

УДК 544.454.:614.8.06

ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА

Иваницкий А.Г., к.т.н., доцент, Петрико Е.А.
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: petriko_lena@mail.ru

Приведен сравнительный анализ существующих зависимостей по оценке воздействия избыточного давления взрыва на организм человека, в результате чего установлено, что полученные при расчете значения вероятностей имеют значительные различия. Представлен обзор экспериментальных исследований по определению последствий воздействия избыточного давления взрыва на организм человека. Предложена методика экспериментального определения вероятности повреждения организма человека при взрыве топливовоздушной смеси.

The comparative analysis of existing dependences is provided according to impact of explosion overpressure on a person therefore it is established that the values of probabilities received at calculation have considerable distinctions. The review of experimental research is presented in range of definition of impact of explosion overpressure on a person. The method of carrying out of experimental research for definition of impact of explosion overpressure on a person is presented.

(Поступила в редакцию 26 декабря 2013 г.)

Анализ количества и последствий взрывов топливовоздушных смесей (ТВС) [1] свидетельствуют об актуальности обеспечения безопасности людей при взрывах и необходимости рассмотрения параметров воздействия опасных факторов взрыва (ОФВ) на человека.

Результаты расчета пробит-функций для оценки воздействия избыточного давления взрыва на организм человека, приведенные в различных литературных источниках и технических нормативных правовых актах, представлены на рис. 1. Приведенные значения вероятностей поражения имеют весьма существенные различия [1].

Для установления возможности использования соответствующих пробит-функций при определении вероятности поражения человека избыточным давлением взрыва необходимо проведение экспериментальных исследований, при которых следует установить основные параметры, определяющие вероятность и характер поражения человека при взрыве ТВС.

В литературных источниках приведены сведения по определению вероятности повреждения человека при взрыве, которые получены в результате изучения характера и последствий воздействия ОФВ при подрыве ТВС и взрывчатых веществ, на организм крыс, кроликов, свиней, собак, находящихся как на открытом пространстве, так и в замкнутом помещении, с последующей экстраполяцией результатов на человека [5].

В качестве подопытных животных выбирались, главным образом, свиньи массой 60 кг [6]. Основанием такого выбора является сопоставимость свиньи по массе и ряду других параметров (строению внутренних органов, морфофункциональным особенностям и др.) со взрослым человеком. Порядок проведения экспериментов был следующим. Для фиксации избыточного давления во фронте ударной волны на подопытных животных устанавливали сферические пьезоэлектрические датчики давления. Перед экспериментом животное погружалось в наркоз. Контролем уровня наркоза служило торможение глазодвигательных и зрачковых рефлексов, снижение тонуса скелетных мышц. Животное располагали лицевой

стороной к заряду на расстоянии 3 м от подрыва заряда взрывчатого вещества. Из укрытия с помощью дистанционного пульта производили подрыв заряда. После действия воздушной ударной волны фиксировали: избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, характер и объем повреждений подопытного животного, определяли степень тяжести травмы. На рис. 2 представлен внешний вид полигона для проведения вышеописанных экспериментальных исследований. По полученным данным анализировались наружные повреждения кожи, подкожной клетчатки, ребер и мышц, состояние органов грудной и брюшной полостей, содержимое полостей, обширность и выраженность повреждений груди и живота.

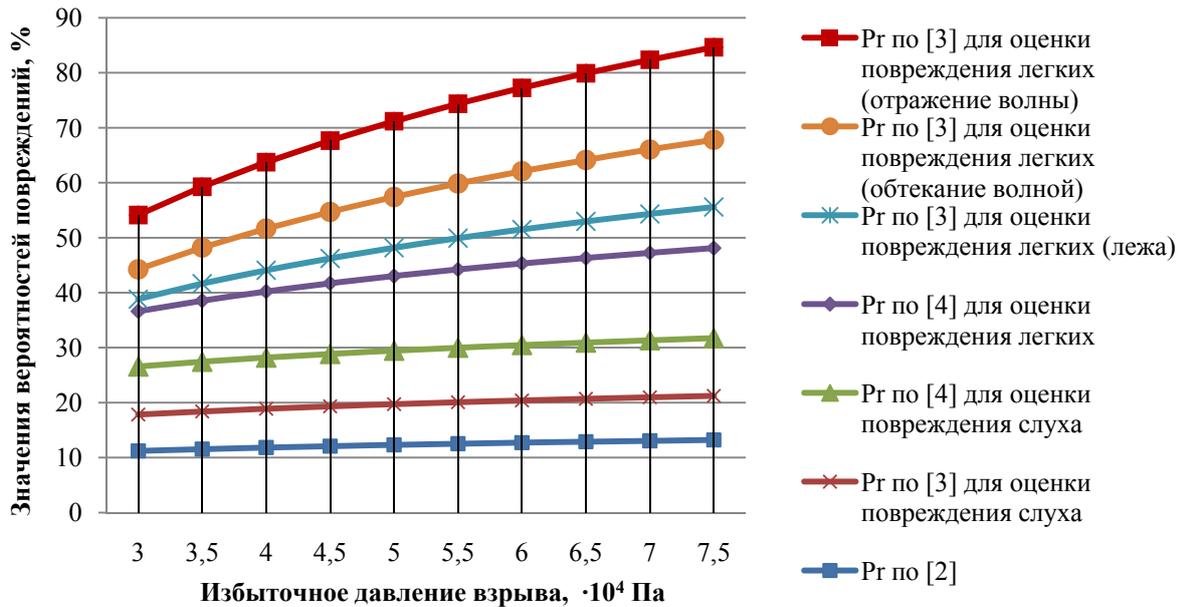


Рисунок 1 – Результаты расчета значений пробит-функций, приведенные в литературных источниках [3, 4], и значения пробит-функции, приведенной в ТКП 474-2013 [2]



Рисунок 2 – Внешний вид полигона для проведения экспериментальных исследований [6]

Проводились также опыты с морскими свинками, которые помещались в окоп размерами 7×20×20 см (рис. 3) [4]. При проведении данных экспериментов определены значения избыточного давления взрыва в различных точках установки и полученные животными травмы. Избыточное давление создавалось путем подрыва бризантного взрывчатого вещества. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4.

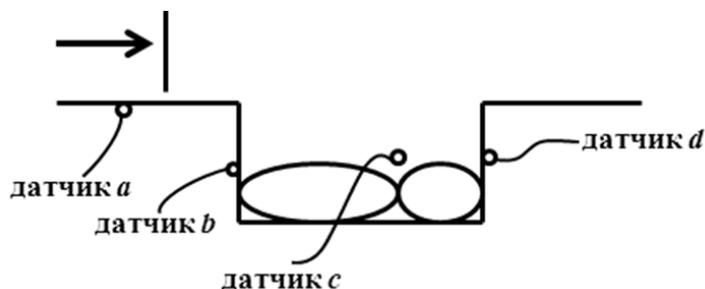


Рисунок 3 – Схема размещения подопытного животного в окопе

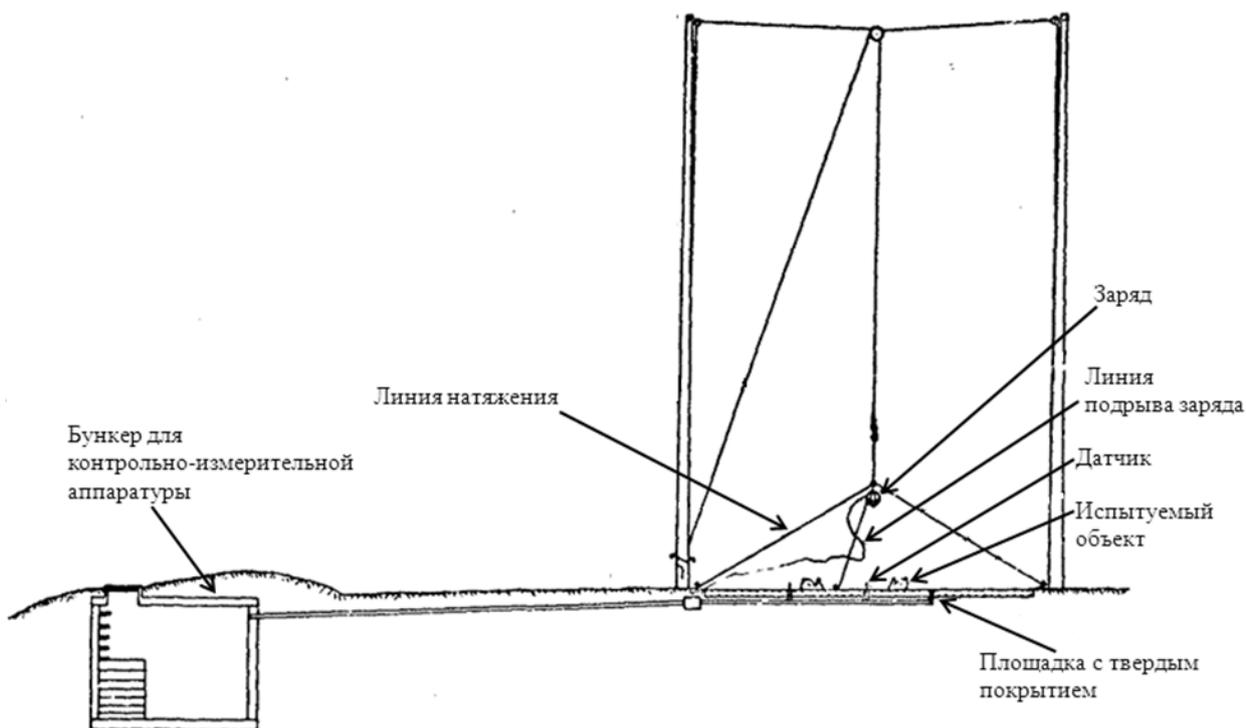


Рисунок 4 – Схема проведения эксперимента при размещении подопытного животного в окопе

По результатам обработки экспериментальных данных воздействия параметров ударной волны ядерного взрыва, последствий аварийных взрывов ТВС, взрывчатых веществ [7], а также воздействия на животных волны избыточного давления при расширении воздуха в ударной трубе получены зависимости (пробит-функции), учитывающие как воздействие волны избыточного давления взрыва, так и воздействие осколков и обломков, а также возможное разрушение зданий и перемещение тела человека в пространстве. При этом разделялось воздействие в ограниченном и неограниченном пространстве, а также учитывалось местоположение человека относительно жестких преград, от которых возможно

отражение волны избыточного давления взрыва и удар человека при перемещении волной в пространстве.

Необходимо отметить, что значения условной вероятности повреждения человека избыточным давлением взрыва, полученные при использовании зависимостей, основанных на экспериментальных данных, имеют весьма значительные расхождения со значением условной вероятности, определенной по методике, представленной в [2]. В связи с этим возникают затруднения в адекватной оценке распределения риска на территории пожаровзрывоопасных объектов и населенных пунктов.

Анализ вышеописанных методик проведения экспериментальных исследований по действию избыточного давления взрыва на организм человека показал, что полученные данные недостаточно достоверны. Во-первых, необходимо иметь в виду, что организм человека значительно отличается от организма подопытного животного. Во-вторых, экспериментальные исследования проводились путем подрыва взрывчатых веществ, в результате чего на объект исследования воздействовала ударная волна, характеристики которой отличаются от характеристик волны избыточного давления взрыва, образующейся, как правило, при взрыве ТВС.

С другой стороны, в результате использования датчиков давления в различных местах экспериментальной установки получена информация о величине избыточного давления в различные моменты прохождения волны.

Из вышеизложенного следует необходимость проведения натурных испытаний, при которых будут фиксироваться основные параметры, определяющие вероятность и характер поражения человека при взрыве ТВС: избыточное давление взрыва, импульс волны давления, перемещение тела человека в пространстве.

Проведение таких исследований предполагает создание экспериментальной установки, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- проводить испытания с использованием манекенов с различными геометрическими размерами, моделируя воздействие избыточного давления взрыва на людей различной комплекции;
- обеспечивать своевременную подачу и контроль количества горючего газа, применяемого при создании газозвдушной смеси;
- обеспечивать регистрацию избыточного давления, возникающие перемещения манекена, его относительные деформации и изменение скорости перемещения;
- обеспечивать безопасность персонала, участвующего в испытаниях.

Так как на первоначальном этапе экспериментальных исследований рассматривается воздействие избыточного давления взрыва на организм человека в открытом пространстве, объект испытания (манекен) должен устанавливаться вне пределов испытательной установки, служащей для создания избыточного давления взрыва. Для этого в одной из вертикальных ограждающих конструкций предусматривается проем, напротив которого будет устанавливаться манекен. Для создания избыточного давления проем необходимо закрыть легкоразрушающимся материалом. В случае необходимости создания замкнутого объема предусматривается возможность установки в проеме строительной конструкции, выдерживающей необходимое избыточное давление.

Подачу и контроль расхода горючего газа предполагается осуществлять следующим образом: в установку подается пропан-бутановая смесь, контроль расхода которой осуществляется с помощью счетчика газа для создания газозвдушной смеси требуемой концентрации. Воспламенение смеси обеспечивается дистанционно при помощи электрической зажигалки.

Для измерения избыточного давления взрыва в установке должен использоваться пьезоэлектрический датчик давления. Регистрация сигнала, получаемого с преобразователя

давления, осуществляется при помощи двухканального цифрового запоминающего осциллографа, сопряженного с персональной электронно-вычислительной машиной.

Безопасность персонала, проводящего испытания, обеспечивается установкой предохранительных мембран и подбором соответствующих строительных конструкций. Кроме того, необходимо обеспечить отсутствие обслуживающего персонала в радиусе до 50 м от установки.

Схема конструкции предлагаемой экспериментальной установки для определения воздействия избыточного давления взрыва ТВС на человека приведена на рис. 5. В качестве материала ограждающих конструкций выбран железобетон. Экспериментальную установку предлагается выполнить в виде монолитного железобетонного короба.

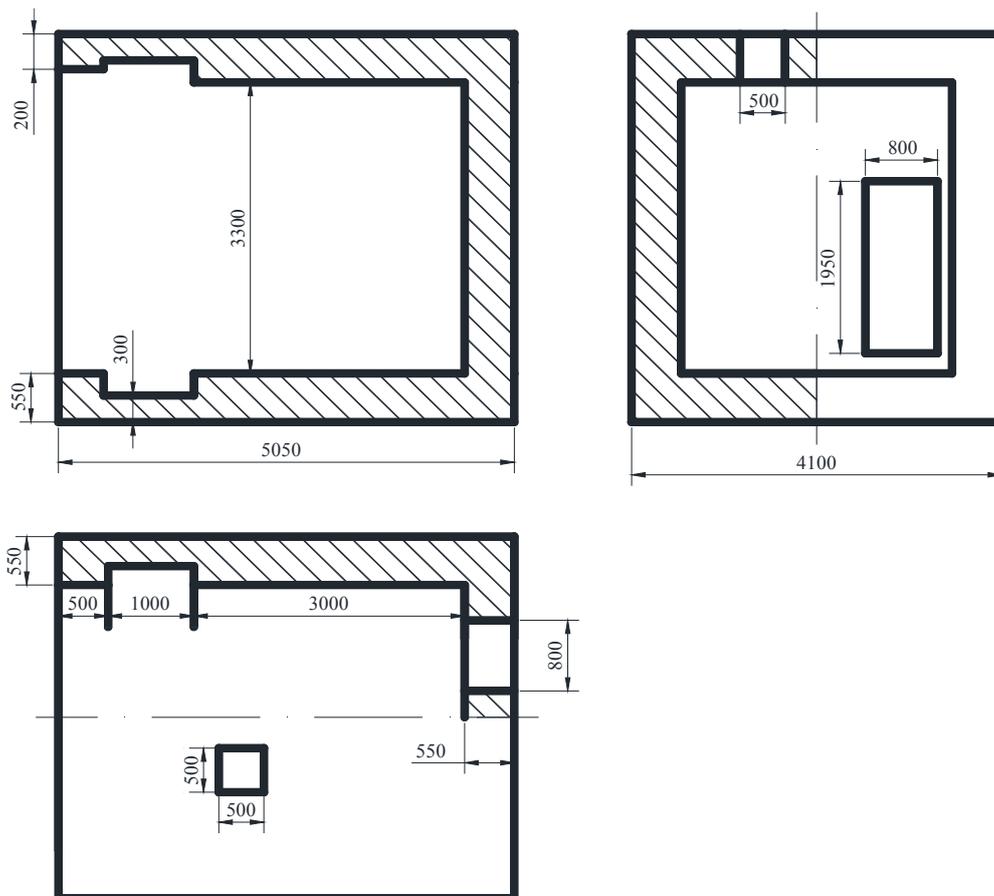


Рисунок 5 – Схема предлагаемой экспериментальной установки, для определения последствий воздействия избыточного давления взрыва на организм человека (вид сверху и сбоку в разрезе)

Для определения аэродинамических характеристик воздействия взрыва (перемещения тела человека как целого) необходимо создать манекен с использованием баллистического желе, изготовленного из желатина с прочностью не менее 200 по шкале Блума [8]. Применение баллистического желе связано с тем, что этот материал имеет аэродинамические характеристики и сопротивление проникновению в него твердых предметов (осколков, обломков), схожие с характеристиками тканей человека. Такой манекен позволит, в частности, определить вероятность разрыва барабанной перепонки при известных параметрах взрывной волны.

До проведения эксперимента необходимо изготовить контрольные образцы желе и испытать их на сопротивление проникновению в лабораторных условиях при различной температуре.

Необходимо отметить, что при определении вероятности поражения организма человека при взрыве особое внимание следует уделить чувствительному к избыточному давлению органу – легким. Механизм повреждения легких при взрыве заключается во внезапной мощной компрессии легкого, закрытого в пространстве грудной клетки. Ребра при этом выполняют роль рычагов, которые ударяют по поверхности легкого или образуют жесткую подкладку для сдавливаемого легкого на противоположной стороне.

В связи с этим для определения вероятности повреждения легких при взрыве предлагается создать жесткую систему. Искусственное подавление механических колебаний предполагается осуществлять за счет увеличения затухания, для чего на системе необходимо установить демпферы.

Таким образом, предлагаемая нами методика проведения экспериментальных исследований позволит провести оценку воздействия избыточного давления взрыва ТВС на организм человека. Следовательно, появится возможность определить допустимость использования зависимостей, приведенных в литературных источниках и технических нормативных правовых актах. В целом, проведение предлагаемых экспериментов позволит разработать методологические основы по оценке индивидуального риска при воздействии избыточного давления взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иваницкий, А.Г. Проблемы определения вероятности поражения человека избыточным давлением взрыва / А.Г.Иваницкий, Миканович А.С., Петрико Е.А.// Вестник Командно-инженерного института, Минск, 2012. – 6 с.
2. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-2013(02300). – Введ. 29.01.13. – Минск: Научно-иссл. ин-т пожарной безопасности и проблем чрезвычайн. ситуаций, 2013. – 56 с.
3. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. CPR 16E. – Committee for the Prevention of Disaster caused by dangerous substances. The Hague: Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, 1992. – 337 p.
4. Lee's loss prevention in the process industries / edit. S. Mannan. – Elsevier Inc., 2005. – 223 p.
5. Horst, van der, M.J. Injury Assessment for Blast Overpressure Effects / M.J. van der Horst, J.R. van Deursen, - TNO DV2 A239 report. TNO Defence, Security and Safety, Rijswijk, The Netherlands, 2005.
6. Сильников, М. Воздушный удар. Повреждения воздушной ударной волной./ М. Сильников, М. Тюрин // Журнал «Калашников» [Электронный ресурс]. – 2000. – № 5. – Режим доступа : <http://www.sinopa.ee/sor/bp001/bp01raz/04raz/bp004.htm> – Дата доступа: 15.09.2013.
7. Explosion and Blast-Related Injuries: Effects of Explosion and Blast From Military Operations and Acts of Terrorism / edit. N.M. Elsayed, J. Atkins. – Elsevier Inc., 2008. – 380 p.
8. Nicholas, N.C. Ballistic Gelatin: INLDT Report [Electronic resource] / N.C. Nicholas, J.R. Welsch. – Penn State Applied Research Laboratory, 2004. – Mode of access: <http://www.firearmsid.com/Gelatin/Ballistic%20Gelatin%20Report.pdf>. – Date of access: 20.07.2013.