
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОГО ОБЪЕКТА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ АВАРИЙНОГО ВЗРЫВА

**В.Т. Аверьянов, кандидат военных наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Предлагается последовательность проведения анализа устойчивости пожаро- и взрывоопасного объекта в условиях аварийного взрыва и порядок определения предела его устойчивости.

Ключевые слова: инженерно-технический комплекс, предел устойчивости

CHOICE OF AN INDICATOR OF STABILITY OF A FIRE- AND EXPLOSIVE OBJECT TO INFLUENCE OF AN AIR SHOCK WAVE OF EMERGENCY EXPLOSION

V.T. Averyanov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The sequence of carrying out the analysis of stability of a fire and explosive object in the conditions of emergency explosion and an order of definition of a limit of its stability is offered.

Keywords: technical complex, stability limit

В качестве количественного показателя устойчивости пожаро- и взрывоопасного объекта к воздействию воздушной ударной волны взрыва принимается значение избыточного давления ΔP_{Φ} , при котором элементы инженерно-технического комплекса (ИТК) сохраняются или получают слабые или средние разрушения. За предел устойчивости элемента ИТК $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ принято считать нижнюю границу ΔP_{Φ} средних разрушений (на определенном расстоянии от центра взрыва R_{Φ}) [1].

Таким образом, анализ устойчивости объекта к воздействию воздушной ударной волны взрыва заключается в определении предела устойчивости $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ элементов ИТК и объекта в целом.

Анализ устойчивости элементов ИТК и пожаро- и взрывоопасного объекта в целом предлагается проводить в следующей последовательности:

- определение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны ΔP_{Φ} на различном удалении R от источника чрезвычайной ситуации;
- подготовка масштабной схемы объекта;
- выбор элементов ИТК, разрушения которых влияют на функционирование объекта;
- определение значений ΔP_{Φ} , при которых наступают слабые, средние и сильные разрушения элементов ИТК объекта;
- определение предела устойчивости $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ элементов ИТК и объекта в целом (рис. 1).

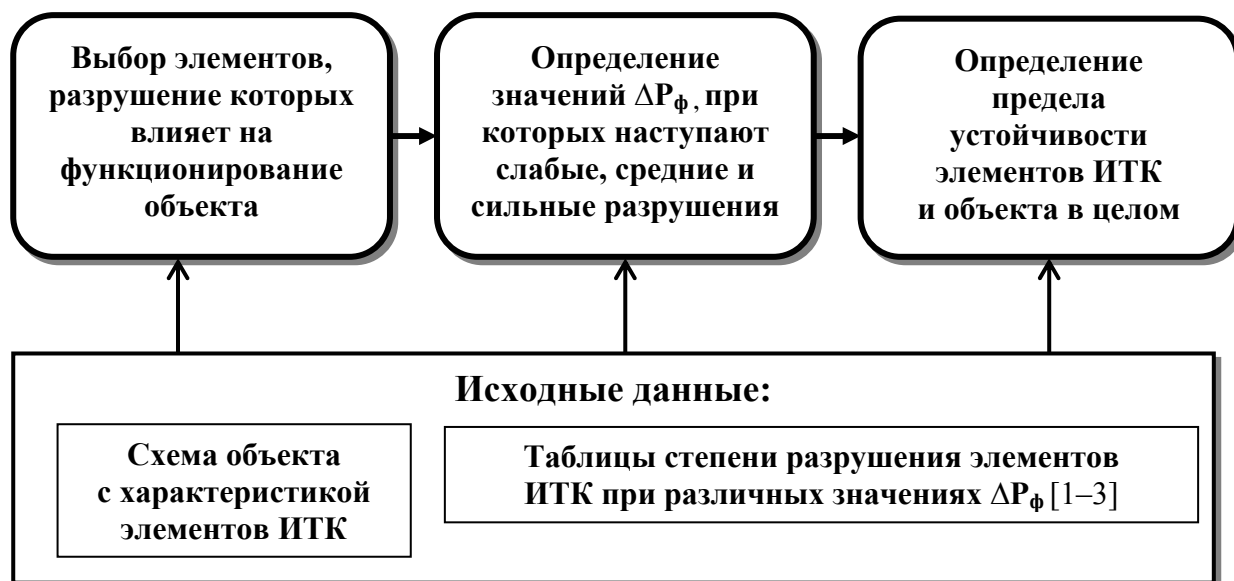


Рис. 1. Последовательность анализа устойчивости

Определение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны ΔP_ϕ на различном удалении R от источника взрыва (чрезвычайной ситуации)

Необходимо отметить, что при взрыве горюче-воздушных смесей (ГВС), взрывчатых материалов (ВМ), а также углеводородных газов (УВГ) или различных газовых смесей наибольшее практическое значение имеет знание характера изменения ΔP_ϕ в зоне действия воздушной ударной волны. Поэтому для анализа и сравнительной оценки устойчивости различных элементов ИТК пожаро- и взрывоопасного объекта в дальнейшем при расчетах используется единый показатель ΔP_ϕ .

В зоне действия воздушной ударной волны зависимость давления ΔP_ϕ от расстояния R и массы заряда Q имеет вид:

$$\Delta P_\phi = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,2}{\bar{R}^3}, \quad (1)$$

где \bar{R} – приведенный радиус, м:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}}.$$

Формулой (1) удобно пользоваться при компьютерных расчетах.

На практике чаще используют в расчетах и табличные значения спада ΔP_ϕ для массы взрывоопасных веществ $Q_{\text{таб}}$ равной 1000 т [2] (для взрыва ВМ такие значения приведены в [1, с. 75] или в [2, с. 31], для взрыва ГВС в [1, с. 75] или в [2, с. 31], для УВГ в [1, с. 76] или [2, с. 31]).

Для массы взрывоопасных веществ, равной 1000 т, характер изменения $\Delta P_\phi=f(R)$ представлен в табл. 1.

Таблица 1. Расстояния, на которых возникают соответствующие избыточные давления (ΔP_{ϕ}) во фронте ударной волны

| Значения ΔP_{ϕ} , кПа | Расстояние от источника ЧС, м | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | при взрыве ГВС | при взрыве ВМ | при взрыве УВГ |
| | $Q_{\text{таб}}=1000$ т | $Q_{\text{таб}}=1000$ т | $Q_{\text{таб}}=1000$ т |
| 300 | 320 | – | 310 |
| 250 | – | 180 | – |
| 200 | 380 | 200 | 410 |
| 100 | 520 | 280 | 500 |
| 50 | 760 | 400 | 800 |
| 30 | 1040 | 540 | 1100 |
| 20 | 1340 | 690 | 1400 |
| 10 | 1920 | 1120 | 2000 |

Анализ данных приведенных в табл. 1, показывает, что одинаковые значения избыточных давлений во фронте ударной волны при взрыве ВМ возникают при значительно меньшем удалении от центра взрыва, чем при взрыве ГВС и УВГ, что объясняется особой природой и характером взрывов указанных смесей и газов.

Разница в удалении от центра взрыва фиксированных значений избыточных давлений при взрыве ГВС и УВГ невелика.

Для любого вида взрыва изменение избыточного давления воздушной ударной волны ΔP_{ϕ} в зависимости от расстояния R от центра взрыва и массы взрывоопасного материала Q подчиняется закону подобия взрывов (ЗПВ), который выражается для фиксированного значения ΔP_{ϕ} отношением:

$$\frac{R_T}{R_{\phi}} = \sqrt[3]{\frac{Q_T}{Q_{\phi}}}, \quad (2)$$

где R_T – табличное значение расстояния от центра взрыва для приведенной в табл. 1 массы Q_T ; R_{ϕ} – фактическое значение расстояния для фактической массы Q_{ϕ} .

С использованием закона подобия взрывов (2), определяется на каком удалении от центра взрыва, будут иметь место заданные избыточные давления:

$$R_{\phi} = \frac{R_T}{\sqrt[3]{\frac{Q_T}{Q_{\phi}}}}. \quad (3)$$

Использование закона подобия взрывов (2) и данных табл. 1 позволяет определить ряд фактических значений расстояний R_{ϕ} (3) при любой массе взрывоопасного вещества для фиксированных значений ΔP_{ϕ} и построить график зависимости $\Delta P_{\phi} = f(Q, R)$.

Так как табличные значения $Q_T=1000$ т и не равны фактическим (заданным) значениям массы (например, $Q^{\text{ГВС}}=120$ т; $Q^{\text{ВМ}}=50$ т; $Q^{\text{УВГ}}=49,4$ т), то с использованием закона подобия взрывов (3) определяется, на каком удалении от центра взрыва будут иметь место заданные избыточные давления (табл. 2).

Используя данные табл. 2 для последующих расчетов, строится график изменения избыточного давления ΔP_{ϕ} в зависимости от удаления центра взрыва. Например, для построения графика, где масса ГВС составляет 120 т, задаемся значением избыточного давления ΔP_{ϕ} во фронте воздушной ударной волны: $\Delta P_{\phi} = 300, 200, 50, 30, 20$ и 10 кПа.

Таблица 2. Расстояния, на которых возникают соответствующие избыточные давления (ΔP_{Φ}) во фронте ударной волны

| Значения ΔP_{Φ} , кПа | Расстояние от источника ЧС, м | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | при взрыве ГВС | | при взрыве ВМ | | при взрыве УВГ | |
| | $Q_{\text{таб}}=1000 \text{ т}$ | $Q_{\text{факт}}=120 \text{ т}$ | $Q_{\text{таб}}=1000 \text{ т}$ | $Q_{\text{факт}}=50 \text{ т}$ | $Q_{\text{таб}}=1000 \text{ т}$ | $Q_{\text{факт}}=49,4 \text{ т}$ |
| 300 | 320 | 158 | – | – | 310 | 115 |
| 250 | – | – | 180 | 67 | – | – |
| 200 | 380 | 187 | 200 | 74 | 410 | 152 |
| 100 | 520 | 256 | 280 | 104 | 500 | 185 |
| 50 | 760 | 374 | 400 | 150 | 800 | 296 |
| 30 | 1040 | 512 | 540 | 200 | 1100 | 407 |
| 20 | 1340 | 660 | 690 | 255 | 1400 | 519 |
| 10 | 1920 | 946 | 1120 | 415 | 2000 | 741 |

С использованием закона подобия взрывов (2, 3) и табл. 1 определяются соответствующие значения R_{Φ} :

$$R_{300} = \frac{320}{\sqrt[3]{\frac{1000}{120}}} = 158 \text{ м}$$

$R_{200}=187 \text{ м}$; $R_{100}=256 \text{ м}$; $R_{50}=374 \text{ м}$; $R_{30}=512 \text{ м}$; $R_{20}=660 \text{ м}$; $R_{10}=964 \text{ м}$.

Пример построения графика и характер кривой $\Delta P_{\Phi}=f(Q,R)$ приведены в работе [2, с. 34] и на рис. 2.

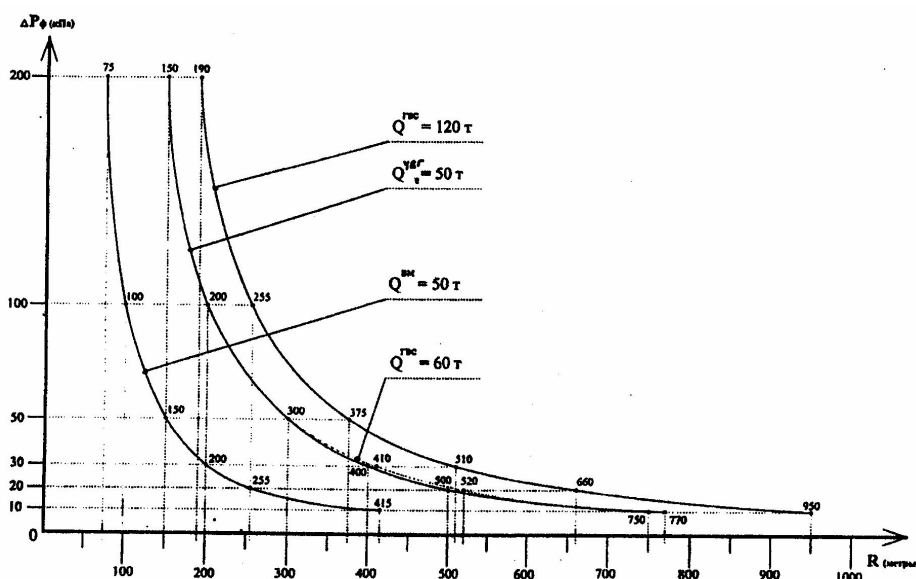


Рис. 2. Графики изменения $\Delta P_{\Phi}=f(Q,R)$

Построенные по приведенной методике графики $\Delta P_{\Phi}=f(Q,R)$ позволяют определить:

- границу зоны ЧС (разрушений);
- величину избыточного давления ΔP_{Φ} на любом удалении от центра взрыва;
- степень и объемы разрушений элементов ИТК, расположенных от центра взрыва на известных расстояниях;
- радиусы функционирования R_{Φ} безопасности для размещенных на объекте сооружений и устройств.

Подготовка масштабной схемы объекта

Подготовка масштабной схемы объекта состоит в том, что на основе определения и анализа возможных источников аварийных взрывов на схеме определяют центры взрывов (ЦВ) и их характеристики (вид и масса взрывоопасного вещества).

При взрывах принято считать, что внешней границей зоны ЧС (очага поражения) является условная линия на местности, где избыточное давление во фронте воздушной ударной волны ΔP_{ϕ} составляет 10 кПа.

В соответствии с обстановкой на схеме объекта отмечают положение точек (центров) возможных взрывов. Из каждого ЦВ наносят на схему (в масштабе, например 1:150) окружность, на границах которой избыточное давление ΔP_{ϕ} составляет 10 кПа. Такое избыточное давление считается безопасным для незащищенных людей. Радиус окружности R определяется по графику зависимости $\Delta P_{\phi}=f(Q,R)$ (рис. 2), построенному для соответствующего вида взрыва (ГВС, ВМ, УВГ) или по данным табл. 2. Это расстояние R является одновременно радиусом безопасности R_{ϕ} для людей и радиусом функционирования R_{ϕ} для элементов ИТК.

Площадь нанесенного круга представляет собой зону ЧС.

За пределами зоны $\Delta P_{\phi} < 10$ кПа подавляющее большинство сооружений и устройств не разрушаются, возможны лишь их повреждения. Это позволяет ограничиться анализом устойчивости возможного состояния при взрыве элементов ИТК объекта, расположенных только в пределах окружности, где $\Delta P_{\phi} \geq 10$ кПа.

Выбор элементов ИТК, разрушение которых влияет на функционирование объекта

На каждом объекте имеются основные, второстепенные и вспомогательные элементы. Без некоторых второстепенных и вспомогательных элементов производственный процесс может продолжаться в условиях ЧС. Поэтому в пределах окружности на схеме определяются (выделяются) основные элементы, от бесперебойной работы которых зависит обеспечение непрерывного производства. На схеме объекта около каждого основного элемента ИТК указывается присвоенный ему номер. Выбранные элементы ИТК выписываются с указанием укрупненных характеристик в табл. 3.

Таблица 3. Элементы ИТК, разрушение которых влияет на функционирование объекта (вариант)

| № п/п | Элементы ИТК | Номер элемента ИТК | Характеристика элементов ИТК |
|-------|--|--------------------|---|
| 1. | Железнодорожный путь | I | Рельсы Р-65, шпалы бет., балласт щ/б |
| 2. | Подвижной состав (вагоны, ж.д. цистерны) | – | С усредненными характеристиками |
| 3. | Убежище №1 | 3 | Отдельностоящее, $\Delta P_{\phi}^{\text{расч}} = 200$ кПа, на 200 чел. |
| 4. | Пожарное депо (12 ед. пожарной техники) | 2 | 2-х этажное кирпичное здание |
| 5. | Заводоуправление | 4 | Многоэтажное адм. кирпичное здание |
| 6. | Трансформаторная | 19 | Одноэтажное кирпичное здание |
| 7. | Контактная сеть | – | Кабельные, вдоль I и II путей |
| 8. | Котельная завода | 23 | – |
| 9. | Водонапорная башня | 18 | Многоэтажное кирпичное здание |
| 10. | Насосная станция | НС | Одноэтажное кирпичное здание |
| 11. | Вычислительный центр | 7 | Многоэтажное кирпичное здание |
| 12. | Линия связи | 22 | Кабельные |

| № п/п | Элементы ИТК | Номер элемента ИТК | Характеристика элементов ИТК |
|-------|---|--------------------|--------------------------------|
| 13. | Сварочный цех | 11 | Одноэтажное кирпичное здание |
| 14. | Понижающая подстанция | 20 | Кирпичное здание |
| 15. | Электростанция (высокооборотный дизель с генератором) | 9 | Одноэтажное кирпичное здание |
| 16. | Пешеходный мост | 24 | Металлический, $L_{пр} = 45$ м |
| 17. | Пункт слива АХОВ | I–II | – |
| 18. | Водозаборные сооружения | 21 | Типовые |

Определение значений $\Delta P_{ф}$, при которых наступают слабые, средние и сильные разрушения элементов ИТК объекта

Известно, что воздушная ударная волна взрыва вызывает разрушения или повреждения железнодорожного пути, подвижного состава, зданий, элементов связи, водоснабжения и других элементов ИТК объекта.

Качественное состояние разрушенных элементов ИТК в зонах ЧС оценивается соответствующей степенью разрушения: слабой, средней, сильной и полной.

В связи с тем, что при полном и сильном разрушениях здания, сооружения и технические средства не восстанавливаются, в справочных данных и расчетах часто используют только три степени разрушений – слабую, среднюю и сильную.

Анализ устойчивости элементов ИТК с определением избыточных давлений $\Delta P_{ф}$, при которых происходят разрушения различной степени, осуществляется с учетом выявленных характеристик элементов по справочным данным [1, с. 83] или [2, с. 33] или расчетным путем.

Для выбранных элементов ИТК (табл. 3), используя указанные выше справочные данные (например [2, с. 33]), определяются граничные значения избыточных давлений $\Delta P_{ф}$, при превышении которых наступают слабые, средние и сильные разрушения элементов ИТК объекта, и полученные результаты заносятся в табл. 4. Следует пояснить, что указанные в справочных данных [2, с. 33] интервалы с минимальными и максимальными значениями избыточного давления $\Delta P_{ф}$, характеризующие определенную степень разрушения, например, для железнодорожного пути и подвижного состава приведены для случая, когда фронт ударной волны распространяется перпендикулярно к оси пути и боковой стороне подвижного состава (наихудший вариант). При распространении ударной волны вдоль оси железнодорожного пути подвижной состав выдерживает избыточное давление (давление скоростного напора) в 1,5–2 раза больше табличных значений, а железнодорожный путь получает сильные и полные разрушения в основном в пределах воронки.

Таблица 4. Степени разрушения элементов ИТК объекта при различных избыточных давлениях во фронте ударной волны

| Наименование выбранных элементов ИТК | Предельные значения $\Delta P_{ф}$, при превышении которых наступают разрушения, кПа | | | Предел устойчивости элементов ИТК |
|--|---|---------|---------|-----------------------------------|
| | слабое | среднее | сильное | |
| Железнодорожный путь | 100 | 150 | 300 | 150 |
| Подвижной состав (вагоны, ж.д. цистерны) | 20 | 40 | 60 | 40 |
| Убежище № 1 | 100 | 140 | 180 | 140 |
| Пожарное депо (12 единиц пожарной техники) | 8 | 10 | 20 | 10 |
| Заводоуправление | 8 | 10 | 20 | 10 |
| Трансформаторная | 10 | 30 | 60 | 30 |
| Контактная сеть | 8 | 10 | 20 | 10 |

| Наименование выбранных элементов ИТК | Предельные значения ΔP_{Φ} , при превышении которых наступают разрушения, кПа | | | Предел устойчивости элементов ИТК |
|--------------------------------------|--|---------|---------|-----------------------------------|
| | слабое | среднее | сильное | |
| Котельная завода | 8 | 10 | 20 | 10 |
| Водонапорная башня | 10 | 30 | 60 | 30 |
| Насосная станция | 10 | 15 | 25 | 15 |
| Вычислительный центр | 8 | 10 | 20 | 10 |
| Линия связи | 20 | 50 | 70 | 50 |
| Сварочный цех | 10 | 30 | 60 | 30 |
| Понижающая подстанция | 10 | 20 | 60 | 20 |
| Электростанция | 10 | 20 | 60 | 20 |
| Пешеходный мост | 50 | 100 | 200 | 100 |
| Пункт слива АХОВ | 20 | 30 | 40 | 30 |
| Водозаборные сооружения | 400 | 600 | 1000 | 600 |
| Склад ГСМ | 75 | 85 | 95 | 85 |

Определение предела устойчивости $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ элементов ИТК и объекта в целом

Для оценки сопротивляемости сооружений и устройств действию ударной волны необходимо знать их предел устойчивости – предельное значение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, при превышении которого функционирование сооружений и устройств невозможно.

Необходимо напомнить, что за предел устойчивости элемента ИТК $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ принимается нижняя граница ΔP_{Φ} средних разрушений (на определенном расстоянии от центра взрыва R_{Φ}).

Смысл указанного выше положения состоит в том, что, попадая в зону слабых разрушений, сооружению требуется текущий ремонт, но его временное использование возможно с определенными ограничениями. При превышении предела устойчивости сооружения (попадание его в зону средних разрушений) дальнейшее использование сооружения становится невозможным без проведения среднего ремонта.

На основании анализа табл. 4 определяется предел устойчивости элементов ИТК и пожаро- и взрывоопасного объекта в целом.

Так, сопоставляя пределы устойчивости всех элементов ИТК, находим, что предел устойчивости пожаро- и взрывоопасного объекта равен 10 кПа, то есть равен наименьшему пределу устойчивости всех рассматриваемых элементов ИТК.

Таким образом, можно сделать следующий вывод:

– во-первых, анализ устойчивости объекта к воздействию ударной волны сводится к определению $\Delta P_{\Phi}^{пр}$;

– во-вторых, $\Delta P_{\Phi}^{пр}$ и степень разрушения элементов ИТК количественно характеризуется граничными значениями ΔP_{Φ} во фронте воздушной ударной волны. Для основных сооружений и устройств пожаро-и взрывоопасного объекта эти значения приведены в [1, с. 83] и [2, с. 33];

– в-третьих, подготовка данных о характере изменения избыточного давления ΔP_{Φ} при взрыве в зависимости от массы взрывоопасного вещества Q и расстояния R , а также об устойчивости сооружений и устройств позволяет перейти непосредственно к определению степени и объемов разрушений элементов ИТК, то есть к оценке инженерной обстановки с использованием схемы пожаро-и взрывоопасного объекта [4].

Литература

1. Аверьянов В.Т., Федотов Ю.В., Шепелюк С.И. Устойчивость объектов экономики в чрезвычайных ситуациях. Прогнозирование устойчивости: учеб. пособие / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2012. 296 с.

2. Аверьянов В.Т. Прогнозирование возможных объемов и степени разрушений в зоне аварийного взрыва // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 1. С. 29–38.
3. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций / С.А. Буланенков [и др.]; под общ. ред. М.И. Фалеева. Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. 480 с.
4. Аверьянов В.Т. Прогнозирование устойчивости технологического оборудования критически важного объекта экономики к воздействию ударной волны взрыва: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф». СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2006.