

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАСНАРЯЖЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ В СОСТАВЕ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Введение

Проблема расснаряжения и утилизации боеприпасов и взрывоопасных предметов (ВОП) является актуальной ввиду наличия больших объемов и широкой номенклатуры запасов боеприпасов с истекшими сроками хранения, так как по оценкам специалистов, Вооруженные силы Украины имеют более 50% боеприпасов, произведенных более 15 лет назад; необходимости утилизации боеприпасов, не отвечающих требованиям "Оттавской конвенции", при этом общие финансовые затраты на выполнение работ составят более 240 млн. грн. в ценах 1998 г., а ныне эта сумма возросла в 4-5 раз; экологической опасности и опасности взрывов при проведении работ, связанных с транспортировкой и утилизацией боеприпасов с истекшими гарантийными сроками хранения, повышения уровня требований по обеспечению экологической безопасности при промышленной утилизации или уничтожении боезаряда; значительных (более 20 млн. грн.) ежегодных финансовых затрат на содержание боеприпасов с истекшими гарантийными сроками хранения; недостаточных возможностей и не вполне удовлетворительным состоянием имеющихся производственно-технических мощностей по утилизации боеприпасов.

Повысить эффективность технологии расснаряжения боеприпасов и взрывоопасных предметов с одновременным повышением надежности и безопасности при проведении работ возможно путем использования гибкой безлюдной технологии, где основным рабочим процессом при расснаряжении является гидроимпульсное разрушение взрывчатого вещества (ВВ) в оболочке боеприпаса под слоем жидкости с последующим вымыванием его из корпуса ВОП.

Механизм разрушения пород и материалов с использованием гидроимпульсных устройств до сих пор является слабо изученной областью. Сколько-нибудь стройной теории разрушения материалов ультразвуковой жидкости в настоящее время не существует, как отсутствуют и более-менее полные исследования по данному вопросу. Существуют лишь отдельные работы, не носящие системного характера. Такой же специфический вопрос как механизм разрушения материалов и конструкций струей жидкости в условиях затопленного пространства вообще не освещен в литературе. Имеющиеся данные позволяют выделить и классифицировать только некоторые причинно-следственные связи между параметра-

© Ю.Г. Войлов, И.И. Шевченко, 2005

ми импульсной струи жидкости и характером разрушения, что говорит всего лишь о качественной картине процессов.

Постановка задачи исследования

Схематично процесс разрушения материала под действием ультразвука может выглядеть следующим образом:

в окрестностях головы струи при встрече с преградой возникает область высокого давления, параметрически связанного с динамическим напором струи. Под действием этого давления материал преграды течет и вымывается струей наружу. Струя со скоростью U_n проникает в материал на глубину L . В результате в материале возникает полость, внутри которой существует высокое внутреннее давление. По достижении определенного критического размера этой полости, когда напряженно-деформированное состояние материала и конструкции достигает критического значения, происходит разрушение.

Согласно теории проникновения, разработанной академиком М.А. Лаврентьевым для кумулятивных струй [1], скорость проникания в преграду струи, движущейся с постоянной скоростью U_c , определяется по формуле.

$$U_n = \frac{\lambda}{\lambda + 1} U_c, \quad (1)$$

где $\lambda = \sqrt{\rho_t \rho_m}$,

ρ_t и ρ_m – плотность струи и материала преграды.

Тогда глубина проникновения струи в преграду

$$L = \frac{\lambda}{\lambda + 1} \int_0^{t_v} U_c dt, \quad (2)$$

где t_v – время выстрела.

Данная теория исходит из предположения, что, как струя, так и преграда ведут себя как жидкость, что вполне возможно для скоростей и давлений в кумулятивной струе. Однако в нашем случае, подобное упрощение картины, связанное с неучетом вязко-упругих свойств материала струи и прочностных характеристик преграды, может привести к значительным ошибкам. Кроме того, судя по некоторым результатам математического моделирования процесса распространения ударной волны в теле определенной формы, картина разрушения выглядит более сложным образом.

Другими словами, реальный процесс разрушения вряд ли возможно свести к какой-либо одной, относительно простой модели. Более того, результаты, полученные для одних условий применения, в большинстве случаев малоприменимы для других условий. Поэтому предлагаемая работа не ставит целью выявление каких-либо общеприменимых критериев, определяющих разрушающие возможности ультразвука. Постановка

задачи экспериментального исследования режимов расснаряжения боеприпасов гидродинамическим устройством в составе гибкой производственной системы состоит в выявлении влияния геометрии баллистических характеристик гидродинамического устройства, реализованного в виде безударной гидропушки с пороховым зарядом, на ее разрушающую способность при подводном применении.

Методика экспериментальных исследований

Данные исследования выполнены в рамках создания специального инструмента, являющегося одним из исполнительных элементов гибкой производственной системы расснаряжения и утилизации боеприпасов путем ударной генерации волновых процессов, вызывающих разрушение конструкций в затопленном пространстве.

Опыты проводились на исследовательской модели гидропушки, схема которой представлена на рис. 1.

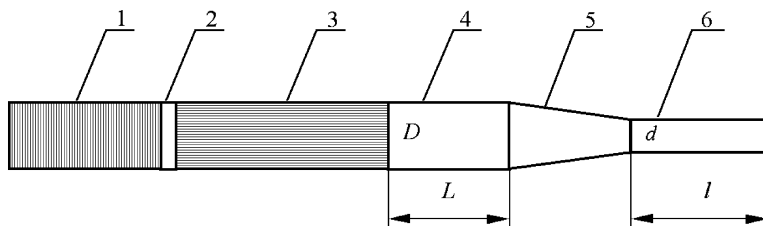


Рис. 1 – Структурная схема исследовательской модели гидропушки 1 - пороховой заряд; 2 - obtурирующий поршень; 3 - метаемая жидкость; 4 - мембрана; 5 - сопло; 6 - коллиматор.

Конструкция гидропушки имела следующие геометрические характеристики:

- длина разгонной части L – 135, 385, 635, 885 мм;
- длина коллиматора l – 0, 250, 500, 750 мм;
- калибр D – 25 мм;
- диаметр коллиматора d – 15, 20 мм.

Масса метаемой жидкости во всех опытах равнялась 210 г. Пороховой заряд из пороха марки ВТ во всех опытах равнялся 45 г, кроме опытов 11, 12, 13 табл. 1, где он был равен 35 г.

В качестве разрушаемого объекта использовались алюминиевые наполненные оболочковые конструкции размерами 100, 200, 500 мм.

Толщина оболочки составляла 1,5 мм. Наполнитель имел следующие физические свойства:

- плотность – $2,1 \text{ г/см}^3$;
- предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 18,7 \text{ МПа}$;
- предел прочности на растяжение $\sigma_p = 2,1 \text{ МПа}$.

Опыты проводились в бассейне под слоем воды 80 см. Ось гидроструи ориентировалась вдоль оси симметрии максимального размера разрушаемого объекта.

Контролируемым параметром являлась масса разрушаемой конструкции до и после опыта.

Результаты экспериментальных исследований

Некоторые результаты опытов представлены в таблице 1.

В колонках 2-4 представлены исходные данные выстрела. Данные в колонках 5-9 являются расчетными и получены как результат математического моделирования внутренней баллистики гидропушки. Исходные уравнения математической модели соответствуют источнику [2,3].

Глубина проникновения струи в преграду $L_{прон}$ рассчитана по формуле Лаврентьева [1].

Данные в строках 18-21 таблицы 1 получены для гладкоствольной гидропушки калибра 25 мм.

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Калибр D/d мм	Разгон L/l мм	L струи, мм	$L_{прон}$ мм	Энергия КДж.	Импульс Н/с	v_{max} , м/с	$t_{уст}$ мс	$M_{разр.}$ кг.
1	25/20	135/0	669	128,3	54,35	140,0	960	1,215	7,19
2	25/20	135/250	669	146,5	65,27	159,9	955	0,950	5,36
3	25/20	135/500	669	157,8	73,09	172,6	954	0,823	6,68
4	25/20	135/750	669	160,6	75,39	175,6	954	0,804	6,83
5	25/20	385/0	669	137,6	66,59	150,6	1060	1,260	4,48
6	25/20	385/250	669	165,4	82,3	180,6	1048	0,813	7,00
7	25/20	385/500	669	171,3	87,9	188,3	1048	0,763	7,30
8	25/20	635/0	669	143,0	73,8	156,6	1125	1,304	3,95
9	25/20	635/250	669	172,4	90,2	188,6	1117	0,781	5,76
10	25/20	885/0	669	146,8	78,8	160,5	1131	1,348	3,35
11	25/20	135/0	669	103,4	34,58	13,1	755	1,437	5,65
12	25/20	135/250	669	116,3	41,15	41,15	748	1,187	3,9
13	25/20	135/50	669	123,3	45,14	134,3	748	1,086	6,16
14	25/15	135/0	1189	238,6	63,80	146,4	1245	2,093	4,48
15	25/15	135/250	1189	265,6	73,7	163,7	1237	1,722	4,39
16	25/15	135/50	1189	284,3	81,9	175,7	1237	1,560	5,47
17	25/15	135/750	1189	300,6	89,6	186,2	1237	1,435	6,41
18	25	135	428		27,35	108,3	623	1,215	2,88
19	25	385	428		36,27	121,5	701	0,740	2,88
20	25	635	428		53,09	142,8	774	0,823	3,54
21	25	885	428		60,39	156,6	804	0,656	3,74

Исходя из теоретических предпосылок, наибольшее влияние на процесс разрушения должны оказывать скорость и длина струи. Поэто-

му следовало ожидать, что величина массы разрушенного материала $M_{разр}$ должна каким-то образом коррелироваться в первую очередь с интегральным импульсом струи. Однако из представленных опытно-расчетных данных следует, что какой-либо простой связи между баллистическими характеристиками струи и величиной $M_{разр}$ не существует, хотя тенденция повышения разрушающей способности струи с увеличением ее импульса и средней энергии в рамках одного типоразмера гидропушки явно просматривается.

Обращает на себя внимание тот факт, что переход на другой диаметр струи, оставляя в неизменности характер зависимости, значительно сдвигает ее по величине (строки 1-4 и 14-17 табл. 1).

На рисунке 2 представлены расчетные зависимости скорости истечения струи, расширяющие и уточняющие данные табл. 1.

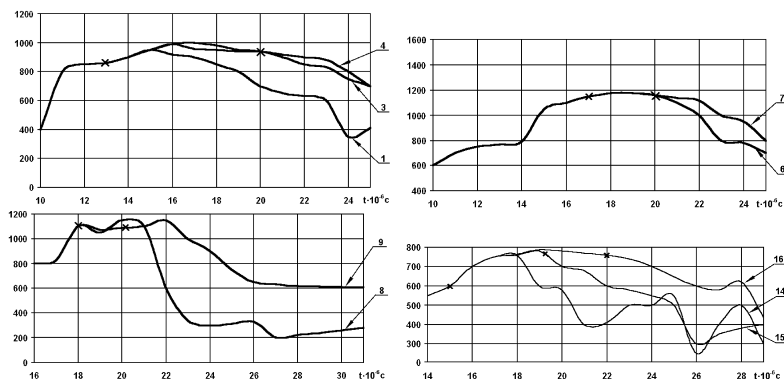


Рис. 2 – Расчетные зависимости скорости истечения струи

Цифры возле кривых соответствуют номеру опыта, маркером отмечена точка начала истечения струи.

Выводы

Судя по результатам измерения и рапид-киносъемкам, процесс разрушения идет сразу несколькими путями.

На начальном этапе при столкновении струи с преградой возникает мощная ударная волна, вызывающая растрескивание в материале преграды. Головная, наиболее скоростная, часть струи пробивает оболочку и формирует кратер в материале. По достижении некоторого критического размера кратера, являющегося функцией материала и формы объекта разрушения, а также параметров окружающей среды, происходит разрушение объекта на глубину проникновения струи. Затем процесс повторяется до полного разрушения струи либо преграды.

Именно подобной цикличностью процесса можно объяснить тот факт, что при переходе с 20 на 15 миллиметровое сопло параметры разрушения

против ожидания падают, хотя расчетные характеристики струи явно возрастают.

По видимому, уменьшение диаметра струи ведет к увеличению критической глубины кратера и поэтому реальная глубина проникновения струи для данной конструкции объекта разрушения оказывается много меньше предполагаемой по расчету. Последнее уточнение особенно важно, поскольку практика показывает, что при переходе к другому типу-размеру разрушаемого объекта картина может измениться.

Характерен ярко выраженный повторяющийся экстремум зависимости $M_{разр} = f(t)$ (строки 2, 12, 15 табл. 1). На уровне гипотезы можно предположить, что поскольку при отсутствии коллиматора истекающая струя имеет ярко выраженный пульсирующий характер, что явствует из графика на рис. 2, разрушаемый объект испытывает как бы серию повторяющихся гидроударов, которые ослабляют конструкцию и облегчают процесс проникновения струи и разрушения. Появление коллиматора снижает эту нерегулярность струи, что ведет к некоторому снижению ее разрушающей способности. Дальнейшее увеличение длины коллиматора ведет к улучшению компактности струи, увеличивает ее среднюю скорость и разрушаемая масса вновь возрастает.

Увеличение длины разгонной части L до некоторого предела также улучшает разрушающие характеристики гидропушки за счет увеличения скорости головы струи, которая, однако, резко падает по направлению к хвосту струи тем резче, чем длиннее разгонка L . Поэтому дальнейшее увеличение параметра L ухудшает разрушение.

Переход на импульсную гидрострую резко повышает разрушающую способность гидропушки по сравнению с гладкоствольным вариантом при прочих равных условиях за счет решающего вклада высокоскоростной головной части струи в процесс разрушения, поскольку хвостовая часть струи внедряется в уже явно ослабленную преграду.

Наличие затопленного пространства примерно на порядок повышает требования к энергетике струи по сравнению с воздухом.

Литература

1. Лаврентьев М.А., Шабат Б.З. Проблемы гидродинамики и их математические модели. - М.: Наука, 1973. - 416 с.
2. Атанов Г.А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород. - К.: Вища школа, 1987. - 155 с.
3. Проектирование ракетных и ствольных систем. / Под ред. Б.В.Орлова. - М.: Машиностроение, 1974. - 382 с.