

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВЗРЫВА

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

e-mail: A.Ivanitski@gmail.com

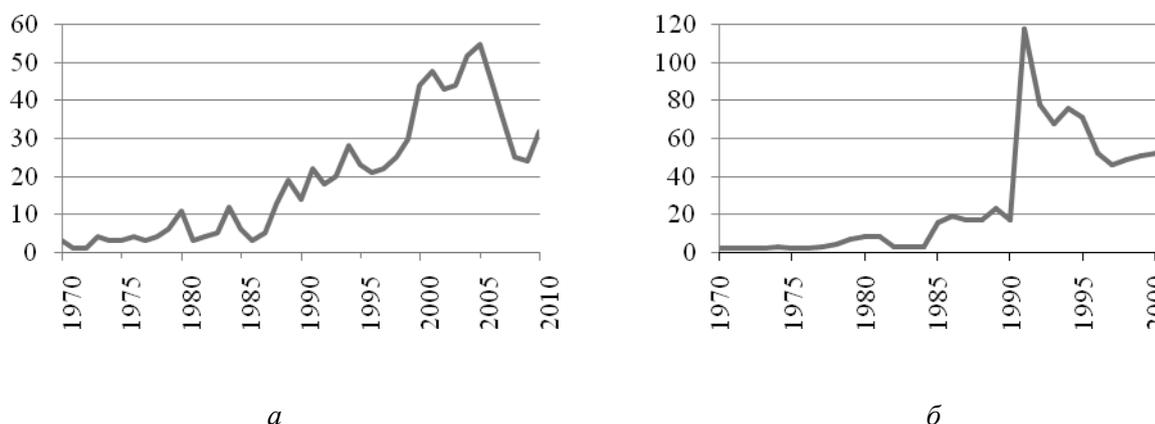
В статье представлен обзор обстановки со взрывами на промышленных и гражданских объектах. Проведен критический анализ нормативной методике определения условной вероятности поражения человека избыточным давлением взрыва. Определены направления дальнейших исследований.

The article presents an overview of the situation with the explosions in industrial and civil objects. Critical analysis of regulatory methodology for determining the conditional probability of people injury by overpressure of the explosion. The directions for further research defined.

(Поступила в редакцию 12 октября 2011 г.)

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает статистика, такое явление, как взрыв, происходит довольно часто и приводит к серьезным последствиям, которые связаны с травмированием или гибелью людей, разрушением зданий, строительных конструкций и технологического оборудования. Анализ количества и последствий взрывов (рис. 1, 2) демонстрирует увеличение ежегодного количества происходящих взрывов с 70-х годов XX века, что связано с развитием технологий и объемов производства перерабатывающих отраслей промышленности.



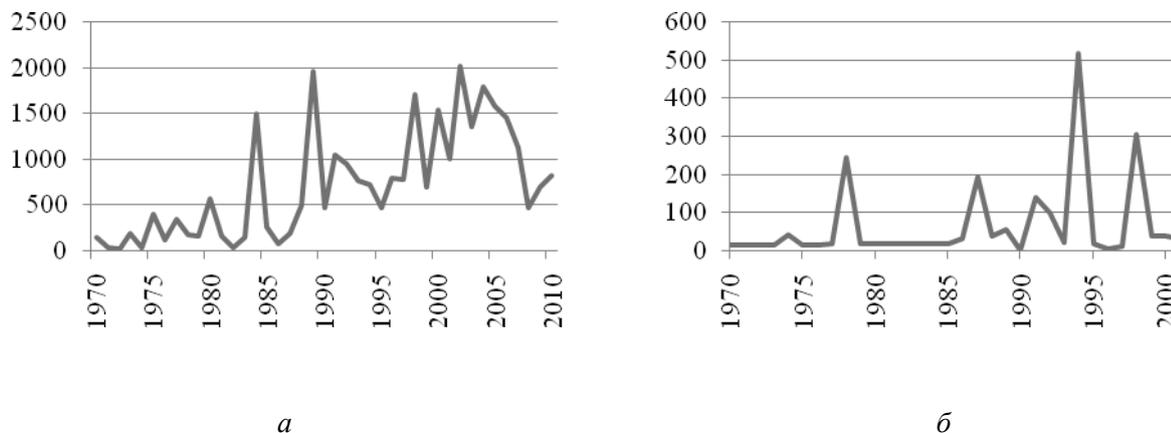
a – общее количество крупных взрывов (>10 погибших или >100 пострадавших);
б – общее количество взрывов топливовоздушных смесей (ТВС)

Рисунок 1 – Распределение количества взрывов по годам

Поражение людей при взрывах происходило как непосредственно опасными факторами взрыва, так и последующим воздействием опасных веществ. Как показал анализ публикаций, взрывы наиболее часто происходят в перерабатывающих отраслях промышленности.

По данным Республиканского центра управления и реагирования в чрезвычайных ситуациях МЧС Республики Беларусь на территории страны находится более 1000 производственных объектов, на которых возможно образование взрывоопасных смесей, при этом более чем на 300 объектах образование возможно в замкнутом объеме. Анализ количества

и последствий взрывов ТВС в мире и данные о количестве пожаровзрывоопасных объектов на территории Республики Беларусь свидетельствуют о сохраняющейся актуальности обеспечения безопасности людей при взрывах.



а – общее количество крупных взрывов (> 10 погибших или > 100 пострадавших);
б – количество взрывов ТВС

Рисунок 2 – Распределение количества погибших от взрывов по годам

Результаты изучения литературных источников, статистических данных в Республике Беларусь и за рубежом [2–10] показали, что при авариях на пожаровзрывоопасных объектах происходили взрывы около 80 наименований химических веществ и соединений, наиболее распространенными из которых являлись природный газ, смесь пропан-бутан, пары бензина, аммиак, древесная и зерновая пыль. В соответствии с положениями [11] основными опасными факторами взрыва являются:

- ударная волна, во фронте которой давление превышает допустимое значение;
- пламя;
- обрушивающиеся конструкции, оборудование, коммуникации, здания и сооружения и их разлетающиеся части.

Опасные факторы взрыва воздействуют на людей, здания, сооружения и производственное оборудование, приводя к их поражению и повреждению. В соответствии с формулами (59), (60) [12] условная вероятность поражения человека избыточным давлением взрыва при сгорании ТВС на заданном расстоянии от места взрыва зависит от величины пробит-функции:

$$Pr = 5 - 0,26 \ln V, \quad (1)$$

где Pr – пробит-функция,

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3}, \quad (2)$$

ΔP – избыточное давление взрыва, Па;

i – импульс волны давления, Па·с.

Анализ нормативных документов показал, что указанная методика была заимствована при разработке [12] из [13]. Вместе с тем, при изучении литературных источников установлено, что зависимость (1) относится к определению вероятности нанесения жилым и общественным зданиям высотой до 4 этажей незначительных (характеризуются разрушением оконного остекления, повреждением кровли, смещением заполнений оконных и дверных проемов) и серьезных

(в дополнение к незначительным происходит растрескивание и обрушение некоторых стен) повреждений [14, 15]. Зависимость (2) относится к определению значения импульса волны давления взрыва для серьезных повреждений вышеуказанных зданий [14]. Формулы (1) и (2) получены путем аппроксимации данных о последствиях взрывов из литературных источников [16, 17].

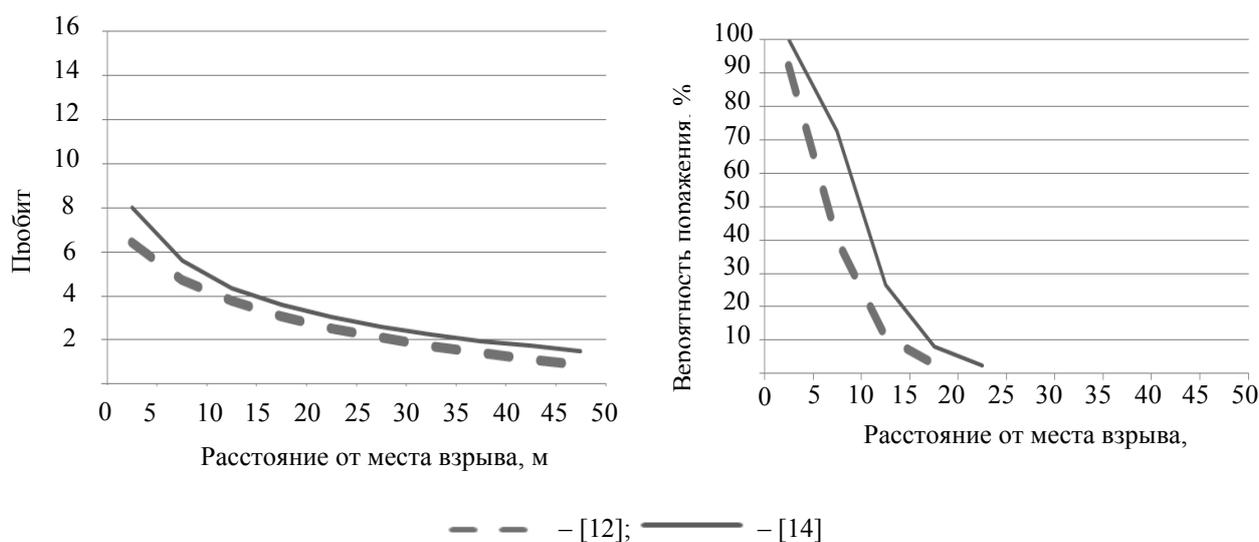
Вместе с тем, воздействие взрыва на человека является более комплексным явлением. Тело человека способно легко адаптироваться к изменению давления в широком диапазоне. Если давление изменяется постепенно, то его действие компенсируется изменением давления в органах, содержащих воздух. Если давление изменяется быстро, увеличивается разность давлений, что может привести к повреждению этих органов.

С учетом перечня приведенных факторов при оценке вероятности поражения человека опасными факторами взрыва необходимо рассматривать результаты воздействий волны избыточного давления, осколков и обломков, возможное разрушение зданий и перемещение тела человека в пространстве. При этом необходимо разделять воздействие в ограниченном и неограниченном пространстве, а также учитывать местоположение человека относительно жестких преград, от которых возможно отражение волны избыточного давления взрыва и удар человека при перемещении волной в пространстве. В настоящее время в литературе встречаются зависимости для определения вероятности:

- смерти вследствие повреждения легких;
- повреждения слуха вследствие разрыва барабанной перепонки;
- смертельного травмирования людей осколками и обломками;
- смертельного травмирования людей при ударе о жесткую преграду при перемещении тела как целого;
- смертельного травмирования людей при нахождении в разрушающемся здании.

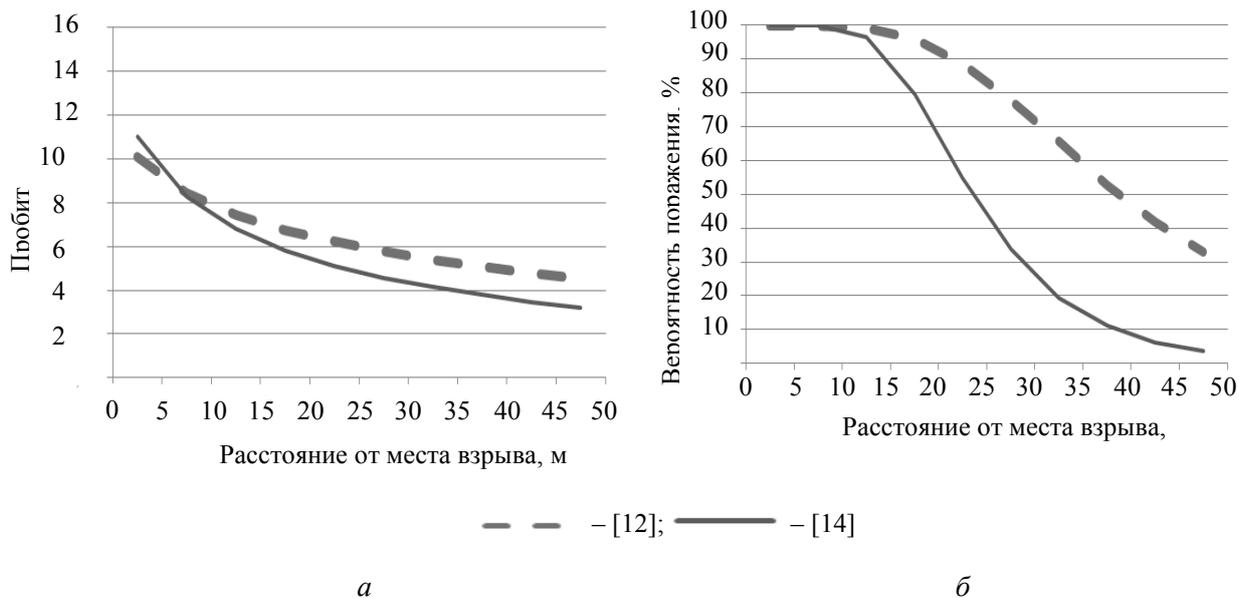
Эти зависимости получены по результатам обработки экспериментальных данных воздействия параметров ударной волны ядерного взрыва, последствий аварийных взрывов ТВС, взрывчатых веществ [3], а также воздействия на животных волны избыточного давления при расширении воздуха в ударной трубе с интерполяцией результатов на млекопитающее массой 70 кг [18, 19]. Эксперименты проводились для профилей изменения избыточного давления, характерных как для взрыва конденсированных взрывчатых веществ (воздушная ударная волна), так и для взрыва ТВС (волна избыточного давления).

На рис. 3–5 приведены сравнительные результаты расчета условной вероятности поражения человека избыточным давлением при взрыве различного количества пропана.



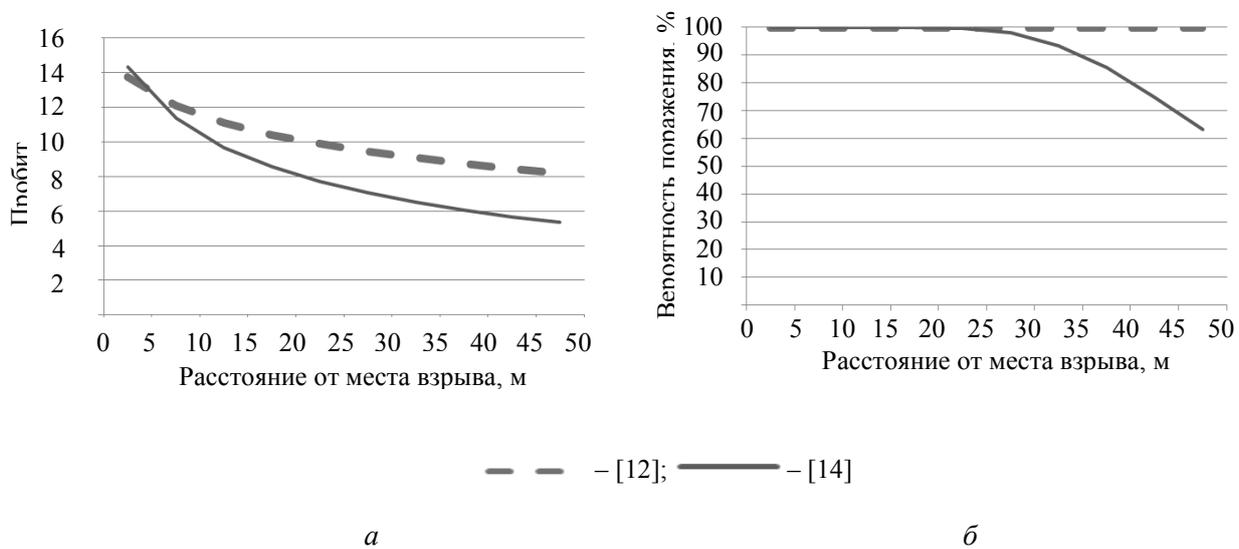
a – величина пробит-функции; *b* – вероятность поражения (разрыва барабанных перепонок)

Рисунок 3 – Взрыв 100 кг пропана



a – величина пробит-функции; *б* – вероятность поражения (разрыва барабанных перепонок)

Рисунок 4 – Взрыв 1000 кг пропана



a – величина пробит-функции; *б* – вероятность поражения (разрыва барабанных перепонок)

Рисунок 5 – Взрыв 10 000 кг пропана

В результате расчета условной вероятности поражения человека по [12] установлено, что приведенное в [12] выражение для нахождения значения пробит-функции наиболее близко к описанию возможных последствий, характеризующихся вероятностью разрыва барабанных перепонок (формула (12), разд. 3.2.2 [14], формула (17.38.2) [20]):

$$Pr = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P. \quad (3)$$

Качественный анализ результатов расчета показал расхождение вероятностей поражения, определенных при прочих равных исходных данных, от 1,3 до 9 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в [12] зависимости не учитывают требований ГОСТ 12.1.010, характерны для описания повреждения зданий и не отражают вероятность поражения людей, находящихся внутри и снаружи зданий при взрывах ТВС. Таким образом, возникает необходимость изучения действия на организм человека опасных фактов взрыва и включения полученных результатов в требования нормативных документов для правильной оценки уровня опасности для людей с точки зрения определения условной вероятности их поражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Disaster list [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.emdat.be/disaster-list>. – Date of access: 08.10.2011.
2. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. – American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, 1994. – 394 p.
3. 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.
4. Bangash, M.Y.H. Explosion-Resistant Buildings Design, Analysis, and Case Studies / M.Y.H. Bangash, T. Bangash. – Springer, 2006. – 784 p.
5. Dust Explosion Prevention and Protection. A Practical Guide / edit. J. Barton. – Gulf Professional Publishing, 2002. – 352 p.
6. Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires. – American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, 1996. – 189 p.
7. Assael, M.J. Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions. Effects Calculation and Risk Analysis / M.J. Assael, K.E. Kakosimos. – CRC Press London, New York, 2010.
8. The 100 Largest Losses 1972-2001. Large Property Damage Losses in the Hydrocarbon-Chemical Industries. – A Publication of Marsh's Risk Consulting Practice: 20th Edition, 2003 – 56 p.
9. List of Accidents and Disasters by Death Toll [Electronic resource]. – Mode of access: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accidents_and_disasters_by_death_toll – Date of access: 11-13.07.2011.
10. Bjerketvedt, D. Gas explosion handbook / D. Bjerketvedt, J.R. Bakke, K. Wingerden. – GexCon. – 148 p.
11. Взрывобезопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.010-76. – Введ. 01.01.78. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1991. – 7 с.
12. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : НПБ 5-2005. – Введ. 01.07.06. – Минск : Научно-иссл. ин-т пожарной безопасности и проблем чрезвычайн. ситуаций, 2006. – 42 с.
13. Определение категорий наружных установок по пожарной безопасности : НПБ 107-95 : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fireman.ru/bd/npb/107/107.html>. – Дата доступа : 08.10.2011.
14. 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.
15. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. РД 03-409-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.safeprom.ru/counter/redirect.php?dlid=114&ENGINEsessID=09d460a50db13e583942fd85fc148e9e>. – Дата доступа: 08.10.2011.
16. Giesbrecht, H. Analysis of explosion hazard on spontaneous release of inflammable gases into the atmosphere / H. Giesbrecht et.al. // Ger. Chemical Engineer. – 1981. – № 4.
17. Jarett, D.E. Derivation of the British explosives safety distances / D.E. Jarett. – Annuals of the

New York Academy of Sciences. – 1968. – Vol. 152.

18. White, C.S. The biodynamics of air blast / C.S. White, R.K. Jones, G.E. Damon. – Lovelace Foundation for Medical Education and Research, Albuquerque, NM, 1971.

19. Richmond, D.R. Biological effects of blast and shock. Technical Progress Report / D.R. Richmond, C.S. White. – Lovelace Foundation for Medical Education and Research Albuquerque, New Mexico, 1966.

20. Lee's loss prevention in the process industries / edit. S. Mannan. – Elsevier Inc., 2005.