

В. А. Котляревский

В. И. Ларионов

С. П. Суцев

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Строительство

Промышленность

Экология



АСВ

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ БЕЗОПАСНОСТИ



В трех томах

Том I

АВАРИЙНЫЙ РИСК

**ВЗРЫВАНИЕ И УДАРНЫЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Том II

ЗАКОНЫ ПОРАЖЕНИЯ

**ПРОЧНОСТЬ И ДИНАМИКА
СООРУЖЕНИЙ**

Том III

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
И ТЕПЛОЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ**

Москва

V. Kotlyarevsky
V. Larionov
S. Sushchev

SAFETY ENCYCLOPEDIA

Construction

Industry

Ecology

In Three Volumes

Volume II

LAWS OF DEFEAT
STEADY-STATE AND DYNAMIC
TOUGHNESS OF BUILDING

Edited by
V. KOTLYAREVSKY

Moskow 2008

В.А. Котляревский
В.И. Ларионов
С.П. Суцев

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Строительство

Промышленность

Экология

В трех томах

Том II

ЗАКОНЫ ПОРАЖЕНИЯ

**ПРОЧНОСТЬ И ДИНАМИКА
СООРУЖЕНИЙ**

Под редакцией
В.А. КОТЛЯРЕВСКОГО

Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва – 2008

УДК 624.0
ББК 38.112
Э99

*Печатается по рекомендации Отделения энергетики,
машиностроения, механики и процессов управления РАН,
Всемирной академии наук комплексной безопасности «ВАНКБ»
и Центра исследований экстремальных ситуаций «ЦИЭКС»*

Рецензент
Академик РАН *Н.П. Алешин*

Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология : в 3 т./ В.А. Котляревский, В.И. Ларионов, С.П. Сушев. –М.: Издательство АСВ, 2008.

Т. 2: Законы поражения. Прочность и динамика сооружений / Под ред. В.А. Котляревского. – 2008. – 640 с.: ил.

ISBN 978-5-93093-588-2

Приведены методы построения законов поражения объектов и территорий при аварийных воздействиях техногенного и природного характера. Рассмотрены вопросы повреждения сооружений и травмирования населения при аварийных взрывах, пожарах и выбросах химически опасных веществ. Приведены данные об опасностях на объектах нефтегазодобычи и хранения углеводородных топлив, на металлургических предприятиях, а также на особо опасных аммиачных объектах. В целях контроля экологии рассмотрены методы оценки возможных загрязнений территорий вдоль трасс магистральных нефтепроводов при аварийных разливах нефти. Приведены методы и программные средства прочностного статического и динамического расчета сооружений для использования при оценке степени риска на стадии проектирования.

Для студентов вузов, слушателей военных академий и университетов, работников штабов гражданской обороны, страховых организаций, инженерно-технического персонала и научных сотрудников проектных и научно-исследовательских организаций.

ISBN 978-5-93093-588-2

© Котляревский В.А., Ларионов В.И.,
Сушев С.П., 2008
© Издательство АСВ, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Во втором томе продолжено рассмотрение проблемы повышения безопасности населения и территорий от аварийных воздействий природного и техногенного характера. Приведены методы построения законов поражения объектов и территорий при аварийных воздействиях техногенного и природного характера. Рассмотрены вопросы повреждения сооружений и травмирования населения при аварийных взрывах, пожарах и выбросах химически опасных веществ.

Приведены данные об опасностях на объектах нефтегазодобычи и хранения углеводородных топлив, на металлургических предприятиях, а также на особо опасных аммиачных объектах. В целях контроля экологии рассмотрены методы оценки возможных загрязнений территорий вдоль трасс магистральных нефтепроводов при аварийных разливах нефти.

Приведены методы и программные средства прочностного статического и динамического расчета наземных и подземных сооружений для использования при оценке степени риска на стадии проектирования. Рассмотрены инженерные и машинные методы динамического расчета металлических и железобетонных конструкций и сооружений как упругих и упругопластических систем, в частности, с учетом эффектов скоростного деформирования конструкционных материалов, расширяющих упругий ресурс и диапазон обеспеченной прочности. Методы расчета основаны на применении широкой номенклатуры математических моделей, обеспечивающих воспроизведение в динамике упругих, вязких и пластических свойств грунтовых сред и конструкционных материалов.

Книга будет полезна для студентов ВУЗов, слушателей военных академий и университетов. Может быть использована в штабах гражданской обороны, страховыми организациями в целях прогноза вероятного ущерба и степени риска аварий на предприятиях, инженерно-техническим персоналом и научными сотрудниками проектных и научно-исследовательских организаций.

Главы 20, 22, 27–35 и 37 написаны В.А. Котляревским; глава 21 – В.И. Ларионовым, С.П. Суцевым и А.А. Александровым; глава 23 – Б.В. Замышляевым и В.И. Ларионовым; глава 25 – А.А. Александровым; главы 24 и 26 – В.И. Ларионовым и С.П. Суцевым; глава 36 – В.А. Котляревским и И.М. Райниным.

Авторы признательны академику РАН Н.П. Алешину за рецензирование рукописи.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Том 2

Предисловие

Часть 3. Законы поражения	1
Глава 20. Законы поражения объектов при авариях	2
Глава 21. Методы и программы построения законов поражения	87
Глава 22. Критерии травматизма и законы поражения людей	129
Глава 23. Оценка потерь населения при авариях на аммиачных объектах	173
Глава 24. Опасности на объектах металлургических предприятий	207
Глава 25. Снижение опасности эксплуатации объектов хранения углеводородных топлив	236
Глава 26. Загрязнение территорий вдоль трассы магистрального нефтепровода при аварийных разливах нефти	244
Часть 4. Прочность и динамика сооружений	271
Глава 27. Математические модели сред и материалов	272
Глава 28. Динамические модели металлических материалов	309
Глава 29. Динамические испытания материалов и конструкций	319
Глава 30. Упругие системы с распределенными параметрами	388
Глава 31. Исчерпание упругого ресурса конструкций	406
Глава 32. Расчет конструкций на эквивалентные статические нагрузки	425
Глава 33. Зоны упругой перегрузки и пластичности в конструкциях	487
Глава 34. Аналитический расчет упругопластических железобетонных балок с учетом скоростных эффектов	500
Глава 35. Динамика упругопластических балок. Численный анализ	515
Глава 36. Взрывостойкость сооружений как упругих систем	563
Глава 37. Взрывостойкость сооружений как упругопластических систем	583
Литература	617

Часть 3

Законы поражения

Глава 20. Законы поражения объектов при авариях

СОДЕРЖАНИЕ

20.1. Поражающее действие ударных волн при взрывах	5
20.1.1. Параметрические законы поражения объектов	9
20.1.2. Параметрические законы поражения конструкций.....	15
20.1.3. Аппроксимация законов поражения.....	18
20.1.3.1. Зона влияния одного параметра.....	18
20.1.3.2. Подгонка параметров закона распределения в условиях дефицита информации.....	21
20.1.3.3. Зона влияния нескольких параметров	25
20.1.3.4. Совместное действие нескольких поражающих факторов.....	26
20.1.4. Координатные законы поражения	27
20.2. Поражающее действие теплового излучения при авариях с выбросом взрывоопасного газа и жидких топлив	29
20.2.1. Предел огнестойкости железобетонных и стальных конструкций	31
20.2.2. Аварии на магистральных газопроводах.....	41
20.2.3. Пожар в резервуаре с выбросом горящего нефтепродукта	50
20.2.4. Пожар пролива легковоспламеняющихся топлив	52
20.3. Программные средства, реализующие законы поражения.....	57
20.3.1. Программа GVSF	58
20.3.2. Программа FIRE	59
20.3.3. Моделирование аварий на объектах нефтегазодобывающей отрасли	61
20.3.3.1. Общая схема функционирования комплекса	62
20.3.3.2. Сценарии и прогнозирование последствий аварий.....	67
Основные условные обозначения и сокращения.....	84

Количественную оценку опасности промышленных объектов со взрыво-пожароопасными технологическими процессами проводят по критериям индивидуального и социального риска¹ на основе параметрических и координатных законов поражения, а также с использованием нормированных предельных значений поражающих факторов возможных аварийных процессов. Далее приведена конкретная информация по законам поражения объектов и конструкций.

Под *параметрическим законом* поражения объекта (реципиента риска) от действия источника опасности понимают вероятность повреждения определенной степени в зависимости от значений параметров поражающих факторов источника опасности. *Координатный закон* поражения устанавливает вероятностную зависимость степени повреждения объекта от расстояния до источника опасности с известными характеристиками (энергозапасом). Указанные законы тесно связаны, что основано на зависимостях значений параметров поражающих факторов конкретного источника опасности от расстояния.

При проектировании специальных сооружений и других объектов с определенными требованиями по взрывостойкости используют соответствующие параметрические законы поражения. В случаях необходимости проверки безопасности объекта при возможном попадании его в зоны воздействия конкретного источника опасности проще использовать координатный закон.

Степень повреждения (поражения) объекта зависят от его уязвимости, характеризуемой стойкостью (прочностью, устойчивостью) к воздействиям поражающих факторов. Источниками опасности могут быть хранилища и средства транспорта со взрывчатыми и различными опасными химическими веществами (например, с конденсированными ВВ, боеприпасами и СДЯВ). Технологические процессы, трубопроводы и емкости, функционирующие с

¹ Методология оценки рисков рассмотрена в 1-м томе. По терминологии ГОСТ /228/ индивидуальный риск – вероятность (частота) возникновения опасных факторов пожара и взрыва при аварии в определенной точке пространства (характеризует распределение риска). Социальный риск – зависимость вероятности (частоты) возникновения событий, состоящих в поражении определенного числа людей, подвергшихся поражающим воздействиям пожара и взрыва, от числа этих людей (характеризует масштаб пожаровзрывоопасности). Социальный риск оценивают по поражению не менее десяти человек. Общая методология оценки аварийного риска рассмотрена в 1-м томе данного издания.

присутствием жидких топлив (нефтепродуктов, сжиженных газов), представляют источники опасности, вызывающие взрывы и пожары при аварийных выбросах веществ. Для примера некоторые сценарии подобных аварий указаны в табл.20.1.

При аварийном взрыве к основным *поражающим факторам* в общем случае относятся ударная волна, тепловая радиация и осколочное поле. Поражающее действие каждого из указанных факторов определяется одним или несколькими *параметрами*.

Таблица 20.1. Статистические вероятности сценариев развития аварии с выбросом СУГ /228/

Сценарий	Вероятность	Сценарий	Вероятность
Факел	0,0574	Сгорание облака	0,1689
Огненный шар	0,7039	То же с развитием давления	0,0119
Горение пролива	0,0287	Без горения	0,0292

Так, действие ударной волны зависит от давления и импульса. Эффект тепловой радиации определяется потоком излучения (мощностью) и импульсом (дозой) излучения. Осколочное поражение может быть оценено кинетической энергией индивидуального осколка (рис.20.1).



Рис.20.1. Система параметров поражающих факторов взрыва

Поражающий эффект может усиливаться при возбуждении вторичных взрывов, например, при возгорании и взрыве соседних объектов с энергоносителями в результате воздействий первичного взрыва (так называемый «эффект домино»). Законы поражения получают на основе опыта и статистики прошлых аварий, а также методами математического моделирования. Расчетные методы определения параметров поражающих факторов в зависимости от сценария аварии рассмотрены в 1-м томе.

Законы поражения обычно устанавливают статистической обработкой результатов последствий аварий или на основе *прямого эксперимента*. При этом параметрические и координатные законы определяют по единой схеме: устанавливают интенсивности параметров поражающих факторов η и степень повреждения объекта W на расстоянии R от источника опасности с энергозапасом E . Результаты представляют в виде зависимости $\eta(E, R)$, а также параметрических $W_p(\eta)$ и координатных $W_k(E, R)$ законов поражения.

Поскольку для поражающих факторов некоторых источников опасности соотношения $\eta(E, R)$, связывающие интенсивности η с энергозапасом и расстояниями, известны, параметрические законы можно строить на основе полномасштабного эксперимента по ступенчатому нагружению объекта воздействиями с задаваемыми значениями интенсивностей. В частности, – с применением имитаторов воздействия: пневматических и копровых установок, ударных и аэродинамических труб, ударных и вибрационных стендов, а также с использованием источников пониженного энергозапаса на сниженных дистанциях.

Возможно также построение параметрических законов поражения в модельных экспериментах с обоснованным выбором масштабов физического моделирования источника и объекта, ограниченных допустимыми отклонениями от законов подобия влиянием масштабных факторов.

В связи с прогрессом в областях математического моделирования и компьютерных технологий параметрические законы поражения получают также прочностным расчетом на ПК строительных, подвижных и других объектов с использованием их математических моделей, обеспечивающих достаточно объективную реализацию реологического поведения конструкционных материалов.

Далее рассмотрено действие на различные объекты поражающих факторов горения и взрывных процессов, в частности, – при аварийном выбросе из емкостей жидких топлив, а также при взрывах зарядов конденсированных взрывчатых веществ, и представлены краткие сведения о соответствующих законах поражения.

20.1. Поражающее действие ударных волн при взрывах

Воздушная ударная волна взрыва вызывает разрушения или повреждение зданий городской застройки, промышленных зданий и сооружений, систем электро-, газо- и водоснабжения, транспортных средств.

Различают четыре степени разрушения зданий и объектов: полное, сильное, среднее и слабое. При полном разрушении обрушивается большая часть стен, колонн и перекрытий. Сильное – характеризуется частичным разрушением стен (колонн) и перекрытий; легкие элементы (двери, перегородки, крыши) разрушаются полностью или частично. Среднее разрушение определяется тем, что основные ограждающие и несущие конструкции получают деформации (прогибы), а разрушаются, в основном, второстепенные конструкции. Слабое разрушение соответствует повреждению или серьезным деформациям отдельных легких элементов ограждения (окна, двери, крыши домов). Полное разрушение на сетях коммунально-энергетического хозяйства характеризуется выходом из строя значительных участков трубопроводов, разрывом кабеля, обрушением опор воздушных линий электропередач.

Результат взрывного воздействия на конструкции сооружений устанавливают экспериментально или с использованием обобщенных данных анализа прошлых аварий, а также расчетом методами динамики сооружений с учетом эффекта дифракционного взаимодействия с ударной волной. Расчетный подход затруднительно использовать при оценке степеней повреждений объектов сложной структуры, хотя принципиальная возможность такого анализа существует и его следует применять при проектировании особо ответственных сооружений.

Поражающее действие взрывной нагрузки зависит от мощности взрыва, расстояния от взрыва и характеризуется функцией изменения со временем избыточного давления $\Delta P(t)$ в ударной волне. Дифракционные нагрузки на наземный объект определяются всесторонним давлением $\Delta P(t)$ и направленной от центра взрыва динамической нагрузкой скоростного напора, параметры которого зависят от амплитуды избыточного давления в волне ΔP_{Φ} . Поэтому количественно эти факторы оценивают давлением ΔP_{Φ} и удельным импульсом I ударной волны на промежутке длительности фазы сжатия τ_+ :

$$I = \int_0^{\tau_+} \Delta P(t) dt \cdot \quad (20.1)$$

На практике для определения параметров взрывной (ударной) волны взрыва определенного типа используют функции, зависящие от расстояния до эпицентра взрыва («радиуса») R , высоты

взрыва H , массы C взрывчатого вещества (ВВ) или топлива выброса (с учетом доли участия вещества во взрывном превращении) и теплоты взрыва Q (см. гл.9 и 14 1-го тома)

$$\Delta P_{\Phi} = F_1(R, H, C, Q), \quad I = F_2(R, H, C, Q). \quad (20.2)$$

Напомним формулы, определяющие параметры ударной волны наземного ($H = 0$) взрыва заряда ВВ: давления ΔP_{Φ} , МПа, скоростного напора $P_{\text{ск}}$, МПа, и удельного импульса I , кПа·с:

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,7}{\bar{R}^3}, \quad \bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{C}}; \quad (20.3)$$

$$P_{\text{ск}} = \frac{5}{2} \Delta P_{\Phi} \cdot \Delta P'_{\Phi} / (\Delta P'_{\Phi} + 7), \quad \Delta P'_{\Phi} \equiv \Delta P_{\Phi} / P_0; \quad (20.4)$$

$$I = 0,4 \cdot C^{2/3} / R, \quad (20.5)$$

где \bar{R} – приведенный радиус, м/кг^{1/3}; C – тротильный эквивалент заряда ВВ, кг, (как произведение массы заряда на отношение $Q/Q_{\text{тнт}}$, $Q_{\text{тнт}} = 4,24$ МДж/кг).

Установлено, что реакция сооружения на динамические воздействия типа взрывных волн и ударов существенно связана с отношением длительности воздействия τ_+ и характерного времени (релаксации) объекта τ . Например для конструкций, величина τ представляет оценку времени достижения экстремума напряженно-деформированного состояния в опасной точке, причем для упругих систем τ можно также сопоставить периоду T основного тона собственных колебаний.

При взрывах небольших зарядов бризантного ВВ длительность нагрузки мала, а давление на небольших расстояниях очень велико, резко падая с расстоянием. Поэтому на радиусах, где амплитуда давления превышает некоторое пороговое значение и $\tau_+ \ll \tau$, эффект воздействия на объекты определяется только импульсом ударной волны. При взрывах больших зарядов, при ядерных взрывах и на значительных расстояниях длительность воздействия велика ($\tau_+ \gg \tau$) и эффект определяется амплитудой давления ударной волны. Аналогичная ситуация наблюдается при взрывах газозвудушных смесей с амплитудами давлений, не превышающими нескольких десятков атмосфер. Однако в общем случае существу-

ет зона, в которой поражающий эффект определяется как давлением, так и импульсом.

Для ориентировочного определения параметра, ответственного за результат воздействия, сопоставим длительности фазы сжатия ударной волны взрыва зарядов ВВ и периоды основного тона упругих колебаний конструкций зданий. В табл.20.2 приведены частотные характеристики различных зданий и сооружений, полученные по результатам экспериментов.

Таблица 20.2. Опытные значения периодов T собственных колебаний зданий и сооружений /183²/

Здание	Число этажей	T , с, в направлении	
		поперечном	продольном
Жилое с несущими каменными стенами	3	0,15	0,16
	5	0,26	0,22
	6	0,37–0,39	–
	8	0,43	0,43
Школьное с несущими кирпичными стенами	3	0,22	0,21
	4	0,30	0,27
	5	0,32	–
Жилое крупнопанельное	4	0,16	0,15
	5	0,30	0,22
	6	0,36	–
	9	0,40	0,32
Жилое сборное каркасно-панельное	14	0,86	0,76
	16	1,20	0,76
Жилое с нижним каркасным и верхними крупнопанельными этажами	4	0,28	0,30
	10	0,64	0,44
	18	1,14	1,05
<u>Административное каркасное с кирпичным заполнением:</u>			
Железобетонный каркас	12	0,69–0,96	0,62–0,89
Стальной каркас	12	1,17	1,12
Административное каркасное	22	1,10	1,16

² Ориентировочные значения периодов собственных колебаний T , с, зданий с жесткой конструктивной схемой можно также оценить по эмпирическим формулам в зависимости от различных параметров: $T = \alpha n$, $T = 0,017H$, $T = 0,0905 - H/B^{1/2}$, $T = 0,3H/(Bg)^{1/2}$, где n – число этажей; α – коэффициент, зависящий от конструкции здания и вида основания (при средней плотности грунтов основания $\alpha = 0,04–0,09$); H – высота здания, м; B – ширина или длина здания, м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

По формулам (9.47) 1-го тома на дистанции $R = \bar{R} \sqrt[3]{kC}$ время $\tau_+ = \bar{\tau}_+ \sqrt[3]{kC}$, и по табл.9.8 значения $\bar{\tau}_+$, а также времена τ_+ для трех величин масс заряда C (при коэффициенте условий взрыва $k = 1$) в зависимости от давления ΔP_Φ приведены в табл.20.3.

Таблица 20.3. Длительность τ_+ фазы сжатия ударной волны взрыва в зависимости от массы заряда C и давления ΔP_Φ

$\Delta P_\Phi/P_0$		0,05	0,10	0,15	0,25	1	3	5	10
\bar{R} , м/кг ^{1/3}		1987	1133	840,3	596,0	274,9	166,4	134,4	102,1
$\bar{\tau}_+$, с/кг ^{1/3}		0,669	0,505	0,435	0,366	0,249	0,194	0,174	0,152
τ_+ , с,	0,001	0,067	0,051	0,044	0,037	0,025	0,019	0,017	0,015
при 4-х	0,01	0,144	0,109	0,094	0,079	0,054	0,042	0,037	0,033
значениях	0,1	0,311	0,234	0,202	0,170	0,116	0,090	0,081	0,071
C , кг	1	0,669	0,505	0,435	0,366	0,249	0,194	0,174	0,152

Как видно из этих данных, для широкой номенклатуры зданий диапазон периодов $T = 0,15-1,2$ с достаточно близок длительно-стям ударной волн: на всей шкале давлений для зарядов $C = 1$ кг и при давлениях по $\Delta P_\Phi/P_0 = 0,25$ для зарядов $C = 0,1$ кг. В указанных диапазонах поражающее действие ударной волны может зависеть как от давления, так и от импульса. Для зарядов $C \leq 10$ т время τ_+ меньше периода T , и основным фактором является импульс волны. Для мощных зарядов $C \geq 1$ кг при давлениях по $\Delta P_\Phi/P_0 = 1$ многие здания и сооружения с периодами $T \leq 0,25$ с попадают в зону основного влияния давления.

20.1.1. Параметрические законы поражения объектов

Применительно к ударно-волновым нагрузкам параметрические законы поражения объектов, основанные на данных опыта, представляют в виде зависимостей вероятности G (или уровня W) поражения от параметров ударной волны (ΔP_Φ , I). В графической форме такие зависимости показаны на рис.20.2 с разграниченными областями различных степеней повреждений.

Как показывает опыт, зона А (на рисунке) характеризуется зависимостью как от давления так и от импульса. Остальная часть плоскости «давление-импульс» занята асимптотическими прямыми $\Delta P_\Phi = \text{const}$ в зоне В, в которой влияние импульса весьма мало или отсутствует вовсе, и прямыми $I = \text{const}$ в зоне С, где не ощу-

щается влияние давления. То есть в зоне В, в которой длительность τ_+ давления значительно больше времени τ релаксации объекта ($\tau_+/\tau \gg 1$), результат воздействия определяется только давлением, а в зоне С ($\tau_+/\tau \ll 1$) – только импульсом.

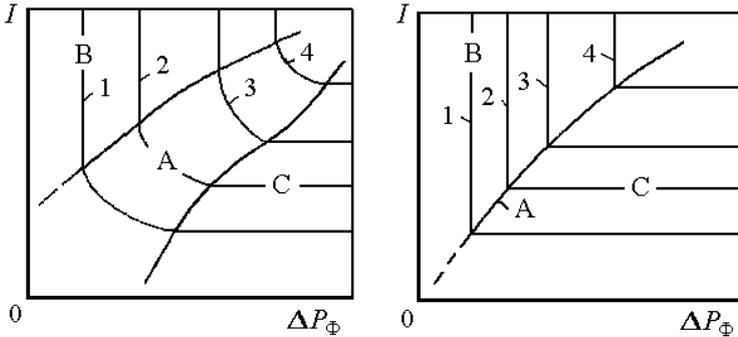


Рис.20.2. Схемы диаграмм поражения ударной волной объектов: цифрами обозначены границы областей повреждений объекта по возрастанию их степеней, справа показана аппроксимация с исключением малой зоны А

При небольших зонах влияния двух параметров возможна аппроксимация с исключением этой зоны, как это показано на рис.20.2. На рис.20.3 показана диаграмма повреждений промышленных зданий /370/ с асимптотическими значения границ областей по табл.20.4.

При расчетах с использованием диаграммы ΔP_Φ - I степень повреждения W определяется интерполяцией между значениями, соответствующими границам области, в которую попадают действующие на объект давление и импульс.

Поскольку существуют зоны, в которых степень поражения зависит только от давления или только от импульса, имеется возможность для определенных условий нормировать предельно допустимые значения интенсивности ударной волны только одним параметром.

Для мощных взрывов бризантных ВВ и ядерных взрывах с большим временем действия волны, а также для взрывов газовых смесей возможно нормирование по давлению, а для взрывов зарядов ВВ небольшой мощности – по импульсу. Для крупных взрывов, когда допустима оценка степени повреждения по давлению, ориентируются на значения ΔP_Φ , приведенные в табл.20.5 /14, 93/.

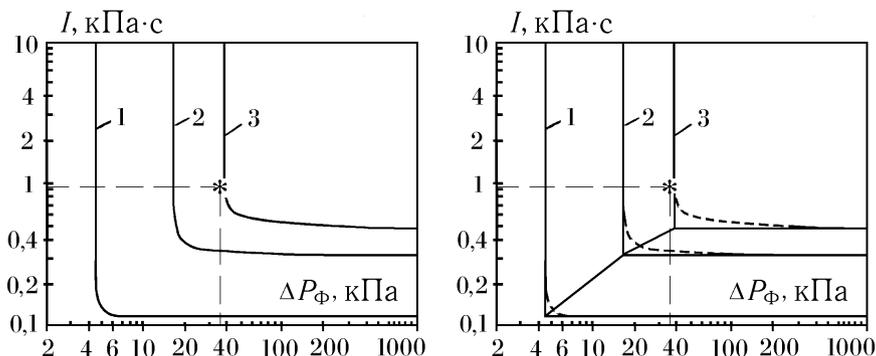


Рис.20.3. Диаграмма повреждения промышленных зданий; справа показана аппроксимация с исключенной зоной влияния двух параметров

Таблица 20.4. Асимптотические значения границ областей различных степеней повреждений W зданий

№	Повреждение	ΔP_{Φ} , кПа	I , кПа·с	W
1	Минимальное повреждение (разрыв соединений, расчленение конструкций)	4,5	0,12	0,15
2	Значительное повреждение элементов, несущих нагрузку	18,0	0,30	0,4
3	Частичное разрушение: 50–70% стен разрушено или на грани разрушения	40,0	0,50	0,8

Значения давлений, вызывающих различные степени разрушения строительных объектов при газовых и пылевых взрывах в помещениях или в открытом пространстве, приведены в табл.20.6 /228/.

Оценку возможных разрушений остеклений окон в городских зданиях можно получить с использованием графика рис.20.4. Экспериментальные данные о разрушающем действии ударных волн взрывов мощностью 1–500 кт на металлические резервуары приведены на рис.20.5 /87/.

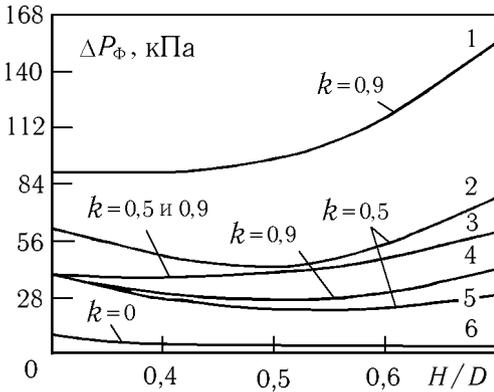


Рис.20.5. Давления ΔP_{Φ} , вызывающие сильные повреждения резервуаров с коэффициентом наполнения k , с поплавковым регулятором уровня или с конической верхней частью с отношением высоты к диаметру H/D при $D = 30$ м (1, 2), 22 м (3), 15 м (4, 5), 30, 22 и 15 м (6)

Для уточненной оценки возможных последствий воздействия ударной волны на объект давление ΔP_{Φ}^* , определяемое по формулам гл.9 и 14, корректируют с помощью коэффициентов K_1 , K_2 и K_3

$$\Delta P_{\Phi} = K_1 K_2 K_3 \Delta P_{\Phi}^*, \quad (20.6)$$

где ΔP_{Φ} — расчетное давление, сопоставляемое с данными табл.20.5, 20.6 и рис.20.4, 20.5; K_1 — коэффициент ориентации объекта на центр возможного взрыва; K_2 — коэффициент экранировки, учитывающий возможное затенение объекта соседними сооружениями застройки; K_3 — коэффициент перфорации, отражающий влияние проемности α (отношения площади остекления к полной поверхности стеновых ограждений).

Неблагоприятной считается ориентация наибольшей стены по нормали к направлению распространения ударной волны (рекомендуется $K_1 \cong 1,1$), благоприятной — при расположении стен под углом $\sim 45^\circ$, ($K_1 \cong 0,8$); для промежуточных положений объекта (нейтральных) принимают $K_1 \cong 1$. Для промышленных и гражданских зданий с проемами значение K_3 принимают по табл.20.7.

Таблица 20.7. Коэффициенты перфорации K_3 в зависимости от проемности зданий α

α	0–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	> 0,7
K_3	1,1	1	0,9	0,85

Научное издание

Котляревский Владимир Абрамович
Ларионов Валерий Иванович
Суцев Сергей Петрович

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Строительство, промышленность, экология

Том 2

Законы поражения.

Прочность и динамика сооружений

Печатается в авторской редакции

Оригинал-макет подготовлен *В.А. Котляревским*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98

Подписано к печати 12.04.2008 г. Формат 60x90 1/16.

Бумага оvs. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л.40. Заказ № Тираж 1000 экз.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 511

тел/факс: (499)183-56-83

e-mail: iasv@mgsu.ru

Internet: <http://www.iasv.ru>