционных материалов необходимо придерживаться соотношения $(d_c/d_s) \geq 2$.

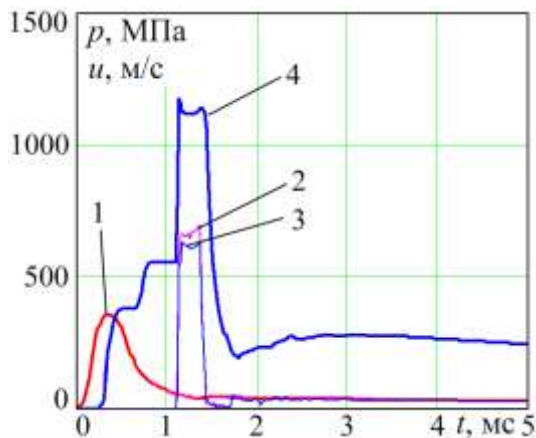


Рис. 6. Характеристики выстрела АСИ при $d_s=0,01$ м

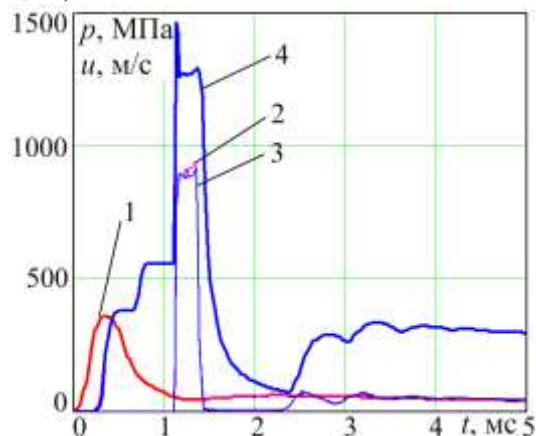


Рис. 7. Характеристики выстрела АСИ при $d_s=0,008$ м

Выводы. Гидроимпульсные технологии являются перспективным направлением в развитии 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. Установлено, что получить струи, достаточные для разрушения крепких конструктивных

материалов можно при соблюдении соотношения $(d_c/d_s) \geq 2$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.
2. Абашин М.И. Механизм гидроэрозионного разрушения твердотельной преграды / Абашин М.И., Хафизов М.В. // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – 2011. - №10.
3. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко - Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
4. Ефимов М.Г. Теория проектирования артиллерийских снарядов. Часть II. Действие снарядов. / Ефимов М.Г. – Л.: Изд. Артиллерийской академии РККА им. Дзержинского, 1935. – 77 с.
5. Атанов Г. А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород / Атанов Г. А. - К.: Вища школа, 1987.- 155 с.
6. Виноградов С.А. Экспериментальні дослідження системи гідроімпульсного руйнування елементів будівельних конструкцій // Виноградов С.А., Консуров М.О., Сокол Я.С. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 11-17.– Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol21/Vinogradov.pdf>.
7. Проектирование ракетных и ствольных систем / Под ред. Орлова Б. В.- М.: Машиностроение, 1974.- 832 с.

Рецензент: д-р техн. наук О.О. Кірсєв