ŋqdqɏeɎ bɆ dɘdɆbɎɜɘ b ɛɔɑbɔɏ ɈqdqɎqɏè

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ

А.В. Мишуев

ВОЗДУШНАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА В СООРУЖЕНИЯХ

2-е издание

Москва 2015

ŋqdqɏeɎ bɆ dɘdɆbɎɜɘ b ɛɔɑbɔɏ ɈqdqɎqɏè

ŋqdqɏeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɕɔɑbɔɏ Ɉqddɏqɏè

УДК 69.059.62:622.235
ББК 38.96
М72

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Рецензенты:
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук *Н.Г. Топольский*,
профессор кафедры информационных технологий
Академии Государственной противопожарной службы МЧС России;
доктор технических наук *А.А. Комаров,*
профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов ФГБОУ «МГСУ»

Монография рекомендована к публикации научно-техническим советом МГСУ

М72 **Мишуев, А.В.**
Воздушная ударная волна в сооружениях : монография / А.В. Мишуев ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. 2-е изд. Москва : МГСУ, 2015. 408 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).
ISBN 978-5-7264-1015-9

Рассмотрены особенности газодинамического механизма в сравнительно коротких ударных волнах наряду с исследованиями затекания в каналы и камеры длинных ударных волн. Представлена методика расчета нагрузок в сооружении от воздействия воздушной ударной волны.

Решения по нагрузке от воздействия ударной волны представлены в виде простейших графиков и таблиц, что не требует проведения трудоемких расчетов и специализации по воздушным ударным волнам. Приведенные рекомендации, как правило, не потребуют затрат при проектировании и обслуживании существующих сооружений. Изложенный материал позволяет использовать на практике конструктивные мероприятия, гарантирующие взрывобезопасность и взрывоустойчивость сооружений различного класса и безопасность людей.

Для специалистов, проектирующих, строящих и обслуживающих сооружения различного класса, также будет полезно для владельцев обслуживающих сооружений различного типа и класса (котельные, метро, энергоустановки, убежища и т.д.), не являющихся специалистами в области воздушных ударных волн.

УДК 69.059.62:622.235
ББК 38.96

ISBN 978-5-7264-1015-9 © ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

ŋqdqɏeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɕɔɑbɔɏ Ɉqddɏqɏè

ŋqdqɏeɎ bɆ dǝqɆbɎɜǝ d ɛɑɑbɔɏ ɈqdqɎqɏè

Оглавление

Введение **8**

Основные условные обозначения **16**

Раздел I
Затекание воздушной ударной волны из атмосферы в каналы постоянного сечения (входы в сооружения, трубы, воздуховоды, шахты)

Глава I
Параметры воздушной ударной волны, затекающей из атмосферы в прямые каналы постоянного сечения **18**

§ 1. Физическая модель затекания в канал длинной ударной волны (постановка задачи) 18
§ 2. Определение перепада давления на фронте длинной ударной волны, затекающей в канал постоянного сечения под углом $\alpha \geq 90°$ 27
§ 3. Затекание в канал сильной ударной волны (предельный случай) 33
§ 4. Свойства ударной волны в канале 36
§ 5. Затекание длинной воздушной ударной волны из атмосферы в канал с отражающей поверхностью на входе 43
§ 6. Затекание ударной волны в канал с учетом скоростного напора 55
§ 7. Обоснование принципа квазистационарности при затекании в канал ударной волны ограниченной длины и введение поправки на нестационарность 57

Глава II
Трансформация воздушной ударной волны на входе в канал **72**

§ 1. Влияние параметра $\dfrac{d}{\tau_0 a_0}$ на интенсивность волны в канале 72
§ 2. Определение коэффициента скорости ψ для различных схем затекания волны в канал 76

ŋqdqɏeɎ bɆ dǝqɆbɎɜǝ d ɛɑɑbɔɏ ɈqdqɎqɏè

ŋqdbȺeɎ bɆ dəbɆbɎзə b ʚɔɑbɔȺ ɈqdbɎqȺè

§ 3. Принцип работы волногасительного оголовка 82
§ 4. Результаты экспериментального исследования волногасительного оголовка 89
§ 5. Затекание ударной волны в канал из атмосферы под произвольным углом 92
§ 6. Затекание ударной волны в выхлопной тракт энергоустановки 100

Глава III
Формирование ударной волны в канале 109
§ 1. Общие соображения 109
§ 2. Трансформация ударной волны на входном участке канала 110
§ 3. Поле давления на входном участке канала 112
§ 4. Участок формирования ударной волны в канале 126
§ 5. Оценка погрешности. Об устойчивости плоского ударного фронта в канале 136
§ 6. Оценка импульса волны в канале при дозвуковом режиме истечения воздуха из атмосферы 141
§ 7. Максимальное давление на водном участке канала при сверхзвуковом истечении воздуха из атмосферы 145
§ 8. Параметры нестационарной области воздуха в канале при длинной ударной волне 148
§ 9. Эпюра давления в волне конечной длины при сверхзвуковом течении воздуха в канале 153
§ 10. Оценка пульсации давления в канале 158
§ 11. Влияние размеров отражающей поверхности на волну в канале 167

Глава IV
Распространение ударной волны по каналу постоянного сечения с углами поворота 174
§ 1. Схема взаимодействия ударной волны с углом поворота в канале 174
§ 2. Уравнения динамической совместности, описывающие результат взаимодействия ударной волны с углом поворота в канале 177
§ 3. Анализ решения задачи о взаимодействии ударной волны с углом поворота 181
§ 4. Особенности взаимодействия ударной волны с несколькими углами поворота в канале 190
§ 5. Уравнения динамической совместности, описывающие результат взаимодействия ударной волны с двумя углами поворота в канале 192

ŋqdbȺeɎ bɆ dəbɆbɎзə b ʚɔɑbɔȺ ɈqdbɎqȺè

ŋqdqɏeɎ bɆ dəqɆbɎзэ d ꞩɔɑbɔɏ Ɉqdqɏqɏè

Глава V
Распространение ударной волны из широкого канала в узкий........ 200
§ 1. Волновая картина при прохождении ударной волны из широкого канала в узкий 200
§ 2. Уравнения динамической совместности, описывающие прохождение длинной ударной волны из широкого канала в узкий 204
§ 3. Анализ решения задачи о прохождении ударной волны из широкого канала в узкий 207
§ 4. Оценка давления в разветвляющихся каналах................................ 225

Глава VI
Распространение ударной волны из узкого канала в широкий........ 230
§ 1. Пять режимов распространения ударной волны из узкого канала в широкий 230
§ 2. Уравнения динамической совместности, описывающие распространение ударной волны из узкого канала в широкий 240
§ 3. Определение давления на фронте проходящей в широкий канал ударной волны 251
§ 4. Параметры потока на переходном участке широкого канала......... 256
§ 5. Параметры потока в узком канале (образование вакуума в нем)........ 264
§ 6. Характер изменения давления за переходным участком широкого канала....................................... 267

Глава VII
Гашение ударной волны с заужением в канале (перфорированный экран, пережатое сечение, диафрагма, диффузор и т.д.) 271
§ 1. Физическая модель процесса прохождения ударной волны через зауженное сечение, расположенное внутри канала.............. 271
§ 2. Уравнения динамической совместности, описывающие взаимодействие ударной волны с зауженным сечением, расположенным внутри канала................ 274
§ 3. Особенности процесса затекания ударной волны через зауженное сечение, расположенное на входе в канал 289

Глава VIII
Затекание ударной волны в помещение (замкнутый объем) 295
§ 1. Дифференциальное уравнение распространения ударной волны в замкнутом объеме 297
§ 2. Критерии подобия 304

ŋqdqɏeɎ bɆ dəqɆbɎзэ d ꞩɔɑbɔɏ Ɉqdqɏqɏè

ꞑqdqɐeɎ bɆ dədɆbɎɜə d ɕɔɑɓɔɐ Ɉqddɏqɐè

§ 3. Расчетные зависимости для определения давления в замкнутом объеме 315
§ 4. Определение количества и температуры воздуха в замкнутом объеме 321
§ 5. Затекание ударной волны в герметизированное помещение через неплотности 328

Раздел II
Рациональная защита входов и газовоздушных трактов сооружений

Глава IX
Гашение ударной волны в расширительной камере 332
§ 1. Газодинамический процесс в расширительной камере 332
§ 2. Приближенная оценка фактора теплообмена при затекании волны в расширительную камеру 342
§ 3. Образование «факела» в расширительной камере 346
§ 4. Генерирование «факелом» ударной волны в канале за расширительной камерой 349
§ 5. Генерирование волны сжатия (ударно-изоэнтропической волны) в канале за расширительной камерой 353

Глава X
Волногасительные устройства 358
§ 1. Гашение ударной волны клапанами-отсекателями 358
§ 2. Гашения волны расширительной камерой, расположенной за клапаном-отсекателем 364
§ 3. Взаимодействие ударной волны с глушителем шума на выхлопном тракте дизеля 366
§ 4. Гашение ударной волны гравийной засыпкой и стержневым пучком 369

Глава XI
Методы рациональной защиты входов и газовоздушных трактов сооружений 374
§ 1. Общие соображения 374
§ 2. Схемы входов с уменьшенной нагрузкой на конструкции (двери) 375
§ 3. Принципы рациональной компоновки расширительной камеры при $\xi = \dfrac{V}{S \cdot \tau_0 \cdot a_\text{а}} \geq (1 \div 3)$ 386
§ 4. Схема защиты системы вентиляции и дизельных установок 391

ꞑqdqɐeɎ bɆ dədɆbɎɜə d ɕɔɑɓɔɐ Ɉqddɏqɐè

ŋqdqɏeɎ bɆ dəqɆbɎɜə d ɕɑɑbɔɏ Ɉqdqɏqɏè

Приложение А

Сводка формул для определения параметров ВУВ
в системе МКС при взрыве конденсированных ВВ 398

Приложение Б

Размерности механических величин
в системе МКС и их соотношение с СИ $P_0 = 1{,}033$ кГ/см^2;
$A_0 = 340$ м/с; $\rho_0 = 0{,}125$ кГ·с/м^4; $T_0 = 288$ К 402

Приложение В

Таблица параметров ВУВ в зависимости
от $\Delta P_ф$ (или $\bar{R}$) при взрыве заряда весом 1 кГ 404

Библиографический список **406**

ŋqdqɏeɎ bɆ dəqɆbɎɜə d ɕɑɑbɔɏ Ɉqdqɏqɏè