Пепеляев, Андрей Алексеевич. Численное моделирование внутреннего взрыва бытового газа и его воздействия на кирпичные жилые здания : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.18 / Пепеляев Андрей Алексеевич; [Место защиты: Моск. гос. строит. ун-т].- Пермь, 2011.- 137 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/3520

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Пермский национальный исследовательский политехнический университет”

На правах рукописи

Пепеляев Андрей Алексеевич

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВЗРЫВА БЫТОВОГО ГАЗА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КИРПИЧНЫЕ ЖИЛЫЕ

ЗДАНИЯ

Специальность: 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н. Кашеварова Г.Г.

Пермь 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ БЫТОВОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИИ 14

1. Аналитический обзор современного состояния вопроса физики внутреннего дефлаграциоиного взрыва 14
2. [Анализ существующей нормативной базы по проблеме аварий, вызванных взрывами бытового газа и предотвращению прогрессирующего разрушения зданий 19](#bookmark4)
3. О методах моделирования процесса взрыва бытового газа внутри замкнутого помещения и определения интенсивности взрывной нагрузки25
4. [Аналитический обзор существующих подходов и методов расчета зданий при взрывах бытового газа и оценки их механической безопасности 31](#bookmark9)
5. Обоснование состава и структуры частных задач исследования и

предполагаемые подходы к их решению 42

[ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ: 44](#bookmark40)

[ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВА БЫТОВОГО ГАЗА ВНУТРИ ЗАМКНУТОГО ПОМЕЩЕНИЯ 46](#bookmark14)

1. [Моделирование процесса взрыва бытового газа внутри замкнутого помещения для определения интенсивности взрывной нагрузки 46](#bookmark15)
2. [*Содержательная постановка задачи моделирования* 47](#bookmark16)
3. [*Концептуальная постановка задачи моделирования* 48](#bookmark17)
4. [*Математическая постановка задачи моделирования* 50](#bookmark18)
5. [Метод конечных объёмов и его численная реализация в программном комплексе FlowVision 52](#bookmark19)
6. [Изучение влияния различных факторов на величину избыточного давления при взрыве бытового газа в замкнутом помещении с использованием теории многофакторного эксперимента 60](#bookmark20)
7. Разработка алгоритма для решения связанной задачи определения интенсивности нагрузки от взрыва бытового газа в ПК FLOWVISION и

ANSYS 69

[ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ: 73](#bookmark13)

[ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ ВНУТРЕННЕГО ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ВЗРЫВА 74](#bookmark25)

1. [Математическое моделирование процесса деформирования и разрушения конструкций кирпичного здания при действии взрывной нагрузки 75](#bookmark26)
2. *Содержательная постановка задачи моделирования помещения кухни* 75
3. [*Математическая постановка задачи моделирования* 77](#bookmark29)
4. [Численное моделирование процесса деформирования помещений кирпичного здания при взрыве бытового газа 79](#bookmark32)
5. [*Вариационная постановка МКЭ* 80](#bookmark33)
6. [*Обоснование выбора нелинейных определяющих соотношений упруго-хрупких материапов с учетом их структурного разрушения* 83](#bookmark37)
7. Численная реализация расчета напряженно-деформированного состояния модели помещения кухни на действие дефлаграционного

взрыва в программном комплексе ANSYS 87

[ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ: 97](#bookmark24)

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ 99

1. Ретроспективный анализ реальной аварийной ситуации - взрыва газа внутри замкнутого помещения кухни 99
2. [Разработка исследовательского программного модуля связки ANSYS - FlowVision для автоматизации процесса обмена информацией 105](#bookmark41)
3. Проверка адекватности численного моделирования на основе данных натурного эксперимента (обследования реального здания после взрыва) 107
4. [*Численное моделирование дефлаграционного взрыва* 107](#bookmark45)
5. [*Численное решение задачи расчета напряженно-деформированного состояния здания* 109](#bookmark46)
6. Определение степени повреждения (или разрушения) строительных конструкций здания с использованием теории многофакторного

планирования эксперимента 119

[ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ: 124](#bookmark48)

[ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ: 126](#bookmark49)

Библиографический список литературы 128

ВВЕДЕНИЕ

К особой группе взрывоопасных объектов относится газифицированный жилой фонд. Статистика показывает, что в настоящее время только в Москве газифицированными остаются около 80% всего жилого фонда. Подобная картина наблюдается во всех крупных городах субъектов РФ, в частности, в городах Пермского края. Основной причиной взрывов бытового газа в жилых зданиях является человеческий фактор, исключить влияние которого практически невозможно. Такие ситуации как несанкционированное подключение к системе газоснабжения, халатность при пользовании газом и газовыми приборами в бытовых нуждах не представляется возможным контролировать или регулировать их предотвращение. Следовательно, проблему нужно рассматривать исходя именно из этого.

**Актуальность** настоящего научного исследования вытекает из сложившегося противоречия между необходимостью обеспечить

механическую безопасность жилых зданий (состояние строительных конструкций здания или сооружения, при котором отсутствует

недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, вследствие

разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части), - с одной стороны, и противоречиями, либо отсутствием рекомендаций, как это обеспечить в действующих нормативно-регламентированных методиках для проектировщиков и эксплуатирующих служб - с другой стороны.

Внутри замкнутых помещений взрыв бытового газа, как правило, имеет дефлаграционный характер, для которого необходимо наличие горючего газа или пара и воздуха, перемешанных в такой пропорции, чтобы эта смесь находилась между нижней и верхней концентрационными пределами

взрываемости, а процесс взрывного горения является квазистатическим. Дефлаграционный взрыв - процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений. Передача энергии от зоны реакции в направлении движения фронта происходит за счет теплопередачи, в отличии от детонации, при которой зона превращений распространяется со сверхзвуковой скоростью и передача энергии происходит за счет ударного сжатия. Физические аспекты экспериментально исследованы и описаны профессором Комаровым А.А. Математические модели, адекватно описывающие формирование взрывной нагрузки, опирающиеся на классические труды по гидродинамике, а также на работы Аксенова А.А., Похилко В.И., Тишина А.П., реализованы в программном комплексе FlowVision. Математическая модель дефлаграционного горения газа в воздухе представляет собой совокупность уравнений конвективно-диффузионного переноса, которые описаны в модели слабосжимаемой жидкости (в отличие от модели полностью сжимаемой жидкости - при детонационном взрыве).

Наиболее опасен сценарий развития аварии, при котором здание переходит в стадию прогрессирующего разрушения, т.е. последовательного разрушения несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей.

Для того, чтобы понять, почему расположенные рядом здания, запроектированные с учетом рекомендаций нормативных документов, в одном случае выдерживают взрыв, а в другом - разрушаются, необходимо уметь количественно оценивать интенсивность взрывной нагрузки в зависимости от факторов, влияющих на формирование взрывоопасного облака при взрыве бытового газа, и передавать эту нагрузку на пространственную расчетную модель здания, включающую элементы, которые в обычных эксплуатационных условиях являются самонесущими, а при наличии локальных воздействий активно участвуют в перераспределении нагрузки.

Многообразие конструктивных решений зданий и сооружений определяет многообразие их расчетных моделей и неоднозначность наиболее опасных схем их локального разрушения. На сегодняшний день существует большое количество методических и нормативных документов, позволяющих оценивать действие взрыва на здания и сооружения, но все они различны не только в расчетных показателях избыточного давления при внутреннем взрыве, но и в оценке воздействия поражающих факторов на конструкции строительных объектов.

Для конкретности рассматриваются наиболее массовые объекты строительства — кирпичные жилые здания.

**Целью диссертационной работы** является комплексное исследование проблемы механической безопасности кирпичных жилых зданий, включающее разработку, программную реализацию и верификацию методики расчета взрывной нагрузки и исследование воздействия этой нагрузки на конструкции здания для обоснования адекватности расчетной модели реальным процессам, на основе численного решения трехмерных задач гидрогазодинамики и механики деформируемого твердого тела.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Анализ применимости результатов теоретических и экспериментальных исследований существующих методик и нормативной базы по определению и регулированию нагрузки при дефлаграционном взрыве бытового газа.
2. Разработка методики расчета интенсивности взрывной нагрузки, основанной на численном моделировании и решении уравнений гидрогазодинамики, и определение самых неблагоприятных поражающих факторов при взрыве бытового газа в помещениях типового здания с применением технологии математического планирования эксперимента.
3. Анализ существующих методов расчета кирпичных зданий на воздействие дефлаграционного взрыва, расчетных моделей и программных комплексов.
4. Разработка и реализация методики расчета деформирования и разрушения пространственной модели отдельного помещения и несущих конструкций типового здания; проведение анализа влияния последствий взрыва на несущие конструкции типового здания для выявления удачных и неудачных конструктивных решений с точки зрения взрывоустойчивости.
5. Решение комплексной задачи определения интенсивности взрывной нагрузки и воздействия ее на многоэтажное кирпичное здание. Разработка процедур обмена данных расчетной модели помещения между программами ANSYS и FlowVision в виде исследовательского программного модуля для автоматизации применения разработанной методики.
6. Верификация разработанной методики и реализующего программного обеспечения на основе сравнения результатов вычислительных экспериментов с результатами влияния последствий взрыва на несущие конструкции реального строительного объекта.

**Научная новизна работы.**

* Разработана и верифицирована методика численного моделирования дефлаграционного взрыва в помещениях жилого здания, на основе совокупности уравнений конвективно-диффузионного переноса, описанных в *модели слабосжимаемой жидкости* и математической модели горения Зельдовича с применением метода конечных объемов, позволяющая количественно оценивать интенсивность взрывной нагрузки и разрабатывать мероприятия для исключения наиболее опасного аварийного сценария.
* С помощью разработанной методики и метода математического планирования многофакторного эксперимента установлены зависимости избыточного давления при взрыве бытового газа от объема помещения, концентрации газа в смеси, размеров оконных (дверных) проемов.
* При изучении воздействия дефлаграционного взрыва на несущие конструкции здания выявлены конструктивные параметры, оказывающие наибольшее влияние на механическую безопасность здания.
* Проведенные исследования показали, что расчеты на эквивалентную статическую нагрузку, рекомендуемую нормативными документами, дают заниженные и качественно отличающиеся результаты от расчетов на динамическое взрывное воздействие, а учет процесса разрушения материала снижает уровень напряженно-деформированного состояния.
* Для решения комплексной связанной задачи гидрогазодинамики и прочностного анализа в разных программных комплексах FlowVision и ANSYS, разработан алгоритм и исследовательский программный модуль связки ANSYS - FlowVision, позволяющий автоматизировать процесс обмена информацией.
* Предложена вычислительная технология оценки взрывоустойчивости и оценки степени поврежденности жилого кирпичного здания, которая использована для ретроспективного нелинейного анализа реального кирпичного здания, в котором произошел взрыв бытового газа.

**Практическая значимость работы.**

Разработанные в диссертации методика математического моделирования и вычислительного эксперимента, а также реализующие ее программные средства обеспечивают приемлемую практическую точность расчётов механической безопасности жилых кирпичных зданий при взрыве бытового газа, и могут быть использованы проектировщиками при оценке взрывоустойчивости строительных конструкций, как существующих зданий, так и при проектировании новых взрывоопасных объектов.

* Методика может быть использована при текущем определении технического состояния строительных конструкций взрывоопасных объектов, а также при прогнозировании ущерба от последствий внутренних взрывов на объектовом, местном и региональном уровнях;
* Полученные с использованием разработанной методики результаты могут быть применены для верификации специализированных программных комплексов.

**Внедрение:**

* Методика и программное обеспечение применялись при обследовании реального аварийного здания в г. Губаха Пермского края для анализа последствий взрыва бытового газа и оценки возможности прогрессирующего разрушения;
* В рамках программы «Научно-исследовательские университеты» разработаны «Методические рекомендации по выполнению индивидуальной научно-исследовательской работы студентов на тему “Исследование живучести кирпичных зданий при взрыве бытового газа в замкнутом помещении” для подготовки специалистов и магистров по направлению «Строительство»».
* Разработанная методика используется в практике обучения студентов кафедры “Строительная механика и вычислительные технологии” ПНИПУ по дисциплине “Численные методы решения задач строительства на ЭВМ” и «Основы САПР в строительстве».
* Работа поддержана грантом РФФИ № 08-08-00702-а «Механика закритического деформирования и вопросы прочностного анализа»

**Личный вклад соискателя.**

Все исследования, изложенные в диссертационной работе, алгоритмы, вычислительные эксперименты, их анализ, численное моделирование конструкций, зданий и сооружений, а также обработка результатов экспериментов и моделирования были выполнены автором работы лично.

**На защиту выносятся:**

Методология численного моделирования воздействий дефлаграционного взрыва на несущие элементы замкнутого помещения и здания в целом, обеспечивающая успешное практическое решение регламентируемых отечественными нормами задач (определения взрывоустойчивости строительных конструкций существующих зданий, определения их технического состояния или прогнозировании ущерба от последствий внутренних взрывов)

* Методика определения самых неблагоприятных поражающих факторов и интенсивности взрывной нагрузки с применением технологии

математического планирования эксперимента.

* Результаты исследования разных конструктивных решений и моделирования взрывного воздействия на напряженно-деформированное состояние и разрушение отдельных помещений и здания в целом.

Вычислительная технология численного моделирования

многоэлементной системы типового кирпичного здания и разработанный программный модуль для связки разных программных систем (ANSYS - FlowVision).

* Определение степени повреждения строительных конструкций здания в зависимости от интенсивности взрывной нагрузки и прочностных свойств материала с использованием теории многофакторного планирования эксперимента.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается:

* Использованием апробированного математического аппарата (математические модели теории газодинамики и механики деформируемого твёрдого тела) и численных методов решения;
* Согласованием полученных результатов с результатами обследования реального здания после аварии бытового газа.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на симпозиумах Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» (Пермь, 2008 и Новочеркасск, 2010), на конференциях: “Механика сплошных сред как основа современных

технологий” - XVI Зимняя школа по механике сплошных сред, Уральское отделение Российской академии наук, Пермь, 2009 г.; “Математическое моделирование в механике деформируемых тел и конструкций. Методы граничных и конечных элементов”(23 Международная конференция, г. Санкт-Петербург, 2009 г); “Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации” XII Всероссийская техническая конференция, 75 лет УК “Пермские моторы”, г. Пермь, 2010 г.; “Высокопроизводительные

параллельные вычисления на кластерных системах”, X Международная конференция, Россия, г. Пермь, 2010 г.

**В первой главе** дается аналитический обзор по вопросам воздействия внутреннего взрыва бытового газа на здания и их конструкции и представлен анализ отечественной нормативной базы в ее развитии по обеспечению взрывоустойчивости зданий и предотвращению их прогрессирующего обрушения.

Анализируются существующие методы определения интенсивности нагрузки при взрыве бытового газа в замкнутом помещении и факторы, оказывающие влияние на образование ударной волны.

Изучены существующие подходы и методы решения задач гидрогазодинамики и их численной реализации, а также методики расчета зданий и конструкций здания на действие взрывных волн.

Дано обоснование состава и структуры частных задач исследования и предполагаемые подходы к их решению.

**Вторая глава** посвящена математическому описанию задачи гидрогазодинамики в постановке Навье-Стокса, ее численной реализации методом конечных объемов, моделированию процесса взрыва внутри замкнутого помещения кухни для определения интенсивности взрывной нагрузки и самых неблагоприятных поражающих факторов с применением технологии математического планирования эксперимента.

Исследуется возможность решения связанной задачи гидрогазодинамики и прочностного анализа, для чего разработаны процедуры передачи расчетной модели помещения из ANSYS в программы расчетов гидрогазодинамики FlowVision а затем в ANSYS для прочностного анализа конструкций зданий и сооружений.

**Третья глава** посвящена исследованию динамического воздействия взрыва бытового газа на конструкции кирпичного здания. Расчеты проводились с использованием разных моделей взрывной нагрузки, разных конструктивных схем помещений, в которых происходит взрыв газа, использования разных моделей разрушения кирпичной кладки.

**В четвертой главе** рассматривается ретроспективный анализ реальной аварийной ситуации - взрыв газа внутри замкнутого помещения кухни с целью проверки адекватности математических моделей и разработанной вычислительной технологии для проведения комплексного анализа действия внутреннего дефлаграционного взрыва на механическую безопасность кирпичного здания и степень повреждения конструкций.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ:

1. Проведен ретроспективный анализ реальной аварийной ситуации - взрыва газа внутри замкнутого помещения кухни, выполнен для типового 9-ти этажного кирпичного здания. Разработана вычислительная технология проведения комплексного анализа действия внутреннего дефлаграционного взрыва на механическую безопасность здания, включающая решение определенной последовательности нескольких связанных задач гидрогазодинамики и механики деформируемого твердого тела. Сравнение картины трещин, полученных в результате численного моделирования с фактическим расположением повреждений, позволяет говорить о достоверности математических моделей и предложенной вычислительной технологии, которую в дальнейшем можно использовать для экспериментов с различными параметрами, влияющими на силу и место взрыва.
2. Разработан исследовательский программный модуль связки ANSYS - FlowVision для автоматизации процесса обмена информацией.
3. Исследовано влияние силы взрыва и прочностных свойств материала на процент поврежденности конструкций здания. Получены количественные оценки степени поврежденности несущей стены в зависимости от прочностных свойств материала и силы взрыва.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ:

1. Как показал анализ современных отечественных и зарубежных теоретических и экспериментальных исследований, существующие нормативные документы и методики не в полной мере отражают специфику определения величины и характера воздействия взрыва бытового газа в помещении на конструкции зданий и сооружений и, поэтому нуждаются в уточнении и развитии.
2. Разработана методика расчета интенсивности взрывной нагрузки, основанная на численном моделировании уравнений гидрогазодинамики Навье- Стокса, моделей дефлаграционного взрыва и горения Зельдовича, и реализована с использованием метода конечных объемов в отечественном программном комплексе FlowVision.
3. С помощью разработанной методики и метода математического планирования многофакторного эксперимента установлены зависимости избыточного давления при взрыве бытового газа от объема помещения, концентрации газа в смеси, размеров оконных (дверных) проемов. Наиболее значимым фактором, влияющим на величину давления, является концентрация газа в смеси. Чем больше концентрация газа (в пределах воспламеняемости газовоздушной смеси), тем выше максимум давления. В меньшей степени на величину давления влияют объем помещения и площадь сбросного проема. Чем больше объем помещения, тем больше давление, размер окна наоборот, влияет на снижение давления, но не оказывает влияния на первый максимум давления, возникающий до того, как окно еще не сброшено.
4. При изучении воздействия дефлаграционного взрыва на несущие конструкции здания выявлены параметры, оказывающие наибольшее влияние на механическую безопасность здания. Наличие оконных и дверных проемов позволяет снизить ударное воздействие на конструкции причем, чем больше общая площадь проемов, тем это снижение значительнее (разница 12-^17 %.).

Жесткая заделка перекрытий также уменьшает напряжения в элементах конструкций (примерно в 2-5 раз).

1. Проведенные исследования показали, что расчеты на динамическое воздействие и на эквивалентную статическую нагрузку дают качественно и количественно отличающиеся результаты. При динамическом анализе процесс изменения напряжений развивается во времени и превышает значения напряжений в статике в среднем в 2 раза (при открытой двери) и ~ на 28% - при закрытой двери, причем при жесткой схеме закрепления перекрытий отклонения при динамическом воздействии от статического отличаются существенно меньше (~ на 25%).
2. Учет процесса разрушения материала снижает уровень напряженно- деформированного состояния, и отклонение результатов динамического расчета от расчета при статической нагрузке в среднем составляет ~ 19%.
3. Для решения комплексной связанной задачи гидрогазодинамики и прочностного анализа в разных программных комплексах FlowVision и ANSYS, разработан алгоритм и исследовательский программный модуль связки ANSYS - FlowVision, позволяющий автоматизировать процесс обмена информацией.
4. Разработанная вычислительная технология проведения комплексного анализа действия дефлаграционного взрыва газа на механическую безопасность здания использована для ретроспективного анализа реальной аварийной ситуации 9-ти этажного кирпичного здания. Сравнение картины трещин, полученных в результате численного моделирования, с фактическим расположением повреждений позволяет говорить о достоверности математических моделей и предложенной вычислительной технологии, которую в дальнейшем можно использовать для экспериментов с различными параметрами, влияющими на силу и место взрыва.
5. При исследовании влияния силы взрыва и прочностных свойств материала на процент поврежденности конструкций здания выявлено наибольшее влияние интенсивности взрывной нагрузки.

Библиографический список литературы

1. *Аксенов А.А., Похилко В.И., Тишин А.П.* Исследование двухступенчатого сжигания метана в вихревой горелке. Труды 2-ой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 26-30 октября 1998, т.З, с.161-164;
2. *Алмазов В.О., Белов С. А., Набатников А. М.* Защита от прогрессирующего разрушения. Наука и технологии в промышленности. Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан (Научно-практическая конференция). МГСУ. Москва 2004г.
3. *Алмазов В.О., Белов С. А., Набатников А. М.* Предотвращение прогрессирующего разрушения. Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан (Научно-практическая конференция). МГСУ. Москва 2004г.
4. *Бейкер У.* и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. - М.: Мир, 1986.
5. *Белостоцкий А.М., Дубинский С.И.* Некоторые аспекты верификации программных средств численного моделирования конструкций и сооружений. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering Volume 4, Issue 2, 2008, p.30.
6. *Бесчастнов M.B.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение, - М Химия 1991.
7. *Биргер И.А., Мавлютов P.P.* Сопротивление материалов. М.: Наука, - 1986. 560с.
8. *Бормотов М.Ю.* Экспертные методы прогнозирования. - М.: 1982.
9. *Брусенцов Г.Н.* О развитии методов расчета каменных конструкций с применением МКЭ // Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций. М.: ЦНИИСК, 1984. С. 74-86.
10. Взрывные технологии. Учебник для вузов. Под редакцией Селиванова В.В. 2008 г. 648 с.
11. *.Вилъдеман В.Э., Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А.* Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М.гНаука. Физматгиз, 1997. 288с.
12. *.Вилъдеман В.Э., Кашеварова Г.Г.* Вопросы оценки безопасности поврежденных строительных конструкций // Вестник УГТУ-УПИ. Строительство и образование. / Екатеринбург, 2005, №12(42), Вып.8. с.63- 68**.**
13. *.Гениев Г.А. О* критерии прочности каменной кладки при плоском напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений,
14. № 2. с.25-30.
15. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.
16. Динамический расчёт сооружений на специальные воздействия: Справочник проектировщика. - М.: Стройиздат, 1981.

16*.Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541с.

17.Жилые и общественные высотные здания (ТСН 31-332-2006), С-Петербург.

Дата введения 28.04.2006.