

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*Ключевые слова: воздушная ударная волна, взрыв, поражающее действие волны, влияние рельефа местности.**Исследовано влияние ударной волны при различных давлениях на человека, а так же на разрушение зданий.**Изучены параметры ударной волны, определяющие ее поражающее действие.**Keywords: air blast, burst, damaging effect of the waves, the effect of the terrain.**The effect of the shock wave at different pressures on people, as well as the destruction of buildings. Studied parameters of the shock wave, which determine its lethality.*

На сегодняшний день процессы удара и взрыва лежат в основе функционирования многих изделий и технологий. Этим объясняется интерес к изучению этих процессов и актуальность выбранной темы. В настоящее время сформированы представления об основных закономерностях процессов удара и взрыва, накоплен большой объем экспериментальных данных, разработаны математические модели, отражающие многие закономерности этих процессов.

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-х 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.

Процессы удара и взрыва лежат в основе функционирования многих изделий и технологий. Ударная волна, по определению из «Большой Советской Энциклопедии», — это скачок уплотнения, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью тонкая переходная область, в которой происходит резкое увеличение плотности, давления и скорости вещества

Ударная волна в воздухе образуется за счет колоссальной энергии, выделяемой в зоне реакции, где исключительно высокая температура и давление достигает миллиардов атмосфер (до 105 млрд. Па). Раскаленные пары и газы, стремясь расшириться, производят резкий удар по окружающим слоям воздуха, сжимают и нагревают до высокой температуры. Эти слои воздуха приводят в движение последующие слои, и так сжатие и перемещение воздуха происходит от одного слоя к другому во все стороны от центра взрыва, образуя воздушную ударную волну. Расширение раскаленных газов происходит в сравнительно малых объемах, поэтому их действие на более заметных удалениях от центра ядерного взрыва исчезает и основным носителем действия взрыва

становится воздушная ударная волна. Вблизи центра взрыва скорость распространения ударной волны в несколько раз превышает скорость звука в воздухе. С увеличением расстояния от места взрыва скорость распространения волны быстро падает, а ударная волна ослабевает; на больших удалениях ударная волна переходит, по существу, в обычную акустическую волну и скорость ее распространения приближается к скорости звука в окружающей среде, т.е. к 340 м/с. Воздушная ударная волна при ядерном взрыве средней мощности проходит примерно 1000 м за 1,4 с, 2000 м -- за 4 с, 3000 м -- за 7 с, 5000 м-- за 12 с. Отсюда следует, что человек, увидев вспышку ядерного взрыва, за время до прихода ударной волны, может занять ближайшее укрытие (складку местности, канаву, кювет, простенок и т.п.) и тем самым уменьшить вероятность поражения ударной волной. Основными параметрами ударной волны, определяющими ее поражающее действие являются: - избыточное давление во фронте волны (разность между максимальным давлением во фронте ударной волны и нормальным атмосферным давлением перед этим фронтом).

Для определения зависимости избыточного давления на фронте ударной волны ΔP_{ϕ} , кПа, от расстояния R , м, до эпицентра взрыва конденсированного взрывчатого вещества используется формула М.А. Садовского для наземного взрыва при условии $1 \leq RG_{\text{тнт}}^{-1/3}$

$$\Delta P_{\phi} = 95(G_{\text{тнт}}^{-1/3}/R) + 390(G_{\text{тнт}}^{-2/3}/R^2) + 1300(G_{\text{тнт}}/R^3),$$

где $G_{\text{тнт}}$ - тротилловый эквивалент, т; - скоростной напор воздуха (динамическая нагрузка, создаваемая потоком воздуха движущимся в волне).

$$q = 1/2 \rho u^2,$$

где ρ - плотность воздуха за фронтом волны; u - скорость воздуха а фронтом ударной волны; - время действия избыточного давления.

$$= (0,85 - 0,002 \Delta P_{\phi}) \tau,$$

где τ - продолжительность фазы сжатия. В фазе сжатия ударной волны давление выше атмосферного, а в фазе разрежения - ниже. Наибольшее давление воздуха наблюдается на внешней границе фазы сжатия - во фронте волны. Одновременно с прохождением ударной волны происходит перемещение воздуха с большой скоростью. Причем в фазе сжатия воздух движется от центра взрыва, а в фазе разрежения - к центру. На распространение воздушной ударной волны и ее

разрушающее и поражающее действие существенное влияние могут оказать рельеф местности и лесные массивы в районе взрыва, а также метеоусловия. Рельеф местности может усилить или ослабить действие ударной волны. Так, на передних (обращенных в сторону взрыва) склонах возвышенностей и в лощинах, расположенных вдоль направления движения волны, давление выше, чем на равнинной местности. При крутизне склонов (угол наклона склона к горизонту) 10-15° давление на 15-35% выше, чем на равнинной местности; при крутизне склонов 15-30° давление может увеличиться в 2 раза.

Воздушная ударная волна (ВУВ), образуемая при взрыве имеет положительную, отрицательную фазы и фазу перемещения воздушной массы. Наряду с величиной избыточного давления во фронте ударной волны большое значение имеет длительность положительной фазы избыточного давления, которая, в свою очередь, зависит от массы и вида взрывчатого вещества (ВВ). Так, например, при подрывах ВВ массой 10–20 кг тротилового эквивалента – длительность положительной фазы давления не превышает 2 мс, а при массе около 1000 кг – порядка 10 мс.

Экспериментальные исследования показали, что в результате воздействия воздушной ударной волны могут поражаться любые органы, однако наиболее чувствительными к взрыву являются уши (барабанные перепонки, слуховые косточки) и лёгкие. Одним из основных механизмов повреждающего действия воздушной ударной волной являются резкие перепады давления и распространение по телу волн деформации, включая и ударные ускорения, испытываемые органами и системами органов. Повреждение легких является прямой или косвенной причиной лёгочных кровотечений и отёков, разрыва лёгких, инсульта с закупоркой воздухом, потери дыхательного запаса и т. д. К другим последствиям относятся разрыв барабанной перепонки, повреждение среднего уха, повреждение гортани, трахеи, брюшной полости, нервных окончаний, спинного мозга и различных других органов тела.

Характер и тяжесть поражения людей зависят от значений параметров ударной волны, положения человека в момент взрыва и степени его защищенности. При прочих равных условиях наиболее тяжелые поражения получают люди, находящиеся в момент прихода ударной волны вне укрытий в положении стоя. В этом случае площадь воздействия скоростного напора воздуха будет примерно в 6 раз больше, чем в положении человека лежа.

Поражения, возникающие под действием ударной волны, подразделяются на легкие, средние, тяжелые и крайне тяжелые (смертельные).

Легкие поражения возникают при избыточном давлении во фронте ударной волны $Dp_{\phi} = 20-40$ кПа ($0,2-0,4$ кгс/см²) и характеризуются легкой контузией, временной потерей слуха, ушибами и вывихами.

Средние поражения возникают при избыточном давлении во фронте ударной волны $Dp_{\phi} > 40-60$ кПа ($0,4-0,6$ кгс/см²) и характеризуются травмами мозга с потерей человеком сознания, повреждением органов слуха, кровотечениями из носа и ушей, переломами и вывихами конечностей.

Тяжелые и крайне тяжелые поражения возникают при избыточных давлениях соответственно $Dp_{\phi} > 60-100$ кПа ($0,6-1,0$ кгс/см²) и $Dp_{\phi} > 100$ кПа ($1,0$ кгс/см²) и сопровождаются травмами мозга с длительной потерей сознания, повреждением внутренних органов, тяжелыми переломами конечностей и т.д.

При воздействии воздушной ударной волны здания и сооружения могут получать полные, сильные, средние и слабые разрушения. Разрушение малоразмерных сооружений происходит в основном под действием скоростного напора воздуха. Полное разрушение характеризуется обрушиванием всех стен и перекрытий. Из обломков образуются завалы. Восстановление зданий невозможно. Сильное разрушение характеризуется обрушиванием части стен и перекрытий. В многоэтажных домах сохраняются нижние этажи. Использование и восстановление этих зданий невозможно или нецелесообразно. Среднее разрушение характеризуется разрушением главным образом встроенных элементов (внутренних перегородок, дверей, окон, крыш, печных и вентиляционных труб), появлением трещин в стенах, обрушиванием чердачных перекрытий и отдельных участков верхних этажей. Подвалы и нижние этажи пригодны для временного использования после разборки завалов над входами. Вокруг зданий завалов не образуется. Восстановление зданий возможно (капитальный ремонт).

Слабые разрушения характеризуются поломкой оконных и дверных заполнений, легких перегородок, появлением трещин в стенах верхних этажей. Восстановление возможно силами работников предприятия. Степень разрушения технологического оборудования будет зависеть только от величины ударной волны в прочных зданиях и сооружениях, а в сооружениях с низкими прочностными характеристиками состояние технологического оборудования будет зависеть от воздействия воздушной ударной волны и состояния зданий и сооружений.

Заглубленные сооружения (убежища ГО, ПРУ, подземные коммуникации) разрушаются в меньшей степени, чем наземные сооружения. Воздушная ударная волна вызывает также разрушение лесных массивов. Так, при избыточном давлении более 50 кПа лес полностью уничтожается и местность имеет такой вид словно бы на ней никогда не было никакой растительности; здесь нет ни завалов ни пожаров. При избыточном давлении от 50 до 30 кПа вырываются или ломаются около 50% деревьев, а при давлении 30-10 кПа - до 30% деревьев. Молодые деревья, кустарники устойчивее к воздействию ударной волны, чем старые.

Литература

1. Александров Л.Н. О действии ударной волны на человека и животных. Артил. журнал.-1957.-№35.-С.7-11.
2. Богач А.А. «Воздействие взрыва на здания и сооружения», интернет источник - <http://www.cae-services.ru/data/185M.pdf>.
3. Введенский Б.А. (гл. Ред.). Большая советская энциклопедия. Том 11. Большая советская энциклопедия, 648 с.
4. Зельдович Я.Б. «Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений» М.: Наука, 1966, 686 с.
5. Компанеев А.С. Ударные волны. ISBN 978-5-458-34297-1; 2012 - 92 с.
6. Матвейчук В.В. Взрывное дело (учебно-практическое пособие). Изд.: Естествознание, 2005. – 512 с.
7. Орленко Л.П., Физика взрыва и удара. Изд.: ФИЗМАТЛИТ, ISBN 978-5-9221-0891-1; 2008 г – 269с.
8. Прищепенко А.С., Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона: Учебное пособие (ГРИФ), Издательство: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 208 с.
9. Ахмадиев И.Д., Базотов В.Я., Анисимов А.Н., Бадретдинова Л.Х. Моделирование испытаний чувствительности взрывчатых веществ к ударной волне. Вестник Казанского технологического университета, 2012, №15, с 28-31.
10. Богач В.В., Гасилов В.С. Кузнецов К.М., Кузнецова Э.Э. О необходимости учета скорости распространения фронта пламени при определении избыточного давления взрыва. Вестник Казанского технологического университета, 2012, №12 с. 60-61.

© Ю. О. Гусельщикова – магистрант каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, julija_1991-18@mail.ru;
А. С. Вилохин – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, vsa73@mail.ru; С. И. Поникаров – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, mahp_kstu@mail.ru.