

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПОЖАРНОЙ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

**БЕЗОПАСНОСТЬ
В ТЕХНОСФЕРЕ**

Сборник статей

Выпуск 14



Ижевск
2021

УДК 351.86(063)

ББК 68.9я43

Б 40

Рекомендовано к изданию
редакционно-издательским советом УдГУ

Научный редактор: д.т.н., проф. В. М. Колодкин

Председатель организационного комитета:

Президент международной ассоциации специалистов пожарной,
промышленной и экологической безопасности, доктор технических
наук, профессор А. Б. Сивенков

Б 40 **Безопасность в техносфере:** сборник статей / науч.
ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Издательский центр
«Удмуртский университет», 2021. – 106 с.

ISBN 978-5-4312-0910-9

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на XIV Международной конференции «Безопасность в техносфере». Главная тема конференции – Цифровая трансформация систем обеспечения безопасности.

Рассмотрены вопросы интеграции цифровых систем, таких как системы пожарно-охранной сигнализации, системы контроля и управления доступом, системы охранного телевидения и т.д.

Выделен раздел по технологии распределенного реестра. Интерес к этой технологии обусловлен поиском области применения технологии распределенного реестра к проблемам обеспечения безопасности.

В статьях раскрываются принципы организации цифровых систем, вопросы создания математического, алгоритмического и программного обеспечения. Содержание статей дает системное представление о современных проблемах безопасности в техносфере, в том числе, – пожарной безопасности, и способах их решения.

ISBN 978-5-4312-0910-9 УДК 351.86(063)
ББК 68.9я43

© Международная ассоциация специалистов
пожарной, промышленной и экологической
безопасности, 2021

© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный
университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.Б. Сивенков</i>	
О создании международной ассоциации специалистов пожарной, промышленной и экологической безопасности	5
I Цифровая трансформация систем обеспечения безопасности	12
<i>В.М. Колодкин, С.М. Копелев</i>	
Направления модернизации технических средств системы обеспечения безопасности общественных зданий . .	13
<i>А.О. Степанов</i>	
Покрытие сложного площадного маршрута беспилотным воздушным судном	17
<i>А.Н. Александрович</i>	
Концептуальное использование технологий промышленного Интернета Вещей для оценки рисков на предприятиях	23
<i>Б.В. Чирков, Д.Н. Чернов</i>	
Создание цифровой модели здания в Inkscape	32
<i>А.Д. Шажиров</i>	
Система сбора данных с аналоговых узлов через линию питания постоянного тока	37
II Техносферная безопасность	46
<i>С.М. Копелев</i>	
Применение домофонных систем для оповещения и информирования населения	47
<i>В.М. Колодкин, А.В. Радикова</i>	
Оценка последствий террористического акта на объекте топливно-энергетического комплекса	57
<i>Д.М. Варламова, М.Э. Галиуллин</i>	
Веб-приложение по расчету категорий помещений по пожарной опасности	65
<i>А.В. Михайлова, Б.В. Чирков</i>	
Разработка комплекса программ для автоматизации работы с CFAST	69
<i>О.А. Мокроусова, А.Ю. Моисеенко</i>	
Требования пожарной безопасности при проектировании и строительстве высотных зданий	75
<i>Д.Т. Хынг, А.Я. Васин, А.Н. Шушпанов, Г.Г. Гаджиев</i>	
Термическое разложение теризидона	80

III Технологии распределенного реестра в обеспечении безопасности	87
<i>И.А. Берман, В.Н. Манаенко, С.Н. Лоншаков, А.А. Капитонов</i>	
Мониторинг окружающей среды с помощью датчиков автономных морских судов и технологии распределенного реестра	88
<i>Д.В. Варламов, М.Э. Галиуллин, П.Г. Огородников, Б.В. Чирков</i>	
Токенизация активов в публичном блокчейне на примере баллов лояльности	99

УДК 614.841

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО АКТА НА ОБЪЕКТЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.М. Колодкин, А.В. Радикова

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: kolodkin@rintd.ru, anna.radikova.ar@gmail.com

Статья посвящена оценке последствий взрыва конденсированного взрывчатого вещества в результате террористического акта на объекте топливно-энергетического комплекса – котельной. Приведены результаты расчетов зон поражения персонала объекта и социальных потерь в результате акта незаконного вмешательства.

Ключевые слова: объект топливно-энергетического комплекса, котельная, террористический акт на котельной, взрыв конденсированного взрывчатого вещества

Введение

Обеспечение безопасности объектов топливно-энергетического комплекса – одна из наиболее приоритетных задач в области техносферной безопасности РФ. Это обусловлено значительными социально-экономическими последствиями аварий на таких объектах, в том числе нарушением жизнедеятельности населения.

С целью предупреждения возникновения неблагоприятных событий, обеспечения устойчивого и безопасного функционирования таких объектов разрабатывается паспорт безопасности объекта топливно-энергетического комплекса [1] – документ, содержащий информацию об обеспечении антитеррористической защищенности объекта топливно-энергетического комплекса и план мероприятий по обеспечению антитеррористической защищенности объекта. В нем отражаются характеристика объекта, прогнозируемые последствия актов незаконного вмешательства, инженерно-технические средства и меры по обеспечению безопасности и другие сведения.

Основная часть

Как правило, режим работы промышленной котельной – круглосуточный, опасное вещество – природный газ, корпус здания котельной выполнен из кирпича с толщиной стен

500 мм, водогрейные и паровые котлы железобетонной сборки функционируют за счет сжигания газа, усредненное значение наибольшей работающей смены котельной – 10 человек (мастера, операторы, слесари).

Выход из строя котельных может быть обусловлен следующими факторами:

- 1) Наличие на объекте воспламеняющегося газа под давлением создает опасность выброса опасного вещества при аварийной разгерметизации газопровода.
- 2) Использование оборудования с дефектами или старого оборудования может привести к разгерметизации оборудования, которое приведет к возникновению и развитию аварий.
- 3) Наличие в котельной процессов выработки пара, при котором возможно разрушение котла с дальнейшей утечкой газа.

Возможные причины аварий в котельной:

- Ошибки персонала при ведении технологического процесса (ошибки при строительстве, несвоевременное проведение диагностики и ремонта).
- Превышение давления в трубопроводе сверхдопустимого.
- Отказы трубопроводов, арматуры и разъемных соединений из-за дефектов изготовления, механических повреждений, коррозии.
- Механическое разрушение газопровода при строительных работах.
- Террористическое вмешательство, вандализм, преднамеренные действия.
- Экстремальные природные воздействия: бури, ураганы, град, ливни, сильные длительные морозы.

Рассматривая террористический акт, полагаем, что модель нарушителя – одиночный нарушитель. В этом случае наиболее вероятный сценарий незаконного вмешательства – взрыв 10 кг ВВ в тротиловом эквиваленте на территории котельной. Вариантов размещения ВВ в здании котельной много, но наиболее неблагоприятные последствия взрыва наступят при размещении ВВ внутри помещения котельной в центре котельного зала.

Действительно, при этом достигается максимальная площадь разрушения здания. Такое расположение объясняется тем, что взрыв в указанном месте приведет к разрушению здания, оборудования и гибели людей. Последствия взрыва 10 кг ВВ в

тротиловом эквиваленте превосходят последствия последующего горения газо-воздушной смеси (факельное горение), поэтому в оценку последствий несанкционированных действий последствия факельного горения не включены.

Если рассматриваются последствия взрыва конденсированного ВВ, то очевидно, что приемлемая для практики точность расчетов, обеспечивается применением автомодельного решения задачи распространения ударной волны в среде с противодавлением в приближении Садовского М.А. [2]. Для математического описания процесса распространения ударной волны в атмосфере при взрыве используем модель точечного взрыва. Взрыв происходит на плоской поверхности раздела между газом (воздухом) и деформируемой средой. Воздушная среда приближается моделью невязкого, нетеплопроводного газа с показателями адиабаты γ . Ударная волна распространяется в полуограниченном пространстве с начальной плотностью ρ_0 и давлением P_0 при наличии противодавления.

Данная модель предполагает, что выделение энергии при взрыве происходит за короткий промежуток времени в относительно небольшой области пространства. Таким образом, возникает идеализированное представление о мгновенном точечном взрыве как о движении газа, которое вызвано мгновенным выделением конечной энергии в некоторой точке.

Математическая модель неустановившегося одномерного движения газа в переменных Эйлера формулируется в сферической системе координат [3]. Модель включает уравнение сохранения импульса, уравнение неразрывности, уравнение сохранения энергии формулы (1, 2, 3).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial \rho}{\partial r} + \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{2\rho u}{r} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial \rho}{\partial r} + \gamma \cdot p \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{2 \cdot \gamma \cdot p \cdot u}{r} = 0. \quad (3)$$

Система уравнений математической модели дополняется условиями адиабатичности течения и краевыми условиями. Граничное условие в центре ($r = 0$) имеет вид $u = 0$. Граничное условие на фронте ударной волны ($r = \phi(t)$):

$$p = \frac{1}{4} \left[(\gamma + 1) \cdot u^2 + u \cdot \sqrt{(\gamma + 1)^2 \cdot u^2 + 16 \cdot \gamma} \right], \quad (4)$$

$$\rho = \frac{(\gamma + 1) \cdot p + (\gamma - 1)}{(\gamma + 1) + (\gamma - 1) \cdot p}, \quad (5)$$

$$D = \left[\frac{(\gamma + 1) \cdot p + (\gamma - 1)}{2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где p, ρ, u – давление, плотность, скорость звука не возмущенного газа, D – скорость ударной волны.

Для решения уравнений используется метод конечных разностей, который удовлетворительно описывает процесс неустановившегося одномерного движения газа, за исключением начальных стадий взрыва. Для определения характеристик движения газа на начальной стадии взрыва используется ленианизированное решение. При больших временах используются асимптотические законы затухания ударных волн.

В результате решения приходим к пространственно временным газодинамическим функциям точечного взрыва, которые характеризуют распространение ударной волны в атмосфере. В частности, находим функцию избыточного давления на фронте ударной волны в зависимости от расстояния от места взрыва. Результаты численного решения данной задачи представлены в литературе. Например, в работе [4]. Для аппроксимации избыточного давления на фронте ударной волны $\Delta P(R)$, МПа использовали выражения, предложенные М.А. Садовским [2]:

$$\Delta P(R) = \frac{0,084}{R_n} + \frac{0,27}{R_n^2} + \frac{0,7}{R_n^3}, \quad (7)$$

$$R_n = \frac{R}{\sqrt[3]{C}}, \quad (8)$$

где R – расстояние от эпицентра, м, – масса ВВ в тротиловом эквиваленте, кг.

Мощность контактного взрыва на неразрушаемой преграде удваивается в связи формированием полусферической волны. Поэтому величина тритилового эквивалента заряда ВВ увеличивается в два раза.

Детальное описание метода расчета с примерами прогнозирования последствий, представлено в [5].

Используя метод Садовского М.А. для расчета избыточного давления на фронте ударной волны в открытом пространстве, приходим к верхней оценке избыточного давления на фронте ударной волны (таблица 1).

Таблица 1 — Зависимость давления на фронте ударной волны от расстояния

Расстояние, м	Избыточное давление, кПа	Расстояние, м	Избыточное давление, кПа
1	16217,38	12	40,91
2	2361,34	13	35,68
3	815,56	14	31,53
4	400,08	15	28,19
5	237,17	16	25,43
6	158,07	17	23,14
7	113,98	18	21,20
8	86,92	19	19,55
9	69,09	20	18,12
10	56,69	30	10,32
11	47,68	45	6,20

В соответствии с [2] и [6] для кирпичных бескаркасных производственно-вспомогательных зданий с перекрытием из железобетонных сборных элементов одно- и многоэтажных сооружений (таблица 2) следует:

- при давлении 45-60 кПа – полное разрушение;
- при 30-45 кПа – сильное разрушение;
- при 20-30 кПа – среднее разрушение;
- при 10-20 кПа – слабое разрушение.

Из таблицы 1 следует, что полное разрушение конструкций сооружения произойдет в радиусе 11 м, сильное разрушение конструкций – в радиусе 14 м, среднее – в радиусе 19 м и слабое – в радиусе 30 м.

В здании будут различные степени разрушения, от полного разрушения до слабого. Соответственно, в здании необходимо выделить различные степени поражения. При этом нужно иметь в виду, что поражение людей будет обусловлено не только действием ударной волны, но и воздействием разрушаемых конструкций здания.

Таблица 2 — Характеристика степеней разрушения зданий

Степень разрушения	Характеристика разрушения
Слабое	Частичное разрушение внутренних перегородок, кровли, дверных и оконных коробок, легких построек и др. Основные несущие конструкции сохраняются
Среднее	Разрушение меньшей части несущих конструкций. Большая часть несущих конструкций сохраняется и лишь частично деформируется. Может сохраняться часть ограждающих конструкций — стен, однако при этом второстепенные и несущие конструкции могут быть частично разрушены. Здание выводится из строя, но может быть восстановлено
Сильное	Разрушение большей части несущих конструкций. При этом могут сохраняться наиболее прочные элементы здания, каркасы, ядра жесткости, частично стены и перекрытия нижних этажей. При сильном разрушении образуется завал. Восстановление возможно с использованием сохранившихся частей и конструктивных элементов. В большинстве случаев восстановление нецелесообразно
Полное	Полное обрушение здания, от которого могут сохраниться только поврежденные (или неповрежденные) подвалы и незначительная часть прочных элементов. Образуется завал. Здание восстановлению не подлежит

Введем частотный множитель K_i , связывающий степень поражения человека в здании (летальный исход) в зависимости от степени разрушения здания. Если обозначить за S_i площадь зоны разрушения, то количество пораженных людей (летальный исход) в зоне N_i составит:

$$N_i = \frac{N}{S} \cdot K_i \cdot S_i. \quad (9)$$

Для количества травмированных i в i -ой зоне, если частотный множитель L^i , связывающий степень поражения человека (травмированный человек) в здании в зависимости от степени разрушения здания:

$$M_i = \frac{N}{S} \cdot L_i \cdot S_i. \quad (10)$$

В этих выражениях: $N = 10$ человек – численность обслуживающего персонала в котельной, $S = 2200\text{м}^2$ – предполагаемая площадь котельной, соответствующая площади здания с размерами (100 · 22 м).

Результаты расчетов ущерба в отношении персонала объекта ТЭК представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Социальный ущерб

ΔP , кПа	Степень разрушения	R, м	S_i , м ²	K_i	L_i	N_i , чел.	M_i , чел.
45-60	Полное	11	380	0,95	0,05	1,64	0,09
30-45	Сильное	14	165	0,85	0,15	0,64	0,11
20-30	Среднее	19	171	0,50	0,50	0,39	0,39
10-20	Слабое	30	155	0,05	0,95	0,03	0,67
ИТОГО УЩЕРБ ПРИ ВЗРЫВЕ:						2,70	1,25

Заключение

Таким образом, при взрыве в здании котельной ТЭК математическое ожидание потерь из обслуживающего персонала: 2,7 летальный исход (3 человека); 1,25 с травмами различной степени тяжести (2 человека).

Разрушительное действие взрыва за пределами здания котельной окажется незначительным и может привести лишь к разрушению остекления в зданиях (сооружениях) находящихся поблизости. Распространение ударной волны по грунту минимальное и не приведет к повреждению зданий (сооружений), находящихся поблизости.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.2011 № 256-ФЗ (ред. от 24.04.2020) «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».

2. Котляревский В.А. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Книга 1 / В.А. Котляревский, К.Е. Кочетков, А.А. Носач, А.В. Забегаев и др. Под ред.: К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского и А.В. Забегаева, – М., Издательство АСВ, 1995. – 320 с.
3. Станюкевич К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды / К.П. Станюкевич, – М., «Наука», 1971.
4. Кестенбойм Х.С. Точечный взрыв. (Методы расчета. Таблицы). / Х.С. Кестенбойм, Г.С. Росляков, Л.А. Чудов, – М., «Наука», 1974.
5. Колодкин В.М. Информационные технологии в прогнозировании последствий аварий и рисков / сост. Колодкин В.М. Галиуллин М.Э., Александрович А.Н., Варламова Д.М. – Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2021. – 57 с. <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/20148>
6. ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета.

ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF THE TERRORIST ATTACK AT THE BOILER ROOM

V.M. Kolodkin, A.V. Radikova

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1
e-mail: *kolodkin@rintd.ru, anna.radikova.ar@gmail.com*

The article is devoted to the assessment of the consequences of the explosion of a condensed explosive as a result of a terrorist act at a fuel and energy complex - a boiler house. The results of calculations of the affected areas of the facility personnel and social losses as a result of an act of unlawful interference are presented.

Keywords: a fuel and energy complex, a boiler house, a terrorist act at a boiler house, an explosion of a condensed explosive.