

Ю. О. Гусельщикова, С. А. Вилохин, С. И. Поникаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*Ключевые слова:* поражающая способность ударной волны в зависимости от удельного импульса и среднего давления, степень контузии животных в зависимости от среднего давления взрывчатого вещества – тринитротолуола.

*Представлены результаты испытаний по исследованию ударной волны, полученной при подрывах тринитротолуола на животных. Так же представлен перерасчет параметра среднего экспериментального давления на человека.*

*Keywords:* kill ability shock wave depending on the specific impulse and medium pressure, the degree of contusion animals depending on medium pressure explosives – TNT.

*The results of tests to study the shock received during explosions trinitrotoluene animal. Just recalculate option presented experimental medium pressure on the person.*

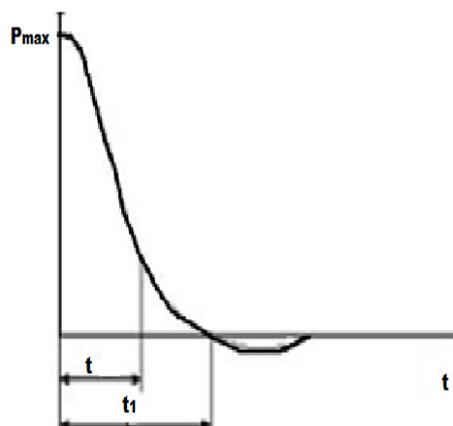
Данная статья является продолжение научной работы результаты которой были опубликованы ранее [6]. Целью настоящей работы является рассмотрение параметров вув и ее последствий.

По данным статистики мирного времени взрывы, а также вызванные ими пожары, в качестве причин катастроф техногенного характера прочно удерживают лидирующее положение. Печальной составляющей жизни большинства стран мира в течение последних двух-трех десятилетий XX-го века является терроризм, характерной особенностью которого в последние годы стало массовое применение взрывчатых устройств для осуществления крупномасштабных террористических актов. К концу XX столетия взрывные устройства стали самым распространенным оружием при совершении террористических актов по всему миру. [1,2]

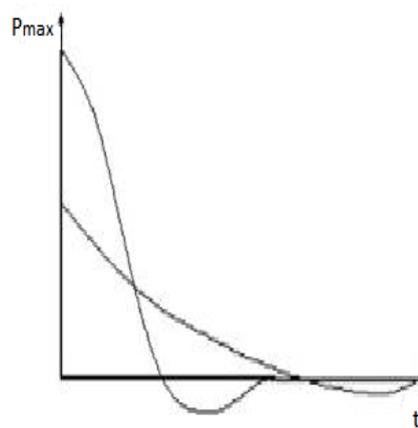
Большая часть публикаций, посвященных изучению последствий влияния воздушной ударной волны на человека, относится к обобщению опыта прошлых и современных войн. Следует отметить, что экспериментальные исследования 50-60 годов по взрывной травме касаются испытаний ядерного оружия, а физические параметры воздушной ударной волны (ВУВ) при ядерном взрыве значительно отличаются от характеристик ударной волны при взрыве обычных (конденсированных) взрывчатых веществ (ВВ). Помимо этого используемая исследователями измерительная аппаратура не позволяла обеспечить надежную и точную регистрацию параметров ВУВ вследствие значительных погрешностей измерения.

В качестве поражающих факторов ударной волны (УВ) для человека (при первичных поражениях) рассматриваются максимальное избыточное давление во фронте УВ -  $P_{max}$  и удельный импульс –  $I_{уд}$ . [1, 3, 4, 5] Если время действия ВУВ –  $t$  больше периода собственных колебаний (для человека ориентировочно принимается равным – 0,001 с), то поражение в большей степени зависит от  $P_{max}$ , если меньше то от  $I_{уд}$ . Однако анализ ударных волн показывает, что при взрыве нужно рассчитывать цели на импульсивную нагрузку, даже если формально и получается, что время действия ВУВ –  $t$  больше периода собственных колебаний. Дело в том, что  $t$  - это полное время действия ударной вол-

ны. Значимое повреждение производит не вся ударная волна, а лишь какая-то ее часть (рисунок 1-а). Время действия этой головной части ударной волны  $t_1$  обычного взрыва мало, по сравнению с полным временем действия ударной волны  $t$  и меньше периода собственных колебаний.



а



б

**Рис. 1 - Изменение давления, действующего на преграду во времени, и профили ударных волн различной интенсивности**

К сожалению, значение удельного импульса для различных степеней тяжести поражения не определены вообще, или ориентировочно установлены на основе обобщения опыта Великой отечественной войны и то только для смертельного пора-

жения. Однако значение удельного импульса, возможно, не будет в полной мере характеризовать поражающую способность ударных волн. Из физического смысла удельный импульс равен интегралу, который равен площади подынтегральной кривой. Но из рисунка 1-б видно, что профили ударных волн могут быть различны при значениях импульса, которые не будут сильно отличаться друг от друга.

Для изучения эффективных параметров УВ были проведены испытания по исследованию воздействия УВ, полученной при подрывах 5,6,11 и 23 кг ТНТ (тринитротолуола) на кроликов, собак и свиней, в которых медиками были определены степени контузии (СК). Регистрация параметров осуществлялась с использованием современного измерительного комплекса, включающего в себя: датчик давления ПД-7-1,5М, измерительный усилитель ИУ-16 и компьютер со встроенной платой АЦП L-783.

В результате обработки результатов экспериментальных исследований были получены зависимости степени контузии для трех видов животных от различных параметров ударной волны. Кроме давления и импульса было предложено проанализировать параметр  $P_{cp}$ , равный отношению импульса ко времени действия ударной волны -  $P_{cp} = I_{уд} / t$ . Анализ полученных зависимостей показал, что значение удельного импульса не может достаточно точно характеризовать поражающую способность ударных волн. При значениях удельного импульса незначительно отличающихся друг от друга, в среднем от 7% до 14%, у животных наблюдались различные степени контузии, а в некоторых случаях у более высокой СК значение  $I_{уд}$  было меньше, чем у более низкой СК. Пример для собак представлен на рисунке 2.

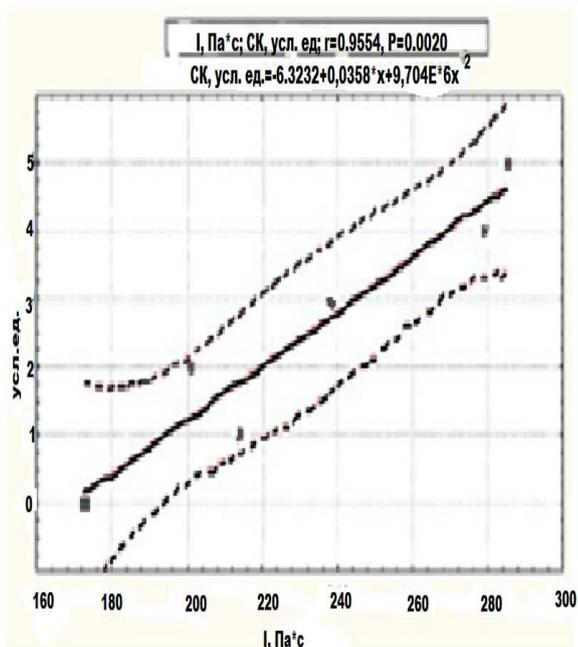


Рис. 2 - Зависимость СК от усредненных по выборкам значений удельного импульса у собак

При статистическом анализе параметров (пример анализа для собак представлен в таблице 1) видно, что предлагаемый параметр значительно уменьшает разброс экспериментальных данных и имеет значительно меньшим коэффициентом вариации. Так, относительный разброс экспериментальных данных для  $P_{max}$  больше, чем для  $P_{cp}$  в среднем по опытам для кроликов в 1,6 раза, для собак в 1,76 раза, для свиней в 1,4 раза.

Таблица 1 - Статистический анализ параметров ВУВ у собак

Параметры	Среднее значение	Дисперсия	Стандартное отклонение	Относительный разброс экспериментальных данных по:		Степень контузии
				$\Delta P_{max}$	$P_{cp}$	
$P_{max}$	70,1	495,17	22,25	0,93	0,38	0
$P_{cp}$	26,19	40,34	6,35	0,73	0,19	
$P_{max}$	106,52	1136,1	33,71	1,07	0,39	1
$P_{cp}$	35,95	80,12	8,95	0,82	0,29	
$P_{max}$	141,82	1582,1	39,78	0,87	0,22	2
$P_{cp}$	43,47	69,87	8,36	0,58	0,16	
$P_{max}$	183,07	1764,1	42	0,86	0,16	3
$P_{cp}$	51,79	64,79	8,05	0,59	0,11	
$P_{max}$	252,38	6768	82,27	0,76	0,26	4
$P_{cp}$	63,78	175,76	13,26	0,54	0,16	
$P_{max}$	268,13	1082,1	104,02	0,76	0,5	5
$P_{cp}$	65,22	211,55	14,54	0,45	0,18	

На практике, при оценке поражения людей в чрезвычайных ситуациях или террористических актах, важно оценивать вероятность получения пораженными УВ той или иной СК. Для решения задач оценки эффективности поражающего действия различных поражающих факторов по человеку, с учетом тяжести поражения, наиболее приемлемым является класс параметрических законов поражения (ПЗП). При расчетах на электронно-вычислительных машинах наиболее приемлемой аппроксимацией ПЗП человека является распределение Вейбула – Гнеденко:

$$F[z(x, y)] = 1 - \exp[-(B_{\gamma} z(x, y))^{\gamma}]$$

где  $B_{\gamma}$ ,  $\gamma$  – параметры распределения Вейбула;

$$z(x, y) = y \sqrt{\bar{y}(x)} - \text{обобщенный нормированный параметр поражающего фактора, учитывающий характеристики } x \text{ и } y;$$

$$\bar{y}(x) = y_0 \exp\left(\frac{v}{x}\right)^v - \text{среднеэффективная величина параметра поражающего фактора (} v = 0,65 \text{ для человека).}$$

$y_0$  – предельное значение среднеэффективного поражающего фактора (медианное значение распределения величин параметров воздействия, приводящих к повреждению заданной степени тяжести).

Из-за значительного уменьшения разброса экспериментальных данных было предложено моделировать ПЗП не по предельным значениям  $P_{max}$ , а по  $P_{ср}$ . В литературе большое внимание уделяется переносу данных на человека. Наиболее определяющим параметром, характеризующим сравнительную толерантность к воздействию воздушной ударной волны, является масса тела. В связи с чем были построены зависимости предельных значений среднеэффективного среднего давления -  $P_{ср}$  ВУВ и предельных значений среднеэффективного времени положительной фазы -  $t_3$ , для различных степеней тяжести травмы, от массы тела биологических объектов.

Так же был произведен пересчет другим способом. Некоторые авторы [4] считают, что произведение логарифма порога повреждаемости систем на предельное среднелетальное избыточное давление постоянно для различных видов млекопитающих:

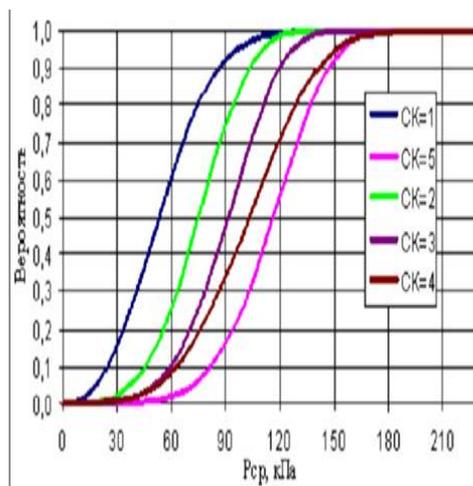
$$\lg(r_{срj}) * y_0 = const \quad (2)$$

где  $r_{срj}$  - порог мгновенной повреждаемости систем организма усл. ед.; j – вид млекопитающих.

Было сделано предположение, что не только у летальных поражений, но и у других СК это отношение будет постоянно. Результаты пересчета для человека предельного значения среднеэффективного параметра  $P_{ср}$  по двум способам представлены в таблице 2. Параметры для формирования и полученные ПЗП представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

**Таблица 2 - Результаты пересчета параметра  $P_{ср}$  для человека**

Параметры	Обозначение	Степень тяжести поражения				
		СК=1	СК=2	СК=3	СК=4	СК=5
Предельные ср. эффективные параметры	$P_{ср}$ , кПа	44,38	55,02	64,32	69,74	74,9
	$t$ , мс	3,4	3,3	3,2	3	2,8
Параметры распределения Вейбулла по данным работы	$\nu$ , дол и ед.	0,65				
	$\gamma$	2,5	3,8	4,4	5,0	5,3
	$B$	0,89	0,904	0,912	0,918	0,920



**Рис. 3 - ПЗП человека ВУВ при длительности  $t=4$  мс**

Таким образом, предлагаемый параметр более точно характеризует поражающую способность ВУВ, что позволит более точно производить оценку ее повреждающего действия. Моделирование двух параметрического закона поражения позволяет учитывать время действия ВУВ. Отход от ступенчатого закона поражения и определение вероятности получения тех или иных СК, позволит прогнозировать количество раненых при чрезвычайных ситуациях, террористических актах и т.д., что поможет более правильно планировать спасательные операции.

### Литература

- 1 Котляровский В.А. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Часть I, V, VI. Москва 1995, 2001, 2005 г. 320,416, 408с.
2. Материалы IV научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». – СПб.: НПО СМ, 2001
- 3.Александров Л.Н. О действии ударной волны на человека и животных Артил.журнал.-1957.-№35.-С.7-11
4. Richmond D.R., Bowen J.C., white C.S. Tertiary blast effects: effects of impact on mouse, rats, quinea pigs and rabbits// Eterospace Med. –1961. –V.32. –P.789-805.
- 5.Ширенко А.П., Максимов Г.К. Основы теории оценивания комплексной поражаемости личного состава, ч.1,2.- М.: МО СССР, 1978, 272 с.
- 6.Гусельщикова Ю.О., Вилохин С.А, Поникаров С.И. Исследование воздушной ударной волны. Вестник казанского технологического университета, 2013, №21, с.229-231.