

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

Факультет «Магистратура»

В.В. Леденев

АВАРИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
Т.1. ПРИЧИНЫ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Утверждено Методическим советом ТГТУ
в качестве учебного пособия для студентов магистратуры, обучающихся по
направлению 270100.68 «Строительство»

Тамбов
2014

Рецензенты:

к.т.н., проф. И.В. Ходяков - зав.кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» Мурманского государственного технического университета);

к.т.н., доц. А.И. Антонов - доцент кафедры «Архитектура и строительство зданий» Тамбовского государственного технического университета

Утверждено Методическим советом ТГТУ
(протокол № 9 от 21.11.2014 г.)

Оглавление

Глава 1	6
1.1 Эволюция надежности строительства	6
1.2 Современная теория надежности сооружений	11
1.2.1 Развитие методов нормирования расчетов конструкций	12
1.2.2 Метод предельных состояний	14
1.2.3 Разработки третьего предельного состояния	16
1.2.4 О вероятностном анализе метода предельных состояний	17
1.3 Оценка риска в строительстве	23
1.3.1 Концепция «ненулевого» риска	23
1.3.2 Методы оценки риска	26
1.4 Анализ аварий	26
1.4.1 Порядок проведения и цели анализа аварий	26
1.4.2 Анализ аварий за период 1981-2003 гг.	28
1.4.3 Анализ аварий за предыдущие 5 лет	31
1.4.4 Анализ разрушений кровель от недоучета величины снеговой нагрузки	42
Глава 2 Причины отказов конструкций	45
2.1 Основания и фундаменты	45
2.1.1 Обрушение секции жилого дома в Северодвинске	57
2.2 Каменные и армокаменные материалы	60
2.2.1 Причины обрушения Дома культуры г.Чистополь	64
2.3 Железобетонные конструкции	67
2.3.1 Обрушение декоративной башни в Кемерово	71
2.3.2 Караганда. Обрушение дома в жилом комплексе “Бесоба”	71
2.4 Металлоконструкции	73
2.4.1 Обрушение крыши цеха в Саратове	75
2.5 Деревянные конструкции	76
2.5.1 Обрушение крыши школьного спортзала в Донецке	79
Глава 3 Причины аварий в строительстве	80
3.1 Недоработка норм проектирования	80
3.1.1 Обрушение крыши торгово-выставочного комплекса в Катовице	86
3.2 Неудачное проектное решение	89
3.2.1 Авария тоннеля Никол Хайвей	93
3.2.2 Обрушение «Трансвааль-парка»	100
3.3 Низкое качество строительных материалов	105

3.3.1	Обрушение текстильной фабрики в Бангладеш.....	109
3.4	Плохое качество изготовления и монтажа.....	111
3.4.1	Обрушение строящегося здания в Сумах.....	113
3.5	Недостатки эксплуатации. Стечение неблагоприятных факторов.....	115
3.5.1	Обрушение здания Басманного рынка.....	122
3.5.2	Супермаркет ALGO Centre Mall, Эллиот-Лейк, Канада.....	126
3.6	Обрушение торгового центра «Maxima».....	128
Глава 4	Повышение устойчивости зданий и сооружений катастрофам и катаклизмам.....	135
4.1	Водные катаклизмы.....	136
4.1.1	Наводнения.....	136
4.1.2	Наводнения в Европе 2013 года.....	138
4.1.3	Цунами.....	140
4.1.4	Снижение нагрузок от гидротока увеличением проемности стен.....	141
4.1.5	Организованно разрушаемые конструкции.....	142
4.1.6	Авария на Фукусима-1.....	145
4.2	Землетрясения.....	152
4.2.1	Последствия сейсмического воздействия на здания и сооружения.....	152
4.2.1.	Надежность антисейсмической защиты зданий и сооружений.....	154
4.2.2	Землетрясение на Гаити.....	157
4.3	Пожары.....	160
4.3.1	Пожар на Останкинской телебашне.....	163
4.3.2	«Хромая лошадь».....	166
4.4	Воздушные катаклизмы.....	168
4.4.1	Ураган «Катрина».....	170
4.5	Терроризм.....	176
4.5.1	Прогрессирующее обрушение.....	178
4.5.2	События 11 сентября 2001 года в здании Пентагона.....	181
4.6	ГИС.....	187
4.6.1	Примеры ГИС-проектов прогнозирования последствий природных чрезвычайных ситуаций.....	188
Глава 5	Старение материалов и конструкций от воздействий.....	190
5.1	Вода.....	192
5.1.1	Опасность коррозионного поражения семипроволочных прядей в эксплуатируемых конструкциях.....	192
5.1.2	Защита строительных конструкций от коррозии.....	194
5.2	Ветер.....	198

5.2.1 Ветрозащита посредством зеленых насаждений.....	199
5.3 Динамические воздействия	199
5.4 Микроорганизмы	201
5.4.1 Защита от биоповреждений строительных конструкций	204
Заключение	206
Список использованной литературы	208

Глава 1

1.1 Эволюция надежности строительства

Чаще всего наблюдать обрушения зданий приходилось строителям древности, ибо несмотря на массивность строительных конструкций того времени и, как следствие, большой запас прочности аварии встречались весьма широко. Одной из главной их причин в то время были грубые ошибки проекта строительных конструкций.

Древние архитекторы воплощали свои проекты без инженерных расчетов, руководствуясь лишь ошибками и удачными решениями своих предшественников и собственной интуицией. Смелые проекты с применением новых технологий строительства, больших пролётов, как правило, оканчивались аварией.

О допущенных грубых ошибках при проектировании свидетельствовало разрушение сооружений в процессе постройки или после небольшого периода (обычно года) эксплуатации, в свою очередь длительное существование ранее возведённых сооружений служило основанием для постройки новых, подобного типа.

Впрочем, следует отметить и положительную роль аварий, вследствие которых накапливались технические знания, велись разработки новых конструкций и методы проектирования.

Исходя из библейских источников первым случаем аварии явилось крушение Вавилонской башни.

В 1879 г. в Англии обрушился Тейский мост длиной 3,5 км. Крушение произошло в 1879 г. через 19 месяцев после начала эксплуатации. Основные причины — недоучет ветровой нагрузки, недостаточная прочность и устойчивость высоких опор моста на опрокидывание. У моста был 20-кратный запас прочности на вертикальную нагрузку и не был рассчитан на ветровую. Проектировщиком была проверена ветровая нагрузка с весьма заниженным давлением — 47 кг/м². Нормы для определения ветрового давления в разных странах были разные: в Англии при постройке Тэйского моста была взята нагрузка в 3 раза меньше, чем в Германии, и в 5 раз меньше, чем в США. Итак, мост был проверен на давление ветра 47 кг/м², а в момент катастрофы¹ это давление достигало 188 кг/м². Авария послужила толчком для учёта при расчёте сооружений ветровой нагрузки.

В 1891 году в Англии обрушился железнодорожный чугунный мост пролетом 9 м. Причиной аварии явилась хрупкость строительного материала чугуна. После этой аварии чугун для строительства мостов больше не применяли.

В 1905 году в Петербурге обрушился Египетский мост, когда по нему проезжала конница. Обрушение произошло в результате резонанса, вызванного ритмическим шагом большой массы конницы. После этой аварии стали учитывать возможность возникновения резонанса при проезде мостов колоннами пешеходов или конницы.

¹ <http://russian.rechport.com/?tag=tejskij-most>

В 1922 году в Вашингтоне обрушилось покрытие над зрительным залом кинотеатра «Никорбокар», при котором погибли 91 человек. Причиной аварии послужили перегрузка покрытия снегом и низкая температура наружного воздуха, вызвавшая дополнительные сжимающие напряжения в верхних поясах стропильных ферм, что послужило основанием при проектировании больше внимания уделять температурным воздействиям.

В 1940 году в США обрушился висячий мост через реку Тэкома пролётом 854 м. Обрушение произошло через 4 месяца после начала эксплуатации и продолжалось в течение 45 минут в результате динамических колебаний моста, вызванных ветром, имевшим скорость 18,8 м/сек. Эта катастрофа послужила уроком для инженеров-мостовиков. Вскоре в Америке стали строить крутильно-жесткие (не подверженные колебаниям) фермы коробчатой конструкции. В Европе же, после многочисленных опытов в аэродинамической трубе, где имитировали давление ветра на модель конструкции, решили делать в теле мостов горизонтальные отверстия, чтобы устранить причину колебаний — завихрения воздуха возле преграды. В настоящее время



Рисунок 1 Крушение моста через Тэкома-Нэроуз

динамический характер ветровых воздействий учитывается при проектировании сооружений.

В 1968 году в Лондоне в одной из квартир на 18 этаже 24-х этажного панельного жилого дома произошёл взрыв бытового газа. Силой взрыва панели наружных угловых стен были сброшены вниз, перекрытие разрушено.

Местные разрушения несущих элементов восемнадцатого этажа привели к тому, что строительные конструкции шести вышележащих этажей и пятнадцати нижележащих этажей, разрушая друг друга, обрушились вниз. В результате полностью обвалились 22 этажа угловой секции жилого дома.

В целостности сохранились только два нижних этажа, выполненных из монолитного железобетона. Причиной разрушения явилась недостаточная надёжность строительной системы дома из-за слабых связей между элементами конструкций. В результате данной аварии при проектировании панельных жилых домов стали учитывать возможность их прогрессивного (цепного) разрушения.

В 2004 году в России произошло обрушение покрытия аквапарка «Трансвааль парк» (рис. 2). При аварии погибло 28 человек и свыше 200 получили ранения. Причиной аварии явились ошибки, допущенные в проекте оболочки покрытия. Указанная авария вынудила ужесточить контроль при экспертизе строительных проектов.



Рисунок 2 Обрушение покрытия «Трансвааль парка»

Большое значение имеет сбор данных о произошедших авариях, их систематизация и осмысление, подобная практика увеличивает шансы на безаварийное строительство.

Уже в 1895 году в России профессором Герсевановым М.Н. была опубликована работа² по анализу аварий сооружений.

В СССР первая попытка систематического изучения аварий и повреждений была предпринята в 1937 году, когда на основании распоряжения Главстройпрома НКТП СССР предписывалось всем проектным организациям, строительным трестам и конторам организовать учет дефектов и аварий. Однако, в то время, благодаря засекречиванию и сокрытию аварий, эти данные не могли быть использованы в практической деятельности.

В бывшем СССР до 1981 года данные об авариях, произошедших на территории страны, не публиковались. С 1981 года такие данные стали готовиться Государственной строительной инспекцией Госстроя СССР для служебного пользования. В 1991-1992 годах регистрация аварий практически не проводилась, что было связано с распадом союзных структур управления строительным комплексом. С 1993 по 2003 год регулярный учет аварий, происходящих на территории Российской Федерации, проводила Главная инспекция Госархстройнадзора России. До 2002 года она же занималась и анализом материалов их расследования. Ежегодно готовился технический обзор причин произошедших аварий, который с соответствующими предложениями по их предупреждению направлялся исполнительным органам государственной власти субъектов Российской Федерации. В связи с упразднением Главной инспекции государственного архитектурно-строительного надзора России подготовка технического анализа причин аварий зданий и сооружений, произошедших на территории Российской Федерации теперь осуществляется общественными организациями.

Первая опубликованная монография по обобщению строительных аварий в нашей стране относится к 1953 году и принадлежит Дмитриеву Ф.Д., в ней собраны основные крупные аварии за рубежом³.

В Госстрое СССР проводился сбор данных по авариям, имевшим место в стране. Указанные данные затем передавались в институт ЦНИИСК, где под руководством профессора Шишкина А.А. проводился анализ аварий конструкций, сыгравший положительную роль в деле улучшения качества строительства и проектирования

² Герсеванов М. Н. О крушении инженерных сооружений // Известия собрания инженеров путей сообщения. – 1895. – №12;

³ Дмитриев Ф. Д. Крушения инженерных сооружений. – М.: Госстройиздат, 1953

Шкиневым А.Н. по данным Госстроя СССР проведено обобщение аварий различных сооружений⁴, имевших значение в деле совершенствования нормативных документов.

В институте ЦНИИпромзданий Добромысловым А. М. на протяжении ряда лет производилось обобщение и анализ аварий инженерных сооружений^{5,6} и была разработана методика по их прогнозированию, обобщённая в работах^{7,8,9}. Помимо указанных авторов исследованием аварий в России занимались: Беляев Б.И., Корниенко В.С., Лашенко М.Н., Мизернюк Б.Н., Клевцов В.А. Физдель И.А. и другие, а за рубежом: Митцел, Мак-Кейг, Хэмонд, Аугустин, Рибичкии, Петроски и др.

В 1983 году в США был создан Международный информационный центр по авариям сооружений. В качестве основной функции этого центра являлись сбор, изучение и распространение данных об имевших место авариях и выдача рекомендаций по их предупреждению.

Первым, кто попытался проектировать строительные конструкции не на накопленном опыте, а на основе расчёта их прочности был Галилео Галилей (1564-1642).

Исследуя прочность призматических брусьев при действии центрального растяжения и изгиба, он впервые правильно установил зависимости: при растяжении прочность стержня пропорциональна площади его поперечного сечения, а при изгибе - ширине и квадрату высоты для прямоугольного сечения. Подход Галилея базировался на отыскании разрушающей нагрузки.

Схему разрушения изгибаемых стержней Галилей представлял как разрыв по всему сечению с одновременным вращением вокруг нижнего сжатого ребра (он испытывал только консольные стержни).

Приняв такую схему разрушения, Галилей переоценил прочность балок в 3 раза. В самом деле, из рассмотрения рис. 3, а можно получить момент сопротивления $W=bh^2/2$ вместо $W=bh^2/6$ (для упругих материалов).

Продолжателем идей Галилея в науке о прочности стал французский физик Ф. Мариотт. Он установил, что формула Галилея дает завышение несущей способности и принял вместо треугольного распределения усилий в опасном сечении x -образную эпюру разрушения внутренних усилий (рис. 3, б). Однако, вычисляя сопротивление стержня при изгибе, допустил алгебраическую ошибку.

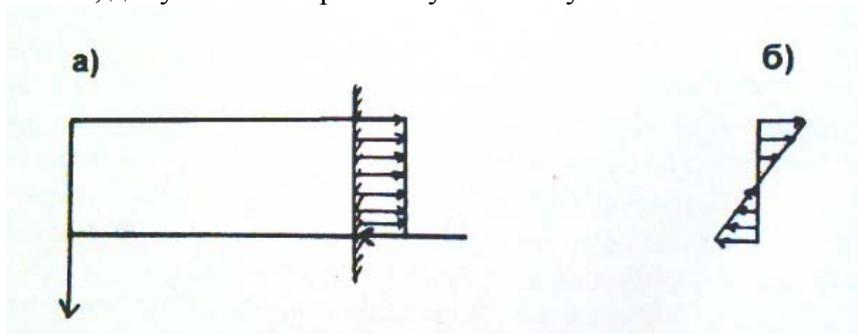


Рисунок 3 Схема распределения внутренних усилий в нормальном сечении изгибаемого элемента, принятая: а – Галилеем; б – Мариоттом и Навье

⁴ Шкинев А. Н. Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения. –М.: Стройиздат, 1976

⁵ Добромыслов А. Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство. – 1990. – №9

⁶ Добромыслов А. Н. Анализ причин повреждений строительных конструкций при землетрясениях // Промышленное строительство. – 1991. – №1

⁷ Добромыслов А. Н. Прогнозирование вероятности аварий инженерных сооружений // Проектирование и инженерные изыскания. –1988. – №2

⁸ Добромыслов А. Н. Оценка надёжности сооружений по показателям проекта, строительства и эксплуатации. Проектирование и расчёт строительных конструкций. №2 – Л.: Общество «Знание» РСФСР, 1988

⁹ Добромыслов А. Н. Исследование надёжности конструктивных систем // Промышленное строительство. – 1989. – №12

В 1826 году француз Луи Навье отказался от рассмотрения расчета по стадии разрушения и ввел новый принцип расчета по стадии эксплуатации.

Навье ввел гениальное для своего времени допущение, что стадия разрушения полностью подобна рабочей стадии, то есть отношение усилий, напряжений и деформаций в обоих случаях одинаковы. Такое допущение освобождало Навье от поисков и изучения формы разрушения конструкции. Достаточно было знать напряжения и деформации в рабочей стадии. Тогда соотношение этих величин и их допустимых значений будет обуславливать определённый запас прочности. Численные значения предельных напряжений должны устанавливаться из испытаний различных строительных материалов.

Теория расчета строительных конструкций Навье, получившая впоследствии название «классическая», базировалась на следующих основных принципах: вводилось условие подобия рабочей стадии и стадии разрушения; принималась гипотеза плоских сечений; считался справедливым закон Гука и то, что если он справедлив, то нейтральная ось проходит через центр тяжести сечения.

Расчёт конструкций по Навье заключался в вычислении напряжений σ , действующих в сечении при эксплуатационной нагрузке, и сравнении их с допускаемыми напряжениями $[\sigma]$, т.е. $\sigma \leq [\sigma]$.

Допускаемые напряжения принимались для пластичных материалов (сталь) как предел текучести материала σ_t , для материалов, не имеющих площадки текучести - как временное сопротивление при разрушении σ_b , делённое на коэффициент запаса γ , т.е. $[\sigma] = \sigma_t / \gamma$; $[\sigma] = \sigma_b / \gamma$.

Коэффициент запаса зависел от изменчивости свойств материала и точности определения максимальной эксплуатационной нагрузки и менялся в пределах от 2 до 5.

Расчет по рабочей стадии впоследствии стал называться расчётом по допускаемым напряжениям. Само понятие «напряжение» впервые ввёл Навье.

Ещё во времена Навье было замечено, что некоторые испытываемые конструкции разрушаются при нагрузках, намного превышающих полученные из расчета. Однако этому не придавалось особого значения, поскольку такое несоответствие шло в запас прочности.

Особенно большие расхождения между экспериментом и теорией Навье были выявлены при проектировании железобетонных конструкций. Дело в том, что для бетона не справедливы ни гипотеза плоских сечений, ни закон Гука, а модуль упругости бетона меняется в зависимости от внутренних напряжений. Особенно значительные расхождения в оценке несущей способности (до нескольких раз) наблюдались при расчете статически неопределимых конструкций: балок, плит, оболочек.

В 1931 году в СССР профессор А. Ф. Лолейт предложил производить расчет железобетонных конструкций по стадии разрушения.

При расчёте железобетонных конструкций по стадии разрушения принималось, что бетон и арматура, работая совместно, уже достигли предельного пластического состояния, поэтому в расчетные формулы вводились разрушающие усилия, т.е. предел прочности бетона и предел текучести арматуры. В растянутой зоне прочность бетона не учитывалась, эпюра в сжатой зоне принималась по параболе (рис. 4а). При расчёте вводился коэффициент запаса γ , который являлся отношением разрушающего усилия в сечении $[M]$ к усилию, действующему в стадии эксплуатации M . Условие прочности выражалось как $\gamma M \leq [M]$.

В 1955 году в СССР была принята усовершенствованная методика расчёта строительных конструкций по предельным состояниям, базирующаяся в оценке прочности по стадии разрушения. Условие прочности выражалось как $N \leq R$, где N - усилие (нагрузка) в конструкции от расчётных внешних нагрузок, R - несущая способность конструкции, измеряемая в тех же единицах, что и N .

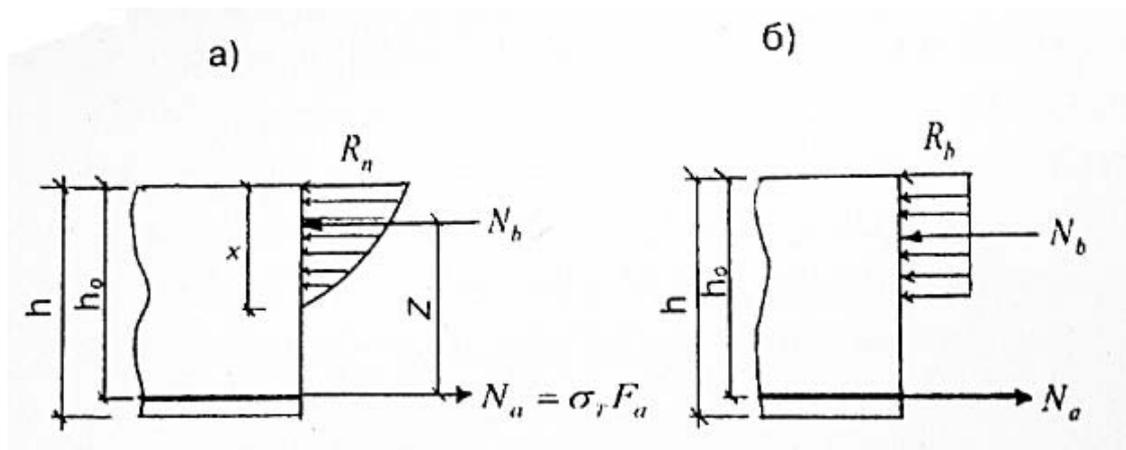


Рисунок 4 Схема внутренних усилий в нормальном сечении изгибаемого железобетонного элемента при расчёте: а – по разрушающим нагрузкам; б – по предельным состояниям.

В отличие от расчета по стадии разрушения вместо одного коэффициента запаса (надежности) вводились дифференцированные коэффициенты надежности в N и R для материалов, нагрузок, условий работы. Эпюра в сжатой зоне для железобетонных конструкций в целях упрощения принята прямоугольной (рис. 4, б). Указанная методика расчета сохранилась до настоящего времени.

Сегодня разработка проектов ответственных зданий и инженерных сооружений, типовых конструкций основывается на соответствии СНиПам и прочностным расчетам конструкций, а так же на исследованиях надёжности конструктивных систем зданий, экспериментальных исследований или моделирования.

1.2 Современная теория надежности сооружений

Сегодня человечество накопило достаточное количество научно-технических знаний, благодаря которым строительство стало экономичным и надежным. Чтобы здания были безопасными и долговечными были разработаны методы теории надежности, впрочем, следует отметить, что исследования по этому вопросу ведутся до сих пор.

Во время проектирования, изготовления и возведения создается некий уровень надежности строительной конструкции или строительного объекта в целом, затем в период эксплуатации этот уровень реализуется, т.е. проявляется способность объекта выполнять свои функции в течение установленного срока службы, которая и называется «надежностью». Ситуация, при которой объект будет не в состоянии выполнять свои функции, называется «отказом».

Мерой надежности является вероятность безотказной работы за заданный срок службы. Вероятностный подход обусловлен тем, что поведение строительных конструкций в эксплуатации описывается факторами случайной природы, а все прочностные, геометрические и деформационные характеристики конструкции, а также все воздействия на нее представляют собой случайные величины или случайные процессы.

Достигнутые уровни надежности получаются за счет различных затрат на создание конструкции и приводят к различному числу отказов за время использования и, как следствие, к разным количествам потерь. Чтобы построить более экономично надо понизить надежность, а для снижения затрат на ремонт и содержание необходимо эту надежность повысить. Разумным удовлетворением этих противоречивых требований является некий целесообразный уровень надежности, близкий по возможности к практически трудноопределимому оптимальному уровню. Целью проектирования является создание строительной конструкции с необходимым целесообразным уровнем надежности, т. е. с определенным заданным риском отказа.

На практике теории надежности строительных конструкций применяется для совершенствования методов нормирования правил расчета при проектировании и

контроле при изготовлении конструкций. Современные программы содержат численные методы вычисления вероятности отказа, особо ценными качествами которых является простота, отсутствие каких-либо ограничений на характер статистической информации, а также возможность использования реальных данных (замеры нагрузок, экспериментально полученные величины физических и геометрических параметров конструкций и т. п.) без предварительной разработки теоретических моделей случайных факторов, учитываемых в расчете.

1.2.1 Развитие методов нормирования расчетов конструкций.

Обеспечение надежности строительных конструкций осуществляется при помощи правил расчета, представленных в строительных нормах (в технических регламентах) и создающих определенный уровень надежности, напрямую влияющий на количество материалов, а, следовательно, и на стоимость сооружения.

Создаваемый уровень надежности обязан обеспечивать эксплуатацию конструкций без разрушения или без появления недопустимых деформаций и гарантировать максимально возможную долговечность.

Необходимый уровень надежности осуществляется не только при выполнении расчетных требований норм проектирования, но он также зависит от метода расчета, принятой конструктивной схемы, вида соединения конструктивных элементов, правил конструирования, плана контрольных испытаний и условий приемки при изготовлении и монтаже.

Теоретические основы расчета конструкций были выведены в методах строительной механики, которая оформилась как самостоятельная научная дисциплина к середине 19 в. С ее появлением стало возможным установить правила проектирования сооружений. Для этого были рассчитаны допустимые значения величин напряжений (деформаций, перемещений). Впервые это было сделано в 1840 г., когда Торговая Палата Великобритании установила для ковкого чугуна (основного в то время конструкционного материала) в железнодорожных мостах допустимое напряжение равное 5 т/кв. дюйм (77,2 МПа). Это значение было получено делением среднего предельного напряжения, зафиксированного в различных испытаниях ковкого чугуна (20 т/кв. дюйм), на 4, что и предусматривало определенный запас прочности. Коэффициент запаса, равный 4, рассматривался как приемлемый в первых британских нормах проектирования зданий со стальным каркасом, выпущенных в 1909 г. Советом Лондонского Графства. Допускаемое напряжение для стали было установлено равным 7,5 т/кв. дюйм (115,8 МПа). Более высокое значение коэффициента запаса было установлено при расчете устойчивости сжатых колон (до 10) из-за существенного влияния неизбежных несовершенств. Коэффициент запаса прочности (отношение фактической прочности к допускаемому напряжению) был зафиксирован в первом отечественном нормативном документе «Урочном положении Московской губернии» (1896 г.). Метод допускаемых напряжений при формировании расчетных требований был сохранен в «Единых нормах строительного проектирования» (1930 г.). До 90-х годов 20 в. Этот метод был в основе норм проектирования строительных конструкций Западной Европы, США и Канады.

В методе допускаемых напряжений содержится требование, чтобы для любого волокна конструкции выполнялось неравенство $nS \leq S_d$, где S_d – допускаемое напряжение, S – напряжение в волокне, определяемое методами строительной механики, n – коэффициент запаса.

При проектировании по методу допускаемых напряжений работа строительных материалов в конструкциях рассматривалась в упругой стадии, и практически не учитывались пластические свойства материалов. При этом коэффициент запаса для всех конструкций из данного материала был одинаков, что не отвечало фактической работе таких комплексных материалов, какими являются железобетон и каменная кладка, компоненты которых (бетон и арматура, кирпич и раствор) имеют различные механические

характеристики и в соответствии с этим в различной степени и с различной быстротой исчерпывают свою несущую способность.

Это послужило основой для разработки более совершенного метода, основанного на учете пластической работы материала для определенных схем разрушения, устанавливаемых испытаниями различных конструктивных элементов и названного методом разрушающих нагрузок. Он стал использоваться в бывшем СССР при проектировании железобетонных конструкций с 1938 г. И каменных с 1943 г. В методе разрушающих нагрузок значения коэффициента запаса принимались в зависимости от соотношения нагрузок. Этот метод требует, чтобы выполнялось неравенство $nF_n \leq R_n$, где n - коэффициент запаса, F_n - нормативное значение нагрузки, R_n - нормативное значение несущей способности (среднее значение прочности бетона или так называемая гарантируемая прочность стали).

Основы нормирования расчета строительных конструкций получили дальнейшее развитие в методе предельных состояний. В качестве руководящего принципа расчета строительных конструкций этот метод был включен в 6. СССР в первое издание Строительных норм и правил¹⁰. Введение метода предельных состояний позволило учесть специфику работы разных конструкций, фактическую изменчивость нагрузок и несущей способности. Этот метод опирается на статистическое изучение нагрузок, механических свойств строительных материалов и условий работы конструкций. Необходимый уровень надежности при таком подходе определяется нормируемыми значениями величин нагрузок. Прочности конструкционных материалов, условиями работы конструкций и другими факторами. В методе предельных состояний был сделан шаг, предусматривающий учет выхода конструкции из строя. Здесь введено понятие так называемой «обеспеченности» расчетных значений, т. е. для нагрузки вероятности того, что она окажется меньше расчетного значения, а для прочности конструкции - вероятности того, что она будет больше расчетного значения.

Созданный в 6. Советском Союзе метод предельных состояний получил широкое признание во всем мире. Вначале он был положен в основу стандарта Совета Экономической Взаимопомощи, распространявшийся на страны Восточной Европы. В настоящее время метод предельных состояний используется в системе европейских норм, в стандарте ИСО, в нормах США, Канады где он получил название «метод частных коэффициентов надежности».

Во всех методах нормирования (допускаемых напряжений, разрушающих нагрузок, предельных состояний) из множества состояний конструкций за время ее жизненного цикла выбираются лишь предельные, по отношению к которым формулируются расчетные требования. Но в методе предельных состояний произошла замена общего коэффициента запаса на произведение частных коэффициентов.

Дальнейшее совершенствование правил расчета строительных конструкций привело к необходимости широкого привлечения методов теории надежности, использующие теорию вероятности и математическую статистику. Еще в 1926 г. статистическая природа коэффициента запаса прочности была показана в работе Майера, в которой автор вместо расчета по допускаемым напряжениям предложил для выбора значений параметров, вводимых в расчет, использовать вероятностные методы. В 1929 г. Хоциалов предложил, принимая во внимание изменчивость основных параметров, вести проектирование конструкций, исходя из оптимальной суммы как капитальных затрат, так и вероятности «дефектных уклонений» и суммы убытков от аварий, т.е. в этой работе уже обсуждается идея вероятностной оптимизации.

¹⁰ Строительные нормы и правила. Глава II-Ф.10. — М., Госстройиздат, 1954. — 350с.

Существенным развитием идей Майера и Хоциалова явились работы Стрелецкого¹¹, Плото, и Вержбицкого, в которых в качестве случайных величин использовались не только прочностные характеристики материала, но и параметры нагрузок. Совершенствованию методов нормирования расчетов на основе вероятностного подхода способствовали пионерские работы Фрейденталя, Ржаницына и Джонсона.

До появления этих работ в инженерной практике обычно считалось, что коэффициент запаса является особым числом, наделенным природой какими-то исключительными свойствами. Предполагалось, что точное его соблюдение, предписанное его численным значением, обеспечивает надежность конструкций, в то время как даже незначительное его преуменьшение влечет за собой опасность для сооружения. Однако для составителя норм расчета коэффициент запаса всегда оставался обобщенным отражением мер предосторожности, обеспечивающих в целом удовлетворительный уровень надежности.

1.2.2 Метод предельных состояний

Расчет и составление конструкций производится на основании СТ СЭВ 384-87. В данном стандарте указывается на необходимость проектирования строительных конструкций и оснований, обладающих достаточной надежностью при возведении и эксплуатации с учетом, при необходимости особых воздействий (землетрясения, наводнения, пожара, взрыва).

Главным качеством, устанавливающим надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, является безотказность их работы — способность нормально выполнять свои функции за все время работы. Предельные состояния определяются как состояния, при которых конструкция, основание (здание или сооружение в целом) перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям или требованиям при производстве работ (возведении).

Согласно СТ СЭВ 384-87 и ISO/TC98 предельные состояния подразделяются на две группы. Первая группа предельных состояний (по несущей способности) включает предельные состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкций, оснований (зданий или сооружений в целом) или к полной (частичной) потере несущей способности. Эти предельные состояния можно определить как абсолютные предельные состояния. Они характеризуются: разрушениями любого характера (например, пластическим, хрупким, усталостным); потерей устойчивости формы, приводящей к полной непригодности к эксплуатации; потерей устойчивости положения; переходом в изменяемую систему; качественным изменением конфигурации; другими явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерными деформациями в результате ползучести, пластичности, сдвига в соединениях, раскрытия трещин, а также образованием трещин).

Вторая группа предельных состояний (по эксплуатационной пригодности) включает предельные состояния, затрудняющие нормальное применение конструкций или оснований, или уменьшающие долговечность зданий (сооружений) по сравнению с предусмотренным сроком службы. Эти предельные состояния можно определить как функциональные предельные состояния. Они характеризуются: достижением предельных деформаций конструкции (например, предельных прогибов, поворотов) или предельных деформаций основания, предельным уровнем колебаний конструкций или оснований; образованием трещин, достижением предельных раскрытий или длин трещин; потерей устойчивости формы, приводящей к затруднению нормальной эксплуатации, а так же другими явлениями, при которых возникает необходимость временного снижения их срока службы (например, коррозионные повреждения).

¹¹ Стрелецкий Н. С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. — М., Стройиздат, 1947. — 92 с.

Анализ аварий промышленных и гражданских сооружений показывает, что во многих случаях процесс разрушения конструкции носил лавинообразный характер, если отказ отдельных элементов и подсистем (даже неполный) инициировал возникновение других, более серьезных отказов и разрушений. Однако имеются и многочисленные примеры систем, где изолированные отказы отдельных элементов не приводят к аварии, что связано с некоторыми резервными возможностями, присущими структуре системы. Свойство системы сохранять несущую способность при выходе из строя одного или нескольких элементов естественно называть живучестью.

При создании новых систем, для которых сведения о надежности аналогов отсутствуют, а также для систем, функционирование которых может быть связано с реализацией весьма интенсивных редких воздействий аварийного характера, перед инженером-проектировщиком стоит задача, в общем-то, не имеющая вероятностного описания, - как создать систему, которая могла бы функционировать (возможно, с резко ухудшившимся качеством) в условиях возможного отказа какой-то ее части. Подобного рода подход был сформулирован в 30-е годы академиком А.Н. Крыловым, когда он изучал непотопляемость корабля, получившего некоторое число пробоин. По сути это было первое осознанное и целенаправленное использование понятия живучести. Применительно к строительным объектам понятие живучести начало развиваться существенно позже, в первую очередь, применительно к сейсмостойкому строительству, хотя сам термин «живучесть» мог и не применяться. В частности, появилась идея выделения так называемых главных несущих конструкций, безотказность которых обеспечивает здание или сооружение от полного разрушения при аварийных воздействиях, даже если его дальнейшее использование по назначению окажется при этом невозможным без капитального ремонта. В нормах США и Канады введено понятие «целостности» (*inlegrity*) сооружения.

Вообще количество групп предельных состояний и перечень явлений, с которыми такие состояния должны быть связаны, были предметом ожесточенных дискуссий. Достаточно типичным можно считать предложение Н.Н. Стрелецкого¹² [136] по следующей классификации.

Аварийное нарушение эксплуатации:

- Хрупкое разрушение ответственного элемента
- Вязкое разрушение ответственного элемента
- Усталостное разрушение ответственного элемента
- Потеря устойчивости формы (общей) ответственного элемента
- Потеря устойчивости положения
- Качественное изменение геометрической конфигурации
- Сдвиг грунта в основании

Необходимость прекращения эксплуатации:

- Чрезмерные общие пластические и остаточные деформации
- Опасные местные пластические деформации
- Сдвиги в вязких соединениях
- Сдвиги в фрикционных соединениях
- Усталостная трещина
- Опасная силовая трещина
- Трещины в непроницаемых конструкциях
- Опасные (резонансные) колебания
- Потеря местной устойчивости

Затруднения для нормальной эксплуатации:

¹² Стрелецкий Н.Н. Первоочередные вопросы развития методики предельных состояний // Развитие методики расчета по предельным состояниям. — М.: Стройиздат, 1971. — с. 87-95.

- Недостаточная статическая или динамическая жесткость
- Нежелательные общие остаточные деформации
- Раскрытие трещин в железобетоне, снижающих долговечность
- Возникновение трещин в предварительно напряженном железобетоне
- Неопасные местные повреждения

В этом перечне важно то, что выделяются состояния аварийного нарушения эксплуатации, и поскольку в официальной формулировке стандарта¹³ это не сделано, то не прослеживается неравноправность ситуаций с угрозой аварии и других ситуаций, ведущих к прекращению эксплуатации.

В соответствии с действующими нормами расчета конструкций по методу предельных состояний предполагается, что эксплуатация здания или сооружения прекратится ранее, чем будет исчерпана его фактическая несущая способность¹⁴, и этот факт объявлен одним из постулатов метода расчета по предельным состояниям. Именно таким образом формулируется условие первого предельного состояния в основополагающем ГОСТ 27751-88, где к предельным состояниям первой группы отнесены «...предельные состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкций, оснований (зданий или сооружений в целом) или к полной (частичной) потере несущей способности зданий и сооружений в целом».

В самом начале становления метода расчетных предельных состояний, в отличие от современных определений, первое предельное состояние определялось как состояние, характеризующее потерю прочности или развитие чрезмерной пластической деформации при экстремальных режимах нагружения, а второе - как состояние превышения предела деформативности в режиме нормальной эксплуатации. В этом случае предложение Н.С. Стрелецкого касательно применения понятия о третьем предельном состоянии, как состоянии с недопустимым уровнем повреждений еще имело смысл. Впрочем и тогда способ использования такого понятия была разработан только касательно к возможности силовых повреждений, когда имело место сопоставления напряжения от расчетного значения внешнего воздействия с подходящими значениями предельных напряжений для повреждений того или иного вида (чаще всего усталостных или хрупких повреждений). Говоря о повреждениях иного типа (к примеру, коррозионным или от эрозии) способы ведения расчетов не были даже намечены. Тем не менее с определения первого предельного состояния, как невозможность продолжения нормальной эксплуатации, а второго - как усложнение нормальной эксплуатации, понятие третьего предельного состояния пропало из употребления и научного рассмотрения. О подобном варианте исчезновения понятия третьего предельного состояния пишет и сам Н.С. Стрелецкий в первом разделе упомянутой работы. При таких условиях попытка вернуть существование понятия о третьем предельном состоянии¹⁵, не изменяя обозначенные сегодня определения первых двух является шагом назад и создает логический беспорядок в сам метод расчетных предельных состояний.

1.2.3 Разработки третьего предельного состояния.

В. Д. Райзер предлагает иной вариант третьего предельного состояния: ввести, наряду с понятиями несущая способность и эксплуатационная пригодность, понятие — живучесть, и определить еще одну группу предельных состояний. Живучесть рассматривается¹⁶ как свойство системы сохранять при катастрофических возмущениях

¹³ ГОСТ 2775188 (СТ СЭВ 384-97). Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. — М.: Изд-во стандартов, 1988.—10 с.

¹⁴ Стрелецкий Н. С. Избранные труды.— М.: Стройиздат, 1975.— 422 с.

¹⁵ Горохов Е.В., Мушанов В. Ф., Югов А.М., Горлышкин В. Т., Шелихова Е.В. Оценка безопасности эксплуатируемых сооружений на основе понятия третьего предельного состояния // Металеві конструкції – Металлические конструкции – Metal Construction, 2002, 5, № 1,— С. 97-101.

¹⁶ Черкесов Г. Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. — М., Знание, 1987. — 116 с.

способность к выполнению основных функций, не допуская каскадного развития возмущений и отказов.

Предлагаемая третья группа предельных состояний по живучести включает предельные состояния, характеризующиеся лавинообразным развитием отказов, приводящих к полному выходу из строя элементов системы. Причинами подобного развития могут являться как катастрофические воздействия - пожары, взрывы, включая атаки террористов, так и грубые ошибки при монтаже или эксплуатации. Расчет по третьей группе предельных состояний состоит в обеспечении несущей способности здания или сооружения при исключении из расчетной схемы одного или нескольких несущих элементов, или образование одного или нескольких пластических шарниров. Виды возможных возмущений (выключающихся элементов и связей) должны быть приведены в задании на проектирование.

Для предлагаемой третьей группы предельных состояний общее условие непревышения предельного состояния

$$g(a_i F_p, b_i R_p, \gamma_n, \gamma_a, \gamma_d, C) \geq 0, \quad (1.1)$$

может быть представлено соотношением $\gamma_n g_F(a_i F_p, \gamma_a, \gamma_d) \leq g_R(b_i R_p)$, но при этом следует принять, что $\gamma_f = \gamma_m = 1$, а величины нагрузок вводятся в расчет с пониженными значениями. Этим учитывается весьма малая вероятность совпадения максимальных значений климатических (снеговых, ветровых) нагрузок и максимальных нагрузок на перекрытия с катастрофическими возмущениями. Здесь F_p — расчетное значение нагрузки, $a_i F_p$ — нагрузочный, a_i — функция геометрических и физических параметров конструкций, $F_p = \gamma_f F_n$, γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, F_n — нормативное значение нагрузки; R_p — расчетное значение сопротивления материала, $b_i R_p$ — несущая способность конструкции, b_i — функция параметров поперечного сечения и т. п., $R_p = R_n / \gamma_m$, γ_m — коэффициент надежности по материалу, R_n — нормативное значение сопротивления материала; γ_n — коэффициент надежности по назначению конструкции («коэффициент важности» в зарубежных нормах); γ_d — коэффициент условий работы; γ_a — коэффициент точности; C — постоянные, включающие предварительно выбранные ограничения, задаваемые для некоторых видов предельных состояний (по прогибам, по раскрытию трещин и т.п.). Условие (1.1) определяет границу области допустимых состояний конструкции.

1.2.4 О вероятностном анализе метода предельных состояний.

В науке и практической работе человеку зачастую приходится иметь дело с проблематическим, вероятностным знанием в форме гипотез, предсказаний, догадок, предположений. С этим связан естественный интерес к понятию вероятности и вероятностным методам исследования. Первые исследования вероятностного знания появились еще в античный период. Платон (428-348 гг. до н. э.) в диалоге «Тимей» указывает на два рода знания: достоверное и правдоподобное, или вероятное. Исследования по вероятности осуществлял и основатель логики Аристотель (384-322 гг. до н. э.). По Аристотелю, вероятное - это то, «что бывает в большинстве случаев или часто бывает». Вероятностное знание Аристотель называет диалектическим в противоположность аподиктическому, т. е. безусловно, достоверному, доказательному знанию. В XVII в. появляется так называемая классическая теория вероятностей, основными представителями которой являлись Б. Паскаль, Ферма, Я. Бернулли. Гюйгенс, Муар, Лаплас и др. Важным для этой теории явилось применение метрического определения вероятности, т. е. выражение в виде чисел. Например, по Лапласу, вероятность - это «отношение числа случаев, благоприятствующих ожидаемому событию к числу всех равновозможных и несовместных случаев». Классическое определение вероятности было разработано при анализе ситуаций, появляющихся в азартных играх. Подобные игры содержат в себе предположение, что все исходы их являются равновозможными. Тем не менее в науке и в настоящей жизни зачастую необходимо

рассматривать не отдельные, уникальные явления, а массовые случайные события, где, совместно с необходимостью, главенствует случайность, а наступление события определяется не как необходимость, а как вероятность. Для изучения массовых случайных явлений была разработана новая интерпретация вероятности - частотная, или статистическая, вероятность. Основоположником считают известного английского ученого Дж. Венна (1866 г). В основе частотной интерпретации лежит понятие об относительной частоте появления массового случайного события при достаточно длительных наблюдениях и испытаниях. Дж. Венн, а в последствии и Р. Мизес определяли вероятность как предел относительной частоты появления массового случайного события при многократном числе испытаний. Чтобы вычислить относительную частоту события, служащей основой для статистической вероятности, необходимо прибегнуть к следующей процедуре: сначала выявляем класс события, обладающих интересующим нас свойством. Затем в процессе опытов или наблюдений подсчитываем, сколько раз интересующее нас свойство, или событие, встречается в данной серии: $P = \frac{m}{n}$, где m – число появления события; n – число всех испытаний. На практике было установлено, что для многих массовых случайных явлений относительная частота при большом числе наблюдений имеет тенденцию к устойчивости. Эта устойчивость частот массовых случайных явлений представляет объективную закономерность. Такие закономерности поведения массовых случайных событий, установленные с помощью статистической вероятности, называются вероятностными, или статистическими. Вероятностные законы присущи самому объективному миру и являются важнейшей составной частью конкретных естественных и социально-экономических наук. Все это свидетельствует о достаточно широкой сфере применения вероятностно-статистических методов познания. Интересно, как представляется, сформулировал видение обсуждаемой проблемы док. физ.мат. наук, проф. МФТИ В.П. Смилга (1929-2009): «Быть может, теория вероятностей — самый поразительный раздел математики, ибо она устанавливает четкие, строгие закономерности для тех явления, где изначально никаких законов вроде бы нет».

Теория вероятностей изучает закономерности массовых случайных явлений. В основе теории вероятностей лежит понятие вероятности события. Под событием понимают качественный или количественный результат опыта, осуществляемого при определенных условиях. Роль события может играть, например, тот факт, что тот или иной расчетный параметр строительной конструкции попадает в заранее заданный интервал значений (например, погружение сваи на заданную глубину в заданных грунтовых условиях и т.п.). Событие называется достоверным, если оно неизбежно происходит при данном комплексе условий (попадание, например, найденных из опыта численных значений любых характеристик конструктивных материалов в интервал от 0 до +∞, так как физические характеристики материалов по своей сути не могут принимать значения меньше нуля и равные бесконечности). Событие, если оно при данном комплексе условий заведомо не может произойти, называется невозможным. Важное значение в теории вероятностей имеет понятие случайного события. Под случайным событием подразумевается всякий факт, который в результате опыта может произойти или не произойти. Примером случайного события может служить, например, превышение замеренного в опыте значения перемещения или деформации сверх заранее заданной величины. Это событие обладает некоторой степенью возможности осуществления. Для сравнения различных событий по степени возможности их осуществления необходимо ввести численную меру указанной степени возможности, которая тем выше, чем более возможно событие. Эту численную меру принято называть вероятностью события. В практическом смысле вероятность возникновения события тем больше, чем относительно чаще оно появляется в опытах данной серии.

На вопрос о том, как мала должна быть вероятность события, чтобы практически его

можно было считать невозможным, нельзя дать общего ответа, потому что все зависит от того, насколько важно событие, о котором идет речь. В некоторых нормативных документах по проектированию конструкций имеется указание о том, что обеспеченность нормативных сопротивлений должна быть не меньше 0,95 и, следовательно, вероятность отклонения сопротивления допускается не более 0,05. С этим можно согласиться, так как существует немало факторов, включая опыт безаварийной эксплуатации зданий и сооружений, свидетельствующий о правильности назначения такой обеспеченности. Но если 0,05 есть вероятность разрушения здания, то согласиться с этим нельзя. В каждой проблеме нужно заранее на основании практических соображений представлять, как мала должна быть вероятность события, чтобы без ущерба можно было бы не считаться с его возможностью.

Проектирование конструкций - это процесс принятия решений, при котором должны учитываться различные неопределенности для достижения приемлемой вероятности отказа. Приемлемые вероятности отказа различны для неодинаковых предельных состояний, т.к как несходны последствия их осуществления.

Для вероятностных расчетов прежде всего необходимо иметь четкую определенную зависимость между характеристиками конструкции и ее несущей способностью. Состояние конструкции в условиях эксплуатации может быть охарактеризовано конечным числом независимых параметров. Часть этих параметров характеризуют нагрузки, другие – прочность материалов, третьи – отклонение реальных условий работы конструкций от принятой расчетной схемы. Уравнение границы области допустимых состояний конструкции представляется в виде:

$$\tilde{g}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad (1.2)$$

где $\tilde{g}(x_1, x_2, \dots)$ - функция работоспособности (знаком тильды обозначается случайная величина).

Все расчетные величины можно разделить на две основные группы. Первая группа включает в себя характеристики, относящиеся к свойствам самой конструкции, другая содержит параметры внешних воздействий. Тогда условие непревышения границы области допустимых состояний конструкций может определяться как выполнение предельного неравенства

$$\tilde{g}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \tilde{R}(x_1, x_2, \dots, x_m) - \tilde{F}(x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n) > 0, \quad (1.3)$$

$$\text{или } \tilde{g} = \tilde{R} - \tilde{F} > 0.$$

Говоря о задачах расчета по первой группе предельных состояний \tilde{F} – наибольшее значение усилия или напряжения в конструкции, выраженные через внешнюю нагрузку; \tilde{R} – сопротивление выраженное в тех же единицах (предел прочности, предел текучести, пластический момент); \tilde{g} – резерв прочности (несущей способности).

В общем случае усилия и сопротивление являются случайными функциями времени, но в рассматриваемой постановке F и R считаются случайными величинами, с заданными законами распределения.

Если принять, что вероятность выполнения неравенства (1.3) есть вероятность безотказной работы, то возможность отказа определяется выражением

$$P_f = \int_{-\infty}^0 p_g(g) dg \quad (1.4)$$

Где $p_g(g)$ – плотность распределения резерва прочности, определяемая при помощи формулы плотности распределения суммы случайных величин.

При независимости \tilde{F} и \tilde{R} друг от друга

$$p_g(g) = \int_{-\infty}^0 p_R(g + F) p_F(F) dF, \quad (1.5)$$

здесь $p_g(g)$ – плотность распределения резерва прочности;

$p_R(g + F)$ – та же функция, но с аргументом (g, F) ;

$p_F(F)$ – плотность распределения нагрузочного эффекта.

При подстановке (1.5) в (1.4) получаем формулу определения вероятности безотказной работы, то есть отсутствие возможности разрушения.

$$(1.6)$$

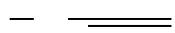
Где $f(g)$ функция распределения сопротивления и нагрузочного эффекта.

При расчете конструкций по второй группе предельных состояний под мерой надежности понимается, например, вероятность того, что максимальное перемещение w не превысит заданного $w_{зад}$. Тогда уравнение

$$(1.6) \text{ примет вид} \quad (1.7)$$

При любых законах распределения \bar{g} (1.8)

Здесь \bar{g} математическое ожидание, s – стандарт или стандартное отклонение. Число стандартов s_g укладываемых в интервале от $g=0$ до \bar{g} называется «индексом надежности» β .



Вероятность отказа располагается в заштрихованной площади на рис. 5, где изображена плотность распределения резерва прочности (несущей способности).

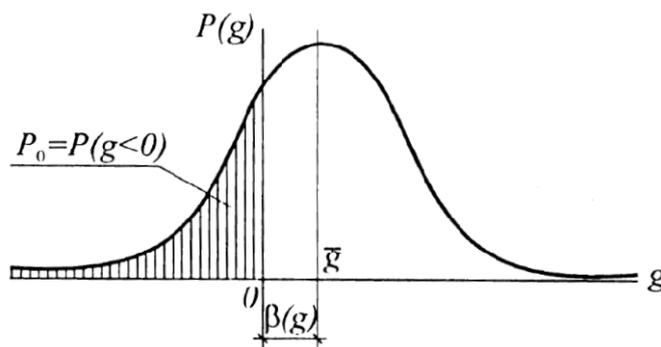


Рисунок 5 Плотность распределения случайной величины.

Соотношение между вероятностью отказа P_f и индексом надежности β может быть проиллюстрировано, если предположить, что скалярные функции F и R подчиняются нормальным законам распределения. Вероятность отказа в этом случае выражается в виде

$$(1.10)$$

где $\int_{-\infty}^0 f(x) dx$

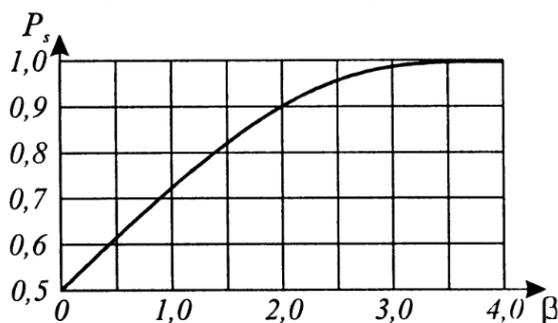
интеграл вероятности Гаусса.

Данные таблицы 1.1 показывают изменение вероятности отказа в зависимости от изменения индекса надежности.

Таблица 1

β	2,25	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
$P_f=1-P_s$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}

На рис 6 представлен график зависимости вероятности безотказной работы от β .



Если вместо выражения (1.3) для резерва прочности ввести отношение значений сопротивления и нагрузочного эффекта, то вероятность отказа определится формулой

—

Выражение (1.11) оказывается удобным, когда нагрузочный эффект F и сопротивление (несущая способность) R подчиняются логнормальному закону распределения. Индекс надежности в этом случае определяется формулой

Рисунок 6 Зависимость вероятности безотказной работы от индекса надежности

— — коэффициенты вариации сопротивления и нагрузочного эффекта.

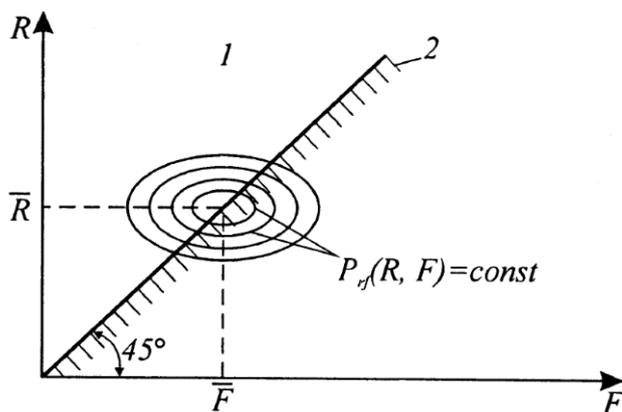


Рисунок 7 граница области допустимых состояний

Полезной представляется геометрическая интерпретация индекса надежности, приведенная на рис. 7.

Если сопротивление и нагрузочный эффект подчинены нормальному закону распределения, то изображенные на рис. 7 линии $p_{RF}(RF) = const$ (p_{RF} — плотность

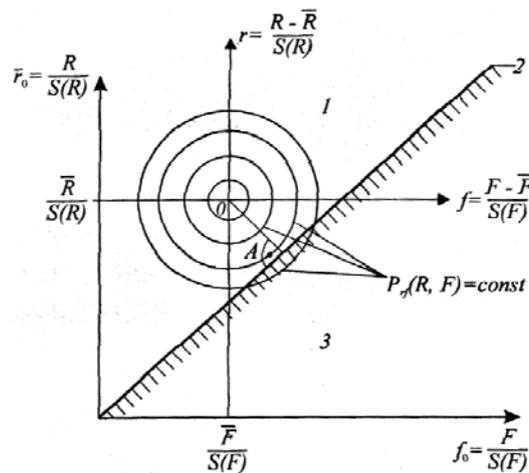


Рисунок 8 Граница области допустимых состояний ($r_0 f_0 = 0$)

совместного распределения нагрузочного эффекта и сопротивления) представляют собой эллипсы. В координатах эллипсы переходят в окружности (рис. 8) и соответствующим образом изменяется наклон прямой, ограничивающей область допустимых состояний.

Если ввести нормированные случайные величины

то начало координат сместится в центр окружностей (рис. 8). Учитывая что

и подставляя (1.13) в (1.3), можно записать

Граница области допустимых состояний определяется уравнением

Чем меньше расстояние от прямой, описываемой уравнением (1.16), до начала координат ($r=f=0$) на рис. 8, тем больше вероятность отказа P_f . Из простых геометрических соображений вытекает, что β равна длине вектора OA , нормального граничной линии (рис 9).

Направляющие косинусы этой нормали будут равны

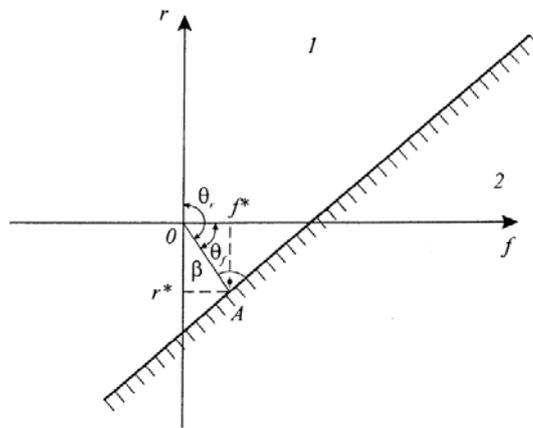


Рисунок 9 Индекс надежности

Точку A называют «расчетной» точкой. Тогда координаты точки A в осях r, f (рис. 8, 9) представляют собой расчетные значения r_p, f_p

В осях R, F (рис. X.X) координаты расчетной точки запишутся в виде

Формулами (1.19) и определяются расчетные значения сопротивления (например предел прочности или предел текучести) и нагрузочного эффекта (напряжения к примеру). Подставляя (1.17) в (1.19) получим

Согласно методу предельных состояний

Здесь коэффициенты надежности по материалу и нагрузке, соответственно. В действующих нормах нормативные значения не совпадают со средними значениями и сдвинуты по отношению к математическому ожиданию в сторону более опасных значений на число стандартов. Это вызвано разными соображениями, в частности, трудностью определения математических ожиданий по сравнению с некоторой стандартной методикой назначения нормативных величин, например по браковочному

минимуму¹⁷. Сопоставляя (1.20) с (1.21) находим

$$\frac{1}{\gamma_m} = \frac{1 + \frac{s_R \beta v_R}{\sqrt{s_R^2 + s_F^2}}}{1 - \mu_R v_R}; \gamma_f = \frac{1 + \frac{s_F \beta v_F}{\sqrt{s_R^2 + s_F^2}}}{1 + \mu_F v_F}. \quad (1.22)$$

Соотношения (1.22) показывают, как коэффициенты надежности связаны с индексом надежности и между собой. Любое изменение численных значений коэффициентов надежности при пересмотре норм непосредственно влияет на общую надежность конструкции.

1.3 Оценка риска в строительстве.

1.3.1 Концепция «ненулевого» риска.

Нормирование риска является сложной проблемой, затрагивающей социальные, экономические, технические, психологические и медико-биологические аспекты.

Практическим инструментом исследования уровня опасности объекта является количественный анализ риска. Анализ риска проходит следующим образом:

- построение всевозможных моделей, не возражающих принципам природы, критериям зарождения и развития критических происшествий, аварий и катастроф;
- построение нормативных показателей риска посредством математических моделей и статистических данных и сравнение их с фактическими.

Уровень безопасности и риска, соответствующий ожиданиям общества, выбор путей его гарантирования происходит благодаря определенным принципам. Исходя из анализа европейской и российской практики можно выделить следующие такие принципы:

- принцип абсолютного главенства безопасности, сбережения здоровья над возможными иными составляющими качества жизни;
- принцип приемлемой опасности и риска, при помощи которого устанавливаются нижняя допустимая и верхняя желаемая границы безопасности, и в этом интервале, с оглядкой на социально-экономические и иные аргументы, выбирается приемлемый уровень безопасности и риска;
- принцип наименьшей опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо, считая оправданными любые затраты на защиту человека и окружающей среды;
- принцип последовательного приближения к абсолютной безопасности, т. е. к нулевому риску, а также иные принципы, представляющие собой сочетание или развитие приведенных выше.

В нашем государстве до недавнего времени в основу концепции по гарантированию безопасности был положен принцип нулевого риска, то есть в проект не вкладывался

¹⁷ Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. — М., Стройиздат, 1978.—239 с.

запас прочности для противостояния отказам и непредвиденным ситуациям. Чернобыльская авария показала неправомерность такого подхода.

Концепция абсолютной безопасности в настоящее время признается неадекватной внутренним законам техносферы ввиду невозможности достижения абсолютной безопасности. В России, как и в большинстве стран мирового сообщества, принята концепция приемлемого риска, иногда называемая *концепцией ненулевого риска*.

Для установления уровня приемлемой безопасности и риска требуется проведение научного анализа социальных, экономических, экологических, демографических, техногенных и других факторов, определяющих развитие общества, с учетом связей взаимозависимостей.

Рост числа аварий наблюдается во всем мире и объективно это связано с повышением технологических нагрузок и параметров (давлений, температур, мощностей, напряжений, концентраций, скоростей и т. д.), с усилением производственно-хозяйственной деятельности человека, с повышением концентрации производства.

Однако, эта тенденция объясняется и целым рядом субъективных причин: пренебрежительным или некомпетентным отношением к вопросам промышленной безопасности, допущенными ошибками или дефектами проектировании, монтаже и на стадии эксплуатации объекта (систем) и т. д. В Российской Федерации ситуация усугубляется во многом изношенностью основных фондов, отсталостью некоторых технологий, низким уровнем эксплуатации оборудования, системами защиты, не всегда отвечающими требованиям мировых стандартов.

Согласно принятой у нас и за рубежом концепции «ненулевого риска», абсолютной безопасностью обладают только системы, полностью лишённые энергетического потенциала или активных компонентов (химических, биологических, радиационных). В остальных случаях риск аварии не равен нулю. Но таких систем в производственной деятельности практически не существует. Более того, даже обычное жилое здание (с подведенной энергетикой или без нее) содержит опасность возникновения аварийной ситуации. Например, при систематических протечках в санузле с вымыванием раствора в кирпичной кладке происходит обрушение стены (появляется энергетический потенциал в виде гравитационных сил). Известны случаи обрушения здания при отрывке вблизи него траншеи, что явилось следствием некачественных геоизысканий и закладки фундамента на песках-плывунах (песок перетекал в несанкционированную траншею) и др.

Существует также проблема биологически опасных зданий, материал и конструкции которых заражены колониями микроорганизмов (бактериями, грибами). Эти микроорганизмы проникают вглубь конструкций, выделяют токсины, разрушающие материал. В результате происходит постепенная биологическая деградация материала и последующее обрушение конструкций, как это произошло с козырьком вестибюля метро в Санкт-Петербурге в 1999 г. В жилых зданиях причиной такого процесса может быть нарушение экологических норм при строительстве и эксплуатации здания (протечки, сырость, затопления подвалов, неисправная сантехника и т. д. индикатором заражения могут служить признаки плесени, наличие на поверхности пятен разной окраски и др.

Таким образом, анализ различных многочисленных аварий подтверждает правильность концепции «ненулевого риска», теоретическую невозможность полностью избежать аварий. Можно стремиться только к снижению риска до бесконечно малых величин за счет наращивания ступеней защиты, повышения надежности элементов и

узлов системы, эффективного контроля и своевременного выполнения регламентных и восстановительных работ. Эти меры позволяют практически не допустить аварии.

Каков порядок вышеупомянутых бесконечно-малых величин, т.е. каков уровень приемлемого риска? В ГОСТ 12.1.010-76* по взрывобезопасности технический риск принят для опасных производств 10^{-6} , но практически в реальных условиях он на один-два порядка выше. В ряде стран за нормативный технический риск на АЭС принята величина 10^{-7} , т.е. вероятность безаварийного функционирования (надежность) составляет 0,9999999. В целом уровень приемлемого риска во многом зависит от экономического состояния страны, и он должен устанавливаться государством.

Вышеприведенная концепция перекликается с принятой в экологии «презумпцией виновности технологий» или потенциальной опасности загрязнения окружающей природной среды от любой намечаемой производственно-хозяйственной деятельности.

В соответствии с федеральным законом «О защите населения территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», при проектировании объектов производственного и социального назначения должен разрабатываться раздел проекта «Инженерно-технические мероприятия ГОЧС» с последующей государственной экспертизой в экспертных органах МЧС России.

В научной литературе слово риск имеет два значения:

1. Вероятность отказа;
2. Средневероятные потери от отказа, определяемые как $R=P_fU$, где P_f – вероятность отказа, U - ущерб от отказа.

Очевидно, что при расчетах риска следует опираться на возможные потери от отказа сооружения и, следовательно, риск в таком случае рассчитывается в тех же единицах что и ущерб от отказа.

Здание или сооружение никогда не строится ради самого себя. Они всегда создаются ради условия протекания «технологического процесса» (имеется в виду не только связь с технологией производства но и как процесс, определяющий назначение сооружения). Можно сказать, что надежность сооружения – это такое его состояние, при котором «технологический процесс» протекает нормально. Когда течение нарушается из-за состояния здания или вовсе останавливается, то говорят что произошел «отказ» сооружения. Возможность осуществления отказовых состояний, т. е. «вероятность отказа», является основной численной мерой надежности сооружения. Однако считается неразумным устанавливать некую предельную планку надежности и требовать превышения ее в проектах, ибо это ведет к значительному удорожанию строительства. С другой стороны повышение надежности уменьшает вероятность отказов и понижает затраты на ремонтно-восстановительные работы. Существует некоторый разумный уровень надежности, оптимально сочетающий в себе затраты на строительство и распределенные во времени потери от отказов.

Последствия отказов могут быть экономически оценимые и экономически неопределимые (например гибель или увечье людей, экологические бедствия...).

В случае экономически оценимых отказов ущерб вполне реально выразить в денежном эквиваленте, что представляется невозможным при сочетании с экономически неопределимым ущербом, так как немисливо выставить счет за человеческую жизнь или исторический памятник.

Поскольку эти виды отказов имеют различные единицы исчисления, многими считается непреодолимой проблема приведения оценки безопасности к единому виду.

Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремлением начальной стоимости сооружения к

бесконечности. Следовательно, проектирование зданий и сооружений с неизвестной вероятностью отказа означает допущение неопределенного числа жертв. Анализ уровня безопасности необходим хотя бы для раскрытия этой неопределенности и возможности оценивать принимаемые решения.

Известны многочисленные попытки решить проблему поиска оптимального уровня безопасности путем установления цены человеческой жизни. Все эти попытки закончились тем, что показали тщетность этого пути. Известны и менее циничные попытки найти денежное выражение неэкономической доли риска. Для этого предлагается определить некоторый предельный уровень затрат, который общество способно выделить для защиты жизни человека. Затем эта величина используется формально как цена жизни.

1.3.2 Методы оценки риска

Чтобы расходы, вложенные в безопасность сооружения, оправдали себя следует произвести оценку риска, величина которого зависит от вероятности отказа и его последствий. Таким образом анализ риска состоит из двух самостоятельных задач: определение вероятности отказа и оценка его последствий.

Определение вероятности отказа – это вероятностный расчет строительных конструкций, основанный на трех группах исходных случайных величин: воздействия, характеристики материалов и несовершенства геометрических характеристик. Принципы расчета достаточно изучены и вероятность отказа с некоторой точностью может быть определена. Наличие современных вычислительных комплексов расчета конструкций в сочетании с использованием численных методов таких как Монте-Карло, метод статистических испытаний, метод горячих точек и т. п. решает эту проблему.

Оценка последствий отказа, по сути, является инженерно-экономической задачей. Результатом отказа сооружения может быть не только обрушение стен и перекрытий, но и уничтожение оборудования, сырья, готовой продукции, культурных ценностей и т. п., не говоря уже о возможной гибели людей. В обязанности инженера-строителя входит лишь математическое описание модели отказового состояния и прогнозирование процесса разрушения конструкции. Прогнозирование нарушений технологического процесса и неэкономического ущерба входит в компетенцию инженера-технолога.

Определение же стоимости ущерба является экономической задачей, требующей рассмотрения вопросов ценообразования, конъюнктуры, экономического прогноза и т. п. Эта наиболее сложная часть проблемы практически до сих пор всерьез не решается. Поэтому в настоящее время налицо насущная потребность в научном экономическом анализе риска.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы:

- 1) Существует некоторый уровень надежности, превышение которого ведет к неэффективному расходованию средств на обеспечение безопасности сооружений. Этот уровень характеризуется эффективным значением вероятности отказа.
- 2) Сооружение должно проектироваться с учетом равенства вероятности отказа и его эффективным значением.
- 3) Анализ проблемы риска состоит из двух задач – инженерно-технической и инженерно-экономической. Методы решения второй значительно отстают от методов первой.

1.4 Анализ аварий

1.4.1 Порядок проведения и цели анализа аварий

Прежде всего, следует определить, какие ситуации относятся к аварийным. К авариям относят внезапное полное или частичное повреждение оборудования, разрушение зданий, сооружений, горных выработок, случаи взрывов, вспышек, загораний пылегазовоздушных

смесей, внезапного высвобождения различных видов энергии, вызвавшие длительное нарушение производственного процесса или приведшие к полной или частичной потере производственных мощностей, а также характер которых, и возможные последствия, представляют потенциальную опасность для производства, жизни и здоровья людей.

Аварии разделяют на 2 категории:

К 1 категории относят аварии, в результате которых полностью (частично) выведено из строя производство, а также аварии производственных зданий, сооружений, аппаратов, машин, оборудования, горных выработок, отражающиеся на работе предприятия в целом, отдельных его производств или технических единиц.

К таким авариям относят: взрывы газа и ныли, обвалы в стволах шахт, прорывы дамб, внезапные разрушения технологических зданий и сооружений, пожары зданий и сооружений, аварии конвейерных линий, взрывы котлов, работающих под давлением, разрывы трубопроводов.

Ко 2-ой категории относят аварии, в результате которых произошло разрушение либо повреждение отдельных производственных сооружений, аппаратов, машин, оборудования, отражающиеся на работе участка (цеха), объекта и приведшие к простоя производственных мощностей или снижению объемов производства.

К этой категории можно отнести: прорывы газов и пожары для отдельных участков; оползни и обрушения бортов карьеров; обрушение силосных башен, дымовых труб и другие аварии, требующие остановки основных агрегатов для проведения ремонта; падение грузоподъемных механизмов, лифтов или противовесов.

Расследование аварий

Расследование аварии состоит из трех этапов:

1. Предварительное обследование.
2. Детальное обследование.
3. Разработка проекта восстановления конструкций.

Предварительное обследование проводится сразу после происшедшей аварии с целью выяснения возможности пребывания в здании людей и выполнения технологического процесса; выявление и ограждение наиболее опасных зон; выявление полностью или сильно разрушенных конструкций.

После аварии, до тех пор, пока не проведено ее расследование, категорически запрещено убирать обломки конструкций или перемещать их на другое место. Место падения и характер расположения обрушившихся конструкций свидетельствует о причинах, повлекших аварию.

В ходе предварительного обследования следует четко зафиксировать время аварии. Неоценимую помощь при обследовании могут оказать свидетели аварии. Всех свидетелей следует подробно опросить об обстоятельствах, предшествующих и сопутствующих аварии. Если речь идет о пожаре, важную роль играет расположение очага возгорания.

При предварительном обследовании требуется определить, какие именно специалисты будут входить в состав комиссии при проведении детального обследования. В комиссию могут входить сотрудники организации, эксплуатирующей здание, а также приглашенные специалисты из научно-исследовательских и проектных организаций.

В ходе предварительного обследования требуется определить объем, в котором будет выполняться детальное обследование.

Составление акта

По результатам предварительного обследования составляется акт, в котором следует отразить следующие вопросы:

- краткая характеристика здания или сооружения;
- аварийные помещения и конструкции;
- необходимость приглашения экспертов для детального обследования;
- перечень работ, которые необходимо выполнить до прибытия . экспертов.

Акт должен быть утвержден директором предприятия, на котором произошла авария. Директору предприятия следует издать приказ о назначении ответственных лиц за принятие необходимых мер по технике безопасности при эксплуатации пострадавших помещений, их охране и назначении ответственных за эти мероприятия.

Детальное обследование следует проводить в следующей очередности:

- изучить проектную документацию;
- ознакомиться с пострадавшим объектом;
- выполнить подробное обследование конструкций;
- составить заключение по результатам обследования.

При обследовании следует четко зафиксировать все дефекты конструкций. Следует определить фактическую прочность элементов, подвергшихся разрушению. Для этого требуется отбор образцов для дальнейших испытаний. Из железобетонных конструкций выпиливаются образцы бетона, для определения его класса, и вырезается арматура. Из стальных конструкций вырезают образцы для определения класса стали.

Анализ аварий - это не только очень ответственная работа, которая должна быть выполнена без всякой предвзятости, но и достаточно творческая работа.

Истинные причины аварии, как правило, могут быть определены только после тщательного анализа и глубокого изучения сложившейся ситуации.

Проверочные расчеты.

Анализ аварий имеет большое значение для совершенствования современных методов расчета, в частности, по методу предельных состояний. Поскольку к моменту аварии предельное состояние наступает либо у всей конструкции, либо у ее части.

Для выяснения действительных причин аварии следует выполнить расчет с учетом всех нагрузок и воздействий, действовавших на конструкции в момент аварии. Для того, чтобы точнее понять механизм разрушения конструкций, требуется выбрать достаточно адекватную расчетную модель.

При расчете целесообразно учитывать физическую и геометрическую нелинейность.

Для стальных конструкций следует учитывать текучесть материала, для ж/б конструкций - раскрытие трещин.

Расчеты следует также выполнять на динамические воздействия: на ударное, импульсное, пульсационное, воздействие ветра, взрывное воздействие. Также, в случае пожара либо резкого понижения температуры, выполняют расчет на температурные воздействия.

Статические и динамические расчеты, которые выполняются при анализе аварий, имеют определенные особенности. Необходимо учитывать реально действующие нагрузки, поэтому коэффициенты надежности по нагрузке не учитываются. Несущая способность определяется по расчетным сопротивлениям II группы предельных состояний или даже по средним величинам. Учитываются реальные отклонения в геометрии конструкций и особенности стыковых соединений.

Целесообразно расчетом выполнить моделирование всего процесса разрушения в т.ч. падение отдельных элементов и их удар о другие конструкции.

Для учета динамических воздействий также необходимо стремиться к составлению адекватных моделей, учитывающих перемещения всех элементов в определенные интервалы времени.

При этом полученные результаты не должны замалчиваться. Обязательно следует публиковать результаты анализа и расчета конструкций, чтобы полученные результаты послужили уроком при проектировании аналогичных конструкций в дальнейшем.

Постоянный систематический анализ аварий помогает развить инженерную интуицию, так необходимую проектировщикам и строителям.

1.4.2 Анализ аварий за период 1981-2003 гг.

Важным для участников строительства является знание динамики изменения основных причин аварий зданий и сооружений.

Если объединить эти причины в основные группы, то в 1981 - 1985 годах удельный вес причин произошедших на территории РСФСР аварий каждой группы в процентном отношении составлял:

непроектное выполнение узлов сопряжения конструкций и армирования, смещение конструкций от проектного положения - 40 %;

нарушение технологии производства монтажных, бетонных и каменных работ - 25 %;

применение конструкций, деталей, материалов с непроектными характеристиками или бракованных - 20 %;

нарушение правил технической эксплуатации, взрывы технологического оборудования, пожары, удары подъемными механизмами и транспортными средствами - 11 %;

ошибки в проекте - 4 %.

Таким образом, в 1981 - 1985 годах 64 % аварий были связаны с нарушением нормативных требований и отступлением от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ, низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий, ошибками в проектах.

При этом 61 % аварий произошли на зданиях и сооружениях с конструктивными элементами из железобетонных материалов, 20 % аварий - на зданиях и сооружениях из каменных материалов, 17 % - на зданиях и сооружениях из металлических конструкций, 2 % - на деревянных зданиях. 51 % аварий произошли на производственных зданиях и сооружениях и 49% - на непроизводственных, при этом 17% аварий произошли на жилых зданиях.

В большинстве своем аварии были зарегистрированы на строящихся зданиях и сооружениях.

В 1986 - 1990 годах основные причины аварий практически те же. Так, 64 % аварий были связаны с нарушением нормативных требований и отступлением от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ, низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий, ошибками в проектах.

Несколько увеличился (на 3 %) удельный вес аварий, связанных с нарушением технологии производства монтажных, бетонных и каменных работ.

Практически не изменился удельный вес аварий, произошедших на зданиях и сооружениях из соответствующих конструкций и материалов (разница - 1-2 %).

Целый ряд серьезных аварий зданий в 80-х годах прошлого столетия явились следствием нарушения правил выполнения строительно-монтажных работ в зимнее время, из-за чего во время весеннего оттаивания бетона замоноличивания узлов сопряжения конструкций и подстилающих (прежде всего завышенных по толщине) слоев бетона или раствора, а также раствора каменной кладки происходило смещение конструкций от их проектного положения с последующей потерей устойчивости.

В 1995 году доля аварий, связанных с нарушением нормативных требований и отступлением от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ, низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий, ошибками в проектах составила 75 %, аварий, связанных с нарушением технологии производства строительно-монтажных работ - 14 %, связанных с нарушением правил технической эксплуатации зданий и сооружений - 11 %.

По сравнению с 1981-1990 годами возросла доля аварий, произошедших на зданиях и сооружениях из каменных материалов, и составила 33 %, 31 % аварий произошли на зданиях и сооружениях с конструктивными элементами из сборного железобетона, 22 % - на зданиях и сооружениях из металлических конструкций, 8 % - на деревянных зданиях, 3

% - на зданиях и сооружениях из монолитного железобетона и 3 % - на земляных сооружениях.

58 % аварий произошли на производственных зданиях и 42 % - на непроизводственных.

В 1995 году обращает на себя внимание значительное увеличение удельного веса аварий, произошедших на эксплуатируемых объектах - 78 % от общего числа зарегистрированных аварий, в 1993 и 1994 годах эта величина составляла, соответственно, 45 % и 42 %.

К 2000 году общая картина по авариям резко изменилась.

В три раза по сравнению с 1995 годом возросла доля аварий, связанных с нарушением норм технической эксплуатации зданий и сооружений и составила 33 %.

Доля аварий, связанных с низким уровнем качества строительно-монтажных работ, с нарушением нормативных требований и отступлением от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ, низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий, ошибками в проектах в 2000 году составила 33 %, доля аварий, связанных с внешними воздействиями, превысившими расчетные величины (превышение расчетных нагрузок на конструкции, удары и т. п.) - 17 %, доля аварий, связанных с несоблюдением технологии производства работ и правил техники безопасности при демонтаже конструкций - 13 %, аварий, связанных с не обеспечением консервации и охраны приостановленных строительством объектов - 4 %.

Еще больше возрос удельный вес аварий, произошедших на зданиях и сооружениях из каменных материалов, и составил 67 %, 21 % аварий произошли на зданиях и сооружениях с конструктивными элементами из сборного железобетона, 12 % - на зданиях и сооружениях из металлических конструкций.

50 % аварий произошли на производственных зданиях и 50 % - на непроизводственных.

79 % аварий произошли на эксплуатируемых или выведенных из эксплуатации объектах.

Анализ материалов расследования причин зарегистрированных в 2003 году на территории Российской Федерации аварий на строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях позволил классифицировать их основные причины по шести характерным признакам. Эти признаки определены в зависимости от установленных нарушений, а также от их влияния на состояние здания, сооружения или отдельные конструктивные элементы и приведены в порядке частоты повторяемости.

1. Нарушение правил технической эксплуатации зданий и сооружений (9 аварий - 34,6%).

2. Нарушение требований нормативных документов и отступление от проектов при выполнении строительно-монтажных работ (9 аварий - 34,6 %).

3. Нарушение технологии производства работ при реконструкции зданий (3 аварии - 11,5%).

4. Нарушение технологии производства работ при демонтаже конструкций (3 аварии - 11,5 %).

5. Низкое качество примененных при строительстве сборных железобетонных конструкций (1 авария - 3,9 %).

6. Превышение расчетных нагрузок на конструкции (1 авария - 3,9 %).

Доля аварий, связанных с нарушением требований нормативных документов, отступлением от проектов при выполнении строительно-монтажных работ и низким качеством строительных материалов, конструкций и изделий в 2003 году составила 38,5 %. Еще при 4 авариях (15,4 %) нарушение требований нормативных документов при выполнении строительно-монтажных работ являлось сопутствующими причинами аварий.

Таким образом, низкое качество строительно-монтажных работ, строительных материалов, конструкций и изделий в той или иной степени (основная и сопутствующая

причины) явились причиной аварий в 14 случаях из 26, что составило 53,9 % от общего числа аварий, произошедших в 2003 году.

Нарушение правил технической эксплуатации зданий в той или иной степени явилось причиной аварий в 14 случаях из 26.

Таким образом, большинство произошедших в 2003 году аварий зданий и сооружений являются следствием нарушения требований нормативных документов, отступления от проектов при выполнении строительно-монтажных работ, низкого качества строительных материалов, изделий и конструкций, а также нарушения правил их технической эксплуатации.

Шесть аварий (23 %) явились следствием нарушения технологии производства работ при реконструкции зданий и сооружений, а также при демонтаже выведенных из эксплуатации зданий.

Аварии при демонтаже выведенных из эксплуатации зданий и сооружений являются характерными для последних лет. При этом необходимые обследования демонтируемых конструкций, как правило, не производятся, проекты производства работ не разрабатываются. В результате это приводит к всевозможным обрушениям, гибели и травмам людей.

Характерными для последних лет являются также аварии, связанные с превышением расчетных нагрузок на конструкции как во время строительства (реконструкции) зданий и сооружений, так и во время их эксплуатации.

1.4.3 Анализ аварий за предыдущие 5 лет

В настоящее время аварии (итал. *Avaria*, от арабского слова «авар» - повреждение, ущерб) строительных объектов превратились в «обычное» и практически ежедневное явление, и лишь отдельные, наиболее «громкие» еще шокируют власти и население многих стран. По данным за 2010- 2014 гг. и результатам представленным в табл. 2-4, можно констатировать следующие результаты:

1. Аварии зданий и сооружений происходили в прошлом, происходят в настоящее время. С большой степенью вероятности можно предположить, что аварии зданий и сооружений возможны в обозримом будущем.

2. Аварии зданий и сооружений происходили и происходят повсеместно, независимо от стран, отрасли промышленности или сферы жизнедеятельности человека. Экономическое благополучие страны, отрасли или предприятия не является гарантией полной безаварийности зданий и сооружений.

3. Экономический кризис, политическая или иная дестабилизация в обществе способствуют увеличению как общего числа аварий зданий и сооружений, так и тяжести их последствий.

4. На данном этапе развития общества объективных причин для явного снижения уровня аварийности зданий и сооружений в ближайшем будущем пока не наблюдается. Основная тяжесть разрушений возможна для зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, по сравнению со строящимися и реконструируемыми.

5. Если аварий полностью избежать нельзя, то на основе накопленного опыта изучения аварий можно минимизировать их число и тяжесть последствий, прежде всего за счёт уменьшения повторяемости ошибок и предотвращения «однотипных» аварий, а также за счёт подготовленности общества как в психологическом смысле, так и в организационном и материальном планах.

Речь пойдет об обрушениях, произошедших в России, и братья во внимание будут исключительно те, информация о которых официально была размещена в средствах массовой информации.

Нарушения строительных норм и правил при возведении объектов различного назначения - далеко не все. Ни для кого не секрет, что много трагедий случается в результате реконструкции эксплуатируемых объектов. В подавляющем большинстве это жилые дома. При проведении реконструкции по неверному расчету и часто сфальсифицированному проекту рушатся перекрытия и стены квартир, подьезды и целые здания. К сожалению, зачастую реконструкция проводится вообще без определения ее возможности и составления соответствующих документов и с привлечением дешевой рабочей силы, необученной и даже не имеющей представления о серьезности предстоящих работ. Так, например, 30 января 2011 года обрушился целый подьезд четырехэтажного жилого дома в Ярославле. При перепланировке квартиры на первом этаже под офис по указанию предпринимателя были снесены две несущие конструкции. Сначала в квартирах жильцов появились трещины, а чуть позже, в вечернее время, произошло обрушение пролетных строений (рис.10). Под завалами погибла пожилая женщина.



Рисунок 10 Обрушение подьезда четырехэтажного жилого дома в Ярославле

Немало аварий происходит по причине халатного отношения к эксплуатируемому объекту. Зима 2010-2011 годов была в России необыкновенно богатой на осадки, и крыши прошли настоящую проверку на прочность. Далеко не все специальные службы вовремя проводили работы по очистке кровель от снега и наледи. Но халатность отношения к объектам сводится не только к несвоевременной очистке крыш. В пример можно вспомнить аварию в жилом доме г.Самары, произошедшую в октябре 2011 года. Из-за постоянной протечки труб в подвале двухэтажного дома 1890 года постройки постоянно стояла вода. Следствием стало обрушение перекрытия между подвалом и первым этажом.



8 июня

Рисунок 11 Обрушение здания торгового центра «Альфа», г.Курган.



12 октября

Ветхость строений и их неправильная эксплуатация стали для многих стран настоящей проблемой, приносящей беды многим семьям и организациям. По названным причинам произошли сначала обрушение перекрытий трех из пяти этажей главного корпуса торгового центра «Альфа» в г.Кургане (8 июня), а затем и полное разрушение этого здания (12 октября). При расследовании произошедшего выяснилось, еще в 2001 году экспертной организацией было проведено обследование здания торгового центра. Уже на тот момент экспертами были выявлены многочисленные недостатки в конструктивных элементах здания, в том числе трещины в наружных несущих стенах, значительный износ и частичное разрушение кирпичной кладки. Однако в 2002 году собственник здания провел строительные работы по реконструкции корпуса под комплекс оптово-розничной торговли, помещения которого впоследствии были распроданы.

Нельзя забывать, что причиной чрезвычайных происшествий является неправильная организация работ при строительстве, ремонте и демонтаже зданий. Здесь речь идет не о последствиях ремонта, а о технике безопасности во время их проведения. При несанкционированном демонтаже никто никакой ТБ не соблюдает, с этим все понятно, но кто позволяет вести работы строительных кранов при шквалистом ветре? Ведь краны падают на рядом стоящие здания, повреждая их, и территории вокруг объекта строительства.

Далее в табл. 2 – 4 приведены некоторые статистические данные о свершившихся в России авариях зданий и сооружений. При подведении результатов два или три обрушения, возникшие на одной площади и в одно и то же время, считались за один факт. Это, например, обрушение трех балконов пятиэтажного жилого дома в г.Якутске (20 июня) или падение строительного крана в пос. Краснообск Новосибирской области (27 марта). Тогда кран упал на угол крыши 5-этажного общежития, а затем аккуратно сложился на ограждении стройплощадки и детской площадке (рис. 13).



Рисунок 12 Обрушение трех балконов пятиэтажного жилого дома в г.Якутске

Мониторинг открытых источников информации по выявлению фактов причинения вреда вследствие недостатков работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства производится на сайте «НОСТРОЙ»¹⁸.

Постоянный мониторинг открытых источников информации по выявлению фактов аварий и происшествий, которые происходят на строительных площадках, в определенной степени позволяет отслеживать ситуацию в стране по авариям и происшествиям и определять наиболее аварийно-опасные виды работ. Результаты этой работы учитываются при разработке документов технического регулирования, а также для выработки предложений о внесении изменений в законодательство.

Работа по учету, обобщению и анализу аварий, происшествий и травматизма на объектах строительства осуществляется по следующим основным направлениям: аварии и происшествия; травматизм; ведение переписки по фактам аварий и происшествий; анализ практики применения СРО мер дисциплинарного воздействия к своим членам.

¹⁸ <http://archiv-nostroy.ru/sitePage.do?name=accidents>



Рисунок 13 Падение строительного крана на жилой дом, г.Якутск

Таблица 2

Сравнительный анализ аварийности в строительстве по годам наблюдений.

Период наблюдения		Аварийность		
		Всего	Происшествий	Аварий
2010 год (5 мес.)	Всего	96	40	56
	Ежемесячно	19,2	8	11,2
2011 год	Всего	187	103	84
	Ежемесячно	15,6	8,6	7,0
	в % к 2010	81%	107%	63%
2012 год	Всего	380	206	174
	Ежемесячно	31,7	17,2	14,5

	в % к 2011	203%	200%	207%
2013 год	Всего	506	272	234
	Ежемесячно	42,2	22,7	19,5
	в % к 2012	133%	132%	134%
2014 год	Всего	60	32	28
	Ежемесячно	30,0	16,0	14,0
	в % к 2013	71%	71%	72%
ИТОГО	Всего	1229	653	576
	Ежемесячно	27,7	14,5	13,2

Таблица 3

Сравнительный анализ аварийности за 2012-2013 года¹⁹

Период наблюдения	Аварийность								
	Всего			Происшествий			Аварий		
	2012	2013	%	2012	2013	%	2012	2013	%
Январь	30	40	133	14	19	136	16	21	131
Февраль	12	23	192	4	10	250	8	13	163
Март	18	34	189	7	14	200	11	20	182
Апрель	34	30	88	18	16	89	16	14	88
Май	28	36	129	14	18	129	14	18	129
Июнь	19	31	163	10	19	190	9	12	133
Июль	21	42	200	13	19	146	8	23	288
Август	35	52	149	16	28	175	19	24	126
Сентябрь	65	0	0	37	0	0	28	0	0
Октябрь	37	0	0	20	0	0	17	0	0
Ноябрь	37	0	0	23	0	0	14	0	0
Декабрь	44	0	0	30	0	0	14	0	0
За год	380	288	76	206	143	69	174	145	83

Обобщая сказанное понимаем что основная проблема трагедий заключается в халатном отношении общества. Нет надлежащего контроля за эксплуатацией объектов. Недостаточное финансирование и коррупция не позволяют вовремя проводить обследования и экспертизы эксплуатируемых объектов и исключают возможности своевременного ремонта.

Качество строительства тоже остается не на самом высоком уровне. При анализе причин случившейся трагедии часто выявляются отсутствие многих необходимых документов и

¹⁹ В отличие от остальных таблиц здесь приведены данные об авариях, освещенных в прессе, а так же не попавшие в нее.

неверные расчеты. Следует обратить внимание, кто привлечен к строительству объектов, из материалов какого качества ведется строительство. Часто из-за экономии средств в ход идет бывший в употреблении материал или новый некачественный. Непровары в швах стальных конструкций, бетон низкого качества и многое другое становятся причиной недолговечности строящихся сооружений.

Кроме всего названного, очень низкий уровень образования не дает возможности проектировщику сразу выдавать качественные проекты. По-настоящему безопасные объекты проектируются им лишь через годы, когда он, анализируя свои ошибки, приобретает опыт.

Тем не менее аварии зданий и сооружений не повод для нагнетания истерии в обществе и констатации безысходности, а повод для серьезных систематических научных исследований и на их основе внедрения в практику конкретных предупреждающих мероприятий, снижающих аварийность и тяжесть возможных последствий.

Сравнительный анализ аварийности 2014 г. к аналогичному периоду прошлого года (по состоянию на 3 марта 2014 г.).

Таблица 4

Статистические показатели		Всего в 2013 г.	В среднем за месяц 2013 г.	Статистика по месяцам												Итого за 2014 г.	В среднем за месяц 2014 г.	В % к среднес. показателям прошлого года
				январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь			
аварий	в 2014 г.			15	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	14,00	72%
	в 2013 г.	234	19,50	21	13	20	14	18	12	23	24	24	26	24	15			
	в % к 2013 г.			71%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
происшествий	в 2014 г.			18	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	16,00	71%
	в 2013 г.	272	22,67	19	10	14	16	18	19	19	28	27	37	35	30			
	в % к 2013 г.			95%	140%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
Итого в 2014 году				33	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	30,00	71%
Всего в 2013 году		506	42,17	40	23	34	30	36	31	42	52	51	63	59	45			
В % к аналогичному периоду				83%	117%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%		
Виды аварий и происшествий	Обруш. огражд.	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
	Обруш. CONSTR.	90	7,50	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3,00	40%
	Пожар	37	3,08	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6,00	195%
	Аварии с кранами	68	5,67	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2,50	44%
	Обвал грунта	50	4,17	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1,50	36%
	Несчаст. случаи	9	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0%
	Наруш. ТБ	201	16,75	16	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	16,50	99%
	Обруш. стр. лес.	7	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0%
	Обруш. кровли	9	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0%
	Взрыв оборудования	14	1,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0%
	Другие	21	1,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,50	29%
Итого		506	42,17	33	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	30,00	71%

Для этого важно понять, что в настоящий период времени в каждой стране есть не только индивидуальные, но и общие особенности эксплуатации зданий и сооружений (табл.7), причины и последствия^{20,21,22} аварий, проблемы в правовой и нормативной базе и многое другое.

Таблица 5

Особенности эксплуатации зданий и сооружений на территории РФ в начале XXI века.

1	Отсутствие или некомплектность исходных чертежей, результатов изысканий и расчетов
2	Привыкание к опасности – ежедневное «соприкосновение» с поврежденными и дефектными конструкциями
3	Отсутствие конкретного лица, отвечающего за безопасность и аварийность здания. Отвечают все, а после аварии наказывается любой «крайний».
4	Отсутствие системы и графиков проведения обследований и экспертиз
5	Невыполнение предписаний реальной настоящей экспертизы по стандартной причине «отсутствие средств»
6	Подбор подрядчиков на экспертизу, ремонт и реконструкцию по принципу «минимизации» затрат, формальное написание заключений экспертизы, некачественное проведение ремонтов
7	Отсутствие требуемой и неразрозненной нормативной базы, в том числе инструкций по эксплуатации, перепланировке и ремонту строительных конструкций конкретного здания с учетом специфики и условий эксплуатации данного здания
8	<p>Полнейшая уверенность владельцев и эксплуатационщиков в безаварийности «своего» здания, основанная на двух постулатах:</p> <ul style="list-style-type: none"> - крупногабаритность объекта считается полным эквивалентом безопасности; - отсутствие представлений о «старении» здания, о появлении и накоплении дефектов, повреждений, деградации свойств материалов, механизме усталостных и коррозионных разрушений, ухудшении условий эксплуатации и т.д.

²⁰ Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2010 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махутов, Г.А. Павлова, Н.А. Шишкина. – М., 2011. – 320 с.

²¹ Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: Монография / Под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М., 2011. – 428 с.

²² Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / Н.А. Махутов, О.И. Лобов, К.И. Еремин и др. – М.: Знание, 2012.

В настоящее время как правительство РФ^{23,24,25,26,27}, так и Государственная дума РФ²⁸ проявили политическую волю и нашли один из вариантов сдвинуть проблему снижения аварийности с «мертвой» точки. Создана технологическая платформа «Комплексная безопасность промышленности и энергетики», в рамках которой создана секция «Комплексная безопасность зданий и сооружений объектов промышленности и энергетики».

Даже если исходить всего из двух принципов:

- безопасность зданий и сооружений – такой же важный элемент национальной безопасности, как и ядерная, военная, энергетическая и др. (тяжесть последствий от аварий зданий и сооружений соизмерима с последствиями военных действий);

- проблемы безопасности зданий и сооружений – не площадка для нецивилизованной конкурентной борьбы и коррупции, а основа для объединенных усилий ученых и специалистов разного профиля, политиков, администраторов всех уровней и просто неравнодушных к данной проблеме граждан,

то просто необходимо уже сейчас приступить к систематизации научных исследований, а также созданию и возрождению научных школ в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений.

Стартовыми направлениями научных исследований по обеспечению комплексной безопасности и предотвращению аварий зданий и сооружений могут быть:

1. Учет и систематизация аварий зданий и сооружений, происходящих в РФ и за рубежом. Анализ причин и последствий аварий, их классификация по степени тяжести и уровню ущерба. Изучение и моделирование сценариев аварий и механизмов разрушения конструкций, а также элементов и узлов их сопряжения.

2. Исследование причин возникновения и статистический анализ накопления дефектов зданий и сооружений, их классификация как инициаторов разрушения. Учет влияния временного фактора на интенсивность повреждаемости конструкций и деградацию свойств строительных материалов.

3. Создание научных основ классификации зданий и сооружений, а также наиболее ответственных конструкций по степени тяжести последствий вероятных аварий, паспортов безопасности (включая электронные паспорта), региональных и государственных реестров стратегически и критически важных зданий и сооружений, норм по обеспечению

²³ Особенности эксплуатации металлических конструкций промышленных зданий: Монография / Под ред. К.И. Еремина. – М.: МГСУ, 2012.

²⁴ Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 31.07.2013 г. №2.

²⁵ Федеральный закон от 03.12.2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент и безопасности зданий и сооружений».

²⁶ Федеральный закон от 21.07.1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

²⁷ Федеральный закон от 04.03.2013 г. №22-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

²⁸ Рекомендации парламентских слушаний на тему: «Законодательное регулирование обеспечения безопасности зданий и сооружений: Проблемы и основные направления совершенствования» от 10.10.2013 г.

безопасности на всех стадиях жизни объекта.

4. Изучение действительной работы и особенностей условий эксплуатации несущих конструкций потенциально опасных гражданских и промышленных зданий различных отраслей промышленности и энергетики, включая совместную работу с основаниями и фундаментами, совместную работу с технологическим оборудованием, а также с близкорасположенными зданиями и сооружениями.

5. Изучение кинетики напряженно-деформированного состояния материала в «критических» элементах и узлах, способных вызвать разрушение всего сооружения. Учет влияния размеров и числа дефектов на изменение НДС критических элементов и узлов несущих конструкций, а также безопасность всего сооружения.

6. Создание технологий и методик технического диагностирования строительных конструкций, неразрушающего контроля и мониторинга в зонах, ответственных за разрушение объекта. Создание методик интерпретации результатов технической диагностики, неразрушающего контроля и мониторинга показателями прочности, надежности, риска возникновения аварий, безопасности и защищенности зданий и сооружений.

7. Создание теоретических основ и методов оценки и обеспечения комплексной безопасности и защищенности зданий и сооружений, а также классификации показателей безопасности риска, ресурса и др. по степени их опасности в зависимости от уровня поврежденности, ухудшения условий эксплуатации и т.д.

8. Создание физико-математических моделей процессов прогрессирующего обрушения здания и сооружения, методов и методик моделирования, в т.ч. компьютерного, аварий с учетом вышеперечисленных факторов старения материалов, кинетики НДС в зависимости от времени и роста дефектов и др., а также разработка методов и мероприятий по предотвращению аварий, в т.ч. путем компьютерного моделирования возможных вариантов усиления конструкций.

9. Создание новых конструктивных решений и разработка новых строительных материалов, отличающихся повышенной безопасностью и способных минимизировать тяжесть последствий при возникновении аварийной ситуации.

10. Применение информационных технологий для обеспечения комплексной безопасности строительных объектов, включающих в том числе разработку электронных паспортов зданий и сооружений, позволяющих в текущем режиме времени осуществлять оценку остаточной прочности, устойчивости, остаточного ресурса, надежности, риска аварийного обрушения и др. на основе собранной статистической информации и вероятностных подходов, а также не только моделировать возможные сценарии аварий (см.п.8), но и способы их предотвращения.

Естественно это далеко неполный перечень возможных научно теоретических исследований и практических разработок в области комплексной безопасности зданий и сооружений, а лишь основа для конструктивной критики и дискуссий по созданию системного подхода в РФ по снижению уровня аварийности строительных объектов, минимизации экономических и экологических потерь от аварий, а также избежание социальных и политических последствий. Консолидация усилий ученых и специалистов, создание современных научных школ позволят внести существенный вклад в безопасность

страны в части обеспечения безопасности зданий и сооружений, включая стратегически важные.

1.4.4 Анализ разрушений кровель от недоучета величины снеговой нагрузки

Большая часть урбанизированной территории России не рассчитана на реальные снеговые нагрузки. В результате только за последние три года было зафиксировано 77 случаев обрушения кровель, в том числе крыш жилых домов (26), спортивных сооружений (10), производственных и складских помещений (13), социальных объектов (20) (рис. 14). За это время при обрушении кровель пострадало 36 человек, 9 из них погибло. Всего за последние три года обрушение кровель произошло в 28 субъектах РФ. Основное количество этих случаев пришлось на Ленинградскую область (12%), Республику Татарстан (11%), Новгородскую (9%), Московскую (7%) и Сахалинскую (7%) области (рис. 15).



Рисунок 14 Количественное соотношение (%) типов объектов, кровли которых подверглись обрушению в 2009-11 гг.

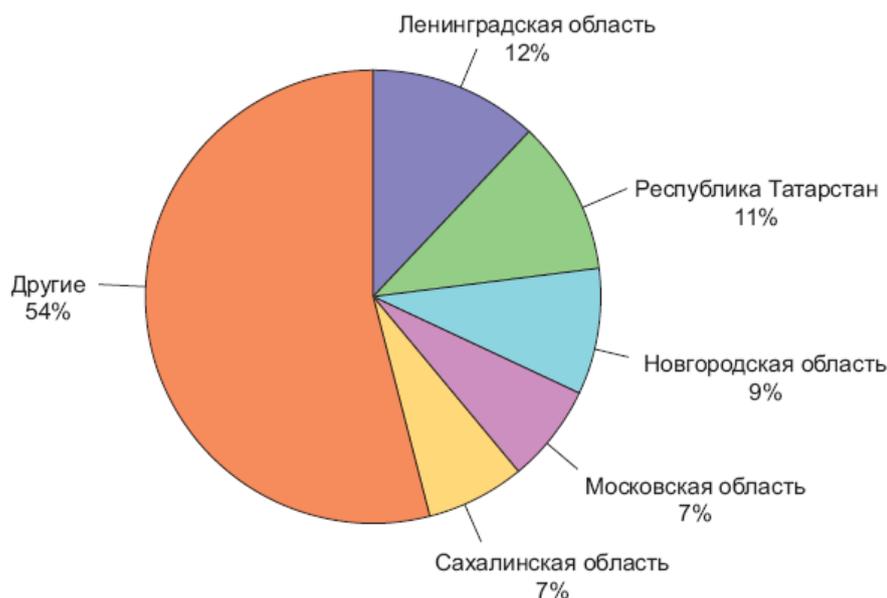


Рисунок 15 Количественное соотношение (%) случаев обрушения по субъектам РФ в 2009-2011 гг.

В городе Старая Купавна Московской области зимой 2008/09 года под весом снега обрушилась крыша строящегося корпуса чулочно-носочной фабрики на площади свыше 600 м².

Это привело к разрушению строительных лесов, в результате чего погибли два строителя.

В Сахалинской области большое количество повреждений и разрушений кровель произошло в марте 2009 года. В результате прохождения 13–17 марта 2009 года мощного циклона 14 марта за сутки выпало 19 мм твердых осадков и произошло частичное обрушение крыши общежития в селе Синегорск на юге острова Сахалин.

В тот же день обрушилась часть кровли слухового окна Синегорской участковой больницы. 19 марта из-за скопившегося снега обрушилась крыша общеобразовательной школы в селе Пятиречье Холмского района (рис. 16). Следом за первым прошел следующий циклон. 20–22 марта за сутки выпало более 20 мм осадков и произошло еще два обрушения кровель.



Рисунок 16 Обрушение крыши здания общеобразовательной школы в селе Пятиречье Сахалинской области

Под тяжестью мокрого снега в поселке Вахрушев Поронайского района (в центральной части Сахалина) просела крыша жилого 18-квартирного дома на площади 30 м². А в селе Синегорск частично обрушилась крыша дома сестринского ухода.

Эти последовавшие одно за другим обрушения кровель зданий на Сахалине говорят о том, что при нормировании снеговых нагрузок необходимо учитывать не только максимально возможное разовое значение веса снежного покрова, но и совокупную нагрузку, вызванную постепенным нагружением кровли при снегопадах, идущих друг за другом.

В селе Мошенское Новгородской области в конце февраля 2010 года произошло обрушение навеса, сооруженного над основной крышей здания начальной школы послевоенной постройки для защиты ее от протекания.

В деревне Федорово Тверской области в марте 2010 года произошло разрушение кровли заброшенного здания пристройки к автомобильной весовой, не выдержавшей тяжести накопившегося снега. В результате погибли два человека.

В г. Новосибирске 3 февраля 2011 года в результате скопления снега произошло обрушение кровли арматурного цеха строительной компании «Дискус Плюс». Площадь обрушения составила 300 м². В результате два рабочих погибли и семь получили травмы различной степени тяжести.

10 января 2011 года в г. Санкт-Петербурге в результате неправильно проведенных работ по расчистке плоской крыши от снега произошло обрушение 100 м² кровли спортивного комплекса им. Алексеева. Два человека были госпитализированы.

3 февраля 2011 года в г. Казани на складе стекла ОАО «Татстрой» обрушилась металлическая крыша на площади 700 м². В результате погиб один человек. На момент обрушения высота скопившегося на кровле снега составляла 60–80 см.

Большую ненадежность в отношении безопасности эксплуатации в зимнее время показали купольно-надувные конструкции, под которыми размещаются крытые катки, аттракционы и стадионы. Помимо того что они не рассчитаны на длительное воздействие снеговых нагрузок (предполагается, что снег из-за формы конструкции должен сползать по

полотну), они никак не защищены от возможного прорезания материала крыши снеголедовой массой.

Так, 30 января 2009 года произошло частичное разрушение воздухоопорной конструкции ледового дворца «Кварц» в городе Бор Нижегородской области, построенного в 2007 году.

Причиной разрушения стало накопление льда и снега на кровле, в результате чего произошел разрыв внешней, а затем и внутренней оболочки кровли и обрушение снежной массы на лед дворца.

20 декабря 2010 года обрушился купол спортивно-оздоровительного комплекса в г. Липецке постройки 2007 года. Воздухоопорная конструкция не выдержала тяжести снега и льда. Жертв удалось избежать.

Из-за не прекращавшихся в течение двух дней (12–13 апреля 2011 года) осадков (мокрого снега с дождем) обрушился купол ледового дворца в г. Владикавказе.

Таким образом, возможность использования в России подобных легко возводимых конструкций в зимнее время должна быть дополнительно проверена.

Основными причинами обрушений кровель под действием снеговой нагрузки на территории России за последние несколько лет являются: (1) изношенность жилого фонда (38%); (2) применение для строительства современных материалов, не протестированных для использования в районах со значительным перепадом температур и большим количеством осадков в зимний период (21%).

Требуется доработки вопрос о возможности использования особых многоконьковых форм крыш, с помощью которых можно снизить величину снегонакопления.

Остается открытым вопрос о величинах снеговых нагрузок в горных и малоизученных районах, так как количество гидрометеорологических станций в горах сокращается, а градиент прироста количества осадков с высотой рассчитан на небольшие территории.

Высказывается мнение, что только наличие региональных рекомендаций по расчету снеговых нагрузок и средне- и крупномасштабных карт районирования территории по весу снежного покрова позволит обеспечить надежность и безопасность объектов капитального строительства²⁹.

Глава 2 Причины отказов конструкций

2.1 Основания и фундаменты

Наиболее часто повреждения сооружений происходят из-за ошибок в проектировании оснований и фундаментов.

Фундаменты представляют собой часть сооружения, расположенного ниже поверхности земли и предназначены для передачи нагрузок от сооружения на основание. Основанием считается массив грунта, воспринимающий передаваемую на него нагрузку от сооружений.

Под воздействием нагрузок от сооружения основание деформируется. Эти деформации вызывают дополнительные усилия в конструкциях самого сооружения. Чем меньше и чем

²⁹ «Ущерб от снеговых нагрузок в Российской Федерации. Причины и последствия» - Лобкина В. А.: Научный журнал ГеоРиск.

равномернее деформируется основание, тем меньше будут дополнительные усилия в конструкциях самого сооружения.

Старинное правило гласит: не экономить на фундаментах. Дело в том, что ошибки, допущенные при проектировании фундаментов, бывает трудно и дорого исправлять. Кроме того, от надежности фундаментов зависит надежность всех остальных конструкций сооружения.

Основной ошибкой, допускаемой при проектировании, является образование недопустимых деформаций грунта основания, вызывающих повреждения сооружения. Эти проявления в значительных осадках, кренах, сдвигах, появлении трещин в несущих конструкциях, обрушении сооружения.

Другой причиной ошибок, допускаемой проектировщиками, является неправильный выбор конструкции фундамента или неверное заложение подошвы фундамента.

Наиболее опасна неравномерная осадка сооружения.

При равномерной осадке сооружения происходит смещение сооружения по вертикали, что может повлиять только на подводимые к сооружению коммуникации. Известны случаи, когда равномерная осадка сооружения составляла десятки сантиметров и они нормально эксплуатировались. Потребовалось лишь переложить канализационные трубы, в связи с тем, что они получили обратный уклон.

Образование неравномерных осадок фундаментов может быть вызвано изменением физических характеристик грунта от его увлажнения, неоднородностью залегающих грунтов под сооружением, значительной разницей напряжений под подошвами фундаментов, пучением грунтов, влиянием напряженного состояния от нагрузки строящихся поблизости сооружений или устройства вблизи котлованов.

Имеют место также ошибки, при которых в ходе проектирования не учитываются происходящие под воздействием внешних причин изменения несущей способности основания. Такие изменения возникают при увлажнении или размывании грунтовыми водами основания под фундаментом.

Увлажнению грунта способствует плохое решение отвода поверхностных вод, отсутствие отмосток у стен здания. Если водосточные трубы у основания стены здания заканчиваются просто отливом, то это может привести к местному увлажнению грунта и его просадке. Замачивание просадочных грунтов приводит к неравномерным осадкам фундаментов.

Изменение первоначальных условий вследствие нового строительства или реконструкции сооружения как: удаление земли с прилегающей к объекту поверхности, устройство каналов или котлованов вблизи фундаментов, новых сооружений или

возникновение новых динамических нагрузок, например, от движения транспорта, также может привести к повреждениям существующих зданий.

Часто разные фундаменты зданий имеют сильно отличающиеся между собой напряжения на грунт под их подошвой, что обычно вызвано применением в целях унификации фундаментов с одинаковой площадью подошвы. Это приводит к разным осадкам стен и колонн, что вызывает образование трещин в стенах и перекрытиях. Для уменьшения влияния неравномерных осадок целесообразно устраивать замкнутые пояса из армированной кладки на уровне фундаментов и стен.

По этим же причинам представляет опасность использования сохранившихся фундаментов от старых построек наряду с проектируемыми новыми фундаментами.

Часто трещины в стенах здания возникают и результате того, что проектировщики устраивают под какой-то частью здания глубокий подвал и не отделяют эту часть от подвальной при помощи осадочного шва.

Решение вопроса о глубине заложения подошвы фундамента должно основываться не только на глубине промерзания грунта и несущей способности грунта под его подошвой, но также и с учетом типа подстилающих слоев грунта, наличия потоков подземных вод, возможности размыва грунта.

Вымывание песчаных грунтов и подсыпок под фундаментами напорными грунтовыми водами могут вызвать недопустимую осадку сооружения.

Следует считаться с процессом уплотнения грунтов. С течением времени происходит уплотнение грунтов, особенно под воздействием вибрационных нагрузок, что приводит к повреждениям примыканий к основным конструкциям.

Так, перегородки в зданиях часто устанавливаются на пол или фундаменты на насыпных грунтах, что приводит к образованию в них трещин. Поэтому возведение перегородок на первом этаже целесообразно выполнять как можно позже, после полного строительства здания, когда в основном произошло затухание осадок фундаментов под капитальными стенами и колоннами.

Многие ошибки допускаются проектировщиками при строительстве на насыпных грунтах. Сложность строительства на них обусловлена тем, что в большинстве случаев насыпные грунты представляют собой неоднородную по составу и по свойствам массу, толщина которой нередко изменяется по простиранию в пределах сооружения.

В Москве на Хорошовском шоссе было построено около 60 двух- и трёхэтажных домов на насыпных грунтах. Толщина насыпных грунтов измерялась от 1 до 12 м, так как это была засыпка старого карьера по добыче песка. Давность отсыпки насыпных грунтов составляла

30 лет. Проектировщики приняли под зданиями систему ленточных фундаментов на песчаной подушке толщиной 80 см. Расчетное сопротивление грунта было принято $1 - 1,25 \text{ кгс/см}^2$. Однако, для ряда домов конструкции стен зданий были приняты без специального усиления. Т. е. дома, в которых были приняты специальные противоосадочные мероприятия: установлены железобетонные пояса в стенах и принята армированная кладка, не имели повреждений и много лет нормально эксплуатируются, а в зданиях, у которых не были установлены обвязочные пояса, появились трещины в стенах. Трещины имели раскрытые до 5 см. В трёх зданиях произошло обрушение оконных перемычек.

При изысканиях под двухэтажное здание котельной на глубине 1,5 м был расположен метровый слой насыпных грунтов, представляющих из себя смесь строительного и бытового мусора с включением органических осадков. Ниже повсеместно залегают аллювиальные пески, мелкие и средней крупности, плотные толщиной слоя 5-8 м. В отношении насыпных грунтов в отчёте по инженерно-геологическим изысканиям было отмечено, что основанием фундаментов они служить не могут. Однако, несмотря на это в чертежах по привязке подошва плитных фундаментов под котлы и другое оборудование всё-таки устанавливалась на насыпные грунты.

Через год в кирпичной кладке газоходов в местах примыкания к котлам появились трещины с раскрытием до 10 мм, вызванные отрывом просевших на 50 мм фундаментов котлов. Фундаменты насосных агрегатов накренились, а чугунные станины их треснули.

Причиной таких деформаций явилось интенсивное замачивание насыпных грунтов на всю глубину их залегания вследствие утечек водоотводов. Это повлекло за собой самоуплотнение насыпных грунтов. Просадке грунтов основания способствовало и вибрационное воздействие работающих вблизи котлов плохо отцентрированных насосных агрегатов.

Так ошибка, допущенная при проектировании, стала причиной прекращения эксплуатации котельной.

Наряду с неправильной оценкой свойств грунтов при изысканиях нередки случаи, когда оказываются невыявленными сильносжимаемые слои глинистых и заторфованных грунтов. Оказавшись в основании сооружений даже за пределами сжимаемой толщи, они могут вызвать длительные во времени и значительные по величине неравномерные осадки.

В Петрозаводске под пятиэтажный жилой крупнопанельный дом инженерно-геологические изыскания были проведены не в полном объёме. Под здание в ходе изысканий были выполнены всего две скважины, по которым достаточно трудно было установить изменение грунтовых условий по длине здания.

В результате допущенной ошибки при оценке грунтового основания в здании возникли следующие деформации: раскрытие вертикальных швов между панелями стен 1 см и более, трещины в стеновых панелях 2 мм и более, в том числе и сквозные, опускание лестничных

площадок, раскрытие швов между наружными панелями стен и внутренним каркасом, а также между панелями перекрытий и стен. Наибольшие деформации наблюдались у угла здания, где имелась прослойка слабого глинистого грунта.

Подобные случаи деформации нередки. При проведении геологических изысканий пол подобные здания необходимо бурить не менее четырех геолого-разведочных скважин по углам здания и одной скважины в центре. Минимальное количество скважин должно быть не менее трех.

В практике изыскательских работ для жилых зданий средней этажности глубина разведочных скважин обычно не превышает 8-10 м. Это считается достаточным для того, чтобы охарактеризовать свойства грунтов и провести необходимые расчеты основания и фундаментов. Такой подход не оправдал себя при проектировании сооружений на заторфованных территориях, которые имеют в составе грунтовых слоёв растительные остатки.

Так, через год после сдачи в эксплуатацию трёхэтажное кирпичное здание стало претерпевать возрастающие во времени неравномерные осадки. Изучение технической документации показало, что в основании здания залегает мощная толща моренных тугопластичных слабосжимаемых суглинков с величиной расчетного сопротивления 2 кгс/см^2 . Фактическое напряжение по подошве фундаментов не превышало $1,8 \text{ кгс/см}^2$.

Качество выполненных конструкций сомнений не вызывало. Вместе с тем рост осадок здания продолжался, поэтому было принято решение произвести дополнительное инженерно-геологическое исследование. Пробурив скважину глубиной 15 м (ранее глубина скважины не превышала 8 м), обнаружили линзу неразложившегося торфа толщиной 6 м, широко развитую в плане. Невыявленное на стадии изыскания наличие сильносжимаемого грунта и было причиной деформации здания.

Другой ошибкой является наличие под сооружением основания различной сжимаемости.

Характерный пример этого случая является строительство водолечебницы в Пештэржебете в Венгрии.

Здание Т-образное в плане опирается на ленточные фундаменты, заложенные до глубины промерзания в толще начинающегося от самой поверхности плотного песчаного гравелистого грунта с включением пылеватых частиц. Однако контрольным бурением было установлено, что этот верхний несущий пласт имеет мощность всего 1,2 - 1,8 м и подстилается сравнительно тонким, содержащим органику, слоем глины и ила, толщина которого изменяется в пределах от 10 до 90 см. Под этим слоем находится пласт известняка толщиной не менее 7 м (рис 17). Таким образом, пласт известняка, который следует принять за жёсткий, залегает от поверхности на различной глубине от 1,5 до 2,5 м.

Осадка, в основном, зависит от свойств слоя сильно сжимающейся глины с органическими примесями, обладающей большой влажностью, приближающейся к пределу текучести, и высоким коэффициентом пористости больше 1. Грунтовые воды находятся неглубоко, вода встречается уже на глубине 1,5 м от поверхности.

Первоначально в проекте правильно предусматривалось заглубление фундаментов до кровли известняка. Однако, из-за трудностей с водоотливом, а также уступая просьбе строительной организации, проектировщики согласились на то, чтобы ленточные фундаменты были расположены на верхнем слое грунта, обладающего хорошими свойствами. Расчётное сопротивление грунта было принято 2 кгс/см^2 , а глубина заложения определена с учетом глубины промерзания грунта. Уже через два года с начала эксплуатации в здании появились трещины, нарастающие с течением времени. Они были сначала обнаружены в районе скважин 1, 2 и 10 и имели размеры в несколько сантиметров. Произошёл также отрыв перегородок от капитальных стен.

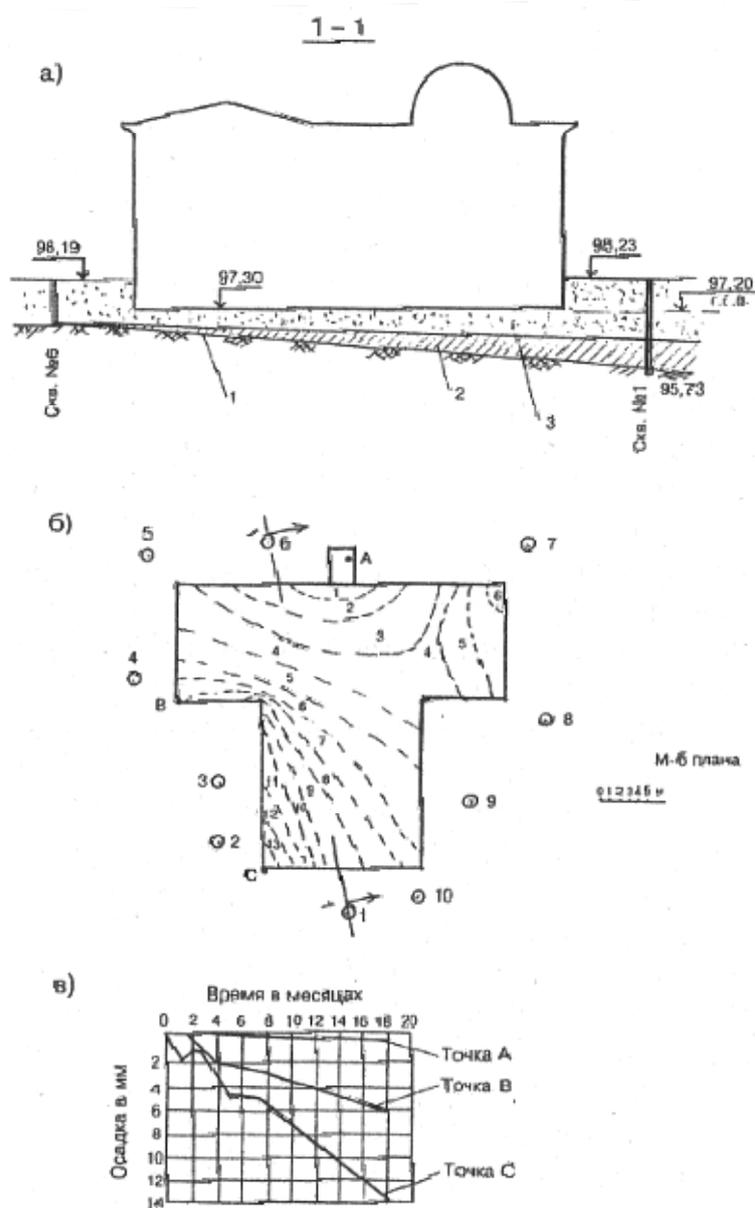


Рисунок 17 Осадка здания водолечебницы: а – характер грунтов под зданием (разрез 1-1); б – график осадок в плане здания; в – график осадок во времени; 1 – кровля известняка; 2 – глина 3 – песок пылеватый.

Контрольным расчётом было установлено, что напряжение на глину, содержащую органику, составляло $1,5 \text{ кгс/см}^2$. Это во много раз превышало ее несущую способность и повлекло за собой значительное сжатие грунта. Такое давление превышало также и прочность грунта и поэтому, возможно, происходило выпирание грунта из-под фундамента и вследствие значительного коэффициента пористости находящиеся по бокам частицы от сжатия легко подвергались уплотнению.

В конечном счёте нагрузка приходится на жёсткий пласт известняка, так как он залегает на различной глубине, то осадка верхних сильно сжимаемых слоев имела переменную величину.

Причина появления деформаций в виде трещин объясняется именно неоднородностью условий опирания фундаментов здания. Так, в точке А (см. рис. 17) здание имеет прочное опирание, а в направлении узкого крыла (точка С) происходила большая осадка.

Деформации в мм, происшедшие с момента их наблюдения, показаны и в плане здания в виде линий равных осадок. К сожалению, они не дают полной картины хода осадки здания, так как деформации протекали в течение первых двух лет эксплуатации, когда их измерения еще не производились. Можно предположить, что величина осадки в первые годы во много раз превышала измеренную в течение обследования, а величина полной осадки составит 9 см.

Из приведенного графика осадки во времени за период наблюдения (рис. 17, в) видно, что даже после трёх лет эксплуатации не наступило стабилизации осадки, а процесс стабилизации займёт не менее 4-5 лет,

Очень часто проектом предусматривается устройство песчаной подушки под подошвами фундаментов. Рыхлая, неравномерно уплотнённая песчаная подушка вызывает неравномерную осадку фундаментов. Кроме того, при наличии напорных грунтовых вод под подошвой фундаментов имеется опасность вымывания песчаной подушки. В этом случае вместо песчаных подушек следует применять щебеночные подушки или отказаться от устройства подушек вовсе, произведя опирание фундаментов на коренной грунт.

При проектировании конструкторы должны учитывать, что в процессе строительства может произойти замачивание грунтов основания, и должны при расчете фундаментов принять меры по обеспечению устойчивости фундаментов даже при аварийном попадании воды.

В случае наличия грунтовых вод при устройстве котлована под фундаменты рекомендуется использовать старый метод по сохранению глинистых грунтов от размягчения в период котлованных работ. Для этого на дне котлована оставляют слой грунта толщиной 20-50 см, который удаляют непосредственно перед возведением фундамента и на той площади, на которой будут бетонироваться фундаменты.

Повреждения сооружений могут происходить также из-за пучения грунтов. Пучение грунтов происходит при замерзании влаги в грунтах, склонных к пучениям. Это приводит к увеличению объема грунта и подъему вследствие этого сооружения. Поскольку грунты в пределах сооружения обычно имеют неоднородную способность к увеличению объема, это приводит к разности осадок различных частей сооружения, образованию трещин в стенах и даже разрушению. С наступлением теплой погоды наблюдается обратный процесс. Однако вследствие подвижки групп сооружение не приходит в первоначальное состояние до начала деформации от пучения.

Добромыслов А. Н. [6] приводит пример пучения двух построек в течение ряда лет.

Первое временное деревянное здание было выполнено каркасным из деревянных конструкций. Фундаменты были приняты из деревянных свай с заглублением в грунт порядка 1 м. Грунты в месте строительства был илистые водонасыщенные, подстилаемые глинами. Зимой здание не эксплуатировалось.

В первый же год эксплуатации весной было обнаружено, что ряд свай приподнялся на 10...15 см, вызывая тем самым неравномерный перекося дома. Летом после оттаивания грунта произошло незначительное опускание выпертых деревянных свай. Невозвращение свай при оттаивании на первоначальное место объясняется тем, что произошло частичное осыпание грунта в скважины при их выпирании. После этого здание было выправлено за счет отпиливания выдвинутых голов свай в одном уровне. На следующий год весной картина повторилась. Отпиленные сваи вновь выдвинулись за счет пучения на 20...30 см, производя вновь перекося дома.

Для изучения причины выпирания свай, выпертые сваи были раскопаны. Под дном выпертых свай были обнаружены цилиндрические по диаметру скважины линзы льда толщиной порядка 20 см, которые выпирали сваю. Образование указанных линз было вызвано заполнением водой полости под дном сваи и её замерзанием.

Для другого двухэтажного деревянного здания, расположенного на том же участке фундамент был выполнен следующим образом. Непосредственно на растительном слое грунта была устроена песчаная подушка толщиной 30...50 см, равная по площади дому. На ней сверху были изготовлены железобетонные ленточные фундаменты толщиной 20 см в виде перекрестных лент шириной 40 см по контуру здания и в его середине. На ленточные фундаменты в местах их пересечений опирались железобетонные столбы высотой 1 м, на которых располагалось само здание. Между бетонными столбами имелась деревянная забутка.

При эксплуатации дома в течение 20 лет каких-либо повреждений в доме замечено не было. В весенний период каждый год с южной стороны здания между подошвой фундамента и грунтом раскрывался зазор около 1 см, который летом закрывался. Это объясняется тем, что весной с южной стороны благодаря раннему прогреванию почвы происходило оттаивание грунта основания и грунт осаживался, в то время как с северной стороны грунт был в замерзшем состоянии. Благодаря наличию жесткого ленточного фундамента в виде перекрестных лент и жесткости самого здания происходило выравнивание осадок в весенний период и в здании не наблюдалось никаких видимых деформаций.

Пучение грунтов особенно проявляется в лёгких зданиях. С целью уменьшения влияния сил пучения рекомендуется применять конструкции фундаментов, приведенные на рис. 18.

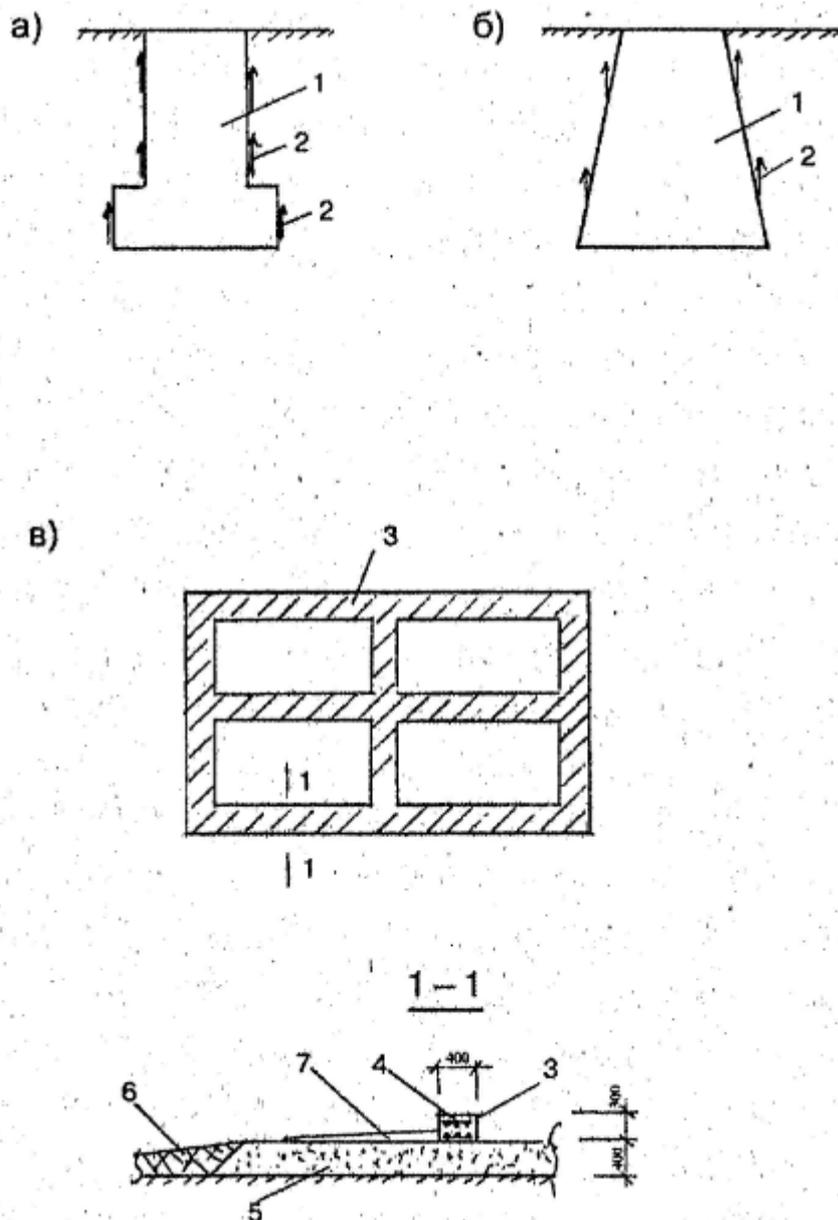


Рисунок 18 Фундаменты на пучинистых грунтах: а – неблагоприятная форма фундамента; б – благоприятная форма; в – рекомендуемый фундамент для легкого одно-двухэтажного здания; 1 – фундамент; 2 – силы от пучения грунта; 3 – ленточный фундамент; 4 – арматурный каркас; 5 – песчаная подушка; 6 – дерновый слой грунта; 7 - отмостка

В г. Калязине Тверской области после 5-летнего перерыва в эксплуатации жилого дома произошло разрушение его внутренних несущих стен.

Двухэтажный жилой дом был прямоугольный в плане, габаритом 10,4×24,5 м. Конструктивная схема здания — жёсткая с поперечными несущими стенами, расположенными через 4,4 м.

Фундаменты под поперечными внутренними стенами – ленточные из монолитного железобетона, с шириной подошв 80 см и глубиной заложения подошв от уровня земли 1 м. Фундаменты под всеми наружными стенами – бутобетонные, с шириной подошв 80 см и

глубиной заложения от уровня земли 1,7...1,9 м. Несущим основанием фундамента были глины мягко- и тугопластичные.

Наружные и внутренние стены здания несущие кирпичные из силикатного кирпича марки 100 на смешанном растворе марки 25. Толщина наружных стен без штукатурки была принята 51 см, внутренних поперечных стен — 25 см. Перекрытия деревянные, балки которых опираются на поперечные стены здания. Крыша деревянная, стропильной конструкции.

В результате пучения грунтов в зимний период под фундаментами внутренних поперечных стен, когда здание не отапливалось, произошёл отрыв всех поперечных ступ от продольных на всю высоту стен с раскрытием трещин до 30 мм. Во внутренних поперечных стенах и продольных наружных стенах в местах примыкания внутренних поперечных стен также возникли трещины с шириной раскрытия до 10 мм

Причиной разрушения стен здания явилось промораживание пучинистых грунтов основания, вызванное малой глубиной заложения подошв фундаментов под внутренними стенами.

Здание также имело и другие недостатки проекта: применение силикатного кирпича в цокольной части стен, отсутствие анкеровки стен к перекрытиям, отсутствие армирования кладки в местах пересечения стен, обеспечивающего надёжную связь продольных и поперечных стен.

Аналогичный случай повреждения здания имел место в г. Дедовске Московской области. Двухэтажное здание с подвалом, находящееся в стадии незавершенного строительства, из-за промерзания грунта под фундаментами средних продольных стен переломилось по длине на две части. Ширина раскрытия трещин наверху торцевых стен составляла 8 см. Были также повреждены плиты перекрытия подвала от поднятия средней продольной стены.

Указанные повреждения возникли вследствие того, что при строительстве в зимнее время не утеплили фундаменты под средними стенами, глубина заложения подошв которых от пола составляла 0,5 м. Часть котлованов этих фундаментов были не засыпаны вовсе и заполнены грунтовыми водами.

Случаи недостаточной прочности фундаментов из-за ошибок проектирования довольно редки. В строительной практике отмечены случаи продавливания колоннами плитной части фундамента стаканного типа вследствие малой заделки колонны в фундаменте, а также ленточных фундаментов и ростверков из-за неправильных их расчётов.

В Московской области в 2004 г. было запроектировано здание городского суда. Здание 4-этажное с подвалом размером в плане 53,5×36 м, высотой 12,4 м.

Стены здания несущие толщиной 38...51 см с расстояниями в осях между стенами 6 м. Наружные стены здания утепленные, общей толщиной 64 см.

Перекрытия приняты из сборных железобетонных пустотных плит, опирающихся в основном на поперечные стены. Перекрытия рассчитаны на нормативные временные нагрузки 250 ... 400 кгс/м².

Основанием фундаментов здания являлись мягкопластичные и тугопластичные суглинки, опесчаненные с прослоями пески. Расчетное сопротивление грунтов основания 3,4 кгс/см². Уровень грунтовых вод на 1,5 м ниже подошвы фундаментов.

Первоначально фундаменты проектировщиком были рассчитаны в виде железобетонных монолитных лент толщиной 40 см, шириной 2 м. со стенами в подпольной части из сборных бетонных блоков толщиной 40 и 50 см.

В дальнейшем по просьбе заказчика для увеличения надежности здания монолитные ленточные фундаменты были заменены проектировщиком на сплошную фундаментную плиту толщиной 40 см с арматурной сеткой из 5 стержней диаметром 18АIII на погонный метр длины, расположенной в нижней зоне с защитным слоем сверху 27 см.

При возведении третьего этажа здания в фундаментной плите вверху посередине пролета между несущими стенами образовались трещины с шириной раскрытия 0,3 ... 0,5 мм. Трещины с плиты распространились на кирпичные стены здания. После этого строительство здания было прекращено и заказчик потребовал усиления здания.

Причиной повреждения явилась недостаточная несущая способность фундаментной плиты в середине пролета между стенами, которая была законструирована без расчета. поскольку расчетная схема фундамента изменилась, в середине между стенами в фундаментной плите возникли большие изгибающие моменты и несущая способность плиты в этих местах оказалась заниженной в 2 раза что не было учтено проектировщиком.

Помимо этого по конструктивным соображениям толщина защитного слоя бетона над рабочей арматурой в растянутой зоне не должна превышать 5 см. При принятой толщине шпалы 40 см и ее расчетной схеме армирование должно было быть двойным в виде верхней и нижней сетки, а не одиночным, как принято в проекте со смещением сетки к подошве плиты.

Часто большие неприятности доставляют ошибки, допущенные в проекте в размерах при разбивке гнезд для анкерных болтов в фундаментах для оборудования.

Так, при проектировании монолитного железобетонного фундамента под станок были допущены ошибки в размерах расстановки в плане анкерных болтов. Когда фундамент был

изготовлен и строители приступили к монтажу станка, отверстия в станине станка под анкерные болты не совпали с колодцами под анкерными болтами в фундаменте.

Для ликвидации допущенной ошибки проектирования было принято решение по усилению путём приварки анкерных болтов к стальной плите толщиной 14 мм, которая в свою очередь крепилась с помощью анкеров в существующих колодцах железобетонного фундамента.

2.1.1 Обрушение секции жилого дома в Северодвинске



Рисунок 19 Обрушение секции жилого пятиэтажного дома в г. Северодвинск

24 августа 2012 года. Архангельская область. Северодвинск. Обрушилась секция жилого пятиэтажного дома по улице Ленина, 5.

Накануне фасад здания “украшили” трещины идущие от фундамента до крыши. После проведения предварительного обследования было принято решение о расселении дома.

Ночью в расселенном доме произошло обрушение, в результате которого была полностью разрушен один подъезд с первого по пятый этажи.

Пострадавших нет. Жильцам выделена материальная помощь в размере 20 тысяч рублей. Решается вопрос о расселении дома.

Обследовательские работы проводила лаборатория "Стройэкспертиза"

По данным экспертов, дом, построенный в 1950 году, начал деформироваться в конце 1990-х годов. С 2000 года велись геодезические наблюдения за состоянием конструкции. Критические деформации носили стихийный характер, что не позволило своевременно усилить поврежденные части дома.



Рисунок 20 Развитие трещин накануне обрушения

24 сентября 2012 года опубликовано техническое заключение по результатам обследования строительных конструкций жилого дома № 5 по ул. Ленина в Северодвинске.

Основные причины обрушения:

1. Разрушение кладки цоколя с отм. -2.07 м до отм. -1.40 м и наружной стены в уровне первого этажа в осях «4/16–20», повлекшее за собой обрушение данного фрагмента стены до карниза включительно по выявленному рисунку сквозных трещин и междуэтажных перекрытий в осях «4–5/16–20»;

2. Конструктивная особенность здания, его отдельных узлов и элементов, не обеспечивающая дисков жёсткости в уровне междуэтажных перекрытий и не создающая общую пространственную жёсткость и эксплуатационную надёжность, особенно во II-м подъезде в осях «4–22/15–21», а также ранее отмеченные недостатки проекта (цоколь из керамического кирпича практически от верха отмостки, отсутствие армирования кладки);

3. Отдельные отступления от требований проекта, строительных норм и правил при возведении объекта, применение низкомарочных строительных материалов не обеспечивающих надёжность и долговечность в условиях отрицательного воздействия знакопеременных температур и постоянного увлажнения, периодические нарушения правил и норм технической эксплуатации ж/дома (заделка цоколя в отмостку при благоустройстве территории);

4. Суффозия — вынос мелких минеральных частиц породы (песка в основании) фильтрующейся через неё водой, приведшая к изменению деформационных свойств грунта и, как следствие, к осадке (смещению) ленточного фундамента на естественном основании;

5. Неудачное расположение жилого дома с фундаментом на естественном основании рядом с автомагистралью с интенсивным движением автотранспорта;

6. Неблагоприятные природные условия в течении весенне — летнего периода 2012 г.: интенсивные дожди и ливни, вызывающее периодическое подтопление дорог и тротуаров, не справляющаяся с объёмом воды ливневая канализация;

7. Ударно-вибрационные нагрузки и воздействия на неармированную кладку несущих стен, выполненную из низкомарочных материалов, при ремонтах и перепланировках в ж/дома;

8. Перепланировка в кафе «Шоколад», выполненная с отдельными нарушениями и отступлениями от требований нормативных документов в области строительства, реконструкции и ремонта.

в частности:

— собственником кафе не представлены сведения об обследовании технического состояния здания (или его фрагмента — кафе «Шоколадница» в осях «4–22/15–21», за исключением л/клетки II-го подъезда) до начала выполнения проектных работ;

— проект перепланировки был представлен в МУП «ЖКК» только 20.08.12 г. без согласований в установленном Законодательством РФ порядке;

— на момент проверки собственником не представлена исполнительная документация на выполненный объём работ по перепланировке кафе (требования СНиП 12-01-2004 «Организация строительства»);

— металлические стойки опёрты на конструкцию полов, т.к толщина пола превышала 200 мм, а не на отдельные фундаменты в виде бетонных тумб по грунтовому основанию; — по многочисленным свидетельским показаниям жильцов при производстве ремонтно — строительных работ активно использовался ударно — вибрационный профессиональный инструмент (замеры уровня вибрации и шума не производились), что также оказало негативное влияние на неармированную кладку стен при отсутствии диска жёсткости перекрытия.

2.2 Каменные и армокаменные материалы

В каменных конструкциях встречаются следующие дефекты, допущенные при проектировании: неудачный выбор материала кладки, отсутствие гидроизоляции конструкций, неправильный учёт температурно-влажностных условий, отсутствие или неправильно выполненные деформационные швы, отсутствие анкеровки кирпичных стен, отсутствие указаний в проектах по производству работ в зимнее время, неправильный расчёт и конструирование.

В проектах стен из каменной кладки иногда находят применение разнородные по прочности и долговечности материалы.

Облицовка кирпичной кладки камнем или керамическими плитками на чисто цементном растворе может повлечь разрушение ценовой конструкции. Дело в том, что керамические плитки более жестки, чем кладка из глиняного и, особенно, силикатного кирпича.

Деформация кладки стены и облицовки происходит в значительной части за счёт швов. Раствор швов составляет 15-18% объема кирпичной стены, а при кладке облицовки только 3—5%. Поэтому с течением времени по мере деформации кладки нагрузку на себя принимает облицовка, что приводит к её отслоению.

В зданиях постройки 40...50-х годов прошлого века часто применяли стены из глиняного кирпича с облицовкой их силикатным кирпичом. Вследствие различия в деформационных характеристиках указанных материалов это приводило к образованию трещин в стенах зданий.

Цементная штукатурка и облицовочная плитка снаружи стен здания становятся преградой на пути перемещения водяных паров из помещения наружу, при этом пары в холодный период года конденсируют в слоях стены, прилегающих к штукатурке, что при

многократном замерзании вызывает отслоение штукатурного слоя. Особенно остро данная проблема возникает в стенах с повышенной влажностью помещений: в банях, прачечных, бумажных производствах и т.п. Для этих зданий эффективным решением проблемы является применение стен с вентилируемым зазором (см. рис 21).

Нежелательно при проектировании каменных кладок предусматривать несколько марок кирпича и раствора. В реальных условиях строительной площадки трудно проследить за производством работ по кладке стен из кирпича и раствора разных марок. Более целесообразным в этом случае является применение для повышения прочности кладки сетчатое армирование.

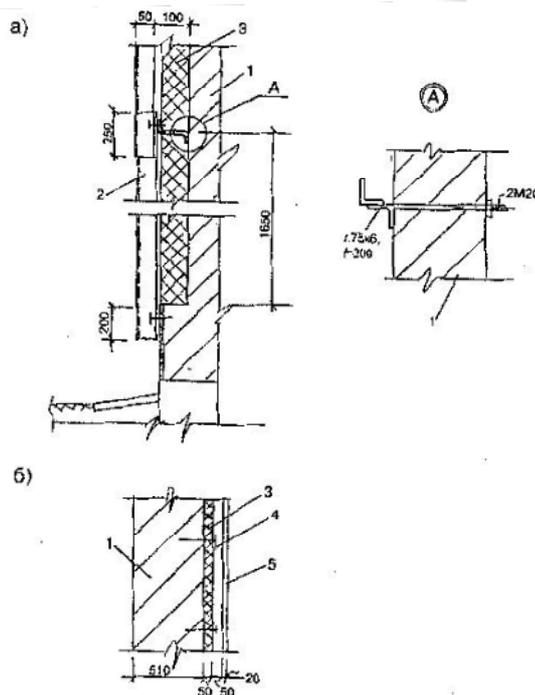


Рисунок 21 Конструкции стен: а - для зданий с повышенной влажностью; б - утепление существующих стен; 1 - существующая или проектируемая стена; 2 - гофрированная стальная облицовка; 3 утеплитель (полутвёрдые минераловатные плиты); 4 - воздушный вентилируемый зазор; 5 - стальные панели толщиной 0,5 мм по стальным вертикальным направляющим

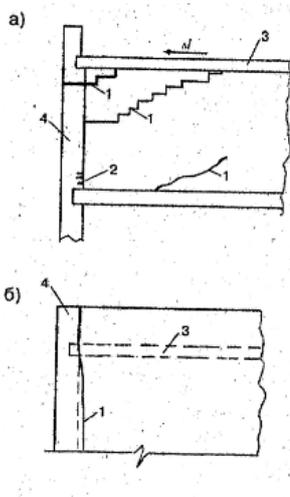


Рисунок 22 Образование трещин от температурных деформаций: а - в продольных стенах от смещения покрытия; б - отрыв торцевой стены; в - от удлинения перемычек; 1 - трещина; 2 - мелкие трещины в месте максимального момента; 3 - железобетонное покрытие; 4 - торцевая стена; 5 - простенок; 6 - перемычка над окном

В стенах зданий с плохой гидроизоляцией или без неё за счет подъёма капиллярной влаги наблюдается сырость в помещениях, а также при применении неморозостойких материалов происходит разрушение цоколя стен от размораживания нападки. Поэтому в стенах, соприкасающихся с землёй, всегда необходимо устраивать вертикальную гидроизоляцию, и на уровне земли горизонтальную гидроизоляцию кладки.

Выступающие каменные конструкции: парапеты, карнизы, цоколи должны иметь надёжную защиту от воздействия атмосферной влаги, вызывающей разрушение кладки.

Из-за неправильного учёта температурных деформаций в стенах кирпичных зданий возникают трещины. При удлинении кирпичной кладки порядка 1 см в ней обычно возникают трещины.

Трещины возникают из-за больших перепадов температур при плохо теплоизолированном покрытии здания. В этом случае подвижка покрытия от температуры приводит к образованию трещин в кладках верхнего этажа. При этом торцовые стены

будут отрываться от продольных, а трещины в кладке могут достигать нескольких сантиметров (рис.22). Для устранения этого необходимо в проектах предусматривать зазоры между торцами плит покрытия и кладкой стен и укладку под опорами плит прокладок из рубероида для уменьшения трения во время температурных деформаций.

Трещины в каменных стенах часто возникают при сезонных перепадах температуры воздуха в местах оконных и дверных проёмов из-за использования там стальных или железобетонных перемычек. Коэффициент линейного расширения железобетона и стали примерно в два раза превышает этот показатель для каменной кладки. В результате этого в каменной кладке при пролетах перемычек около 3 м в наружных стенах образуются трещины, возникающие у концов перемычек и заходящие в кладку простенков (рис. 22). Для устранения образования этих трещин выше и ниже опор перемычек рекомендуется предусматривать сетчатое армирование.

В мостах концов протяжённых стальных и железобетонных включений рекомендуется устраивать деформационные швы (рис. 23).

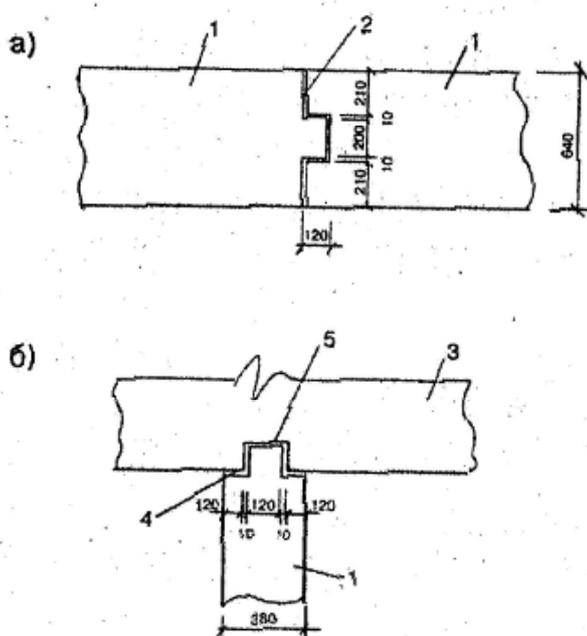


Рисунок 23 Температурно-деформационные швы в кирпичных стенах: а - температурный шов; б – деформационный шов примыкания стен к существующему зданию; 1 — стена; 2 — два слоя толя с прокладкой антисептического войлока; 3 - существующая стена; 4 – просмоленная пакля; 5 - штраба на всю высоту стены

По этой же причине при устройстве монолитных железобетонных или стальных обвязочных поясов может произойти образование трещин в стенах. В этом случае более рациональным для каменной кладки будет применение армокаменных поясов, обладающими прочностными свойствами и не требующих за ними ухода при изготовлении.

Отсутствие или неправильно выполненные температурно-усадочные и деформационные швы могут повлечь образование сквозных трещин с раскрытием до нескольких сантиметров.

При проектировании перегородок между перекрытием и перегородкой следует оставлять зазор до 2 см, заполняемый просмоленной паклей. Указанный зазор обеспечивает свободную деформацию перекрытия без передачи давления от перекрытия на перегородку.

Значительное количество аварий зданий происходило из-за неправильного опирания балок покрытия на стены. Особенно опасно неправильно выполненное опирание балок или

ферм пилястры, когда опорные подушки под балками не заделываются в стены а пилястры не имеют достаточной связи со стеной.

Для правильного выполнения узла опирания пилястра должна иметь сетчатое армирование на длине не менее 1 м ниже опорной подушки. Арматурные сетки должны соединять опорные участки пилястр с основной частью стен и заделываться в стену на глубину не менее 12 см.

Опираание стальных или железобетонных балок непосредственно на кладку без подушки может повлечь образование трещин в кладке в месте опирания балок.

Иногда при проектировании забывают осуществлять анкеровку кирпичных стен и столбов к перекрытым и покрытиям. Согласно нормам для обеспечения пространственной жёсткости и устойчивости стен и столбов, в них устанавливаются анкера из стали сечением не менее 0,5 см с приваркой их к железобетонным плитам перекрытий или балок покрытий с расстоянием не менее 6 м, тем самым обеспечивая соединение продольных стен между собой. Высокие каменные стены каркасных зданий должны крепиться с помощью анкеров к колоннам каркаса.

В многослойных стенах следует обеспечивать связь между слоями из тычковых рядов кладки или стальных связей, в виде арматурных сеток с шагом через 5 рядов кладки, защищенных от коррозии слоем цементного раствора толщиной 1—1,5 см. Суммарная площадь стальных связей должна быть не менее 0,4 см² на 1 м поверхности стены.

Каменные своды и арки имеют тенденцию к повреждениям вследствие недоучёта при проектировании податливости опор.

Анализ показывает, что, начиная с 1996 года, отмечается рост числа аварий на каменных зданиях по сравнению с авариями на зданиях других конструктивных схем. В 1999 - 2003 годах доля аварий на каменных зданиях в среднем составляла 49 %. Для сравнения, в 1981 - 1985 годах она составляла 20 %, в 1986 - 1990 годах - 14 %.

В 2003 году на каменных зданиях произошло 12 аварий - 46% от их общего количества. Из них 9 аварий произошло на эксплуатируемых зданиях и 3 - на реконструируемых. На 2-5 этажных зданиях произошло 9 аварий, на одноэтажных зданиях 3 аварии. На общественных зданиях произошло 5 аварий, на производственных - 4 и на жилых - 3 аварии. Из 12 произошедших в 2003 году аварий на каменных зданиях 7 аварий так или иначе были связаны с нарушением правил технической эксплуатации зданий.

Одной из наиболее характерных для последних лет аварий является обрушение 9 железобетонных плит покрытия размером 6×1,5 м и 8 железобетонных плит перекрытия размером 6×1,5 м, разрушение ригеля и частично кирпичного столба одноэтажного кирпичного здания цеха готовой продукции ООО "Гнездовский консервный завод" в г. Смоленске (4 июня 2003 г.). Здание цеха эксплуатировалось с 1961 года. В результате аварии погиб 1 человек, 4 человека были травмированы.

Техническое расследование причин аварии показало, что она явилась в первую очередь следствием преждевременного местного скрытого старения бетона, кирпича, закладных деталей и арматуры несущих конструкций под действием применявшихся в цехе в 80 - 90 годах агрессивных жидкостей (солевых и уксусных растворов) при варке грибов.

При этом необходимая защита конструкций от воздействия агрессивной среды не производилась, своевременно не проводилось их техническое обследование, следствием чего явилась потеря прочности верхней части опорного столба подвального помещения и его частичное разрушение.

Обрушению способствовало нарушение требований нормативных документов при выполнении строительно-монтажных работ при сооружении здания цеха (отсутствие сварных соединений и анкеровки плит покрытия и перекрытия, недостаточная глубина опирания плит перекрытия на стены).

С длительным воздействием техногенных вод на кирпичную кладку эксплуатируемых зданий связано обрушение конструкций 3-этажного кирпичного здания больничного корпуса в г. Салаир Кемеровской области (4 апреля 2003 г.), частичное разрушение и деформации несущих конструкций 5-этажного кирпичного жилого дома в г. Закаменске Республики Бурятия (19 июля 2003 г.).

Характерным для северной климатической зоны являются аварии вследствие потери несущей способности многолетнемерзлых грунтов.

Так, обрушение части 5-этажного жилого дома, в которой находился зубоорачебный кабинет поликлиники (1 этаж) и 4 трехкомнатные квартиры в п. Зыряновка Верхнеколымского улуса Республики Саха (Якутия) (20 июня 2003 года), произошло вследствие потери несущей способности многолетнемерзлых грунтов, вызванной постоянным сбросом техногенных вод с инженерных коммуникаций и скоплением их вместе с поверхностными водами под зданием. В результате оттаивания многолетнемерзлых грунтов произошли деформации железобетонных свай и ростверков. Здание было построено по I принципу использования многолетнемерзлых грунтов (недопущение оттаивания).

Подобного рода аварии в районах распространения многолетнемерзлых грунтов при несоблюдении правил эксплуатации зданий и сооружений можно ожидать и в дальнейшем. Например, только в г. Норильске в результате образования таликовых зон в основаниях зданий ежегодно выводится из эксплуатации более 20 тыс. квадратных метров жилья.

С нарушением правил эксплуатации зданий и сооружений связано полное обрушение одноэтажного здания овцеводческой фермы в д. Атликасы Ядринского района Чувашской Республики (30 июля 2003 г.). Здание одноэтажное, размером в плане 10,5×35 м, построено в 1957 году. Колонны кирпичные, заполнение стен - саманное, перекрытия и стропильная система - деревянные. В 1993 году здание было списано, но эксплуатировалось в качестве склада грубых кормов. Списанное здание подлежало сносу, однако его эксплуатировали, не производя необходимого технического обследования конструкций, утративших свои прочностные характеристики.

Обрушение произошло под воздействием сильных порывов ветра, которым не смогли противостоять конструкции, потерявшие свою несущую способность. Одной из причин аварии явилось нарушение нормативных требований при строительстве здания (отсутствие связи балок перекрытия и колонн, низкое качество раствора).

В результате аварии погибли 3 человека, 3 человека были травмированы. Указанная авария была зарегистрирована главным образом потому, что она была связана с гибелью людей.

Подобного рода зданий, выведенных из эксплуатации, в Российской Федерации большое количество. Периодически происходят их обрушения, на что, как правило, не обращается внимания.

На прочности и устойчивости каменных зданий и конструкций резко сказываются как нарушения требований нормативных документов при строительстве, так и несоблюдение правил их технической эксплуатации.

Несоблюдение правил технической эксплуатации каменных зданий, связанное как правило с переувлажнением оснований и конструкций техногенными, поверхностными и грунтовыми водами, сказывается на них в большей степени, чем на зданиях из сборного и монолитного железобетона и деревянных зданиях. При этом в первую очередь разрушаются конструкции, выполненные из кирпича, не соответствующего нормативным требованиям по прочности и морозостойкости.

2.2.1 Причины обрушения Дома культуры г.Чистополь.

В пятницу, 07 сентября 2007г, около 7 часов произошло обрушение строительных конструкций первого и второго этажей в пределах разбивочных осей «1-4»-«Б-Д», со стороны главного входа здания дома культуры по улице В. И. Ленина, в городе Чистополь, Республики Татарстан.



"Техническое заключение по результатам инженерного обследования конструкций здания обрушившегося Дома культуры в г.Чистополь" установило комплекс причин, в результате которых произошла авария. Техническое заключение подготовлено проектным институтом ГУП "Татинвестгражданпроект".

Ниже представлены причины в результате которых произошла авария:

1. Не достаточно надежное грунтовое основания под подошвой фундаментов мелкого заложения (ФМЗ). Подошва ФМЗ имеет переменную по длине здания отметку заложения, разную конструкцию (ленточные и столбчатые частично выполненные из кирпичной кладки на глинисто-песчаном растворе, сборных бетонных блоков и железобетонных подушек ленточных фундаментов). Фундаменты расположены на сильно сжимаемых грунтах (ИГЭ-НС – насыпной грунт слабо заторфованный, водонасыщенный), полностью или частично прорезанных песчано-гравийной подушкой (ПГС), подстилаемой ИГЭ-3в - суглинком мягкопластичным и ИГЭ-3б – суглинком мягкопластичным. Неравномерная сжимаемость грунтов основания вызвала неравномерную осадку разнотипных по конструкции фундаментов под столбы и стены. Это послужило причиной образования сквозных трещин в кирпичных стенах и сверхнормативной деформации осадки кирпичных столбов-пилонов в зоне обрушения.

Инженерно-геологическими изысканиями установлено, что обследуемое здание возведено над погребенной системой древнего горизонтального самотечного дренажа, выполненного из древесины (дуба). По состоянию на период проведения обследования дренажная система не функционирует, так как древесина уже сгнила, а конструкции деревянных труб и колодцев обрушились. Обследуемое здание, расположенное над ветхой системой, обрушившегося, горизонтального дренажа, приобрело недопустимые осадки фундаментов, что послужило причиной формирования состояния неустойчивого равновесия отдельных несущих и самонесущих строительных конструкций и здания в целом.



2. Применение для кладки стен и столбов-пилонов некачественного керамического кирпича и глинисто-песчаного кладочного раствора. Обследованием установлено, что несущие и самонесущие стены и столбы здания выполнены из кладки керамического полнотелого кирпича на непрочном, растворимом в воде глинисто-песчаном растворе. Содержание песка в кладочном растворе составляет 90%. Согласно проекту привязки проектная марка кирпича должна составлять не менее М100, а кладочного цементно-песчаного раствора не менее М50. Фактически, по результатам визуального обследования, кладочный раствор имеет очень низкую марку по прочности, которую невозможно нормировать, так как раствор крошится при незначительном усилии сжатия между пальцами рук. Керамический кирпич в кладке стен имеет раковины, трещины и искажение геометрических размеров. Глинисто-песчаный кладочный раствор имеет разную толщину по высоте кладки. Предпринятая попытка, отбора образцов кладочного раствора из стен и столбов, для определения его прочности в

лабораторных условиях, не удалась, в связи с очень низкой прочностью раствора.

Одной из причин образования сверхнормативных деформаций фундаментов, кирпичных стен подвальной, бес подвальной и цокольной частей здания, а также надземных строительных конструкций является то, что кладка кирпичных стен выполнена на растворимом в воде песчано-глинистом растворе. Часть кирпичной кладки, находящаяся в режиме регулярного подтопления подземными водами, растворяющимися и вымывающими кладочный раствор, приобретает все большую осадочно-усадочную неравномерную деформацию, суммируемую с осадкой ненадежного грунтового основания.

В кирпичных стенах отсутствует горизонтальная и вертикальная гидроизоляция. Отсутствие защиты конструкции стен от вымывающего воздействия подземной воды, сезонного воздействия попеременного замораживания и оттаивания (МРЗ), негативное воздействие пучения водонасыщенного грунта на конструкцию подземной части, привело к нарушению целостности и расслоению кирпичной кладки в ее подземной части. Это также послужило причиной значительного снижения прочности, надежности, долговечности и общей устойчивости кирпичных стен и здания в целом.

Наружная кирпичная, несущая стена вдоль «Д», вблизи оси «б» имеет слабонаклонную, сквозную трещину протяженностью на всю высоту стены с раскрытием в верхней ее части, у парапета до 50мм. По данным, отмеченным в, в период эксплуатации дома культуры еще в 1978 году в стенах зрительного зала образовались сквозные трещины, которые, в течение последующего периода (1980г) и (1984г) имели тенденцию к увеличению их количества и степени раскрытия. Это свидетельствует о значительной деформируемости грунта основания в течение длительного времени (на протяжении периода эксплуатации, о чем можно судить по имеющимся актам) и неравномерной осадки фундаментов в пределах здания.

Кирпичная кладка, на участках с отслоившейся и отбитой штукатуркой, имевшая непосредственный контакт с атмосферными осадками и подверженная режиму попеременного замораживания и оттаивания (МРЗ), имеет: значительные повреждения. В кладке наблюдаются следы разрушения кирпича в результате сверхнормативного, попеременного замораживания и оттаивания (МРЗ); образования высолов и лущения на поверхности кладки; растворения и вымывания кладочного раствора; выпадения отдельных фрагментов кирпичей.



3. Грубым нарушением требований СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции», СНиП II-22-81. «Каменные и армокаменные конструкции» и Пособия по

проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования»), при возведении кирпичных стен и столбов из кирпичной кладки в зоне обрушения строительных конструкций, а также в пределах всего обследуемого здания дома культуры, является то, что в местах опоры сборных железобетонных элементов (прогонов, ребер плит междуэтажных перекрытий и покрытия, балок покрытия) не выполнены опорные бетонные подушки. Отсутствие опорно-распределительных подушек в местах концентрации сосредоточенных нагрузок на недостаточно прочную кирпичную кладку стен и столбов, вызвало формирование местных сминающих усилий, превышающих расчетное сопротивление на местное смятие, с последующей потерей устойчивости кирпичной кладки в приопорных зонах.

В соответствие п.3, СП 13-102-3003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», нормативный уровень технического состояния кирпичных стен и столбов обследованного здания дома культуры в зоне произошедшего обрушения классифицируется, как аварийное состояние, а в оставшейся части обследованного здания, классифицируется, как недопустимое состояние.

2.3 Железобетонные конструкции

Ошибки при проектировании железобетонных конструкций могут быть вызваны неудачными решениями узлов конструкций, неправильным армированием, неудачно выбранными классами и марками бетона и арматуры, недостаточным обеспечением устойчивости конструкций, неучётом возможной коррозии бетона, неполным отображением узлов в чертежах и отсутствием указаний по сооружению конструкций.

При проектировании конструкций нужно обеспечивать прочность так, чтобы разрушение элементов конструкции было пластичным, но не хрупким. Это достигается применением пластичных сталей, соблюдением минимального и максимального процентов армирования, для сжатых элементов и при расчёте по наклонному сечению следует предусматривать большой запас прочности.

Для сборных железобетонных конструкций ошибки возникают при проектировании узлов.

В зданиях со стенами из крупных панелей наиболее ненадежными являются стыки панелей.

Аварии крупнопанельных домов показали, что в случае локального воздействия (взрыв бытового газа) может произойти цепное разрушение здания. В связи с этим действующие в настоящее время нормы требуют, чтобы локальные разрушения отдельных конструкций не приводили к обрушению соседних конструкций, на которые передаётся нагрузка от повреждённых элементов. Анкеровка закладных деталей и сварных соединений связей должна быть рассчитана на усилие в 1,5 раза больше, чем сама связь. Отдельные плиты междуэтажных перекрытий должны быть объединены в единый диск с помощью связей, работающих в плоскости перекрытия на растяжение и сдвиг. Горизонтальные стыки между перекрытиями стенами проверяются расчётами на растяжение и сдвиг.

При строительстве панельных жилых домов по серии 1-335 была принята конструктивная схема здания с неполным каркасом: внутренний железобетонный каркас и несущие панели наружных стен длиной 2,6 и 3,2 м. Внутренний каркас состоял из железобетонных колонн высотой на один этаж, установленных по продольной оси здания с шагом, равным размеру комнат и прогонов, опирающихся на колонны и панели наружных стен. По прогонам укладывались перекрытия из плоских железобетонных плит толщиной 10 см. В качестве несущих продольных стен были применены двухслойные панели вместо однослойных.

Первоначально предполагалось, что двухслойные панели, состоящие из тонкой железобетонной ребристой плиты и слоя пенобетона, заменят дефицитные теплоизоляционные материалы.

Однако, как показала практика эксплуатации здания, неавтоклавный пенобетон оказался малопригодным из-за низкой механической прочности, слабого сцепления с внутренней поверхностью железобетонной ребристой плиты и большой гигроскопичности. На панелях в процессе эксплуатации появились усадочные трещины, отслоения и разрушения. Существенным недостатком также оказалось ненадёжное опирание прогонов на наружные двухслойные стеновые панели, поскольку в этих местах образовывались мостики холода, способствующие коррозии металлических закладных элементов.

После обследования многих эксплуатируемых домов было решено отказаться от схемы неполного каркаса и производить опирание прогонов на пристенные колонны,

В подкрановых балках часто возникает откол полок около мест крепления болтов рельсов. Для предотвращения этих отколов в проекте следует предусматривать в полках установку замкнутых хомутов.

В некоторых подкрановых балках с предварительно напряженной арматурой около опор появились наклонные трещины от проскальзывания предварительно напряжённой арматуры, что было вызвано из-за недостаточного поперечного армирования на опорах.

При использовании тонкостенных плит перекрытий в качестве проходных мостиков над очистными сооружениями аэротэнков, происходила со временем их деформация, сопровождающаяся большими прогибами от ползучести бетона, связанная с его увлажнением. При использовании железобетонных типовых ступеней на открытом воздухе наблюдалось их разрушение от размораживания бетона.

В зданиях с мостовыми кранами и напольным транспортом колонны что получают повреждения от ударных воздействий, вызывающих скол защитного слоя и повреждения арматуры. При проектировании колонн для указанных зданий следует предусматривать их защиту с помощью обойм из уголкового стали.

Для сборных железобетонных конструкций на стадии проектирования необходимо придавать им такую форму, чтобы была возможность бездефектного распалубливания.

Существует правило: для нормального распалубливания железобетонных изделий поверхность опалубки не должна скользить вдоль поверхности бетона, а должна отходить от неё.

Очень часто типовые узлы сопряжения сборных конструкций имеют такие узлы, которые в реальных условиях трудно выполнить без дефектов: соосность выпусков арматуры в стыкуемых железобетонных конструкциях, совместимость закладных деталей, возникновение температурных деформаций при сварке.

В стыках сборных конструкций (стыки колонн и ригелей, соединяемых с помощью ванной сварки) следует предусматривать фиксацию арматурных стержней в проектном положении в виде жёстких связей.

При конструировании железобетонных элементов нередко нарушаются требования норм по обеспечению анкеровки сжатых и растянутых стержней, стыков сеток при армировании плит.

Причиной дефектов конструкций может быть перенасыщенность сечений арматурой, вследствие чего происходит плохое их пробетонирование и в дальнейшем возможная коррозия арматуры. Для предварительно напряжённых конструкций с армированием в виде пучков может иметь место плохое заполнение арматурных каналов раствором.

В полках сборных плит при толщине менее 5 см трудно при изготовлении выполнить арматуру в два слоя. Поэтому в проекте лучше предусматривать одинарную арматуру и рассчитывать полку как свободно опертую плиту без защемления.

При опирании железобетонных балок на кирпичные стены иногда практикуется устройство бетонных подушек без их армирования, что приводило к их разрушению от изгиба.

Заниженная длина опирания сборных плит покрытия на балки или фермы в каркасных зданиях представляет значительную опасность. При деформировании каркаса от осадок фундаментов, движения мостовых кранов может произойти падение плит и обрушение всего покрытия. Поэтому недопустимы длины опирания плит покрытия менее 6 см. Аналогично не допускается длины опирания сборных плит перекрытий на стены менее 9 см.

Плиты перекрытий по ширине здания должны быть соединены между собой анкерами. Швы между плитами должны быть замоноличены бетоном на мелком щебне, что обеспечивает совместную работу плит и создание жёсткого диска перекрытия.

При проектировании монолитных железобетонных перекрытий по стальным балкам необходимо обеспечивать анкеровку верхнего пояса стальных балок во избежание потери устойчивости сжатого пояса балок. Это достигается приваркой к верхнему поясу стальных анкеров в виде стержней с шагом около 30 см. Для жилых зданий во избежание зыбкости

перекрытий толщина плит монолитных перекрытий по стальным балкам должна быть не менее 10 см.

В проемах каркасных зданий для стадии строительства должны быть предусмотрены связи по колоннам. Связи должны устанавливаться в процессе монтажа каркаса сразу после установки колонн. Причиной задержки установки связей при строительстве может быть отсутствие закладных деталей в колоннах. В этом случае должно быть разработано дополнительное крепление связей на хомутах. Стыки сборных железобетонных связевых диафрагм должны омоноличиваться сразу после их монтажа.

При проектировании монолитных конструкций в проекте необходимо проработать и отразить вопросы технологии возведения: прочность и жёсткость опалубки, строительство в зимних условиях, методы укладки бетона, ухода за бетоном и порядок распалубки.

Недостаточная жёсткость опалубки приведёт к искривлению монолитных конструкций, в связи с чем необходимо учитывать прогиб опалубки под действием свежееуложенного бетона.

Распалубка монолитных конструкций должна осуществляться после набора прочности бетоном 70% от проектной величины. Распалубку следует начинать с крайних пролётов конструкций.

Для уменьшения образования трещин при усадке бетона необходимо в конструкциях предусматривать конструктивную арматуру в виде веток и устройство усадочных швов с последующей их заделкой бетоном. При проектировании протяжённых монолитных сооружений не следует забывать устраивать температурные швы.

Помимо приведенных выше дефектов часто в чертежах конструкций отсутствуют указания о соединении отдельных стержней с арматурными каркасами, не указывается как производить соединение плоских каркасов в пространственные. Предусматривается ручная сварка стержней арматуры диаметром менее 10 мм. Не указывается ориентировка каркасов относительно верхней и нижней арматуры, не указывается защитный слой бетона для продольной арматуры и её привязка.

При проектировании сводов и арок частой ошибкой является недоучет податливости опор, в результате чего в вершинах сводов снизу образуется трещина вдоль всего свода, происходит подвижка или разрушение опор.

В оболочках покрытий недостаточная жёсткость опорного контура вследствие отсутствия связей, или неучтенных при расчётах температурных деформаций может вызвать полное разрушение покрытия. При этом необходимо предусматривать, чтобы повреждение одной из колонн опорного контура не приводило к обрушению всего покрытия, а перераспределялась на другие опорные конструкции.

При назначении рабочей арматуры в статически неопределимых железобетонных конструкциях: неразрезных балках, рамах, плитах, оболочках может возникнуть вопросы об их схемах армирования. При этом могут быть рассмотрены две схемы армирования.

Первая схема армирования может быть принята на основе расчёта конструкции в упругой стадии с последующей проверкой несущей способности конструкции по методу предельного равновесия. В конструкциях, для которых данная методика не разработана, расчёт может быть выполнен по усилиям, взятым из расчёта конструкции как упругой системы, с проверкой сечений по предельным состояниям.

Вторая схема армирования может быть принята на основе оптимального армирования в стадии предельного равновесия конструкции с последующими проверками трещиностойкости и деформативности конструкции. Вторая схема обеспечивает некоторую экономию арматуры, однако она разработана не для всех видов конструкций. Поскольку конструкции при эксплуатации работают в стадии напряженного состояния близко к упругой, первая схема предварительного назначения армирования статически неопределимых конструкций также может считаться достаточно обоснованной.

Значительная поврежденность железобетонных конструкций наблюдается при отсутствии их защиты от коррозии вследствие малой толщины защитного слоя бетона, воздействием агрессивных продуктов, а также увлажнением конструкций, находящихся на открытом воздухе.

Для конструкций, находящихся в зоне агрессивной среды, следует предусматривать защиту железобетонных конструкций от поражения коррозией.

При проектировании конструкций сооружений с повышенной ответственностью следует предусматривать такие конструкции, при которых при эксплуатации возможен был контроль над их техническим состоянием.

Анализ показывает, что доля аварий, произошедших на зданиях и сооружениях с конструктивными элементами из сборного и монолитного железобетона, в последние годы несколько уменьшилась.

Если в 1981 - 1985 г.г. она составляла 61 % от общего количества аварий, в 1986 - 1990 годах - 62 %, то в 1993 - 1998 годах она составила 36 %, в 1999 - 2003 годах - 25 %.

Это связано с тем, что при имеющем место преобладании аварий на эксплуатируемых зданиях, железобетонные конструкции не так резко как кирпичные реагируют на разного рода переувлажнения. Кроме того, в последние годы количество строящихся зданий и сооружений из сборного железобетона значительно уменьшилось.

В 2003 году на зданиях и сооружениях из железобетонных конструкций зарегистрировано 11 аварий - 42,3% от их общего количества, при этом все 11 аварий произошли на зданиях и сооружениях из сборного железобетона.

Шесть аварий произошли на одноэтажных зданиях и сооружениях, 5 - на 2 - 5-этажных, 9 аварий произошли на эксплуатируемых зданиях и сооружениях, 2 - на реконструируемых.

Шесть аварий произошли на производственных зданиях и сооружениях, 4 - на жилых и 1 - на общественных.

Три аварии из четырех, произошедшие на жилых зданиях, связаны с обрушением лоджий жилых домов в деревне Довыдово Кашинского района Тверской области и селе Сергеевка Хабаровского района Хабаровского края, а также экрана входной группы жилого дома в г. Бологое Тверской области.

Авария в г. Бологое произошла 29 ноября 2003 года. Падение экрана входной группы, разлом плиты входа с образованием зазора между экраном и козырьком входа эксплуатируемого с 1974 года 5 - этажного крупнопанельного жилого дома явились следствием нарушения требований нормативных документов при выполнении строительно-монтажных работ: отсутствие надежных фундаментов входной группы, с чем были связаны ее неравномерные просадки, отсутствие крепления экрана и козырька входа, ослабление сечений узлов крепления экрана к плите входа по причине коррозии закладных и соединительных элементов и отсутствие их обетонирования.

Причиной указанных выше обрушений лоджий на жилых зданиях явилось нарушение требований нормативных документов при выполнении строительно-монтажных работ.

22 июня 2003 года в г. Буинске Республики Татарстан произошло обрушение двутавровой железобетонной балки и всех опирающихся на нее плит покрытия гаража на 20 автомашин. Основная причина аварии - некачественное изготовление железобетонной балки покрытия (занижение прочности бетона, наличие в бетоне посторонних включений). Сопутствующая причина - необоснованное изменение проектной конструкции кровли, повлекшее за собой увеличение нагрузок на балку.

Наличие значительного количества ответственных узловых сопряжений в зданиях из сборных железобетонных конструкций требует квалифицированного подхода к выполнению монтажных работ, осуществлению соответствующего входного контроля качества поставляемых изделий.

2.3.1 Обрушение декоративной башни в Кемерово



Рисунок 24 Обрушенная башня

20 марта 2013 года. Кемерово. Обрушилась декоративная башня дома №27 по улице Островского.

Повреждены квартиры, расположенные на последнем этаже здания.

Четырехэтажный “Дом жилой с курдонёром”, построенный в 1955 году по проекту архитектора А.Н. Рапопорта, внесен в перечень объектов культурного наследия из-за своих архитектурных особенностей, делающих его уникальным.

Причины обрушения декоративной конструкции, озвученные экспертами ООО «Нооцентр-Д»:

Во-первых, это низкое качество изготовления несущих конструкций.

Во-вторых, усталость несущих конструкций из-за колебаний башни на ветру.

Кроме того, причиной ЧП стала «морозная деструкция сжатой зоны бетона в опорной части монолитной железобетонной плиты перекрытия», вызванная замораживанием и оттаиванием воды весной и осенью.

2.3.2 Караганда. Обрушение дома в жилом комплексе “Бесоба”



Рисунок 25 Обрушение здания в Казахстане

06 апреля 2012 года. Казахстан. Караганда. Жилой комплекс "Бесоба" был принят в эксплуатацию 29 июня 2009 года распоряжением акима Караганды за №194. Однако 1 апреля 2012 года произошел недопустимый крен здания, образовавшийся из-за чрезмерной деформации основания фундамента дома вследствие набухания грунтов основания. Жители 32 квартир секций №5, 6, 7, 8 были эвакуированы. 6 апреля, утром, из-за деформации несущих конструкций дом обрушился. Ущерб составил 545 млн 300 тыс. тенге.

“По заключениям экспертных организаций основными техническими причинами обрушения части существующего дома явилось:

1. Отсутствие мероприятий по выполнению требований, исключающих проявление и предотвращение влияния набухающих свойств грунтов на устойчивость здания.

2. Развитие недопустимых неравномерных осадок фундамента, вызванных набуханием грунтов основания, вследствие отсутствия водозащитных мероприятий. А также недостаточная проектная жесткость и несущая способность монолитного железобетонного каркаса здания в фактических инженерно-геологических условиях”, – сказано в акте расследования причин ЧС.

Вместе с тем эксперты обозначили несколько дополнительных причин, которые ускорили обрушение дома в жилом комплексе “Бесоба”.

Во-первых, это низкая прочность бетона – 74 колонн и 59 балок цокольного этажа, 14 колонн и 12 балок верхних этажей.

Во-вторых, отсутствие должной жесткости здания в поперечном направлении, так как конструктивное фактическое решение второго блока дома №7 не полностью соответствует рабочему проекту.

В-третьих, некачественное выполнение узлов сопряжения несущих монолитных железобетонных конструкций цокольного этажа, большинство из которых выполнено с нарушениями технологического регламента по бетонированию конструкций. В частности, в местах сопряжения оголена рабочая продольная арматура, имеются различные инородные включения в виде пенопласта, обрезков досок, камней.

В-четвертых, обустройство с внешней стороны второго блока дома №7 приямка по оси “Г”. Данный приямок способствовал активному сезонному промерзанию грунта и воздействию паводковых и техногенных вод у подошвы фундамента.



Рисунок 26 обрушение здания в жилом комплексе «Бесоба»

2.4 Металлоконструкции

Ошибки при проектировании скальных конструкций связаны с неправильным выбором марок стали; отсутствием достаточного количества связей, недостаточным обеспечением местной и общей устойчивости конструкций, неправильным определением действующих нагрузок, неудачным конструированием узлов соединения конструкций, неправильным выбором защиты от коррозии. Выбор марок сталей и электродов должен осуществляться и соответствии со СНиП в зависимости от назначения сооружения, вида конструкции, климатических и динамических воздействий. Неправильный выбор марок сталей может привести к разрушению конструкций вследствие охрупчивания материала при отрицательных нагрузках, а также при многоцикловых динамических воздействиях. По этой причине произошел ряд аварий с обрушением конструкций резервуаров, мостов и транспортёрных галерей.

Часто причинами аварий является необеспечение местной и общей устойчивости конструкций сооружения.

Так, при строительстве зданий не устанавливаются связи по колоннам, обеспечивающие устойчивость каркаса на время монтажа, по фермам покрытия по нижним поясам допускаются разрывы в распорках, не устанавливаются горизонтальные и вертикальные связи по фермам покрытия и фонарям.

При применении стального профнастила не осуществляется его крепление к пролётным конструкциям и листов между собой. При проектировании колонн имело место, когда их расчёт выполнялся только в одной плоскости. Расчёт общей устойчивости стальных балок перекрытий при отсутствии креплений сжатого пояса часто не производится.

При применении сборных железобетонных плит покрытия по стальным балкам или фермам, их приварка должна осуществляться в трёх точках со сварными швами высотой 6 мм и длиной не менее 60 мм с последующим замоноличиванием швов между плитами бетоном.

Местная потеря устойчивости может произойти от неправильного конструирования узлов сопряжения конструкций профилей.

По результатам натурных обследований выявлены следующие дефекты проектов конструкций: передачи больших сосредоточенных сил на тонкие полки стальных профилей, в балках и опорных столиках отсутствовали опорные рёбра, в фермах отсутствовала центровка ряда узлов, в динамически нагруженных конструкциях (подкрановые балки, конвейерные галереи) имелись концентраторы напряжений в виде квадратных отверстий, резкие переходы сечений, толщины сварных швов назначались неправильно без учета конструктивных требований норм, на чертежах не указывались длины и толщины сварных швов, вид болтов (нормальной или повышенной точности), в расчётах не учитывалась внеузловая нагрузка на пояса ферм.

. Встречаются случаи, когда в фермах стыки стержней поясов осуществляются только через фасонку без накладок на стыкуемых элементах поясов. При этом фасонки получают значительное перенапряжение, что может привести к их разрушению.

Наиболее часто стальные конструкции повреждаются коррозией вследствие недостаточной защиты от коррозии. Особенно сильная коррозия отмечается в производствах с агрессивной средой; в конструкциях, расположенных вблизи пола и земли.

В зависимости от скорости коррозии незащищенных стальных конструкций различают три группы агрессивных сред:

- слабая, характерная для жилых зон городов с интенсивностью износа от коррозии до 0,1 мм в год,

- средняя, характерная для промышленных зон и открытых конструкций – от 0,1 до 0,5 мм в год,

- сильная, характерная для промышленных зон с агрессивной средой и вблизи морских берегов с коррозией более 0,5 мм в год.

Скорости коррозии 0,05 – 0,07 мм в год не очень опасны, так как толщины элементов конструкций к концу срока их службы уменьшаются немного на 2 – 2,5 мм.

Доля аварий на зданиях и сооружениях с металлическими конструкциями с 1981 по 2003 годы в среднем составляла 17-19 % от их общего количества. В отдельные годы (1999 г.) она достигала 33 %. В большинстве своем аварии происходят на одноэтажных зданиях производственного назначения с металлическим каркасом, разного рода зданиях модульного типа, резервуарах, водонапорных башнях.

В 2003 году зарегистрирована одна авария на здании с металлическим каркасом - обрушение части плит междуэтажного перекрытия демонтируемого корпуса бетоннобетонного узла ОАО "Железобетон" в г. Самаре (22 мая 2003 г.).

Обрушения конструкций при демонтаже зданий и сооружений является характерным явлением для последних лет. Далекое не все такого рода аварии регистрируются, как правило представляются сведения об обрушениях, связанных с несчастными случаями.

Весьма широко распространены аварии вследствие различных дефектов, допущенных при проектировании металлоконструкций. Сложно перечислить все дефекты в проектировании, которые имели место в прошлом и, естественно, могут встретиться в будущем. Тем не менее анализ аварий и крушений металлоконструкций, происшедших в последние годы, позволяет выявить следующие факторы:

1. Несоответствие действительной работы сооружения (конструкции) расчетным предпосылкам, положенным в основу расчета; недоучет всего многообразия силовых воздействий на конструкцию, который приводит к неправильной и неполной оценке напряженного состояния материала; ошибки в расчетах и конструировании.

2. Непродуманная расстановка связей пространственной жесткости и уменьшение их количества, что относится главным образом к фермам и фонарям.

3. Пренебрежительное отношение к необходимости своевременно выполнять усиление конструкций при изменении режима эксплуатации сооружения; необеспечение условий ремонтпригодности.

4. Применение несоответствующих марок стали, главным образом Ст.Зкп, в конструкциях, работающих при низких температурах.

5. Не всегда учитываются изменения размеров в прокатных профилях по новому сортаменту (ГОСТы 8509—57, 8510—57, 8240—56, 8239—56), в которых уменьшены толщины стенок по сравнению с размерами, имевшими место в соответствующих профилях по старым ГОСТам.

6. Внесение различных изменений в типовые, уже проверенные практикой конструкции без достаточного на то обоснования.

Совокупность этих факторов приводит к тому, что оказывается недостаточной прочность, жесткость, устойчивость конструкций или отдельных элементов, происходят хрупкие поломки, т. е. явления, приводящие к авариям и обрушениям.

Ряд проектных организаций, не имея достаточной специализации в проектировании стальных конструкций, допускали значительные ошибки, приводившие к авариям. Вот эти примеры:

1. Сталелитейный цех, фермы покрытия пролетом 30 м. Неудачная конструкция подвесной стойки по среднему ряду колонн, отсутствие поперечных связей по нижнему поясу и размещение продольных связей только в уровне верхних поясов ферм, недостаточное количество вертикальных связей по фермам фонаря.

2. Обогащительная фабрика. Превращение разрезных ферм покрытия в неразрезные, отсутствие связей по нижним поясам ферм, применение стали марки Ст.Зкп, неудачная конструкция прикреплении раскоса шпренгеля в крайних поясах ферм.

3. Котельная. Допущено уменьшение в фермах покрытия сечения опорного раскоса, не учтено изменение его расчетной длины вследствие удаления раскоса шпренгеля.

4. Фермы покрытия двухпролетного цеха. Недостаточное сечение растянутого раскоса подстропильных ферм, недостаточная площадь сварных швов прикрепления этого раскоса к фасонке; расположение горизонтальных связей по верхним поясам ферм и по фонарям только с одного конца цеха, неудачная конструкция прикрепления верхнего пояса фонаря к средней стойке.

Все эти примеры показывают, насколько щепетильно нужно относиться к такой, казалось бы, простой операции, как внесение каких-либо изменений в типовые проекты. Отступления от проектных решений, вызванные производственной необходимостью, должны быть всякий раз обоснованы и выполнены с соблюдением требований прочности и устойчивости элементов и конструкций. Известны случаи, когда несоблюдение этих требований являлось одной из причин аварий.

Неудачное конструктивное решение узлов нижнего пояса стропильных ферм литейного цеха, к которым был жестко подвешен монорельсовый путь, явилось основной причиной разрушения узловой косынки нижнего пояса, происшедшей от усталости металла. Косынка разрушилась после 12-летней эксплуатации сооружения.

2.4.1 Обрушение крыши цеха в Саратове



Рисунок 27 Обрушение крыши производственного цеха

28 марта 2012 года. Саратов. На территории завода ОАО «Рефлектор» по проспекту 50 лет Октября, 101 обрушилась крыша двухэтажного производственного цеха.

Общая площадь обрушения составила 900 квадратных метров.

Результаты строительно-технической экспертизы, проведенной ООО «Каркас»:

«Вероятной причиной обрушения кровли цеха на территории бывшего завода «Рефлектор» послужил физический износ материала конструкций металлических ферм и скопление снега на кровле».

2.5 Деревянные конструкции

Основными ошибками при проектировании деревянных конструкций были: применение непригодных для деревянных конструкций конструктивных схем и узлов, неправильное определение действующих нагрузок; в частности, не учитываются образования снеговых мешков и неравномерное распределение нагрузок по покрытию, отсутствие связей между конструкциями, недостаточно полное оформление чертежей конструкций.

Иногда находят применение фермы и решетчатые рамы с дощатыми раскосами и поясами. Эти конструкции являются малонадёжными, так как сучки, выходящие на кромки растянутых стержней, приводят к возникновению в них изгибающих моментов, не учитываемых при расчёте прочности и в конечном итоге к разрушению этих элементов или конструкций.

Нерациональными являются решётчатые конструкции ферм с малыми размерами панелей и большим количеством узловых соединений, дощато-гвоздевые балки и фермы также не рекомендуются вследствие подверженности со временем их гвоздевых соединений повышенным деформациям.

Часто в проектах деревянных конструкций приходится наблюдать неправильно законструированные детали опорных, коньковых и растянутых промежуточных узлов ферм. Сопряжения отдельных элементов в этих узлах характеризуются неправильной расстановкой нагелей, большими ослаблениями сечений, отсутствием центровки, применением сложных для изготовления врубок, комбинированной передачей усилия.

На рис. 28 приведен неправильно законструированный растянутый стык. Болты нательного соединения среднего ряда в стыковых накладках поставлены неправильно. Находясь в середине по ширине досок, они увеличивают ослабление пояса, а также не могут

полностью работая ввиду наличия средних продольных трещин. Эти трещины часто наблюдаются в досках по пласти. Они возникают не только от усушки дерева, но также и от растяжения дерева поперёк волокон.

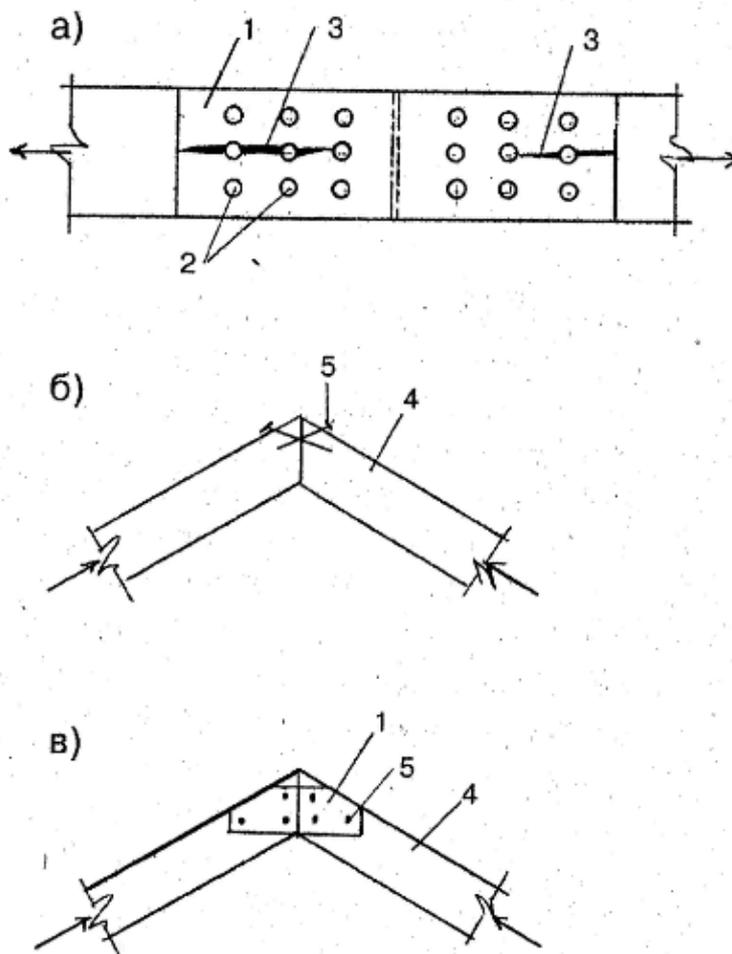


Рисунок 28 Дефектные узлы соединения деревянных конструкций (а, б – неправильные, в – правильные): 1 – стыковая накладка; 2 – нагели; 3 – трещина; 4 – стропильные ноги; 5 - гвозди

Встречаются неудачно осуществлённые опорные узлы конструкций, являющиеся самыми ответственными и весьма уязвимыми конструкциями.

Всегда следует обеспечивать продольную жёсткость и устойчивость покрытия с помощью связей на время их монтажа. При отсутствии кладки в торцевых стенах покрытия здания необходимо устраивать связи по стропилам покрытия в виде крестов по торцам здания.

Для обеспечения устойчивости кровли от отсоса воздуха при прорывах ветра стропила крыши здания должны прикрепляться к стенам с помощью проволочных скруток через каждую стропилу.

В местах примыкания деревянных элементов к каменным, бетонным и стальным конструкциям необходимо укладывать изоляцию из толя или рубероида, препятствующих загниванию конструкций в этом месте.

При проектировании деревянных чердачных перекрытий для предотвращения гниения конструкций следует обеспечивать вентиляцию чердаков и покрытия с помощью слуховых окон или вентилируемой кровли.

Необходимо обеспечивать такой температурный режим чердачных помещений, чтобы при отрицательных температурах наружного воздуха внешняя поверхность кровли имела

температуру ниже нуля. В противном случае будет происходить таяние снега на кровле. Талые воды будут замерзать в водосточных трубах и на карнизной части кровли, приводя к застою талой воды у образовавшихся ледяных преград с образованием сосулек, протечкам кровли, разрушению водосточных труб и карнизов.

В проекте следует оговаривать влажность применяемой для строительства древесины. Применение древесины естественной и повышенной влажности приводит к образованию продольных трещин, вызывает коробление элементов и способствует образованию гнили.

Недопустимо использование сухостойной древесины.

При строительстве отапливаемого жилого дома была использована сухостойная древесина. Стены дома были выполнены из сухостойных бревен заготовленных в лесу. По прошествии 15 лет с начала постройки все стены дома оказались полностью изъедены личинками жуков - точильщиков и жуков-дровосеков и потеряли свою прочность. Интенсивному разрушению конструкций способствовало заражение в течение нескольких лет сухостойной древесины в лесу насекомыми и благоприятные условия (отапливаемый дом и повышенная влажность) для их размножения. Причиной разрушения конструкций стал неправильный выбор материала.

Тем не менее, деревянные здания являются одними из наиболее надежных.

Доля аварий, произошедших на такого рода зданиях с 1981 по 2003 год в среднем составляла 2 - 8 % от их общего количества. В большинстве своем это простейшие одно-двухэтажные жилые и общественные здания. Полное обрушение такого рода зданий и связанная с этим гибель людей - довольно редкие явления. Даже при землетрясениях интенсивностью до 9 баллов основное количество деревянных зданий качественной постройки сохраняется.

В то же время в сельской местности в первую очередь Сибирского, Дальневосточного и Северо-Западного федеральных округов эксплуатируется большое количество ответственных большепролетных зданий (дома культуры, спортивные залы и др.), обрушения которых могут иметь серьезные последствия. Кроме того, в последние годы в отдельных субъектах Российской Федерации стали возводиться ответственные большепролетные здания из деревянных клееных конструкций. Это прогрессивное решение. Тем не менее, аварии происходят и на такого рода зданиях.

Так 8 февраля 1999 года г. Лениногорске Республики Татарстан произошло обрушение эксплуатируемой с 1998 года крытой ледовой арены на 1000 зрителей из деревянных клееных конструкций.

Основной причиной аварии явилось применение не прошедшего в установленном порядке государственную экспертизу проекта, разработанного шведской фирмой. Проект не отвечал требованиям российских норм по снеговой нагрузке для данного района строительства. Кроме того, при выполнении строительно-монтажных работ все несущие деревянные элементы не были защищены влагозащитным покрытием, допускались многочисленные нарушения технологии забивки анкерных гвоздей, ряд несущих элементов был выполнен из низкосортной древесины.

Необходимо также учитывать, что согласно приложению 2 к ВСН 58-88(р) "Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения" продолжительность эффективной эксплуатации до капитального ремонта деревянных рубленых, брусчатых и сборно-щитовых зданий составляет 10-15 лет. Указанные сроки, как правило, не выдерживаются. В первую очередь это относится к общественным зданиям.

В 2003 году на деревянных зданиях произошли 2 аварии, 7,7 % от их общего количества.

На эксплуатируемом с 1977 года деревянном здании школы на 192 учащихся в селе Улюнхан Курумканского района Республики Бурятия произошла деформация стен с

отклонением от вертикали до 10 см, образование трещин в фундаментах и штукатурке стен и обрушение контрфорсов (26 января 2003 г.).

Село Улюнхан расположено в сейсмическом районе. Здание школы было построено в 1977 году без соответствующих антисейсмических мероприятий. Названные повреждения здания явились следствием произошедшего землетрясения интенсивностью 5,9 балла.

В 1985 году для обеспечения устойчивости стен были выполнены контрфорсы из бруса 180×180 мм жесткой треугольной схемы. Контрфорсы не сыграли необходимой положительной роли и обрушились, что явилось следствием нарушения требований нормативных документов при их устройстве.

В г. Западная Двина Тверской области произошло обрушение (26 декабря 2003 г.) стропильной системы, облом шипов крепления венцов, обрушение опорного венца стропильной системы эксплуатируемого с 1934 года 2 - этажного 8 - квартирного жилого дома. Обследование показало, что на доме имели место сквозные трещины в фундаментах, их разрушение и просадки, часть венцов стен, деревянные элементы стропильной системы и балки чердачного перекрытия были подвержены гниению, имело место провисание балок перекрытия. Необходимый капитальный ремонт дома не производился. Из-за ветхости конструкций дом практически не был пригоден к проживанию

Обрушению способствовала повышенная снеговая нагрузка. Высота снежного покрова была более 500 мм.

Обрушения деревянных чердачных перекрытий и стропильных систем характерны для зданий различных конструктивных схем.

2.5.1 Обрушение крыши школьного спортзала в Донецке



© Елена Жукова для gazetank.ru bcrash.ru Аварии в строительстве
Рисунок 29 Обрушенная крыша спортзала школы в Донецке

26 мая 2013 года. Ростовская область. Донецк. Обрушилась кровля спортивного зала школы № 13.

Общая площадь обрушения составила 140 квадратных метров. Пострадавших нет.

Неприятное событие стало настоящим шоком для администрации учебного учреждения. В 2006 году здание школы, построенное в 1969-м, капитально отремонтировали. Частичный ремонт пережила и кровля спортзала. Тогда разработкой проекта занималась шахтинская организация, работы проводили ростовские подрядчики.

Утром в воскресенье сторож заметил трещины на стенах зала под самой кровлей, деформацию кирпичной кладки, которая увеличивалась на глазах. Об этом сразу же сообщили директору школы О.В. Гореловой, сотрудникам МЧС. Но события развивались стремительно: вдоль всего потолка по центру спортзала поползла трещина. Спасатели предприняли все возможные меры: удалили несущую балку, частично разобрали кровлю. К концу дня помещение превратилось в склад мусора.

Нареканий по эксплуатации здания у комиссии, обследовавшей помещение, не возникло: дерево было сухим, крыша не текла, чердак содержали в порядке.

В документе говорится, что случившееся стало следствием «потери несущей способности деревянной балки нижнего пояса фермы из-за глубокого косослоя, поразившего все сечение».

Косослой – это порок строения древесины, ярко выраженное косое (винтообразное) расположение волокон в древесине относительно продольной оси ствола.

Нижняя деревянная балка фермы разрушилась по линии косослоя снизу вверх. «Катализатором» этой реакции стало наличие нескольких сучков по ходу трещины.

Соседняя балка из-за перераспределения нагрузки на кровлю тоже не выдержала.

Восстановление конструкций стен и элементов покрытия возможно по отдельному разработанному проекту, заключила комиссия. Эксплуатация здания школы № 13 возможна. Но прежде необходимо сплошное инструментальное обследование его строительных конструкций.

Как выяснилось, во время капитального ремонта здания в 2006 году деревянные балки крыши не меняли, то есть они держали кровлю с 1969 года.

Специалисты говорят, что наличие косослоя древесины – очень распространенное явление и само по себе не привело бы к разрушению конструкций, если бы не стечение указанных выше обстоятельств.

Глава 3 Причины аварий в строительстве

3.1 Недоработка норм проектирования

В июле 2013 года исполнилось десять лет со дня вступления в силу Федерального закона №184-ФЗ «О техническом регулировании», и уже можно подвести итоги десятилетней работы по внедрению его в жизнь на примере строительной отрасли. Со дня принятия в закон девять раз вносились изменения.

Федеральный закон «О техническом регулировании» вносит принципиальные изменения в существующую систему технического регулирования в строительстве.

Закон предусматривает, что все обязательные требования к продукции и услугам устанавливаются только техническими регламентами, которые определяются федеральными законами и постановлениями Правительства РФ. Технические регламенты должны

содержать минимальные требования для обеспечения безопасности продукции (услуг), поэтому сфера применения обязательных требований сводится к минимуму.

Согласно новому законодательству (с изменениями на текущий период) существуют два вида технических регламентов: общие технические регламенты и специальные технические регламенты. Общий технический регламент строительства содержит требования, обязательные для применения и соблюдения в отношении любых видов выпускаемой продукции, процессов (методов) производства, эксплуатации и утилизации, и принимается по вопросам:

- безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования;
- безопасной эксплуатации зданий и сооружений;
- гидрометеорологической безопасности;
- пожарной безопасности;
- санитарно-эпидемиологической безопасности;
- электрической безопасности;
- экологической безопасности;
- промышленной безопасности.

Специальный технический регламент содержит требования, учитывающие технологические и иные особенности отдельных видов деятельности или продукции.

Предусматривался 7-летний переходный период к новым техническим регламентам.

Нужен ли данный закон? Однозначно он был и остается необходимым с точки зрения введения новой нормативной базы. До сих пор строители используют нормативную базу 70-80-х годов.

Своевременно ли был принят закон? В общем то он мог бы быть принят уже давно. На тот период времени (2003 г.) Россия как самостоятельное государство уже существовала 12 лет. В то же время в строительстве продолжала использоваться нормативная документация СССР.

Принятым законом предусматривался 7-летний переходный период к новым техническим регламентам. То есть к 2010 году планировалось перейти на принципиально новую нормативную базу.

Сразу после принятия закона, но до вступления его в законную силу (1-е полугодие 2003 г.) различными государственными структурами было введено в действие большое количество нормативных документов – ПБ, РД, СНиП, СП и др. Сделано это было сознательно, чтобы не разрабатывать регламенты, а использовать принятые документы.

Первоначально предполагалось уже к 2005 году отменить все существующие нормативные документы в строительстве и ввести новые технические регламенты. Затем срок был перенесен на 2008 год, потом на 2010 год.

В итоге за 10 лет в области строительства были приняты несколько ГОСТ Р и два регламента – Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (2008 г.) и Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (2009 г.). Всю остальную

нормативную документацию в строительстве было решено актуализировать до выхода соответствующих технических регламентов.

Таким образом, на сегодняшний день государство не в полной мере обеспечивает безопасность в строительстве путем введения соответствующих новых технических регламентов. В то же время Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ) за пятилетний срок саморегулирования издало большое количество рекомендованных к применению документов, которые могли бы лечь в основу новых нормативных документов.

Значительную часть проектных дефектов порождают недоработки нормативных документов. Основные недостатки норм проектирования каменных и армокаменных конструкций (СНиП II-22-81) обусловлены применением упрощенных расчетов кладки без обязательного совместного учета основных факторов. (Так, при фактическом двухосном или трехосном напряженном состоянии расчет производится всего лишь на одноосное сжатие.) При этом допускается некорректное определение деформированного (и соответственно напряженного) состояния разнонагруженных сопряженных стен, а также недостаточно корректный учет температурных воздействий. Схожие просчеты присущи и "Пособию по проектированию жилых зданий" (к СНиП 2.08.01-85).

Приведем несколько примеров внутренних противоречий и несовершенств СНиП II-22-81 и пособия к нему.

Нормы проектирования каменных конструкций, с одной стороны, не допускают раскрытия трещин в наиболее ответственных неармированных сжатых элементах, с другой стороны, содержат расчетные рекомендации, приводящие к большой вероятности образования таких трещин. В нормах четко не отражено, к предельным состояниям какой группы следует относить расчеты кладки на температурные воздействия. Не учитывается влияние температуры в рекомендациях по расчету жестких связей многослойных стен и т.д.

Нормы разрешают не учитывать влияние температуры на стадии возведения объектов и при вводе их в эксплуатацию. В то же время температурные повреждения конструкций чаще происходят именно на стадии возведения объектов, а их влияние сказывается в основном на стадии эксплуатации.

Например, выявлена закономерность образования и раскрытия трещин в местах опирания на кирпичную кладку длинномерных железобетонных элементов из-за их укорочения при резком похолодании.

Такие трещины можно наблюдать в кирпичной кладке под плитами лоджий.

Отмеченный факт подтверждает недоработки проектов и нормативной документации и свидетельствует о пониженной надежности кирпичных зданий в результате массовых температурных повреждений кирпичной кладки в зонах опирания длинномерных элементов.

В примерах по проектированию каменных и монолитных зданий не содержится указаний по проведению расчетов конструкций на температурные воздействия в вертикальном направлении. Однако именно вертикальные температурные деформации являются основной причиной характерных повреждений монолитных домов из керамзитобетона.

В нормах содержатся расчетные и конструктивные рекомендации, направленные на обеспечение совместной работы элементов в зонах сопряжения разнонагруженных стен многоэтажных зданий. Однако нормативная методика базируется на условном разделении смежных стен и сопоставлении свободных деформаций каждого участка при действии только вертикальных нагрузок. Точность такой методики невелика. Значительно более высокую точность дает пространственный конечноэлементный расчет с одновременным учетом температурных воздействий. Оценка уровней касательных и растягивающих напряжений в стенах позволяет адресно назначать кладочное армирование и параметры поясов жесткости.

В нормативных документах недостаточно корректно изложены конструктивные требования к учету шага поперечного армирования кладки. Максимальный шаг арматурных сеток не увязан с толщиной стен. Не содержатся указания по размещению верхней и нижней сеток в армируемых элементах. Для обеспечения требуемых значений расчетных сопротивлений армированной кладки следует шаг поперечных арматурных сеток назначать не более минимального поперечного размера армируемого элемента и предусматривать обязательную укладку арматурных сеток как под, так и над опорами плит перекрытий, прогонов, перемычек других железобетонных пролетных конструкций³⁰.

Неоднократные обрушения покрытий зданий из-за снеговой нагрузки привели к тому, что задача нормирования снеговых нагрузок на покрытия сооружений стала весьма актуальной. Эта задача является трудной и обширной, и ее решение по ряду причин оказывается недостаточным и еще далеким от исчерпания. На данный момент наиболее актуальная и фундаментальная проблема – это описание накопления снега на грунте в виде случайного нестационарного процесса. Учет ветрового воздействия на снежный покров покрытий зданий – следующая мало разработанная проблема. Формирование «снеговых мешков» на покрытии зависит от геометрических характеристик здания и его положения относительно направления ветра. Учет влияния ветра на образование снежного покрова особенно актуален, когда речь идет о снеговых нагрузках, играющих значительную роль в расчете прочности покрытий, особенно легких. Большие трудности возникают при решении третьей проблемы – таяние снега на покрытиях отапливаемых зданий. Снеговые нагрузки на покрытия отапливаемых и неотапливаемых зданий отличаются в 3-4 раза. При описании процесса таяния снега на покрытиях большое значение имели исследования теплопроводных свойств снежного покрова.

В исследованиях снеговых нагрузок на грунт применяются два подхода к использованию статистической информации. При первом подходе из результатов снегосъемок на метеостанции в течение n зим (данных Гидромета. – И. Л.) делаются выборки только ежегодных максимальных значений веса снега на грунте за период наблюдений. Созданием статистических моделей, описывающих случайные максимальные снеговые нагрузки на грунт, занимались В. В. Болотин, А. П. Булычев, И. Д. Грудев, В. Л. Клепиков, К. С. Лосицкая, В. Н. Писчиков, В. Д. Райзер, А. Р. Ржаницын, Ю. Д. Сухов и другие исследователи. Одни исследователи считают, что выборки максимальных снеговых нагрузок адекватно описываются распределением вероятностей Гумбеля. Используя это распределение, они, например, вычисляют уровень x , который превышает весом снега в среднем один раз в течение T зим. Такой подход принят в зарубежных строительных нормах. Другие ученые (И. Д. Грудев, В. В. Филиппов, Т. А. Корнилов, А. В. Рыков) пришли к заключению, что распределение Гумбеля дает завышенные значения снеговой нагрузки. Поэтому они предлагают использовать эмпирическое распределение. При этом никто из

³⁰ <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/17/sn81724.htm>

ученых не уделяет должного внимания тому обстоятельству, что максимумы веса снега возникают в разные декады периода снегонакопления. Если ежегодные максимумы веса снега в выборке выстроить в зависимости от времени возникновения в течение зимы, то их средние значения возрастают к концу снегонакопления. Следовательно, опытные данные противоречат предположению о независимости и однородности случайных величин. Только при соблюдении указанного предположения было бы правомерно применение многих статистических методов обработки ряда наблюдений. Выявленное противоречие вносит непредсказуемую погрешность в значения уровней x , вычисляемых с помощью распределения Гумбеля в области редких событий. Таким образом, если для оценки параметров распределения используются выборки максимумов веса снега, то определение уровней x при помощи распределения Гумбеля или любого другого распределения не является корректным. Второму подходу к использованию статистической информации – описанию накопления снега на грунте в виде случайного процесса – посвящены работы В. В. Болотина, В. Н. Писчикова, В. Д. Райзера, А. Р. Ржаницына, Д. М. Ротштейна, Е. И. Федорова и других ученых.

Против прямого использования вероятностных методов нормирования расчетных параметров высказывалось немало соображений. Во-первых, высказывались сомнения в обоснованности использования распределения Гумбеля при описании снеговой нагрузки. Потому важно отметить, что его применимость для описания статистики экстремальных значений величин типа снеговой нагрузки обоснована более обширным материалом, нежели только измерения веса снегового покрова на территории СССР и России (как по типу явлений, так и по территории и продолжительности наблюдений).

Во-вторых, возможны сомнения, достаточно ли точно к настоящему времени определены параметры распределения Гумбеля. Но роль возможной неопределенности параметров из-за ограниченности накопленных данных применительно к данной конкретной местности может быть оценена прямым сравнением результатов расчетов с использованием значений, полученных по данным до 1985 г. м до 2003 г. Сравнение показывает несущественность остающейся здесь неопределенности.

В-третьих, имеется некоторая общая проблема использования в теории надежности любого из законов распределения случайных величин в области весьма малых значений вероятностей, т. е. за пределами области, с которой экспериментально обосновывалась применимость закона распределения и определялись его параметры. Но в данном случае мы обсуждаем область значений нагрузок S , для которых средний интервал между превышениями составляет 5-20 лет, т. е. такие нагрузки многократно проявлялись за время метеонаблюдений. Поэтому в данном случае причины для сомнений не существует.

В-четвертых, высказывались соображения, что измеренный на местности вес снега можно учитывать в качестве снеговой нагрузки для строительных конструкций в несколько «облегченном» виде, учитывая явления сноса, подтаивания и т. п. Но роль этих факторов сильно различается для разных видов конструкций и условий их эксплуатации. Потому она не может быть включена в общую для всех конструкций расчетную нагрузку, а должна учитываться дифференцированно отдельным коэффициентом μ .

Так же высказывалось мнение, что можно не придавать описанным выше результатам вычислений и наблюдений буквального значения, так как одновременно с фактами превышения снеговой нагрузкой ее расчетного значения не наблюдается массовых аварий стоящих под этим снегом конструкций. Однако ясно, что так происходит только из-за наличия неучтенных запасов прочности. В правильно запроектированных и изготовленных конструкциях распространенных типов такие запасы достигают 1,5 раза и более. И если за 30-40 лет наблюдений отмечались факты превышения снеговой нагрузкой расчетного значения на 20-50 %, то для конструкций с тяжелыми покрытиями это могло вызвать перегрузку лишь на 10-20%. Для таких покрытий запасов прочности, как правило, хватает,

чтобы избежать аварий. Но факт нарушения предельного неравенства говорит о том, что конструкция стала работать в условиях, которые не предполагались проектировщиком и, следовательно, им не обсчитывались и не анализировались. В этих условиях отсутствуют гарантии безопасной эксплуатации. Это недопустимо, даже если аварии и не произошло. Особенно, если учесть, что величина отмеченных выше запасов является оценочным, а отнюдь не гарантированным фактом. Такими запасами многие конструкции могут и не обладать, в особенности в настоящее время при общем снижении качества их изготовления и монтажа и тщательности контроля свойств материалов. С описанными выше представлениями полностью согласуется тот факт, что для легких конструкций, в которых доля снеговой нагрузки велика, яснее проявилась неоправданная смелость такого нормирования. Увеличение для легких конструкций коэффициента надежности по снеговой нагрузке с 1,4 до 1,6 являлось просто вынужденной мерой. Но и это оставило нерешенными описанные проблемы.

Снег оказывает существенное влияние на безопасность и доступность зданий и сооружений; аккумуляция снега на крышах приводит к формированию избыточных нагрузок и повреждению или обрушению кровель зданий.

В связи с планомерным уменьшением запасов прочности строительных конструкций необходимо наиболее точно учитывать величину реальной снеговой нагрузки на стадии разработки документов территориального планирования населенных пунктов (генеральных планов развития городских округов, генеральных планов населенных пунктов и т.д.). Большую актуальность приобретает необходимость расчета реальной величины снеговой нагрузки на кровли и несущие конструкции сооружений.

В частности по данным исследования Лобкиной В. А. «Снеговые нагрузки и районирование территории острова Сахалин по весу снегового покрова»³¹ существующие в настоящее время карты распределения снеговых нагрузок на территорию о. Сахалин не отвечают современным требованиям, выполнены без учета высотной поясности, влияния циклонической деятельности, лесистости территории и других факторов.

Нормированию снеговых нагрузок посвящены исследования А. А. Бать, А. А. Гвоздева, А. К. Дюнина, А. П. Булычева, Ю. Д. Сухова, М. В. Завариной, В. И. Липовской, В. Д. Райзера, А. Р. Ржаницына, Л. С. Розенберга, Н. С. Стрелецкого и других исследователей. Однако, сравнивая значения снеговых нагрузок в отечественных и зарубежных нормах, можно предположить, что при проектировании расчетные снеговые нагрузки на обрушившиеся покрытия зданий имели заниженные значения. В работе В. Д. Райзера в качестве наглядного примера приводится сравнение нормативных снеговых нагрузок на границе бывшего СССР и Польши. В СССР соответствующее значение равнялось 0,5 кПа, в ПНР – 0,9...1,1 кПа. В США расчетная снеговая нагрузка равна наибольшей нагрузке за 50 зим, в Канаде – за 30 зим, а в России – за 2...12 зим. Поэтому представляют интерес изменения (модификации) нормирования снеговых нагрузок в новой редакции СНиП «Нагрузки и воздействия», введенные с 1 июля 2003 года.

В новой редакции СНиП число снеговых районов увеличено с шести до восьми; уточнены границы снеговых районов в новой карте районирования территории России по расчетным снеговым нагрузкам. Впервые рекомендуется период между превышениями весом снега уровня, равный в среднем 25 годам. Наконец, увеличены величины расчетных снеговых нагрузок в границах прежних снеговых районов.

Основная характеристика снеговой нагрузки – расчетное значение – определяется как наибольшее из значений за период не менее 20 лет наблюдений. Районирование территории России по расчетным снеговым нагрузкам на основании этой формулы не учитывает в

³¹ <http://netess.ru/3zemlya/31938-1-snegovie-nagruzki-rayonirovanie-territorii-ostrova-sahalin-vesu-snegovogo-pokrova.php>

полной мере изменчивость снеговой нагрузки в пространстве. Например, значения в Москве, Санкт-Петербурге, Рощино, расположенных в третьем снеговом районе, имеют периоды повторяемости T их превышения весом снега, которые изменяются от 8 до 149 зим.

На основании только ежегодных максимумов веса снега невозможно получить научно обоснованную кривую распределения вероятностей веса снега на грунте в любую из декад периода снегонакопления. Отсутствие такой кривой приводит к следующим отрицательным последствиям:

- во-первых, невозможен единый подход к определению расчетного и нормативного значений веса снега, как уровней, превышаемых весом снега с заданным периодом T ;
- во-вторых, при оценке надежности сооружения невозможно научно обоснованное сочетание снеговой нагрузки с другими воздействиями на сооружение.

При проверке эксплуатационной пригодности и долговечности конструкции важными являются не только значения величины нагрузок, но и продолжительность их действия. В СНиП нет методики определения продолжительности превышения снеговой нагрузкой некоторого заданного уровня x .

Небывалые снегопады в России могут привести к обрушениям зданий, - считают эксперты по технической диагностике группы компаний «Городской центр экспертиз» (ГЦЭ). Как отмечают специалисты, в зоне риска – здания из металлоконструкций, стальных и алюминиевых профилей, к которым относятся многочисленные торговые центры, производственные ангары и выставочные павильоны.

В 1972-м, а затем в 1981-м Госстрой выпускал новые редакции главы СНиП «Стальные конструкции». Оба раза в нормах были уменьшены коэффициенты продольного изгиба ϕ , в прямой зависимости от которых находится несущая способность. Без объяснения эти коэффициенты были снижены в целом на 10-20%. Таким образом, все сжатые стержни, запроектированные до этих изменений, и имевших при этом СНиПовские (5%) запасы, оказались недостаточно устойчивыми. Поэтому при загрузке этих элементов проектными нагрузками конструкции должны терять устойчивость. Несмотря на снижение коэффициентов продольного изгиба ϕ , они и в нынешней редакции СНиП учитывают работу стержней гибкостью менее 100 в упругопластической стадии, что чрезвычайно опасно для случаев повторных нагружений, к которым относится снеговая нагрузка. Давно в экспериментах установлена следующая закономерность: При первом нагружении стержней средней и малой гибкости осевой силой они всегда показывают существенно большую несущую способность, чем при повторных нагружениях. Таким образом проявляется эффект от внутренних изменений в стержне, который уже «зацепил» пластику. Но СНиП этого не учитывает. Допустим, что в этом году снеговая нагрузка была расчётной, создала проектную нагрузку сжатия стержня, который повел себя как и было задумано, хотя стержень и зацепил пластику. Но если в следующем или каком-то другом году снеговая нагрузка будет даже меньшей, чем расчётная на несколько процентов, то стержень потеряет устойчивость и случится очередное обрушение...

«Снежная зима вскрыла очередную проблему современного строительства – несовершенство конструктивных особенностей новых зданий, - говорит управляющий директор по технической диагностике группы ГЦЭ Александр Калухин. – Как правило, кирпичным и каменным зданиям снег не страшен. В крайнем случае появится трещина. А вот у современных зданий из металлоконструкций - другая физика: распределение нагрузок происходит совершенно по-другому. Металл гнется, деформируется и это может привести к более серьезным последствиям, например, к обрушению всего сооружения».

3.1.1 Обрушение крыши торгово-выставочного комплекса в Катовице

Вечером 28 января 2006 г. в 17.15 по местному времени (19.15 мск), в польском городе Катовице обрушилась крыша торгово-выставочного комплекса, где в тот момент проходила международная выставка почтовых голубей. Согласно разным оценкам, в момент обрушения в павильоне находились от 500 до 1 тысячи человек, а том числе граждане Германии, Бельгии, Чехии, Словакии и Голландии.

По мнению специалистов, наиболее вероятная причина обрушения - скопившийся на крыше комплекса снег (толщина слоя составляла около полутора метров), который никто не чистил - та зима в Польше выдалась необычно холодной и снежной. Помимо этого, сами дизайн и проект здания содержали ряд недоработок, значительно снизивших прочность строения. Свою роль сыграл и другой факт — когда под тяжестью снега крыша начала проседать, компания-владелец International Katowice Fair не сообщила о повреждении властям, не почистила снег и не объявила, что здание опасно — только подлатала поврежденные места.

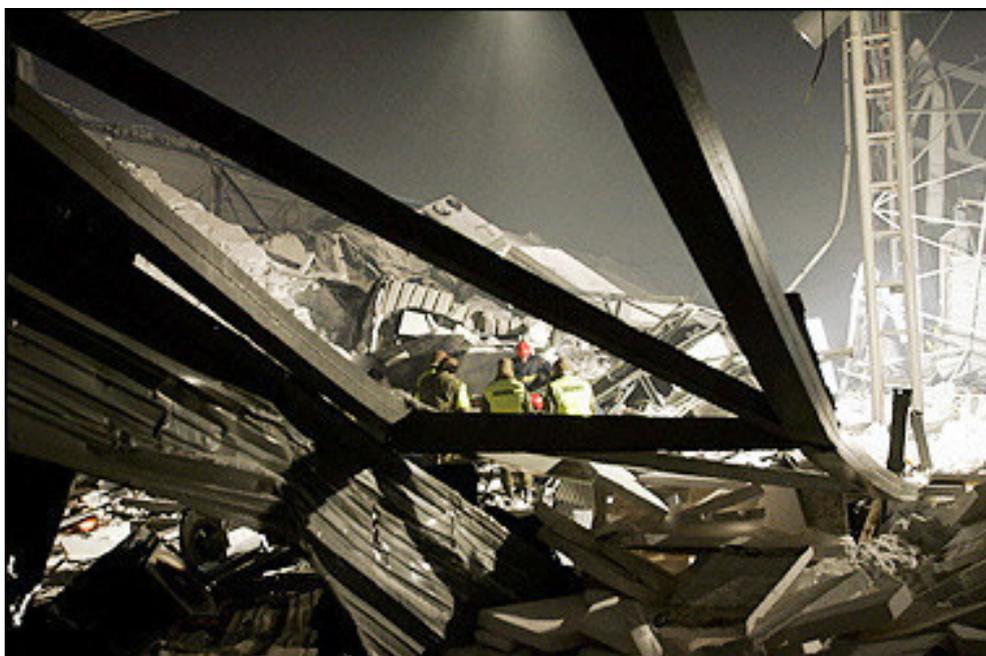


Рисунок 30 Обрушение крыши торгово-выставочного комплекса

Не исключено также, что конструкции здания, построенного в 2000 году, не выдержали морозов. «Судя по репортажам, здание состояло из металлоконструкций, - сказал в беседе с корреспондентом «НГ» первый вице-президент Союза архитекторов России, зампредседателя Москомархитектуры Алексей Воронцов. - На морозе металл имеет свойство сжиматься. Не исключено, что такие линейные сжатия в проекте не были учтены: на такой мороз в Польше просто не рассчитывают. Может быть, у них максимальная расчетная температура - минус 10 или минус 15. Толщина стен, например в зданиях в Германии, - 200-300 мм. А у нас с учетом на мороз - 640 мм».



Рисунок 31 Обрушение крыши торгово-выставочного комплекса

По мнению Алексея Воронцова, «наиболее вероятная причина - стечение неблагоприятных факторов. Одна или несколько ферм могли съехать со своей грузовой площадки плюс нагрузка на них навалившимся снегом. Его, безусловно, надо было оперативно убирать. Такие вещи - необходимый элемент обслуживания зданий. Последнее время в Европе теплые зимы, и на это несколько перестали обращать внимание».



Рисунок 32 Обрушение крыши торгово-выставочного комплекса

Важность ухода за такими сооружениями, как считает руководитель Центра мониторинга и прогнозирования МЧС РФ Владислав Болов, более чем актуальна и для России. «Такие уникальные инженерно-технические сооружения, с большими пролетами и сконструированные из металлоконструкций или железобетона, - один из главных источников

потенциальной техногенной аварии, - сказал Владислав Болов корреспонденту «Независимой Газеты». - Этими зданиями необходимо пристально заниматься. В периоды низких температур им - особенно пристальное внимание. На Новый год несколько обрушений было в Европе - в ФРГ, в Чехии, а также в Японии».

3.2 Неудачное проектное решение

Когда случается крупная авария, к которой приводит, как правило, не один, а целый ряд факторов, встает закономерный вопрос – какой же из факторов явился ключевым? Что должно было быть сделано для ее предотвращения? На каком из этапов уже невозможно было избежать аварии? В процессе технического расследования причин аварийных ситуаций подрядчик обычно доказывает, что проектные решения были не достаточно надежны, проектировщик, наоборот, утверждает – причиной послужили отклонения от проекта.

Истории развития техники показывает, что при разработке проектов часто возникают по тем или иным причинам ошибки. Иногда допущенные ошибки приводят к драматическим авариям или катастрофам, большим материальным потерям от неэффективного проектного решения. Возникновение ошибок при проектировании не исключено и в будущем.

Существующая методика проектировании кажется современному проектировщику простой и ясной и считается, что при этом возможность ошибок минимальная. В действительности же возможно совершить ошибку в самых основополагающих аспектах процесса проектировании, который является достаточно сложным.

Каждая теория применяется весьма ограниченно, а границы этой области не исследованы: Последующее историческое развитие и сопоставление применяемых теорий с практикой приводит к их уточнению или ограничению областей применения, а нередко и к водному их пересмотру.

При разработке проектов инженерам приходится сталкиваться с различными видами неопределённостей, которые характеризуются либо неполнотой или неточностью информации, либо возможностью отклонения исходных данных. Повышение уровня знаний и улучшение осведомлённости приводит к уменьшению неопределённости.

К сожалению, до сих пор исследованию причин возникновения ошибок и их последствий посвящено незначительное количество работ.

В ходе исторического развития деятельность людей сопровождалась ошибками как в области техники, так и других областях: политики, экономики, военном деле, медицине и т. п. Чем объёмнее ставились задачи проекта, тем больше возникало ошибок при его реализации, а также всегда имелась опасность возникновения катастрофических ошибок, вводящих на нет замысел проекта.

При реализации проекта следует всегда стремиться к избеганию катастрофических ошибок и минимизировать общее количество ошибок:

Возникающие ошибки при проектировании можно разделить на две группы, ошибки природного характера и ошибки человека, связанные с человеческим фактором. Ошибки природного характера вызваны форс-мажорными обстоятельствами: войны, стихийные бедствия, глобальные природные и техногенные катастрофы. Эти ошибки связаны с отсутствием или невозможностью понимания сложных природных явлений и процессов во вселенной и её биологическом развитии. Ошибки природного характера как правило не поддаются анализу и предотвращению.

Ошибки человека связаны с природой мышления в ходе исторического развития. Они вызваны недостаточным пониманием законов природы, отсутствием достаточных статистических данных для принятия решения, ошибками, вызванными человеческим фактором. Эти ошибки поддаются анализу и предотвращению.

Возможным источником ошибок является недостаточный уровень знаний каждого конкретного проектировщика. В современном мире непрерывного расширения и обновления научно-технических знаний отдельному человеку становится всё трудней ориентироваться в окружающей действительности. Здесь неопределимую роль могут сыграть постоянное обучение и переобучение.

Нарастающее расширение знаний ведёт к усиливающейся специализации во всех областях. Работа руководителя проекта над общими задачами проекта становится всё сложнее и многогранней. Опасность ошибок становится больше вследствие того, что определённые точки зрения могут оказаться неучтёнными, так как никто не отвечает за это. Следовательно, для безопасности сооружения первостепенную роль играет осознание руководителем имеющегося риска при разработке проекта с ясным и чётким распределением ответственности в коллективе исполнителей и полным обеспечением информацией между всеми участниками строительного процесса.

Представляют опасность и ошибочные действия человека из-за халатности, безответственности, недобросовестности исполнения.

Идея, всецело увлечшая, захватившая человека, является мощнейшим генератором как наиболее удачных решений, так и источником многих провальных проектов и решений, вызванных неприятием других подходов, известных и доступных знаний. Столкновение может быть явным или скрытым, проявляющимся в полном неприятии других подходов, взглядов, в отбрасывании всего, что не совпадает с профессиональным стереотипом специалиста. Стереотип обычно складывается в процессе обучения и служит основой автоматических навыков. Наличие стереотипных образцов даёт человеку возможность в определённых типовых ситуациях, не теряя времени на размышление, действовать наиболее рациональным образом. Воздействие стереотипов мышления наиболее явно проявляется в сложных ситуациях, когда содержатся новые неизвестные элементы и, следовательно, не укладывается в традиционное представление лица, оценивающего конкретную ситуацию. Особенно часто руководитель прибегает к стандартному выбору, действуя по определённому стереотипу, когда принимает решения, сопряжённые с риском.

Неправильная теория, неопределённость в понятиях являются наиболее опасным источником ошибок. Неправильная теория не может дать достоверных результатов. Чем примитивнее теория природного или социального явления, тем удобнее выстроить её внешне безупречно, выборочно представить те или иные факты, которые её подтверждают.

Правильность теории проверяется экспериментом, а также совпадением результатов с фактическими данными при её внедрении. На правильность теории указывает возможность теоретически предсказать или рассчитать показатели или событие. Если теория, на основании которой построен показатель, правильна, то всегда возможно повышение точности за счёт улучшения методов наблюдений и вычислительных операций.

Важнейшей структурной составляющей ошибок является ошибочное написание расчётных зависимостей в опубликованных документах. Далеко не всегда указываются допущения, сделанные в процессе выводов зависимостей, отсутствуют промежуточные выкладки, приводящие к конечным зависимостям, частой является ситуация, когда приводятся исходные зависимости, а после довода «как легко доказать» приводится конечный результат, проверить который фактически невозможно.

По мере всё более широкого внедрения компьютеров с их мощным программным обеспечением всё большее число пользователей работают с ними, не задумываясь о возможных последствиях (не зная, какие методы, физические зависимости, алгоритмы, допущения и ограничения заложены в используемый программный комплекс). Всё это может привести к существенным отрицательным последствиям - созданию абсолютно недостоверных результатов. Возможны также ошибки в написании программ, которые обычно проявляются при выполнении неординарных объектов. Чтобы избежать грубых

ошибок, нужно выявлять незнание на личном уровне и отделять его от незнания законов и явления. Основой предупреждения ошибок от незнания является умение сомневаться.

Ликвидировать незнание можно путём расширения информационных ресурсов, в том числе из иных проблемных областей, а также проведя дополнительные исследования.

Примером незнания является строительство плотины, закрывающей залив Кара-Богаз-Гол на Каспийском море. Не зная истинных причин изменения уровня Каспийского моря, в основу его спасения от обмеления был положен проект, который загубил залив и дал колоссальные убытки. Одной из ошибок при проектировании плотины явилась недостаточная ретроспектива в исследовании колебаний уровня моря и их неправильная интерпретация. К сожалению, как правило, незнание становится ясным после, а не до принятия решений.

Ошибки человека не учитываются при проектировании. Сегодня нет таких нормативных документов, которые содержат коэффициент надёжности по учёту недостатков качества за счёт ошибок человека.

Важнейшим средством обнаружения ошибок является контроль в процессе проектирования. Контроль имеет не только прямую задачу находить ошибки, очень важно его косвенное психологическое влияние на качество строительства. На практике контроль сегодня в большей степени полагается на опыт и интуицию руководителя проекта и инженерного надзора. В будущем следует обратить внимание на разработку эффективной системы контроля. Следует также изучить опыт других отраслей: авиации, атомной энергетики, где система контроля разработана достаточно эффективна.

Анализ ошибочных решений деятельности человека, основанный на историческом опыте, позволяет сформулировать общие причины возникновения ошибок и путей их предотвращения. Ошибки человека бывают обусловлены следующими причинами:

- недостаточной информацией;
- отсутствием широкого кругозора или его односторонним подходом при решении задач, что часто связано с предыдущей деятельностью исполнителя;
- недостаточным опытом исполнителя в данной области;
- переоценкой, как правило, в лучшую сторону, своей деятельности. Отсутствием проработок при пессимистическом развитии событий;
- отсутствием альтернативных методик и критических замечаний оппонентов;
- плохой организацией трудового процесса;
- неудовлетворительным производственным климатом: недостаток времени и средств, плохие взаимоотношения в коллективе.

Уменьшению количества ошибок может способствовать осуществление следующих мероприятий:

- наличие полной информации и статистических исследований в предполагаемой области деятельности;
- хорошая организация трудового процесса с использованием научной организации труда; совершенствование профессионализма и соответствующий подбор опытных кадров исполнителей. Личная ответственность исполнителей;
- организация свободных дискуссий в данной области деятельности;
- учёт возможности негативного развития событий и разработок при этом запасного варианта;
- стабильность деятельности (постепенность принятия решений. Переход от простого к сложному. Отсутствие спешки при принятии сложных и принципиальных решений, а также в случае неясной ситуации);
- создание резервов запаса на непредвиденные ситуации.

Правильность принимаемого решения обычно характеризуется близким совпадением результатов по различным и часто противоположным методикам осуществления проекта . и

положительны ми результатами уже обычно через год с начала реализации проекта (положительный результат от реализации проекта, проявляющийся спустя некоторый срок после его осуществления, связан с инерционностью процесса). Следующие примеры иллюстрируют все вышеизложенное.

В 1994 году одна строительная фирма на окраине Москвы решила построить коттеджный посёлок. При реализации данного проекта намечалось получить значительную прибыль. Для этой цели был приобретён участок застройки, разработан проект строительства, с американской фирмой был заключен контракт на поставку сборных домов. Часть домов по проекту уже была построена, когда выяснилось, что для подвода коммуникаций: газа; водопровода, канализации, электричества требуются значительные капитальные вложения, которые не были учтены в первоначальном проекте. В результате допущенной ошибки при проектировании строительная фирма разорилась. Причиной ошибки проекта явилась недостаточная экономическая проработка проекта и отсутствие информации об условиях подключения к существующим сетям.

В 1960-х годах в скандинавских странах был широко разрекламирован новый строительный материал для строительства стен зданий. Как показало предварительное исследование, материал имел малую теплопроводность и малый вес, был технологичен в изготовлении, достаточно дешёв, легко обрабатывался ручным инструментом, т.е. являлся идеальным материалом для малоэтажного строительства. Внедрение этого материала осуществляла фирма, которая разрабатывала проекты и осуществляла строительство. Из этого материала было построено значительное количество домов, когда выяснилось, что после нескольких лет эксплуатации стены из данного материала стали разрушаться. Первоначально фирма-строитель осуществляла ремонт поврежденных домов за свой счёт, но в конечном итоге она разорилась. Причиной ошибки явилось несоответствие расчётных предпосылок принятых при проектировании, действительным в частности долговечности материала.

При строительстве и СССР завода Атоммаш проектировщики под давлением партийного руководства страны приняли неблагоприятную для строительства площадку с просадочными грунтами в г. Волгодонске. Хотя были предприняты меры по предотвращению просадок грунтов от их увлажнения, однако после постройки завода в конструкциях зданий возникли недопустимые деформации от неравномерных осадок фундаментов, в результате чего эксплуатация завода стала невозможной. В данном случае проектировщики приняли ошибочное решение о строительстве ответственного и дорогостоящего объекта на площадке с грунтами; при котором имела большая вероятность их просадок от увлажнения при эксплуатации.

Ошибкам часто способствует применяемая в настоящее время методика проектирования.

Проектирование часто осуществляется в узком кругу проектировщиков и не обсуждается в широком кругу специалистов и независимыми экспертами.

Проектировщик часто копирует проектные решения, выполненные ранее, не учитывая влияния отличительных особенностей сооружения от аналога.

Применяемое в настоящее время автоматизированное проектирование с использованием компьютеров не позволяет проектировщику, особенно начинающему, оценить правильность полученных результатов и создаёт иллюзию отсутствия ошибок.

В процессе проектирования недостаточно учитывается опыт предыдущих ошибок вследствие отсутствия информации об их причинах и последствиях, подробных публикаций об имевших место авариях. Отсутствует методика по выявлению ошибок.

История проектирования строительных конструкций сооружений полна примеров аварий, которые позволили выявить ошибки допускаемые при проектировании, и анализ которых позволил бы осуществлять в дальнейшем успешное проектирование.

Как показывает анализ аварий, грубые ошибки, допущенные при проектировании и строительстве, обычно проявляются в течение первых лет с начала эксплуатации.

Однако аварии, происшедшие после значительного срока эксплуатации, также могут быть вызваны ошибками при проектировании, так как имеющийся порок в проекте нередко был замаскирован имеющимися запасами прочности в конструкциях и проявился впоследствии в результате ослабления конструкций со временем.

В технике ошибки принято разделять на случайные и систематические. Случайные ошибки возникают, преимущественно, из-за ошибок человека, связанных с его физиологическими особенностями, его квалификацией, «климатом» во время работы и представляют собой различного рода упущения и механические ошибки. Отказы конструкций, вызванные случайными ошибками, превышают отказы от систематических ошибок и составляют около 90% от всех ошибок. Без учета случайных ошибок оценка надёжности сооружений представляется сильно заниженной.

Для предварительной оценки величин случайных ошибок, обусловленных человеческой деятельностью, можно использовать данные анализа этих ошибок из других областей техники. Например, простые арифметические ошибки при проведении самопроверки, но без выполнения повторных вычислений имеют вероятность $3 \cdot 10^{-2}$. Ошибка типа упущения, когда упущенный пункт инструкции является элементом процедуры, имеет вероятность $3 \cdot 10^{-3}$.

Эффективным средством по исключению случайных ошибок является разработанная система квалифицированного контроля.

Систематические ошибки при проектировании возникают от незнания или неправильного понимания физических явлений, работы конструкций, несоответствия принятой методики расчёта действительной работе конструкций, а также недоработки норм на проектирование.

Вероятность появления систематических ошибок зависит от выбора принципиальной конструктивной схемы сооружения. Более сложные конструктивные схемы сооружения, а также применение новых конструкций и значительное отличие нового проекта от аналога вероятность ошибок значительно увеличивают.

Систематические ошибки выявляются экспертными и экспериментальными исследованиями, натурными обследованиями сооружений. Для повышения надёжности каждая сложная строительная система сооружения должна быть проанализирована экспертом на подверженность отказу, при этом следует предполагать, что авария может произойти. Такое исследование поможет выявить слабые стороны проекта. Большая вероятность отказа должна учитываться и процессе принятия решения при проектировании. В случае неблагоприятного прогноза систематические ошибки могут перекрываться большим коэффициентом надёжности.

Исходя из этапов проектирования конструкций сооружения ошибки можно подразделить на ошибки, возникающие при сборе исходных данных, выборе материалов, типов конструкций к расчётной схеме сооружения, расчёте и конструировании строительных конструкций.

3.2.1 Авария тоннеля Никол Хайвей.

Крупная авария при строительстве транспортного тоннеля в условиях слабых глинистых отложений Сингапура случилась рядом с шоссе Никол Хайвей в апреле 2004 года. Авария II категории, унесшая четыре человеческие жизни и нанеся значительный материальный ущерб, получила значительный резонанс в прессе и научных кругах. Анализ этой аварии приводится как в официальном заключении комиссии, так и в ряде технических публикаций (Shirlaw и др., 2005, Karlsrud & Andresen, 2007), исследованиям причин аварии посвящена даже диссертационная работа (Artola, 2005).



Рисунок 33 Авария тоннеля Никол Хайвей

Авария произошла на участке тоннеля, устраиваемого в котловане открытым способом и примыкающего к круглой в плане опускной шахте, из которой далее тоннель должен был проходиться щитом под рекой Калланг (рис. 34). Ограждение котлована было выполнено способом стена в грунте, толщина стены составляла преимущественно 0.8 м. В соответствии с проектом крепление котлована глубиной 33 м выполнялось с помощью 10 ярусов металлических распорок и двух грунтоцементных плит (рис. 35).



Рисунок 34 Аварийный участок тоннеля рядом с шоссе Никол Хайвей

В инженерно-геологическом строении площадки принимали участие насыпные грунты, мощные отложения слабых водонасыщенных моренных глин, на глубине около 35 м залежали глины эстуария, подстилаемые намного более прочными отложениями древнего аллювия, представленными твердыми суглинками и супесями. Стена в грунте и промежуточные стойки были заглублены в древний аллювий на 5-10 м. Две распорные плиты из грунтоцемента выполнялись с верхних отметок с применением струйной технологии. Верхняя грунтоцементная плита являлась временной и подлежала разрушению после установки распорных элементов 9-го уровня.

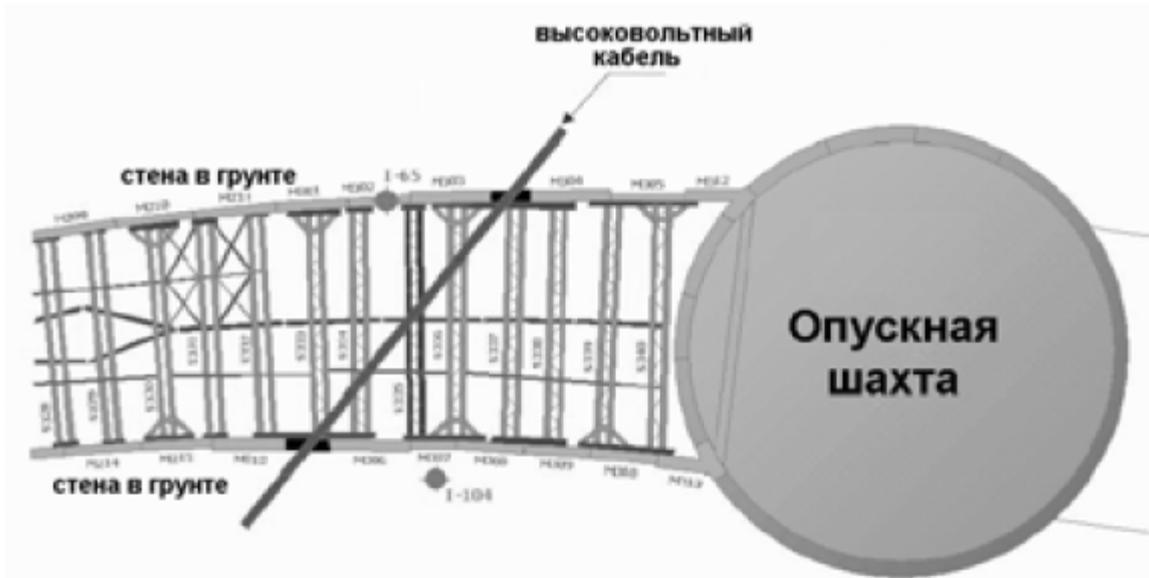


Рисунок 35 Схема тоннеля рядом с шоссе Никол Хайвей

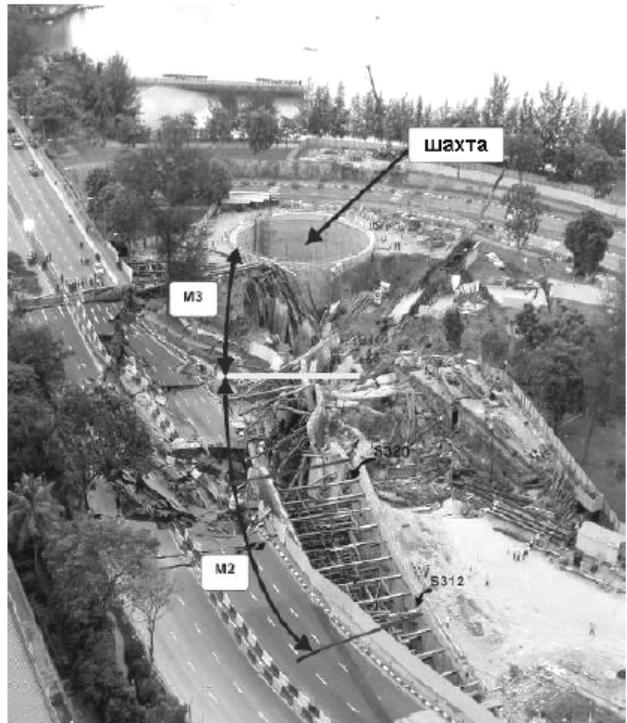
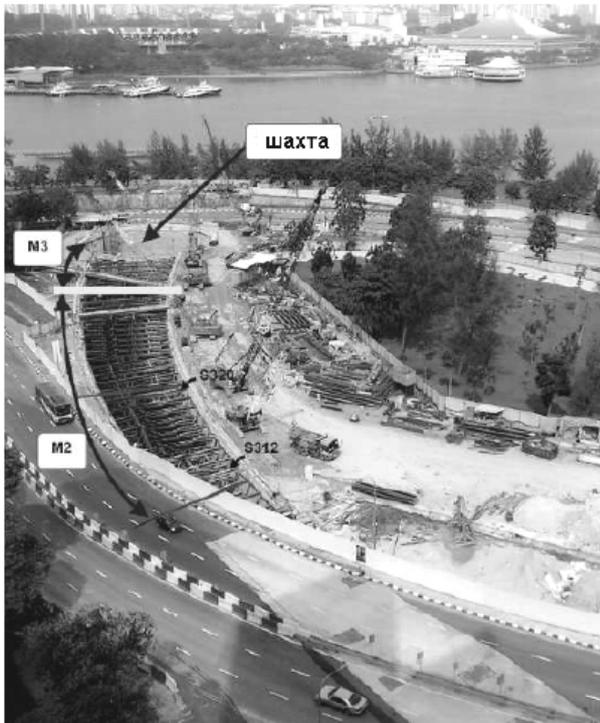


Рисунок 36 Шоссе Никол Хайвей до и после аварии тоннеля

Авария произошла на стадии удаления верхней грунтоцементной плиты и подготовки к установке последнего яруса распорок, когда глубина экскавации составляла около 30 м. Обрушение ограждения котлована на длине более 100 м носило быстрый и катастрофический характер. Разрушение распорной системы привело к «схлопыванию» стены в грунте (рис. 37). В процессе аварии произошли разрушение и взрыв поверхностного газопровода, находившегося рядом с котлованом.

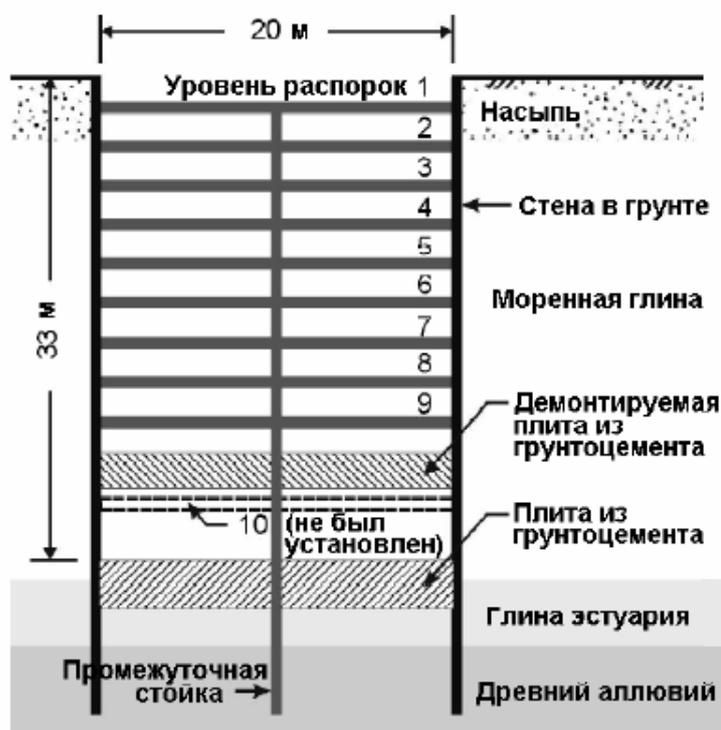


Рисунок 37 Схема крепления котлована транспортного тоннеля у Никол Хайвей

Разрушениям в результате аварии подверглась значительная территория в радиусе более 50 м от эпицентра (рис. 38), включая проезжую часть шоссе. Комиссия по расследованию причин аварии в своем заключении указала, что к обрушению котлована привел комплекс причин, включая ошибки проектирования и качество выполнения работ. Ошибки проектирования относились как геотехническим расчетам, так и к конструированию элементов крепления котлована.

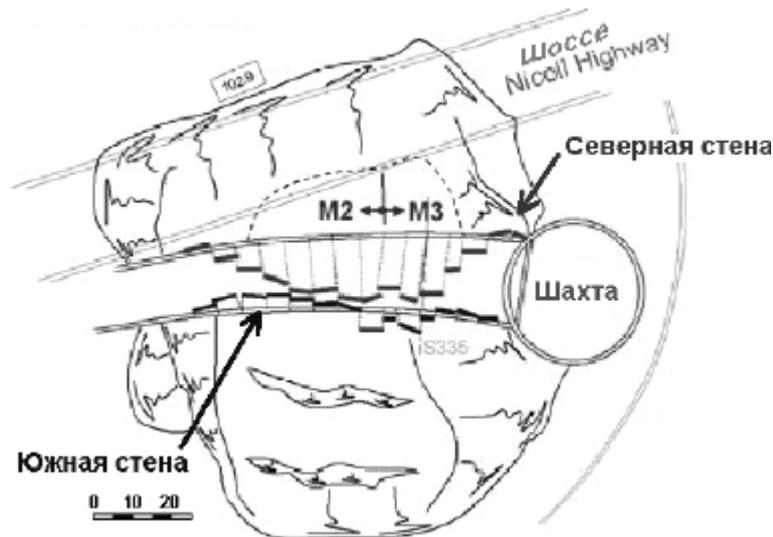


Рисунок 38 Съемка зоны разрушений после аварии у Никол Хайвей

В отчете комиссии отмечается, что авария произошла в результате двух главных ошибок, допущенных при проектировании:

- Недооценки величин нагрузок, передаваемых на ограждение котлована, в результате использования неадекватной модели грунта;

- Недостаточной надежности запроектированных узлов соединения распорок и обвязочных поясов 9 яруса и неспособности распорной системы перераспределить усилия при их разрушении.

Расчет ограждения котлована был выполнен в плоской постановке МКЭ с использованием программы PLAXIS. В расчетах для всех инженерно-геологических элементов использовалась идеальная упруго-пластическая модель Кулона-Мора с эффективными значениями характеристик сопротивления сдвигу. Для моренных глин эффективный угол внутреннего трения был принят равным $\varphi' = 22^\circ$, а эффективное сцепление $c' = 0,1$ кПа. При этом поведение нормально консолидированных моренных глин предполагалось недренированным, а древних аллювиальных отложений дренированным. Начальные поровые давления задавались поверхностью УПВ, понижаемой в котловане в процессе моделирования его экскавации, процесс консолидации не моделировался. Поскольку в России в настоящее время программа PLAXIS все чаще используется для проектирования ограждений котлованов, причем не только специализированными геотехническими организациями, для избежания повторения следует акцентировать внимание на ошибках, допущенных в расчетах.

Для моделирования недренированного состояния слабопроницаемых водонасыщенных грунтов возможно использование четырех методов (PLAXIS, 2002), сопоставление которых приведено в таблице 6. Таким образом, при проектировании в рассматриваемом случае использовался метод «А». При моделировании недренированного и неконсолидированного поведения слабых глинистых грунтов метод «А» значительно завышает их фактическую прочность, а значит, занижает значения полных напряжений, передаваемых на ограждение котлована.

Таблица 6

Параметры, используемые в программе PLAXIS для моделирования недренированного состояния грунта

Недренированное состояние					
Метод	Вид материала	Модель	Параметры модели		Вычисляемые напряжения
			Прочность	Деформируемость	
А	Недренированный	Кулон-Мор	c', φ' эффективные	E', ν' эффективные	Эффективные напряжения и поровые давления
В	Недренированный	Кулон-Мор	c_u, φ_u полные	E', ν' эффективные	Эффективные напряжения и поровые давления
С	Непроницаемый	Кулон-Мор	c_u, φ_u полные	$E_u, \nu_u = 0,495$ полные	Полные напряжения
Д	Как в методе «А» для более сложных моделей грунта				

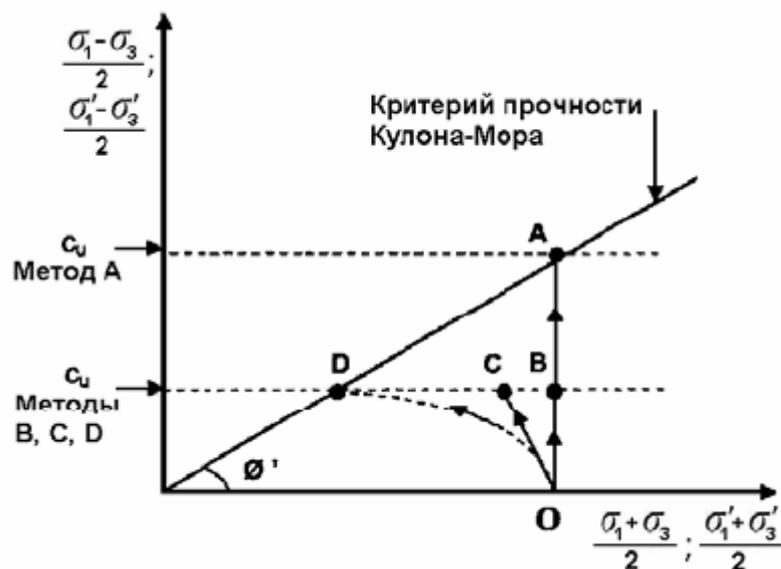


Рисунок 39 Траектории достижения предела прочности грунта при использовании различных методов расчета в PLAXIS.

В дренированных условиях большинство грунтов подвержено некоторым объемным деформациям при формоизменении. В частности, слабые нормально консолидированные глины испытывают уплотнение при сдвиге. В недренированных условиях контракции скелета препятствует возникновение положительных поровых давлений, в результате разрушение происходит по траектории снижения средних эффективных напряжений OD (рис. 39). Модель Кулона-Мора не учитывает объемных деформаций при сдвиге. В недренированном состоянии избыточные поровые давления непосредственно связаны с изменением главных октаэдрических напряжений. В отсутствии консолидации, снижение полного главного напряжения σ_3 , вызванное экскавацией котлована, из условий равнообъемной деформации при $\sigma_1 = const$ приводит в методе «А» к развитию отрицательных избыточных поровых давлений, а разрушение грунта происходит без уменьшения средних эффективных напряжений по траектории OA на рис. 36. В методах «В» и «С» разрушение грунта также происходит по траекториям изменения главных напряжений, отличным от реальных (OB и OC), однако, значение недренированной прочности в этих методах задается в явном виде.

Отсутствие фильтрационных и консолидационных расчетов при проектировании также являлось ошибкой, поскольку заданное положением УПВ гидростатическое распределение поровых давлений в основании существенно отличалось от действительного. Под подошвой стены в грунте получался значительный скачок в поровых давлениях, которого не могло быть в реальности. Избыточные поровые давления ниже дна котлована, которые не успели диссипировать после снятия гидростатики в процессе его экскавации, не учитывались.

Следует обратить внимание российских специалистов, что отечественные строительные нормы требуют в подобных случаях выполнять не только недренированный, но и дренированный расчет основания, взаимодействующего с ограждением котлована, а величины расчетных усилий в конструкциях принимать по наиболее неблагоприятному варианту.

Допущенные при численном моделировании ошибки привели к следующим результатам:

- Расчетная величина изгибающего момента в стене в грунте была практически в два раза меньше, чем в действительности;
- Прогнозируемые перемещения ограждения были в два раза меньше наблюдаемых;
- Плиты из грунтоцемента были подвержены большим напряжениям, чем предполагалось;

- Расчетные усилия в 9-ом ярусе распорок были на 10% ниже, чем в действительности, однако, суммарные расчетные усилия во всех установленных ярусах превышали на 20% усилия, полученные поверочным расчетом комиссии.

Большинство экспертов пришло к выводу, что в результате недоармирования стены в грунте в ней произошло формирование пластического шарнира за три дня до аварии.



Рисунок 40 Выгиб ребра жесткости и опорной части в месте примыкания распорки к обвязочному поясу до случившейся аварии

К ошибкам проекта, допущенным при конструировании распорной системы в котловане, комиссия по расследованию причин аварии отнесла:

- Отсутствие в чертежах части концевых раскосов, которые учитывались в расчетах и должны были распределять продольные усилия в распорках;
- Недостаточную прочность узлов примыкания распорок к обвязочным поясам (рис. 37) в два раза ниже требуемой расчетом;
- Замену ребер жесткости в узлах примыкания на С-образные вставки, приведшую к их хрупкому разрушению;
- Прерывистый характер обвязочных поясов на искривленных участках стены в грунте.

Перед началом аварии были отмечены также вертикальные деформации подъема промежуточных стоек, связанные с ростом избыточных поровых давлений в основании котлована. Подъем стоек мог привести к дополнительному продольно-поперечному изгибу распорок, что еще более снижало их несущую способность.

В качестве дополнительных факторов, способствовавших аварии, комиссией были отмечены:

- Задержка в установке 10-яруса распорок;
- Недостаточное заглубление стены в грунте и промежуточных опор, связанное с ошибками при моделировании;
- Высоковольтный кабель, пересекавший котлован, явился причиной локального ослабления распорной системы;
- Наличие погребенного канала в основании не было в достаточной мере учтено при проектировании;
- Нижняя грунтоцементная плита была выполнена тоньше, чем по проекту;
- Мониторинг на площадке выполнялся в недостаточном объеме;
- Контроль качества строительства на площадке был неудовлетворительным.

Серьезные претензии предъявлялись к организации управления строительством. Несмотря на явные и видимые признаки проявления аварийной ситуации строительство не было остановлено, не была сделана попытка выполнить обратный расчет конструкции, проектное решение не обсуждалось с независимыми экспертами и не подвергалось критическому анализу.

3.2.2 Обрушение «Трансвааль-парка»

«Трансвааль-парк» — спортивно-развлекательный комплекс в районе Ясенево на юго-западе Москвы (Голубинская улица, 16), открытый в июне 2002 года и обрушившийся 14 февраля 2004 года.

«Трансвааль-парк», представлявший собой многоуровневое пятиэтажное здание, в плане имеющее форму китового хвоста, был построен по проекту архитектурной мастерской «Сергей Киселёв и партнёры», инженер — Нодар Канчели. Заказчиком и инвестором строительства выступило ЗАО «Европейские технологии и сервис», привлекшее кредит Сбербанка в размере 33 млн долларов. Подрядчиком стала турецкая компания «Кочак Иншаат Лимитед» (Koçak İnşaat Ltd), которая уложила в рекордно короткие сроки, построив «Трансвааль-парк» за полтора года.

«Трансвааль-парк» открылся в июне 2002 года и на тот момент являлся самым большим аквапарком в Восточной Европе (площадь — 20,2 тыс. кв. м, вместимость — 2 тыс. человек, в том числе 700 — в водной зоне). Помимо аквапарка с аттракционами, комплекс включал спортивный бассейн, два отделения саун, боулинг с кафе-баром и бильярдной, ресторан, тренажёрный зал, салон красоты.

Обрушение купола развлекательного комплекса "Трансвааль-парк" в Ясенево произошло 14 февраля в 19:15 мск. Площадь обрушения составила свыше 5 тыс. кв. м. В этот момент в здании находилось около 400 человек. По словам очевидцев, под крышей оказались погребены самые популярные аттракционы «Трансвааля», включая детский бассейн.



Рисунок 41 Обрушение купола «Трансвааль-парка»

Число погибших составило 28 человек, в том числе 8 детей, травмы различной степени тяжести получили 193 человека (в том числе 51 ребёнок).

Следствием рассматривались четыре основные версии обрушения крыши: нарушение в проектировании здания, ошибки при строительстве, неправильная эксплуатация либо подвижка грунта, на котором был возведен «Трансвааль». Версия теракта не нашла официального подтверждения. Версия теракта была выдвинута потому, что камеры наружного наблюдения зафиксировали непонятный «выстрел» из бетонной опоры конструкции, с которой началось разрушение, похожий на попадание снаряда, например, из противотанкового ружья. За секунду до катастрофы видеокамера наружного наблюдения зарегистрировала появление облака пыли у основания колонны. Видеозапись камер наружного наблюдения, установленных по периметру здания аквапарка, разбила по кадрам. На ней хорошо видно, как развивались события. Проблемы начались с одной из колонн, на которые опирается наружная часть купола, - возле опоры, примерно в метре от поверхности земли появилось темное облако. Следующий кадр - колонна надламывается в этом месте и валится наружу. Пролет, откуда только что выпала опора, тут же увеличивается вдвое - с 6 м до 12м. Не выдержав нагрузки, валятся наружу соседние колонны. Что происходит дальше, видеокамера не зафиксировала, но это уже известно со слов уцелевших посетителей аквапарка. Край крыши в том месте, где упала колонна, треснул, трещина быстро поползла вверх, а когда она достигла геометрического центра сегмента, огромный купол "раскрылся" вниз подобно двустворчатым дверям. Таким образом, установлено, что катастрофа началась именно с появления пылевого облака. Выброс пыли мог произойти и в результате взрыва заложенного возле колонны небольшого так называемого точечного заряда". Видео с данной камеры было показано в новостях на федеральном телеканале. Эта опора не была

обследована и в спешном порядке вывезена на свалку с другим строительным мусором при расчистке.



Председатель Союза архитекторов России Юрий Гнедовский ранее заявлял, что "одна из версий - это бомбардировка колонны, возможно, из леса, рядом с которым располагался "Трансвааль-парк". Сам главный конструктор и технический директор аквапарка Нодар Канчели также полагает, что причиной обрушения аквапарка стало внешнее воздействие на одну из опорных колонн. "Кроме внешнего воздействия, я другого объяснения не нахожу, как эта колонна могла "выскользнуть" из-под опорного контура", - заявил Канчели на пресс-конференции. Канчели напомнил, что вскоре после обрушения он вместе с другими экспертами смотрел видеозапись момента трагедии. "В какой-то момент из одной из колонн вырвалось как бы облако, после чего колонна согнулась и выскользнула из-под опорного контура", - сказал он. По словам Канчели, произошедшее повлекло за собой сползание крыши с последующим падением остальных колонн.

Канчели утверждает, что видел согнувшуюся колонну на месте обрушения, в то время как остальные колонны были практически не повреждены. "На следующий день все колонны были выдернуты из-под завалов, помяты и сброшены в ближайший овраг", - заявил он, отметив, что "также пропала и видеозапись момента обрушения. По крайней мере, членам комиссии не удалось ее посмотреть, как и сломанную колонну".

Тем не менее, как заявил прокурор Москвы Анатолий Зуев, следствие по факту обрушения крыши аквапарка в Ясенево располагает заключением взрыво-технической экспертизы, которая однозначно утверждает, что на месте обрушения следов взрывчатого вещества не обнаружено. "Для проведения этой экспертизы были взяты смывы со всех колонн и других элементов конструкции аквапарка. Таким образом, следствием исключена версия теракта", - подчеркнул прокурор столицы.



Более того, прокурор заявил: видеозапись с места трагедии свидетельствует о том, что никакого внешнего воздействия на конструкции аквапарка не было. "Следствие по факту обрушения крыши аквапарка в Ясенево располагает всеми видеозаписями, изъятыми с места происшествия. Видеозапись велась в непрерывном режиме с нескольких видеокамер аквапарка, в том числе и снаружи, - заявил прокурор. - Все кассеты следствием изъяты в установленном законом порядке, данные видеозаписи исследованы с привлечением специалистов и экспертов". Зафиксированное на пленке изображение и его оценка не дает следствию никаких оснований говорить о каком-либо механическом воздействии, (в том числе и взрыве) на элементы конструкции аквапарка... следствие располагает заключением взрыво-технической экспертизы, которая однозначно утверждает, что на месте обрушения следов взрывчатого вещества не обнаружено", - отметил прокурор³². Напомним, что сразу же после катастрофы экспертизу по "своему" профилю проводили специалисты-взрывотехники из ФСБ и тоже не обнаружили ничего подозрительного.

Еще на стадии предварительного разбирательства выяснилось, что "Трансвааль-парк" проектировали не одна, а сразу две организации. Изначально за разработку проекта столь сложного, не имеющего у нас в стране аналогов сооружения, как аквапарк с беспролетным куполом, взялась фирма "Сергей Киселев и партнеры". Ее архитекторы утвердили проект в Мосгорэкспертизе, и по их расчетам здание должно было перекрываться стальными фермами или фермами с алюминиевым покрытием. Однако уже на этапе строительства главный подрядчик, турецкая фирма Kocak Insaat, предложил заменить алюминиевые перекрытия на железобетонные. Киселевцы дали согласие, но за разработку новой конструкции купола взялись не сами - подрядчик сам пригласил к сотрудничеству ЗАО "К".

Изменения в проекте на стадии, когда строительство уже начато, возможны, а часто бывают даже необходимы. Эти изменения могут быть продуманными и осознанными, когда на основании результатов мониторинга и обратных расчетов необходима корректировка

³² Газета «Известия» вторник 6 мая 2004г.

ранее принятых решений. В этом случае можно вести речь об интерактивном проектировании, или, как его еще называют, наблюдательном методе.

Иногда проект приходится менять вне желания проектировщиков по независящим от них обстоятельствам в тот момент, когда часть конструкций уже возведена. Причиной таких изменений, например, может стать смена инвестора и подрядчика, изменение назначения и конструктивного решения строящегося объекта в целом или отдельных его элементов. Подобные вмешательства в проект, как правило, повышают риск возникновения аварийных ситуаций и требуют особого внимания проектирующих организаций.

Получился организационно-конструкторский нонсенс: там, где от архитекторов требовалась максимальная сработанность и согласованность усилий, на результаты работы одной команды наложились результаты работы другой. И Сергей Киселев, и Нодар Канчели - строители, чья репутация до обрушения аквапарка была безупречной. Но есть такая элементарная формула: чем больше узлов (инстанций) в той или иной конструкции (цепочке действий), тем меньше ее надежность. Еще в 2005 году многие независимые эксперты указывали на то, что несущий каркас "Трансвааль-парка" плохо сочетается с ограждающими элементами (крышей и стенами). В результате все сооружение аквапарка оказалось крайне ненадежным: устранение одной несущей конструкции (колонны), чем бы оно ни было вызвано, привело к обрушению пяти тысяч квадратных метров перекрытий.

Ошибка при проектировании - главная причина обрушения купола крыши "Трансвааль-парка". Об этом заявил первый заместитель столичного мэра Владимир Ресин. По его словам, к такому выводу пришли специалисты комиссии правительства Москвы, занимавшиеся расследованием причин трагедии.

Ресин отметил, что "никакой другой причины обрушения крыши 14 февраля в настоящее время не рассматривается". Однако, подчеркнул он, "окончательные выводы должно сделать следствие, которое располагает всеми необходимыми пленками и другими материалами". Накануне глава Федерального агентства по строительству и ЖКХ Владимир Аверченко также отметил в беседе с журналистами, что по результатам расследования, специалисты пришли к выводу, что при проектировании аквапарка "имели место ошибки".



Еще ранее об этом заявлял тогдашний мэр Москвы Юрий Лужков. Он подчеркивал, что комиссия правительства Москвы и комиссия Госстроя РФ являлись по сути техническими экспертизами и их задача была - установить причину обрушения аквапарка. По словам мэра, "при проектировании этого пространственного сооружения не были учтены радиальные и сдвиговые деформации, которые могли повлечь за собой подвижку одной из опорных колонн и вывести ее из фиксирующего зацепления". Кроме того, сказал Лужков, "колонна была сделана из хрупкой стали, что также могло сыграть свою роль в обрушении крыши здания".

Прокуратура Москвы, проводившая следствие, пришла к выводу о виновности главного конструктора проекта аквапарка Нодара Канчели. Ему была предложена амнистия в связи со 100-летием Государственной Думы РФ, на которую он согласился (не признав себя при этом виновным). 27 октября 2006 года Замоскворецкий суд признал законность амнистии. В отношении второго обвиняемого — начальника Мосгорэкспертизы Анатолия Воронина уголовное дело было прекращено 30 августа 2006 года за отсутствием состава преступления.

13 февраля 2008 года адвокатами потерпевших была подана жалоба в Европейский суд по правам человека с требованиями признать, что Российская Федерация допустила нарушения и обязать её выплатить справедливую компенсацию потерпевшим.

В настоящее время на месте обрушившегося аквапарка возведён новый развлекательный комплекс Аквапарк Мореон.

3.3 Низкое качество строительных материалов

Согласно статистическим исследованиям, в среднем, причиной 20% расследованных аварий при возведении строительных объектов становится низкое качество применяемых

строительных изделий и материалов. Подобные ЧП зачастую приводят к разрушению зданий или их конструктивных элементов

Градостроительный кодекс (ст.52), Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (ст. 34, 38), постановление Правительства РФ от 21 июня 2010г. #468 «о проведении строительного контроля» обязуют проведение входного контроля качества строительных материалов для обеспечения безопасного и качественного строительства.

Основные требования вышеназванных нормативных документов сводятся к следующему:

Строительство здания или сооружения должно осуществляться в соответствии с требованиями Федеральных законов и проектной документации, а значит, что и строительные материалы должны соответствовать нормам и стандартам, предъявляемым к ним.

Строительные материалы и изделия должны соответствовать установленным, в соответствии с законодательными актами Российской Федерации нормам.

Лицо, выполняющее строительство здания или сооружения, в течение всего процесса строительства должно применять контроль соответствия применяемых стройматериалов и изделий требованиям проектной документации объекта.

К сожалению, несмотря на все меры, принимаемые для безопасности производителей работ и конечных пользователей объекта далеко не все фирмы готовы производить входной контроль стройматериалов объективно и по существу, а не делать формальные пометки в журнале входного контроля материалов.

Низкое качество строительства является злободневным вопросом как для специалистов отрасли, так и для простых граждан, так или иначе столкнувшихся с фактами нарушений технологии проведения работ и их последствиями.

Качество любого строительного-монтажного предприятия напрямую зависит от качества выбранных изделий и материалов. Как показывает опыт, сейчас качество продукции многих фирм по производству строительных материалов весьма нестабильно: на это влияет устаревшее уже оборудование, различные нарушения технологического процесса, отсутствие необходимых форм контроля, низкое качество используемого сырья с целью удешевления себестоимости продукта. Так или иначе, но все эти факторы ведут к появлению материалов, которые своими характеристиками не удовлетворяют требованиям основных технических условий и стандартов.

По словам заместителя генерального директора по сбыту ЗАО «Стройкомплект» Александра Семенова, низкое качество строительства – результат применения некачественных строительных материалов: «Действительно, на сегодняшний день качество строительства определенно оставляет желать лучшего, с этим трудно не согласиться. Если говорить в целом, не обращая внимания на частные случаи, это комплексная проблема, так как факторов, оказывающих влияние на качество строительства довольно много. К ним можно отнести, например, и низкий кадровый уровень специалистов строительной отрасли на всех стадиях строительства (проектирование, производство работ, контроль и надзор); но главным фактором, без которого качественное строительство невозможно, были и остаются качественные строительные материалы.

В рамках жесткой рыночной конкуренции, в том числе и в строительной сфере, происходит ежедневная непримиримая борьба между производителями строительных материалов и строительными компаниями. Последние, за редким исключением, предпочитают выбирать строительные материалы для собственных нужд не с позиции качества, надежности и долговечности и даже не с позиции соотношения «цена-качество», а с позиции стоимости. При этом все понимают, что «дешево – не есть хорошо». С результатами подобных предпочтений, а также «кадрового голода» строительной отрасли можно ознакомиться на любом Интернет-форуме жильцов только что сданного дома, где они в подробностях иллюстрируют кривые стены, пол и с трещинами, а также жалуются на неудовлетворительную звуковую и тепловую изоляцию»

В течение 2009–2010 годов цены на строительные материалы и железобетон в том числе значительно упали. Это было связано с тем, что на рынке наблюдался избыток производственных мощностей в период, когда многие строительные объекты были «заморожены» из-за недостатка финансирования. В этих условиях рынок захлестнула «ценовая конкуренция» – в стремлении получить оборотные средства многие производители шли на значительное снижение цены, порой даже не получая прибыли от реализации продукции. Зачастую в себестоимость ЖБИ не включались даже общезаводские расходы, учитывались только затраты на сырье и оплату труда рабочих. В силу отсутствия финансовых возможностей с 2008 года многие производители ЖБИ вынуждены были практически полностью отказаться от программ по модернизации производства, выполнялись только аварийные или планово-профилактические ремонты оборудования, обеспечивавшие работоспособность производства. К сожалению, у некоторых производителей это отразилось и на качестве выпускаемой продукции. К примеру, в 2009–2010 годах на рынок Санкт-Петербурга и Ленинградской области из сопредельных регионов поступала продукция, отнюдь не высшего качества. В 2011 году ситуация на строительном рынке несколько стабилизировалась – начали размораживаться ранее остановленные объекты, появились новые строительные площадки, стали увеличиваться объемы выполняемых строительных работ³³.

Проблема качества отечественных строительных материалов стала общей проблемой большинства предприятий строительной индустрии, и одной из основных причин этого является низкое качество рабочей силы на всех уровнях функционирования предприятий. Прежде всего необходимо повышать уровень качества рабочей силы в высшем управленческом и техническом менеджменте предприятий, так как неграмотные стратегические решения приводят к огромным финансовым и материальным издержкам, которые делают бессмысленным все усилия по повышению качества рабочего и линейного персонала. По данным ученых, производительность труда в строительстве в России в пять раз ниже, чем в развитых странах. Приоритетной задачей стала коренная модернизация отрасли, которая невозможна без отраслевой науки, требуются принципиально новые решения и научное сопровождение. Реорганизация исследовательских институтов привела к ликвидации большей их части, осталось не более 25% от действовавших в советское время. В то же время имеются уникальные научные разработки, позволяющие существенно сократить не только сроки строительства, но и расход материалов, которые не находят применения в отечественном строительном производстве. К примеру, нашими учеными разработан уникальный материал из углеродистых волокон, который прочнее стали в два раза, но патент уже приобретен японцами. Другое изобретение, также заинтересовавшее только иностранцев, – так называемая магнитная сварка, позволяющая соединять детали без электродов с нагрузкой на разрыв до 5 т. Очевидна проблема технологической подготовки

³³ http://www.vestnik.info/new_nomer/article1020.html

научных решений, которая сдерживается неразвитой научной и производственной инфраструктурой, отсутствием межотраслевых связей и контактов.

При обсуждении вопросов насыщения строительного рынка отечественной высококачественной продукцией среди производителей и нередко среди государственных чиновников бытует мнение, что оснащение предприятий отрасли современным технологическим оборудованием является решением проблемы. Однако такая позиция порождает механическое отношение к проблеме, ведущее зачастую к поверхностным, скоропалительным решениям. Если при реформировании строительной индустрии делать акцент только на наличие современного оборудования, остаются на втором плане квалифицированные проектные обоснования поставок, связанные со строительством заводов, грамотные инженерно-изыскательные работы на строительной площадке, тщательная проработка технических условий и технологического регламента, серьезное исследование сырьевых ресурсов и их пригодности для работы на импортном оборудовании. Практика показывает, что продукция низкого качества на десятках российских заводах выпускается из-за пренебрежения даже элементарными основами технологии. В еще большей степени это касается импортного оборудования, требующего точного соблюдения технологии и чувствительного к малейшим перепадам в составе и качестве сырья.

Поставка новейших технологических линий чаще всего ведется из-за рубежа, так как после распада советской империи и разрушения межхозяйственных связей резко сократился выпуск оборудования для промышленности строительных материалов. Многие машиностроительные заводы для отдельных подотраслей остались на территории ближнего зарубежья, которые до распада снабжали оборудованием, машинами и механизмами всю страну. Стоимость таких технологических линий на порядок выше, чем российские аналоги, однако и качество выпускаемой за рубежом продукции намного лучше. Простая аналогия подсказывает, что выгоднее закупить технологию и выпускать продукцию на месте, чем ввозить готовый продукт. Однако по всей стране наблюдаются однотипные явления, когда значительные финансовые и материальные затраты не только не окупаются, но и приносят убытки. К примеру, в Татарстане было закуплено несколько комплектов оборудования для производства полнотелого лицевого кирпича методом пластического формования. Но в результате несовместимости закупленного оборудования с параметрами местного сырья на подобной линии можно выпускать лишь пустотелый кирпич. В итоге импортные линии, на закупку которых были затрачены миллионы рублей, не решили проблемы выпуска полнотелого кирпича. В Приволжском федеральном округе за последние несколько лет были построены десять кирпичных заводов мощностью 10 - 20 млн штук кирпича в год. Восемь из них так и не вышли на проектную мощность из-за технической неграмотности в эксплуатации технологических линий, незнания особенностей работы зарубежного оборудования. К сожалению, здесь играют свою роль особенности российского менталитета, когда в повседневной работе сказывается некоторое пренебрежение к требованиям инструкций и точному соблюдению технологии. В высокотехнологичной продукции значение имеют самые мелкие нюансы как в составе сырья, так и в процессе производства, несоблюдение которых в лучшем случае ведет к выходу другого продукта, не предусмотренного стандартами и сертификатами. В худшем - к замораживанию технологии, как случилось в Башкортостане, в Кумертау, когда после закупки и монтажа австрийского многомиллионного оборудования выяснилось, что местные глины не подходят для изготовления кирпича.

Отсутствие отечественных технологических линий для промышленности строительных материалов тормозит развитие не только строительной индустрии, но и машиностроения. Отечественные научно-исследовательские институты перепрофилируются, переходят в частные руки, и далеко не всегда новые владельцы связывают будущую деятельность с развитием науки. Сложность инновационного процесса обусловлена многочисленными

факторами, однако мировой опыт показывает, что именно в этом направлении можно создавать самые коммерчески выгодные проекты. Принципиально новая область исследований лежит в сфере нанотехнологий, которые появились только в XXI веке, но уже успели доказать перспективность их использования в различных направлениях, в том числе в строительных материалах.

Вопросы качества всех видов изготавливаемой строительной продукции волнует не только потребителей этой продукции, но и самих производителей. Ведется широкое обсуждение на страницах специализированных строительных изданий с участием руководителей крупнейших заводов строительной индустрии, научных деятелей, общественных организаций. В материалах круглого стола, организованного "Строительной газетой"³⁴, подчеркивается, что во многих случаях брак обусловлен небрежным отношением к соблюдению норм, правил, технологии на всех этапах производства строительных материалов.

В сложившейся ситуации, когда большинство производителей и потребителей строительной продукции обеспокоены качеством изделий и законодательство в этой сфере пока еще только формируется, необходимо, по нашему мнению, уделить самое пристальное внимание именно качеству рабочей силы как первопричине имеющихся проблем. В многочисленных примерах некачественной строительной продукции, приведенных в рамках круглого стола, прослеживается мысль, что имеют место именно недобросовестность, неквалифицированность и недостаточный опыт инженерно-технического и рабочего персонала предприятий строительной индустрии при наличии различных инструкций, описания технологий, норм и ГОСТов. Недостаточное внимание к вопросам повышения качества рабочей силы как со стороны производителей, так и со стороны государства может не привести к желаемому эффекту даже после проведения всех модернизаций производств и принятия необходимых законодательных актов³⁵.

3.3.1 Обрушение текстильной фабрики в Бангладеш.

Обрушение восьмиэтажного здания в городе Савар (округ Дакка, область Дакка, Бангладеш) произошло 24 апреля 2013 года в 08:45 по местному времени. Поиски тел прекращены 13 мая, в результате катастрофы погибшими числятся 1127 человек, ранены около 2500 человек. Из-под завала спасены около 2500 человек. Десятки извлечённых неопознанных тел были похоронены в общих могилах без идентификации личностей.

Катастрофа стала крупнейшим по количеству жертв обрушением здания в современной истории (за исключением обрушения Всемирного торгового центра в результате терактов 11 сентября 2001 года).

Здание, имевшее собственное имя Рана-Плаза, насчитывало восемь этажей (по заявлению главы Bangladesh Fire Service & Civil Defense верхние четыре этажа были надстроены незаконно) и принадлежало Сохелу Ране, одному из лидеров политической партии Авами Лиг. В здании располагались несколько предприятий по пошиву одежды (работали круглосуточно), магазины и банк, в общей сложности там работали около пяти тысяч человек.

³⁴ Качество материалов, конструкций. Почему оно не гарантирует создание безопасных объектов? Материалы круглого стола // Строительная газета. 2007. N 8.

³⁵ "Кадровик. Кадровый менеджмент", 2007, N 10



Рисунок 42 Обрушение текстильной фабрики в Бангладеш

Накануне происшествия, 23 апреля, на фасаде здания были обнаружены крупные трещины, и было приказано эвакуировать из него людей и закрыть все находящиеся в здании учреждения. Приказу последовали банк и почти все магазины Рана-Плазы, находящиеся на нижних этажах, а одежные предприятия продолжили работу.



Рисунок 43 Спецтехника разгребает завалы

На следующий день в утренний час пик произошло обрушение здания, уцелел только первый этаж. По заявлению президента The Bangladesh Garment Manufacturers and Exporters

Association в этот момент в здании находилось 3122 рабочих. Среди погибших, которых по окончании поисковых работ 1127 человек, много работниц и их детей.

В связи с обрушением была выдвинута предварительная версия, согласно которой аварию спровоцировала работа четырёх электрогенераторов, установленных на крыше. Об этом сообщало Agence France-Press со ссылкой на представителя правительства страны. Чиновник пояснил, что генераторы создавали вибрацию, которая усиливалась тем, что в здании работали тысячи швейных машин. В итоге именно из-за этой вибрации здание начало разрушаться.

Ранее сообщалось, что причиной обрушения может быть то, что к изначально пятиэтажному зданию незаконно надстроили еще три этажа. Трещины на стенах здания были обнаружены 23 апреля 2013 года, за день до обрушения. По данным Associated Press, инженер Абдула Раззака Хана, который инспектировал здание, рекомендовал его эвакуировать, однако хозяин помещения — Мохаммед Сохель Рана к этому совету не прислушался.

Впоследствии правительство Бангладеша обнародовало результаты расследования по делу обвала здания фабрики, в результате которого погибли 1 127 человек. Главными причинами катастрофы были названы крайне низкое качество строительных материалов и серьезное нарушение административных предписаний. В докладе указано, что владелец здания Сохель Рана, получив разрешение на строительство 6-ти этажного здания, незаконно построил здание на два этажа выше, с целью сдать площади текстильным фабрикам.



Рисунок 44 Обрушение текстильной фабрики в Бангладеш

Также в докладе сообщается, что фабрика не была построена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к промышленным зданиям. Вес фабричного оборудования и создаваемая им вибрация способствовали обвалу этажей здания. Земля, на которой стояла фабрика, не была предназначена для строительства многоэтажного здания.

3.4 Плохое качество изготовления и монтажа

Анализ ряда крупных обрушений в строительстве, происшедших за последние 40 лет (по данным Министерства строительства РФ), показал, что основная причина аварий - низкое

качество выполнения строительно-монтажных работ. Зачастую к авариям приводят также нарушения правил монтажа металлических и железобетонных конструкций, замена одних конструкций и материалов другими, ввод здания (сооружения) в эксплуатацию с крупными недоделками, недостаточный запас прочности.

Качество строительных конструкций во многом зависит от качества строительно-монтажных работ, так как более половины дефектов этих конструкций вызывается нарушением правил их изготовления, возведения и монтажа. Под дефектами строительных конструкций обычно понимают их несоответствие стандартам, техническим условиям, нормам проектирования и проекту.

Дефекты строительных конструкций классифицируются по разным признакам. Наибольшее значение имеет классификация дефектов по причинам, их вызывающим: ошибки при проектировании, некачественное изготовление элементов конструкций, ошибки при производстве строительно-монтажных работ, неправильная эксплуатация зданий. Особую группу составляют ошибки при проектировании, вызванные отсутствием учета условий изготовления и монтажа конструкций. В этом случае даже при соблюдении в проекте норм проектирования создать качественную конструкцию не представляется возможным.

Классификация дефектов по причинам, их вызывающим, позволяет выявить причины дефектов и наметить способы их устранения и предупреждения.

Строители должны помнить, что если в проекте есть ошибки, если используются строительные материалы и изделия низкого качества, то нельзя построить конструкцию высокого качества. Поэтому прежде, чем начать строительство, нужно тщательно изучить проект, выявить в нем недостатки и согласовать с проектной организацией соответствующие изменения. При изготовлении и монтаже конструкций следует убедиться в их соответствии стандарту, техническим условиям и проекту. Если этого не сделать, то построенное здание будет иметь дефекты.

Каждый дефект характеризуется не только по причинам, его вызвавшими, но и размерами повреждения конструкции и возможными последствиями. Дефекты могут ухудшить нормальные условия эксплуатации (нарушить температурно-влажностный режим помещений, снизить звукоизоляцию ограждающих конструкций, повысить эксплуатационные расходы по зданию), снизить несущую способность конструкций, сократить их долговечность, привести к частичному разрушению и аварии здания. Дефекты, вызванные внешними воздействиями, обычно называют повреждениями конструкций. Все дефекты строительных конструкций, за исключением вызванных стихийными бедствиями, можно объяснить отсутствием надзора со стороны инженерно-технического персонала проектных, строительных и эксплуатационных организаций, невысокой квалификацией исполнителей и, в ряде случаев, отсутствием их заинтересованности в выпуске высококачественной продукции.

Наилучшим примером некачественного изготовления конструкции может служить история, рассказанная главным инженером тамбовской строительной компании ООО «Стелла». При строительстве кирпичного жилого дома монтировались плиты перекрытия, плита нормально встала в проектное положение, но когда на нее поставили поддон с кирпичом она сломалась и рухнула. При ее дальнейшем обследовании выяснилось, что

арматурного каркаса в ней не было вообще. Каким образом ее так изготовили и отпустили со склада не понятно, но дело замяли.

3.4.1 Обрушение строящегося здания в Сумах

В ночь с 12 на 13 февраля в Сумах на Украине рухнуло здание, строившееся на месте бывший «клетки» Центрального рынка.

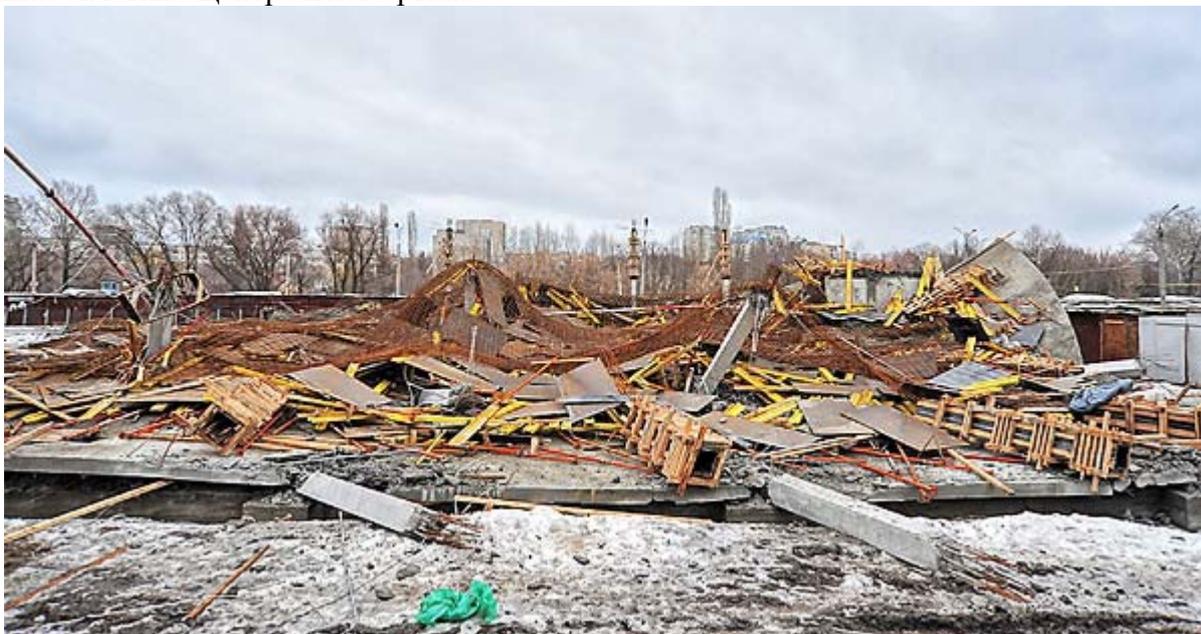


Рисунок 45 Обрушение строящегося здания в Сумах

По данным управления государственной службы чрезвычайных ситуаций сообщение о ЧП поступило в 00.38 часов 13 февраля 2013 г. На месте происшествия погибших и пострадавших выявлено не было, сообщила служба МЧС. По словам очевидцев, двухэтажный торговый центр практически сложился. Общая площадь обрушения, по информации службы чрезвычайных ситуаций, составила 1760 м кв.

По данным городской милиции, следов постороннего вмешательства, которое могло бы привести к обрушению здания, не обнаружено.

По информации главного архитектора Сум Владимира Быкова, ночью на стройке находилось около 10 человек, но по счастливой случайности в момент обрушения рабочие вышли из здания. После аварии бригадир сверился со списком работников и убедился, что пострадавших нет. Также Быков уточнил, что авария произошла в момент заливки плит перекрытия второго этажа.

Охранник Центрального рынка рассказал, что обрушение произошло практически бесшумно: «Я услышал просто такой шорох, как будто вагон щебня разгрузили, и конструкции сложились, как карточный домик. В эту ночь рабочие заливали бетоном второй этаж. Но, по счастливой случайности, как раз перед обрушением строители ушли пить чай в бытовку, благодаря чему и удалось избежать человеческих жертв».

По городу также распространились слухи, что строящийся центр «провалился под землю», но это не так. Бетонная плита, служащая фундаментом здания, по информации В. Быкова, не нарушена и выполнена в соответствии с проектом.



Рисунок 46 Здание аккуратно развалилось на составляющие

Комиссия, созданная мэром для проверки причин разрушения строившегося торгового центра в районе Центрального рынка, сделала предварительные выводы.

Заслушав представителей заказчика, генподрядчика, технадзора и испытательной лаборатории ПАО «Сумстрой», на первом заседании комиссии, ее замглавы начальник Сумского ГАСКа Сергей Бульдович сделал первые выводы о причинах разрушения строящегося торгового центра на Центральном рынке Сум:

– «Одна из основных причин обрушивания торгового центра на Центральном рынке – использование бетона меньшей прочности, чем предусмотрено проектом. Кроме того, была нарушена сама технология заливки бетона. Условия зимней заливки бетона очень отличаются от летних, даже при наличии в бетоне специальных присадок. Подрядчик допустил халатность, заказывал несоответствующий бетон, работал не по правилам», – рассказал Бульдович. И это несмотря на выводы лаборатории ПАО «Сумстрой», которая указывала на это.

Опубликованы результаты расследования причин аварии (выдержки):

“Акт от 21 февраля 2013 года:

- при проектировании было принято конструктивное решение, что в каждом отдельном блоке объекта строительства отсутствует пространственная жесткость здания;

- подрядчиком проводились работы наугад — без рабочих, технологических документов, которые позволяют планомерно, с соблюдением технологий строительства, проводить строительные работы;

- одной из возможных причин полного разрушения торгового центра могут быть имеющиеся отклонения от проектных решений при использовании при строительстве бетона низшего класса и качественных характеристики бетонной смеси не соответствовали нормативным;

- после бетонирования колонн и плиты перекрытия 1-го этажа 01.12.2012 по результатам лабораторных испытаний на 14.02.2013 (т.е. через 2,5 месяца после бетонирования) значительное количество колонн 1-го этажа и участка плиты перекрытия 1-го этажа не набрали проектной прочности;

- халатность, небрежность и некомпетентность лица, осуществлявшего технический надзор за строительством можно расценивать как еще одну из возможных причину разрушения торгового центра по ул. Засумская, 2 в г. Сумы;

- авторский надзор осуществлялся поверхностно, особых замечаний и отклонений от проекта при проведении строительных работ со стороны авторского надзора не обнаружено;

- соответствующим предприятием были грубо нарушены требования градостроительного законодательства в части соблюдения лицензионных условий, а специалисты соответствующего уровня непосредственно строительной отрасли отсутствуют.

На основании анализа существующих данных, комиссия считает, что возможными причинами разрушения объекта были:

- несоответствие конструктивных решений, предоставленных в проектной документации;

- нарушение технологического процесса:

- несоответствие качественным показателям строительных материалов:

- ненадлежащее ведение операционного и входного контроля на строительстве.

- ненадлежащее ведение технического надзора;

- ненадлежащее ведение авторского надзора;

- несоответствие лицензионным условиям генерального подрядчика в строительстве;

- отсутствие у исполнителя работ специалистов с соответствующим профессиональным уровнем”.

3.5 Недостатки эксплуатации. Стечение неблагоприятных факторов

Научно-технический прогресс и связанные с ним грандиозные масштабы производственной деятельности человека привели к большим позитивным преобразованиям в мире – созданию мощного промышленного и сельскохозяйственного потенциала, широкому развитию всех видов транспорта и др. Вместе с тем резко ухудшилось состояние окружающей среды. Загрязнение атмосферы твердыми, жидкими и газообразными отходами достигает угрожающих размеров. Рост промышленности сопровождается образованием значительного количества отходов. Наибольший удельный вес загрязнения атмосферного воздуха приходится на долю оксидов углерода, серы и азота, углеводородов и промышленной пыли.

Ситуация с жилым фондом, отданным на баланс ЖЭКом активно обсуждается в течение последних десятилетий и, несмотря на это, так до сих пор инее достигла прогресса. Значительная часть жилья в России находится в обветшалом состоянии из-за лени, пренебрежения и мошенничества людей, взявших на себя обязанность следить за достойной и грамотной эксплуатацией вверенных им зданий и сооружений. Посему стоит поговорить о тех сооружениях, от стабильности которых зависит благосостояние их владельцев – промышленные здания.

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека является актуальной задачей. Для решения этой задачи предприятия должны проводить плановые ремонтные работы, научно обоснованные перерасчетами несущей способности строительных конструкций. Всё это способствует уменьшению вероятности аварий и катастроф, которые приводят к многочисленным человеческим и материальным потерям, наносят значительный ущерб

окружающей среде, отравляют атмосферу вредными веществами. Эти потери в некоторых случаях могут превосходить в сотни и тысячи раз те потери, которые необходимо вложить на диагностические, профилактические мероприятия и предупредительные работы. Для безопасной эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений промышленных предприятий необходимо разработать новые направления и методы в области обследования и освидетельствования состояния строительных конструкций, прогнозирования их несущей способности.

Основными причинами поражения конструкций являются:

а) нарушения требований и правил эксплуатации производственного оборудования, приводящие к концентрированным воздействиям агрессивных сред на строительные конструкции, неудовлетворительные решение и состояние систем вентиляции, аэрации и канализации, не обеспечивающие своевременные и надлежащие улавливание и удаление из помещений цехов и от сооружений агрессивных производственных отходов;

б) применение в конструкциях недостаточно стойких противокоррозионные материалов, а также использование противокоррозионных покрытий, не отвечающих степени агрессивности сред;

в) повреждение и несвоевременное восстановление лакокрасочных покрытий и других видов защиты строительных конструкций, а также отсутствие систематического наблюдения за состоянием покрытий.

Коррозионный износ происходит неравномерно, а в зависимости от вида материалов, назначения конструкций и воздействующих факторов. Большое разнообразие климатических условий эксплуатации зданий и сооружений в сочетании с разнообразным воздействием внутренних факторов усложняет определение коррозионного износа и периодичность ремонта.

От решения этих задач значительно зависит долговечность зданий и сооружений в целом. Следовательно, выбор варианта технологического и организационного решения задачи обуславливается экономическими факторами и представляет собой предмет экономического исследования. Конечная цель экономической эксплуатации строительных конструкций – максимальное увеличение их долговечности при минимальных затратах на обслуживание, капитальные и текущие ремонты – представляют экстремальную задачу. При этом в ходе принятия решения нужно переработать огромное количество информации, учитывать большое количество факторов, сравнивать множество вариантов и т.д., что невозможно сделать без применения ЭВМ. Применение ЭВМ способствует повышению качества проектных разработок.

Обследование строительных конструкций

Изучение действительного состояния строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, призвано для предотвращения аварий и катастроф. Целью обследования строительных конструкций являются:

- а) проверка их состояния и несущей способности;
- б) выявление причин, вызывающих их повреждения и деформации;
- в) выявление возможности их дальнейшей эксплуатации;
- г) выявление объемов восстановительных работ;
- д) выявление возможности увеличения эксплуатационных нагрузок и т.д.

Эти задачи решаются на основе комплексного исследования условий эксплуатации и разработки средств и методов противокоррозионной защиты строительных конструкций, которое включает получение общих данных о технологии производства и конструктивном решении, натурные обследования состояния строительных конструкций, изучение характера распространенных разрушений и влияния технологических факторов на их долговечность, изучение температурно-влажностного режима, загазованности, запыленности воздуха и состава продуктов коррозии и пыли, определение кинетики коррозионного процесса конструкций, лабораторные и натурные исследования по подготовке поверхности под окраску и защитных покрытий, изготовленных из доступных и дешевых материалов.

Ниже приводятся результаты научных исследований строительных конструкций промышленных зданий ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат» (г.Губкин) и ОАО «Нижнекамскнефтехим» (г.Нижнекамск). На объектах указанных предприятий исследованию подвержены элементы конструкций покрытия, рабочих площадок, подкрановых балок, колонн, градирен и других конструкций, изготовленные из стали и железобетона.

Корпус обогащения Лебединского горно-обогатительного комбината (ЛГОК)

Строительство корпуса обогащения выполнено в три очереди: первая очередь в осях 1-65 введена в эксплуатацию в 1972 году, вторая очередь в осях 65-127 – в 1977 году. Третья очередь в осях 127-168 – в 1982 году. В настоящее время корпус обогащения представляет собой многопролетное здание размерами в плане 100×1000 м, оснащенное мостовыми кранами грузоподъемностью до 320 т. Несущие металлические конструкции выполнены в виде рамной системы с шагом рам 6 м.

Технология обогащения железистых кварцитов предусматривает трехстадийное измельчение, магнитное обогащение и обезвоживание концентрата. Хвосты магнитной сепарации и сливы дешламаторов самотеком поступают в гидроциклоны или непосредственно в радиальные сгустители. Продукт сгущения и пески гидроциклонов перекачиваются в хвостохранилище насосами; а их сливы – осветленная вода с содержанием твердого вещества до 50 мг в 1 литре – насосами возвращаются в технологический процесс. Применяемая технология обогащения железистых кварцитов характеризуется большим

расходом технической воды. Неизбежные проливы, интенсивный смыв полов вызывает, во-первых, повышение влажности воздуха в корпусе, во-вторых, увлажнение строительных конструкций. Натурные обследования состояния строительных металлоконструкций показали, что более сильному коррозионному износу подвержены металлические колонны и балки перекрытия подвальной части корпуса, которые регулярно увлажняются технической водой.

Изучение температурно-влажностного и газового режимов показало, что относительная влажность воздуха в зимний период составляет 60-70%, в летний период составляет 65-75%; температура воздуха в зимний период составляет 5-15°C, в летний период составляет 20-30°C; агрессивные газы по СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» относится к группе "А". Таким образом, воздушная среда для строительных металлоконструкций является неагрессивной.

Для изучения кинетики коррозионного процесса строительных металлоконструкций были установлены шлифованные металлические образцы без защитных покрытий и с различными видами лакокрасочных покрытий. После 70-суточной экспозиции проведен первый съем металлических образцов без защитных покрытий. Обработка данных показала, что потери массы образца на 1 м² поверхности составляет от 0 до 100 г. Несмотря на то, что во всех экспериментальных точках воздушная среда примерно одинакова, имеется большой разброс данных потери массы образцов. Это объясняется воздействием в одних случаях неагрессивной воздушной среды производства (коррозионные потери практически отсутствуют), в других – агрессивным воздействием технической воды (интенсивный коррозионный износ). Техническая вода, содержащая твердые частицы пыли и железистого кварцита, а также растворенные коррозионно-активные примеси, постоянно или периодически увлажняя поверхность металла, вызывают интенсивное коррозионное разрушение.

Для изучения механизма коррозии металлоконструкций в условиях производства ЛГОКа произведен отбор продуктов коррозии и пыли. На коррозионное разрушение металлоконструкций большое влияние оказывает пыль, скапливающаяся на их поверхности (влажность пыли 25,5-26,4% и растворимость ее 12-19 мг/л). Результаты анализа водных вытяжек показали, что в пыли присутствуют соединения типа кристаллогидратов, а также солей, способных связываться с водой. Наличие этих соединений на корродирующей поверхности вызывает конденсацию влаги при влажности гораздо более низкой, чем 100%, и способствует коррозионному процессу. В пыли содержатся также растворимые примеси – хлориды, сульфаты, превращающие чистый конденсат в раствор сильных электролитов и тем самым значительно повышающие скорость коррозии.

Металлоконструкции корпуса обогащения покрыты рыхлым слоем продуктов коррозии, способствующим капиллярной конденсации влаги и ускорению процесса коррозии. Для изучения химического состава продуктов коррозии, механизма и степени влияния на кинетику коррозионного процесса проведены их рентгеноструктурный и термографический

анализ. С целью изучения возможности применения модификаторов ржавчины для подготовки поверхности под окраску этими же методами исследованы химический состав продуктов коррозии, преобразованных различными модификаторами.

Изучена возможность применения ингибиторов коррозии для понижения коррозионной активности технической воды. Наиболее дешевым и доступным ингибитором является бикарбонат кальция, присутствующий в большинстве природных вод и способствующий отложению карбонатных пленок. В условиях периодического воздействия воды на металлоконструкции невозможно образование сплошной постоянной карбонатной пленки, следовательно, защита карбонатной пленкой исключается. Таким образом, необходимо применение других ингибиторов, снижающих агрессивность воды в периоде воздействия на металлоконструкции: фосфатов, силикатов, нитритов, хроматов и др. Концентрация ингибиторов определяется температурой воды, ее рН, содержанием агрессивных ионов и другими факторами. Например, для фосфатов защитная концентрация колеблется от 7-10 до 100 г/м³ в пересчете на Р₂О₅, для силикатов – 0,04 до 0,4 г/м³.

Для выбора оптимальной защитной концентрации ингибиторов необходимо тщательное изучение как агрессивных компонентов, содержащихся в технической воде, так и влияния ингибиторов на технологический процесс.

Таким образом, проведение научно-исследовательских работ по комплексному плану позволило определить мероприятия по уменьшению агрессивного воздействия технической воды, обоснованно выбрать способы подготовки поверхности и систему защитных покрытий.

Градирни СК-1200 ОАО «Нижнекамскнефтехим» (г.Нижнекамск)

Приведены результаты обследования коррозионного износа строительных конструкций крупногабаритных градирен СК-1200, широко используемых в нефтехимической промышленности. Даны результаты расчета напряженно-деформированного состояния металлических конструкций с учетом коррозионного износа. Произведено сравнение расчетных данных действительного состояния с результатами прогнозирования коррозионного износа металлических конструкций. Разработаны рекомендации по противокоррозионной защите строительных конструкций.

Градирни СК-1200 представляют собой смешанную конструкцию из монолитного железобетона и металлических конструкций. Наклонные стойки и цилиндрическая часть градирни выполнены из монолитного железобетона. Металлические конструкции конфузора, горловины и диффузора состоят из фрагментов, последовательно соединенных конической, тороидальной, цилиндрической и конической подкрепленных оболочек. Панели, сваренные из стальных прокатных листов толщиной 4 мм, соединяются между собой фланцами на болтах. В качестве ребер жесткости, подкрепляющих элементов и элементов шпангоутов используются стандартные швеллеры и уголки, а также прокатные листы. В зонах стыка конфузора и горловины (уровень 21.100 м) и в верхней части диффузора (уровень 32.000 м)

имеются формообразующие шпангоуты ферменной конструкции. Кроме того, зона нижнего шпангоута (уровень 21.000 м) изнутри 8 стяжками крепится к оболочке шахты вентилятора. Шпангоуты опираются системой растяжек на продольные подкрепляющие элементы корпуса градирни.

В градирне имеются технологические окна различных размеров, а также площадки и лестничная система для обслуживания. В этих зонах установлены подкрепляющие элементы, которые усиливают конструкцию.

С целью выявления действительного состояния строительных конструкций крупногабаритных градирен, их элементов, а также для исследования характерных закономерностей коррозионных повреждений были проведены их натурные обследования.

Натурные обследования показали, что строительные конструкции градирни подвержены воздействию агрессивной общезаводской среды как снаружи, так и изнутри.

Анализ температурно-влажностного и газового режима, изучение технологии производства позволили условно разделить строительные конструкции градирни по эксплуатационным условиям на две зоны:

- 1) элементы и части конструкций, эксплуатирующиеся в общезаводской атмосфере;
- 2) элементы и части конструкций, эксплуатирующиеся в условиях непосредственного воздействия агрессивной технологической воды оборотной системы водоснабжения.

К первой зоне относятся наружные элементы металлической и железобетонной частей градирни, металлические конструкции ферм и лестниц. Загрязненность атмосферы технологическими выделениями усиливают коррозионную активность осадков. Пылевидные частицы - хлористый натрий, зола и другие соединения - также активизируют коррозию. Хлористый натрий, попадая в бетон, вызывает коррозию арматуры и закладных деталей. Согласно СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» агрессивные газы общезаводской атмосферы относятся к группе «А», а характеристика твердых сред (солей, аэрозолей и пыли) относится к «хорошо растворимой, малогигроскопичной». Влажностный режим эксплуатации конструкций – нормальный. Таким образом, для строительных металлических конструкций общезаводская атмосфера по степени агрессивного воздействия является среднеагрессивной, для железобетонных конструкций – слабоагрессивной, а для бетонных конструкций - неагрессивной.

Железобетонные наклонные стойки и внутренняя сторона градирни относятся ко второй зоне. В этой зоне относительная влажность воздуха достигает 100%. Технологическая вода имеет водородный показатель $pH = 6-8$, суммарная концентрация сульфатов и хлоридов составляет 0,35 г/л. Степень агрессивного воздействия оборотной воды на металлические конструкции – среднеагрессивная, а для железобетонных и бетонных конструкций – слабоагрессивная. При периодическом смачивании поверхности конструкций степень агрессивного воздействия среды на одну ступень выше.

Железобетонные конструкции имеют различную степень физического износа. Наиболее интенсивному коррозионному износу подвержены наклонные стойки (многие из них находятся в аварийном состоянии) и нижняя часть железобетонной цилиндрической оболочки. По степени физического износа наклонные стойки градирни разделены на четыре группы:

I – износ до 20%: на поверхности защитного слоя бетона могут быть мелкие трещины, местами повреждена гидроизоляция и другие незначительные дефекты; стойка находится в хорошем или удовлетворительном состоянии;

II – износ до 40%: на поверхности защитного слоя бетона могут быть трещины длиной до 1,5 м и шириной до 5 мм, повреждена гидроизоляция; стойка находится в удовлетворительном состоянии;

III – износ до 60%: на поверхности защитного слоя бетона трещины длиной до 2,5 м и шириной до 3 см, местами есть износ защитного слоя арматуры, идет коррозионный износ оголенных участков арматуры; стойка находится в неудовлетворительном состоянии;

IV – износ до 80%: износ бетона, местами арматура полностью оголена и идет коррозионный износ; стойка находится в аварийном состоянии.

Проведено испытание прочности бетона наклонных стоек градирен с использованием эталонного молотка Кашкарова в соответствии с ГОСТ 22690-88. Испытания прочности проводились на ровных без пор и раковин участках, очищенных от гидроизоляции.

Железобетонные конструкции градирни выполнены из бетона марки 300 (водонепроницаемость – В-8, морозостойкость – Мрз-300). Бетон приготовлен на сульфатостойком портландцементе. Результаты испытания прочности бетона показали, что защитный слой бетона некоторых наклонных стоек имеет прочность ниже проектного значения.

Металлическая часть градирни имеет, так же как и железобетонная часть, различную степень коррозионного износа. Лакокрасочное покрытие по всей поверхности металлических конструкций пришло в негодность, происходит активный коррозионный износ элементов конструкции. Наиболее интенсивному коррозионному износу подвержены металлические конструкции горловины в местах соединения панелей, в узких зазорах между элементами панелей и над ребрами жесткости.

Многие панели вследствие интенсивного коррозионного износа превратились в «решето» – имеется большое количество отверстий. Такая картина наблюдается в зоне горловины, в зоне конфузора и в нижней части диффузора. В местах соединения панелей

между собой и по всему периметру в зоне крепления панелей к железобетонной части градирни имеется значительный коррозионный износ.

Для ряда точек проведены замеры толщины обечайки и ряда подкрепляющих элементов панелей. В результате интенсивного коррозионного износа толщина обечайки значительно уменьшилась. Так, в зоне горловины толщина уменьшилась до 2 мм. Подкрепляющие элементы имеют износ в среднем 30%, поскольку они расположены снаружи градирни.

Строительные конструкции зданий и сооружений, эксплуатируемые в агрессивных средах, подвержены коррозионному износу, учет которого может привести к авариям и катастрофам. Защита от коррозии основных фондов должна стать одним из важнейших направлений в области ресурсосбережения для промышленных предприятий.

3.5.1 Обрушение здания Басманного рынка

Обрушение здания Басманного рынка произошло 23 февраля 2006 в 5:45 в Москве. Примерно в 14:30 под обломками начался пожар, ликвидированный к 16:20.

Трагедия стала одной из крупнейших техногенных катастроф в России. Погибло 68 человек (45 граждан Азербайджана, 7 жителей Грузии и 16 представителей Узбекистана и Таджикистана), ранения получили 39 человек.



Рисунок 47 Обрушение здания Басманного рынка

Проектировщиком рухнувших перекрытий рынка являлся Нодар Канчели, также проектировавший Трансвааль-парк. Версия теракта была отклонена почти сразу.

Здание Басманного рынка (улица Бауманская, дом 47/1) было построено в 1974 году. Главный архитектор проекта — Л. Гильбурд («Моспроект-3»), конструктор перекрытий — Н. В. Канчели.

Сразу после постройки в здании разместили колхозный рынок, который с 1994 года преобразован в Государственное унитарное предприятие «Басманный рынок». Недвижимость, переданная в управлении ГУП, оставалась муниципальной собственностью города Москвы. В августе 2004 правительство Москвы приняло решение построить на территории рынка торгово-офисный центр с подземным гаражом и гостиницей, а в июне 2005 года — решение до 2007 года приватизировать рынок, однако, на момент трагедии рынок оставался в городской собственности.

Басманный Рынок представлял собой круглое здание, по периметру которого шли V-образные опоры. На опорах лежало монолитное железобетонное кольцо, которое с внешней стороны образовывало карниз. От внутренней кромки массивного кольца вниз шли стальные тросы, на которых висело другое железобетонное кольцо меньшего диаметра. Кольцо это было остеклено и являлось световым окном. То есть крыша «провисала» внутрь и держалась на стальных тросах. Водостоки от дождя и тающего снега были выведены наружу, а не в подвал, поскольку центральная часть здания по замыслу проектировщика должна была оставаться свободной, чтобы без помех пропускать свет.

Внутри помещения на уровне нескольких метров вдоль стен шла галерея, отгороженная перилами. На ней сплошь стояли разборные палатки. По одной из версий, которой придерживаются сторонники Канчели, одна из вертикальных V-образных балок могла проржаветь. А поскольку проверяющим неудобно заглядывать за палатки, то процесс коррозии мог быть неконтролируемым. В результате стойка подломилась, крыша накренилась и рухнула.

Также коллеги Канчели говорят, что могли проржаветь и тросы, державшие малое кольцо. Один из них мог лопнуть, а оставшиеся – не выдержать тяжести. Крыша «села» практически вертикально. В пользу этой версии говорит и то, что световое окно, расположенное в центре, практически не пострадало. Оно более-менее плавно опустилось в центр здания – то есть, крыша не съезжала в сторону, а падала практически вертикально.

24 февраля 2006 года московская прокуратура задержала гендиректора ГУП «Басманный рынок» Марка Мишиева, квалифицировав его действия как «Причинение смерти по неосторожности двум или более лицам» (ст. 109 ч. 3 УК РФ). Прокурор Москвы Анатолий Зуев заявил, что «следствием установлена вина директора Басманного рынка Марка Мишиева в том, что он грубо нарушил возложенные на него профессиональные обязанности по соблюдению безопасности граждан и обеспечению сохранности имущества предприятия, что привело к гибели людей ... не организовал мониторинга технического состояния здания рынка», а также занимался «самовольной перепланировкой помещений» (на рынке на антресолях, спроектированных для лоточной торговли, были установлены торговые площадки, которые вместе с размещенным в них товаром могли перегрузить конструкцию). Ещё 22 декабря 2005 года прокуратура, со слов Зуева, «вынесла директору Басманного рынка предписание о недопустимости нарушений при эксплуатации здания». Кроме того, проверялась и возможная «теневая» сторона деятельности, так как такое большое количество людей присутствовало в здании задолго до открытия рынка.



Рисунок 48 Обрушение здания Басманного рынка

Уже через пару часов после обрушения рынка Канчели выступил с комментариями по поводу возможных причин аварии. Он рассказал, что крыша Басманного рынка представляла собой нестандартную конструкцию - вогнутый купол, который поддерживался при помощи системы тросов. Колонн и поддерживающих опор в здании не было.

Архитектор утверждает, что к обрушению могли привести нарушения правил эксплуатации, а также недостаточно тщательно проведенная проверка технического состояния здания. Он предположил, в частности, что железные элементы конструкций могли подвергнуться коррозии.

"На своеобразной антресоли, которая проходила с внутренней стороны крыши по всему периметру рынка, было установлено много палаток. Конструкция крыши на это не была рассчитана. К тому же, свою роль мог сыграть неубранный с крыши снег", - заявил Канчели.

Впрочем, по мнению архитектора, убирать его было нельзя. "Если туда подниматься людям с лопатами и, не дай Бог, со скребками, кровля только пострадает", - сказал он³⁶.

³⁶ <http://lenta.ru/articles/2006/02/23/basman/>



Рисунок 49 Обрушение кровли Басманного рынка

Спустя два месяца после катастрофы, комиссия правительства Москвы (представитель собственника, ответственного за городское имущество) вынесла решение о том, что произошедшее — следствие систематической неправильной эксплуатации здания на протяжении всего срока его службы. Из заключения технической комиссии по расследованию причин обрушения купола Басманного рынка: «нет оснований полагать о возможности разрушения объекта от проектных нагрузок. Установлено, что техническая эксплуатация здания рынка велась неудовлетворительно, местами утеплитель кровли находился в переувлажненном состоянии, некоторые элементы несущих конструкций оболочки имели коррозионный износ до 50 %».

Обвинение в «причинении смерти и тяжкого вреда здоровью по неосторожности» предъявлено только бывшему директору ГУП «Басманный рынок» Марку Мишиеву. По версии следствия, он должен был контролировать техническое состояние здания рынка, однако занимался только извлечением прибыли из данного объекта.

Комиссия установила, что крыша здания рынка обрушилась из-за обрыва одного из тросов-вантов, на которых она держалась. А сам обрыв стал следствием нескольких причин, среди которых была коррозия ванта и внеплановая перестройка здания — в нём был возведен внутренний круговой балкон, который затем перегрузили товаром.

3.5.2 Супермаркет ALGO Centre Mall, Эллиот-Лейк, Канада

Субботним днем 23 июня 2013 года обрушился сегмент крыши и парковки двухэтажного супермаркета в маленьком канадском городе провинции Онтарио. Под обломками погибло 2 человека, пострадали более 20.



Рисунок 50 Обрушение крыши и парковки ALGO Centre Mall

Выяснилось, что серьезные недочеты были сделаны также во время строительства здания, открывшегося в 1980 году. Во-первых, в конструкции использовались недостаточно водостойкие элементы, во-вторых, на крыше супермаркета была размещена стоянка, в чем проекте тоже мало учитывалась защита от воды.

Таким образом, протечки и затопления сопровождали торговый центр на протяжении всей его службы.

Из-за одной из них городские власти даже были вынуждены перенести находившуюся там же публичную библиотеку в другое место. Закрылась и часть находившихся там мелких магазинов и киосков, как объясняли их владельцы, невозможно вести бизнес, когда вода капает на голову клиентам. Тем не менее, торговый центр продолжал работать.

В ходе расследования открылось, что еще летом 2011 года кусок бетона упал в находящийся в здании ресторан. И хотя хозяева ресторана сообщили об инциденте, муниципальные власти не обратили на происшествие особого внимания.



Рисунок 51 Обрушение крыши и парковки ALGO Centre Mall

После падения крыши в 2013 году владельцы ресторана выдвинули иск против хозяев здания торгового центра, города Эллиот Лейк и «инженера, который проверял строение незадолго до катастрофы».

Причиной окончательного обрушения крыши была признана коррозия элементов строения, связанная с повышенной влажностью, а также с тем, что паркующиеся на крыше автомобили заносили туда дорожную соль, усилившие разъедание металла.



Рисунок 52 Здесь видны коррозионные процессы в бетоне и металлоконструкциях супермаркета ALGO Centre Mall

В связи с бурной реакцией общественности материалы расследования тут же были выложены в публичный доступ.

3.6 Обрушение торгового центра «Maxima»

Торговый центр «Maxima» был сдан в эксплуатацию 3 ноября 2011 года. Площадь торгового зала составляла 2503 м², общая площадь торгового центра 4549 м². Автор проекта — бюро «Kubs» (Zane Kalinka, Andris Kalinka, Juris Lauris). Заказчик объекта — Homburg Zolitude SIA. Стройнадзором занималась фирма CMConsulting SIA.

В ноябре 2013 года на крыше здания фирмой «Re&Re» проводились строительные работы. 21 ноября 2013 года, приблизительно в 17:45 крыша и стены супермаркета прогнулись, многие посетители и персонал были лишены возможности выйти наружу. Далее, в 17:53 обрушилась одна из стен здания и крыша прямо над кассами, у которых в часы пик традиционно собирается большое количество покупателей. Позднее, в 18:59, когда более 400 спасателей и полицейских уже приступили к расчистке завалов, рухнула ещё одна часть крыши. В результате общая площадь обрушения достигла порядка 500 квадратных метров.

Утром 22 ноября из-под завалов были извлечены тела 15 погибших посетителей и работников. Кроме этого, в результате второго обвала погибло трое спасателей. Общее число жертв достигло 52 человек, 40 получили ранения. Последние выжившие люди были извлечены из-под завалов рано утром.



Рисунок 53 Обрушение торгового центра «Махита» в Риге

23 ноября было найдено ещё два тела, количество погибших в итоге достигло 54 человек. Примерно в 17:58 магазин обрушился третий раз (части крыши, оставшиеся после второго обрушения). После третьего обрушения крыши спасательные работы было решено прекратить до утра 24 ноября. Провал крыши достиг 1500 м². Медики и спасатели пришли к выводу, что шансы найти живых под завалами практически равны нулю. К 20:11 были идентифицированы все погибшие.

Из причин, которые могли привести к обрушению, названы сейсмические колебания почвы или некачественно выполненная сборка металлоконструкций. В то же время конструктор здания заявил, что к обрушению могло привести большое количество стройматериалов, находившихся на крыше. Союз инженеров-строителей Латвии считает, что причиной обрушения были допущенные ошибки в конструкции ферм крыши.

По факту несоблюдения строителями компании Re&Re норм при проведении соответствующих работ было возбуждено уголовное дело.

Правительством была создана общественная комиссия, во главе с Янисом Кажоциньшем, в задачу которой стоит контроль над расследованием «Золитудской трагедии». 18 декабря Я. Кажоциньш отказался от поста председателя комиссии и вышел из её состава.

19 декабря из состава комиссии вышли ещё две участницы.

Главной причиной обрушения крыши торгового центра Maxima стало некачественное соединение металлических балок, полагает главный инженер финской компании Rak Tek Solutions, эстонец Тоомас Кальяс³⁷.



Рисунок 54 СМИ окрестили это обрушение «золитудской трагедией»

Кальяс изучил визуальные опубликованные в СМИ материалы, сделанные как до, так и после обрушения доступные. Эксперт полагает, что главной причиной обрушения стало то, что крыша не выдержала нагрузки из-за слабых соединений: металлические конструкции были соединены недостаточно качественно, использовались неподходящие для этого болты, которых, к тому же, было недостаточно.

Место соединения как минимум вдвое слабее, чем должно быть, отмечается в заключении. На фотографиях видно, что крыша была закреплена на болтах, которые не соответствовали нагрузке. По словам Кальяса, на фото также видно, что металлические конструкции не были деформированы под нагрузкой, то есть места соединений "просто отвалились". Это подтверждают и слова очевидцев, которые слышали громкие хлопки.

³⁷ <http://rus.delfi.ee/daily/estonia/estonskij-inzhener-krysha-magazina-maxima-ruhnula-iz-za-oshibok-stroitelej.d?id=67150846>

Эксперт также отмечает, что крепления в местах соединений не были технически обоснованными — воздействие на болты не было сбалансированным. Некоторые места соединений были просто бесполезными, поскольку не удерживали никакой нагрузки. При их создании не принималась во внимание центробежная сила. Кроме того, в каждом месте соединения нужно было использовать как минимум еще восемь болтов, а также большие фланцы, полагает Кальяс. В итоге именно неправильные соединения металлоконструкций стали причиной обрушения, делает он вывод.

По мнению Кальяса, вопросы вызывает не в то, почему потолок торгового центра обвалился, а то, почему он вообще так долго продержался.

Он сказал, что выбор параметров соединения фермы был неудачным и отметил, что таких соединений в конструкциях, используемых в строительстве, к сожалению, слишком много.

Когда была добавлена нагрузка сверху, то крыша сразу же не обвалилось, ушло время на то, чтобы верхние соединения сместились. Высота фермы уменьшилась и возникло гораздо большее растягивающее напряжение, которое превысило несущую способность болтов в обозначенном красным цветом на чертеже месте (рис. 56).

По его словам, во время проектирования совершенно забыли о нагрузке, которая появится сверху, или же ее вообще не рассчитывали.

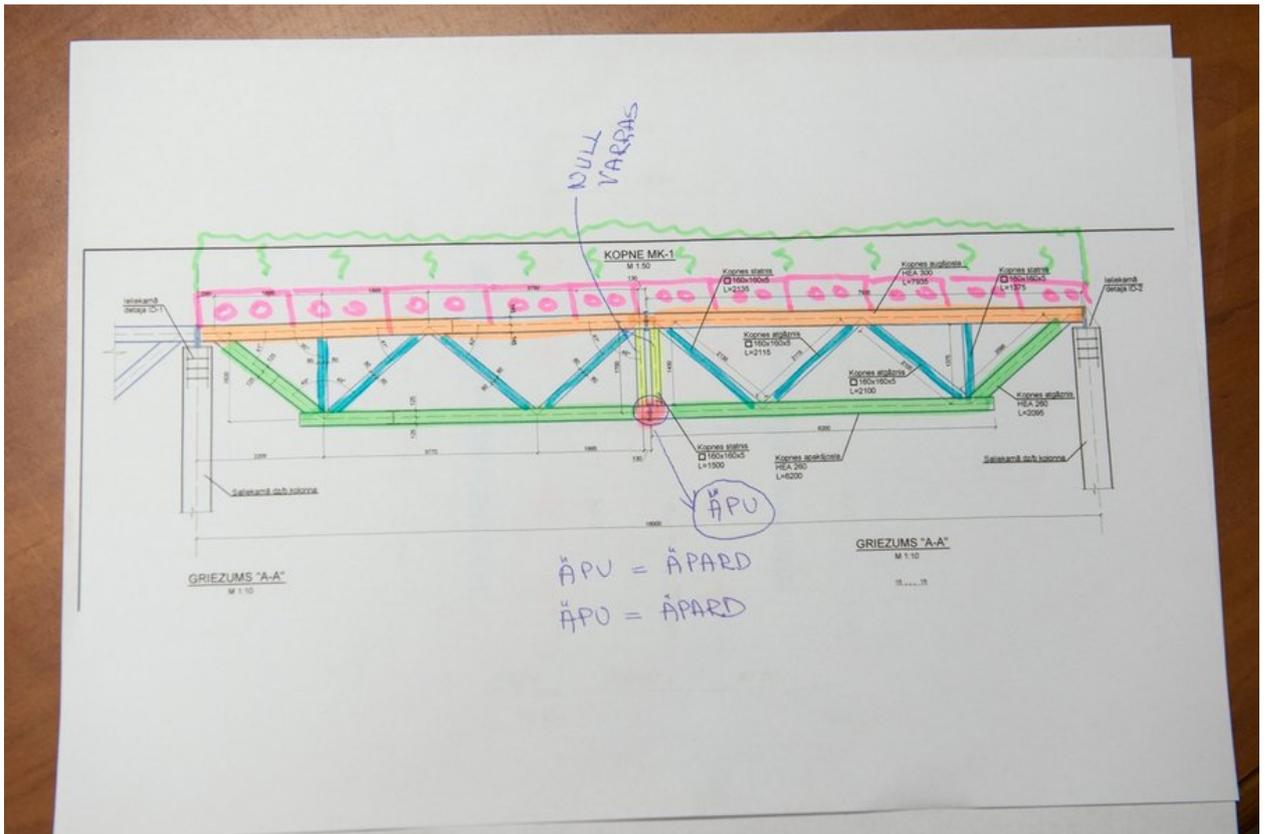


Рисунок 55 Выкладки Кальяса о слабости соединения металлоконструкций

Он отметил, что в конструкции должно было быть как минимум в три раза больше болтов, или же они должны были быть намного больше.

Инженер также добавил, что ошибок в проектировании было допущено слишком много. К примеру, некоторые вертикальные балки не несут никакой нагрузки, а в некоторых местах и вовсе отсутствуют.



Рисунок 56 О превышении несущей способности болтов

Кальяс считает, что пол здания - хороший: если с высоты нескольких метров падает несколько тонн крыши, а пол выдерживает, то, по словам инженера, его не нужно рушить, на этом фундаменте можно построить новое здание.

Кальяс призвал после завершения спасательных работ провести тесты и эксперименты на месте происшествия, чтобы таким образом снять все вопросы по поводу причин обрушения.

Кальяс произвел все расчеты и анализ по собственной инициативе, хотя в качестве эксперта его не нанимала ни одна из сторон, связанных с происшествием³⁸.

По мнению ученых геологов причины обрушения супермаркета в Золитуде нужно искать в том, что строители и проектировщики не провели тектонический анализ грунта, или то, как на новостройку повлияет земля и нагрузка на прилегающую улицу, а также проходящий по ней транспортный поток. Наряду с плохим качеством строительства это способствовало обрушению здания, считает доктор геологических наук Геннадий Аносов.

Здания, построенные по одинаковой технологии и с одинаковым качеством, в одном месте могут простоять десятилетия, а в другом разрушиться через пару лет. Крыша одного здания может выдержать десятки тонн, а крышу другого нельзя нагружать. И важное значение здесь имеет резонанс поверхности земли, или колебания грунта, на котором возводилось здание. К сожалению, в Латвии перед строительством тектонический анализ грунта не проводят.

Бывший рижанин, а ныне работающий в Калининградском университете опытный сейсмолог Аносов сказал: "Когда падают самолеты, сперва проверяют качество горючего, а потом все остальное. Когда происходят катастрофы, подобные той, что случилась в Золитуде, в первую очередь надо проверить — было ли построено здание в правильном месте и анализировали ли колебания грунта. Но сейчас ни в России, ни в Латвии это не учитывают. Подозреваю, что причиной трагедии в Золитуде стал простой механический резонанс грунта".

При этом ученый полностью исключает возможность, что здание обрушилось из-за слишком большого скопления стройматериалов на крыше. Он поясняет, что в строительстве очень много случаев, когда здание рушится из-за того, что его колебания совпадают с колебаниями грунта. Чтобы проанализировать рижский случай, нужно иметь данные о

³⁸ <http://rus.delfi.ee/daily/estonia/video-delfi-inzhener-obyasnil-kakie-oshibki-byli-soversheny-pri-proektirovanii-torgovogo-centra>

конструкциях здания, о месте, где оно стоит, и о транспортном потоке по соседним улицам в соответствующий момент. Если это был час пик, то все это вместе и могло привести к трагедии. А если в это же время строители еще нагрузили крышу, то это вызвало колебание здания.

Подобного мнения придерживается и ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра пространственно-регионального развития Рижского технического университета, доктор архитектуры Людмила Картунова. "Хотя и кажется, что так называемый резонанс — такая мелочь, но когда совпадают колебания грунта и здания, происходит сильный "скачок" здания. Надо еще учитывать, что район Золитуде вообще не особенно благоприятный, потому что там сильная магнитная аномалия, которую вызывает находящаяся в недрах железная руда", — сказала ученый.

Но, по ее словам, это не единственная причина. Все усиливается активностью Солнца, и к тому же ноябрь — период, когда ощущаются сильные магнитные бури. Таким образом, магнитная аномалия, резонанс и некачественное строительство могли повлиять на устойчивость здания, пояснила Картунова, добавив, что в Риге есть еще одно неблагоприятное место — район улицы Аптиекас в Межапарке. "Такие места не особо приятны — они вызывают агрессивность и портят нервную систему. Может быть, поэтому и люди особо не реагировали на сигнал тревоги", — сказала ученый.

Она убеждена, что в Латвии при строительстве все же нужно делать сейсмоакустические проверки, без которых нельзя разрешать в городах строить. Надо учитывать возможные колебания грунта и строений³⁹.

Возможно, причиной обрушения крыши магазина Maxima в Риге стало скопление в отдельных местах стройматериалов, доставленных для озеленения крыши, считает владелец фирмы-конструктора магазина HND Grupa Ивар Сергетс⁴⁰.

Пока это всего лишь версия, добавил он, отрицая, что предусмотренное проектом озеленение крыши могло стать причиной катастрофы.

Магазин эксплуатировался уже два года, и две зимы на крыше был значительный снежный покров, который создавал нагрузку в полтора-два раза больше, чем озеленение. Такую равномерную нагрузку крыша выдерживала, однако не исключено, что с началом озеленения стройматериалы были неравномерно размещены в отдельных местах.

Такого же мнения придерживается и Борис Левянт — архитектор, генеральный директор архитектурного бюро ABD Architects. По его словам речь идет о строительных работах сверху и перегрузе перекрытия. «Верхнее перекрытие обычно рассчитывается на снеговую

³⁹ <http://rus.delfi.ee/daily/abroad/uchenye-k-obrusheniyu-maxima-priveli-kolebaniya-grunta.d?id=67148608>

⁴⁰ <http://rus.delfi.ee/daily/abroad/konstruktor-maxima-v-rige-na-kryshe-moglo-byt-slishkom-mnogo-strojmaterialov.d?id=67139152>

нагрузку и очень редко для эксплуатации кровли. Я так понимаю что проблема возникла в концентрации строительных материалов. Которые заготовили в одном месте. А дальше началось прогрессирующее разрушение, то есть лопнуло перекрытие и дальше это все началось рушиться. Нарушены все правила эксплуатации. Я думаю что проблема в этом, а не в неправильном строительстве. В Москве достаточно жесткие ограничения по тем площадям, которые город дает возвести и эксплуатировать. Соответственно собственники зданий стараются ничего не надстраивать, а если делают это, то уже в проекте закладываются решения по усилению перекрытия»⁴¹.

В дальнейшем по результатам расследования причиной обрушения супермаркета Maxima в Риге, одного из самых серьезных ЧП в истории Латвии, эксперты назвали ошибку в проектировании. К этому выводу пришел председатель строительной фирмы Re&Re Айнар Пауниньш, проанализировав данные проверок, выполняемых компанией после трагедии, а также чертежи здания.

Вследствие трагедии было одобрено изменение к Закону о строительстве, выразившееся в создании Государственного бюро по контролю за строительством (ранее существовавшая Государственная строительная инспекция была распущена в 2009 году).

После обрушения торговая сеть «Maxima» решила сменить слоган; старым слоганом была фраза «Обо всём подумано», в латышском оригинале — «Par visu padomāts»

Глава 4 Повышение устойчивости зданий и сооружений катастрофам и катаклизмам.

При проектировании сооружений инженер должен предусмотреть вероятные виды экстремальных воздействий, которые вызывают опасность повреждений или разрушений. Такие воздействия (их в литературе называют «особыми») связаны с природными и антропогенными (вызванными деятельностью людей) катастрофами и авариями.

Катастрофой называют внезапное изменение внешних условий, вызывающее разрушения различных объектов и угрожающее жизни людей. Наиболее часто катастрофы связаны с опасными природными явлениями, к числу которых относятся землетрясения, наводнения, оползни, ураганы, селевые и снежные лавины. Большую опасность представляют антропогенные катастрофы, к числу которых относятся крупномасштабные пожары, аварийные взрывы, выбросы радиоактивных и токсичных продуктов.

Авария - термин в широком смысле относящийся к конкретному последствию катастрофы. Однако аварии может характеризовать локальный эффект. Так, на промпредприятиях аварии могут быть следствием отклонения от нормального технического режима. Особую опасность представляют химические, взрывоопасные производства, атомные электростанции, склады взрывчатых и легковоспламеняющихся веществ, боеприпасов, а также резервуары и сосуды,

⁴¹ Газета «metro» понедельник 25 ноября 2013 г. – 6 стр.

предназначенные для хранения и транспортировки нефтепродуктов и сжиженных газов. Такая опасность связана прежде всего с вероятностью особых воздействий.

Важной инженерной задачей является умение оценить результат возможных воздействий на конкретный объект и принять меры по предотвращению опасных последствий. В целях повышения эффективности предотвращения или уменьшения ущерба от аварий и катастроф необходимо повышение профессионального уровня инженеров и лиц, занятых в проектировании и эксплуатации различных объектов, возводимых в районах и условиях с повышенным риском особые воздействия.

4.1 Водные катаклизмы

4.1.1 Наводнения

Под наводнением понимают значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море, вызываемое различными причинами. Среди других стихийных бедствий в России по повторяемости, площади распространения и материальному ущербу наводнения стоят на первом месте.

Природно-географическими условиями возникновения наводнений являются: выпадение осадков в виде дождя, таяние снега и льда, цунами, тайфуны, опорожнение водохранилищ.

Наиболее часто наводнения бывают дождевого - речного типа. Другой тип - затопление побережья в результате поднятия уровня моря при шторме (наводнения нагонного типа). Реже - наводнения могут являться следствием опускания суши. Наводнения возникают также при обильном таянии снега, в связи с заторами при ледоходе, таянием льда при оттепелях. Весьма опасны наводнения, связанные с разрушением защитных сооружений (дамбы, плотины). Причиной наводнений может быть недостаточная пропускная способность водоотводов при грозových линиях. Выпадающие на значительных площадях ливневые дожди могут сильно повысить уровень рек, если дожди сопровождаются внедрением теплых воздушных масс или воздействием мигрирующего штормового фронта. При этом от разлива реки может быть затоплена вся ее пойма.

Поражающее действие наводнения выражается в затоплении водой жилищ, промышленных и сельскохозяйственных объектов, разрушении зданий и сооружений или снижении их капитальности, разрушении гидротехнических сооружений и коммуникаций. Последовательная картина затопления города такова: заливаются подвалы, внутренние дворы, расположенные ниже улиц, затем улицы и первые этажи зданий. Местность покрывается слоем воды. Многие деревянные строения разваливаются и сносятся в течение 3...4 часов. Защитные дамбы могут выдерживать динамическое давление воды, однако в течение нескольких дней в них могут образовываться бреши.

При крупных и катастрофических паводках, когда реки собирают воду с площадей в несколько сотен квадратных километров, поток вырывает с корнем деревья, сносит большие каменные глыбы, каменные ограды и небольшие здания.

В результате размыва оснований и непрерывного углубления промоин от размывающего действия текущей воды может происходить разрушение кирпичных зданий в течение 5...10 суток.

Более устойчивы блочные бетонные здания с фундаментами из бетонных (железобетонных) плит. Такие здания с заполненными модой подвалами сохраняют общую устойчивость до нескольких месяцев. Вследствие затопления в течение нескольких суток разрушаются мостовые на улицах городов.

Хронологию повреждений сохранившихся деревянных построек и сооружений в период паводков можно установить по шкале устойчивости древесных пород к затоплению. Основываясь на этих данных, предельная продолжительность устойчивости при хорошей проточности для различных древесных пород, применяемых в строительстве, колеблется от

одного до трех месяцев. Таким образом, разрушение деревянных зданий и сооружений связано, в основном, с недостаточной прочностью фундаментов (исключение составляют свайные фундаменты). При катастрофических затоплениях, как правило, разрушаются мосты и мощеные дороги.

Сохранившиеся затопленные здания теряют капитальность. Деревянные здания повреждаются гнилью. Отваливается штукатурка. В кирпичных зданиях происходит разрушение кладки с выпадением кирпичей. Металлические конструкции и арматура железобетона подвергаются коррозии.

В крупнопанельных зданиях с ограждающими конструкциями из двухслойных стеновых панелей, изготовленных из неавтоклавного железобетона, происходит отслаивание пенобетонного утеплителя. В сплошных стеновых панелях (без оконных проемов) разрушается слой легкого бетона. Долговечность бетонных и железобетонных элементов, фундаментных блоков, оголовков свай и ростверков под действием воды уменьшается, что приводит к снижению капитальности зданий. К снижению капитальности приводит также замачивание двухслойных и трехслойных стеновых панелей первых этажей. При недостаточной плотности бетона в защитном слое железобетонных элементов интенсивно корродирует арматурная сталь. Так, при увлажнении бетона до 70...90% и небольшой толщине защитного слоя коррозия арматуры достигает 1 мм в год. Особенно интенсивно корродируют закладные детали и сварные швы наружных несущих стеновых панелей. Снижение капитальности зданий в значительной степени происходит за счет коррозии арматуры из-за большого влагопоглощения пористым неавтоклавным пенобетонным утеплителем. Снижению долговечности и капитальности при затоплении способствует некачественное изготовление крупноразмерных конструкций, а также повреждение при их термовлажностной обработке.

Одной из основных причин разрушения зданий при наводнении является водонасыщение и размыв грунта основания. Водонасыщение приводит к разжижению грунта, вследствие чего он теряет прочность и подвергается вымыванию. Увеличение давления поровой воды снижает сопротивление грунта сдвигу (т.е. его прочность), а при обнулении прочности неизбежно катастрофическое разрушение зданий. При частичном сохранении прочности грунта оснований под фундаментами происходит неравномерная осадка зданий с появлением трещин. Вследствие неравномерной осадки рвутся канализационные, газовые и водопроводные трубы, электрические кабели. От разрыва электрических кабелей и замыканий возможно появление пожаров.

Особенно сильное влияние влаги на понижение капитальности зданий проявляется на пучинистых и просадочных грунтах. Пучение грунтов вызывается резким увеличением объема воды в порах грунта при переходе ее в твердое состояние при промерзании. В неблагоприятных условиях наблюдается пучение грунта, достигающее 25...30 см. Пучению могут подвергаться блочные и даже свайные фундаменты. Так, выпучивание свай на водонасыщенных пылевидных суглинках начинается при глубине промерзания 0,8...1,0 м, причем сила выпучивания достигает 150...200 кН, а давление на боковой поверхности фундамента может составлять 1 МПа. При промерзании пучинистого водонасыщенного грунта ниже подошлы фундамента до 10 см возможен подъем наружных стен двухэтажных зданий в среднем на 5...6 см, а при промерзании на 40 см - на 22...24 см. Такой подъем вызывает опасные деформации наружных и внутренних стен.

При замачивании грунтов оснований на просадочных грунтах (особенно распространенных на юге Западной Сибири) просадка крупнопанельных домов проходит со скоростью 30...35 мм в сутки, за 15 суток достигает полуметра, а за месяц - более метра. Просадка поверхности грунта вокруг зданий сопровождается образованием трещин в радиусе до 25 м.

Хронологию разрушения некоторых сооружений можно установить, рассматривая процесс геоморфологического воздействия подземных (поровых) вод на консолидацию грунта основания. В результате вытеснения воды из открытого порового пространства под влиянием давления от вышележащих слоев грунта и веса сооружения происходит уплотнение (консолидация) грунта и просадка основания.

Скорость осадки оснований в результате размыва, а затем консолидации зависит от скорости отжатая воды, однако после оттока воды просадка будет продолжаться некоторое время до полной стабилизации. Темп осадки Z во времени t определяется по формуле

$$Z = Y + A \exp(-\beta t),$$

где Y - осадка после прекращения оттока воды; t - время; A, β - константы, определяемые экспериментально для конкретного грунта.

Паводковые волны при движении их по руслу реки наносят колоссальный ущерб народному хозяйству. В первую очередь они представляют серьезную опасность для населения в результате внезапного затопления жилых построек и административных зданий. Огромные массы воды, скопившиеся в верховьях реки, подобно смерчу или урагану способны сносить все встречающееся на своем пути, при этом возникает резкое повышение уровня воды до максимальных (катастрофических) отметок (8...10 м), увеличивается скорость водного потока (до 3...5 м/с) и образуются значительные зоны затоплений. Уровни воды достигают своих катастрофических отметок в короткое время (1...2 суток).

Отдельным вопросом может стать оценка воздействия паводковых волн (волн попуска) на все инженерные коммуникации, пересекающие русло реки, — мосты и дороги. Воздействие паводковых волн, волн попуска (прорыва) на постоянные мостовые переходы может быть следующим:

- удар движущегося фронта волны;
- длительное гидравлическое давление на элементы моста (опоры моста, береговые устои, пролетные строения);
- размыв грунта между опорами (общий размыв) и подмыв опор (местный), разрушение регуляционных сооружений, земляных насыпей (эстакад) на подходах к мосту;
- медленное затопление местности, сооружений и дорог без существенного их разрушения на подходах к мостовому переходу;
- удары массивных плавущих предметов во опорам и пролетному строению моста; образование заторов плавущих предметов и образование стеснений потока, что создает дополнительный подпор с верховой стороны моста.

Размер ущерба при затоплениях зависит от исходной капитальности здания (сооружения), которому соответствует определенное значение расчетной обеспеченности $P(\%)$ (повторяемость N лет определенной величины максимального уровня воды соответствует обеспеченности $P = 100/N < 50\%$). Проектирование сооружений должно проводиться с учетом конкретных значений максимумов уровней определенной повторяемости.

4.1.2 Наводнения в Европе 2013 года.

Наводнения в Европе начались после нескольких дней проливных дождей в конце мая — начале июня 2013 года.



Рисунок 57 Жилые дома, затопленные водами Дуная, в Штраубинге, Германия, 5 июня 2013 года.

Затопления и разрушения затронули преимущественно восток и север Германии, Чехию и Австрию, Польшу, Венгрию. Швейцария, Словакия, Белоруссия подверглись затоплению в меньшей степени. Уровень воды в реке Дунай достиг наивысшей отметки за последние 500 лет. Паводок распространился вниз по течению Эльбы, Дуная, Рейн и в бассейне их притоков, что привело к высокой воде и затоплению берегов этих рек. Из-за сильных дождей улицы нескольких городов в Наварре (Испания) превратились в бурные потоки. В Хорватии введен режим ЧС. В экстренном режиме к наводнениям были подготовлены Сербия и Румыния. Также подвержены к затоплению юго-восток Бельгии, север Болгарии и Украина (Одесская область, Крым, запад страны).

Как сообщают специалисты, существует две основных причины такого масштабного наводнения в Европе. Первая связана с тем, что все начало весны 2013 в данных странах было очень снежным, а в конце выпало слишком много дождей. В результате грунт перенасытился влагой и стал не способен более впитывать воду. Большинство дождей, выпавших в первых числах июня, не впитывалось, а стекало в ручьи и реки, приводя к выходу водоемов из их берегов.

Вторая причина – малоподвижный высотный циклон, зависший над центром Европы и целых 3 недели приносивший ливни. Известно, чем выше размещается циклон в атмосферных слоях, тем более активен и меньше подвижен он. К тому же две области высокого давления, расположившиеся над Англией и Баренцевым морем, закрепили данный циклонный вихрь над Европой и не дают ему возможности сместиться на восток.



Рисунок 58 Повреждённая дорога между городами Лофер и Вайдринг в Австрии, 3 июня 2013 года.

Кроме обозначенных причин некоторые метеорологи пытаются выявить и другие факторы стихии. Они напоминают, что только 2 года назад Европейские реки выходили из берегов. Может наводнения становятся обыденностью? Сегодняшние разработанные компьютерные погодные модели оказались бессильны предсказать наводнение не только на полвека вперед, а и на ближайшие пять лет.

В отличие от большинства типичных наводнений, причиной которых становится один сильный ливень, наводнение в июне 2013 могло случиться только при одновременном стечении нескольких более масштабных обстоятельств. Все метеорологи говорят о нетипичном поведении зоны низкого давления, нависшей над Европой. Обычное направление воздушного течения сместилось. Вместо обычного движения на восток над севером Атлантики, где низкие температуры и небольшая скорость испарения воды, погодная система в 2013 году сместилась ближе к экватору, где облака впитали больше воды. В итоге многочисленные сверхнормативные осадки выпали в Германии, Швейцарии, Италии, Чехии и России.

4.1.3 Цунами

Распространенным источником опасности для различных береговых объектов является динамическое воздействие гидропотока, представляющего длинную волну, движущуюся по сухому берегу. Среди причин возникновения подобных волн могут быть разрушение плотин гидроузлов и формирование волны прорыва, моретрясения, извержения подводных вулканов, гигантские оползни, а также мощные подводные взрывы. Несмотря на различную физическую природу этих событий, гидравлические волны имеют сходные поражающие факторы и могут быть сведены в единую группу - волн типа цунами.

Под цунамистойкими (ЦС) будем понимать здания, не разрушающиеся при воздействии гидропотока. Создание строительных конструкций, способных выдерживать нагрузки от действия таких волн, задача сложная, и часто нерациональная ни с технической, ни с

экономической точек зрения. Поэтому здания и сооружения целесообразно строить вне зон, подверженных цунами. Однако, поскольку это не всегда выполнимо, в таких зонах здания можно сделать устойчивыми к действию некоторых поражающих факторов цунами. Задача повышения цунамистойкости береговых зданий сводится к рассмотрению путей снижения гидродинамических нагрузок на конструкции зданий.

4.1.4 Снижение нагрузок от гидротока увеличением проемности стен

При разработке проектов цунамистойких зданий необходимо учитывать детальное цунамирайонирование, содержащее сведения о максимально возможных высотах волн. По мере движения цунами к берегу профиль волны становится все менее симметричным, увеличивается крутизна переднего склона: он становится крутым и близким к вертикали. Далее происходит обрушение переднего склона гребня волны в направлении движения (забурунивание) и затем — разрушение всего гребня. После обрушения гребня образуется сплошной поступательный водный поток, движущийся с большой скоростью в форме водяной стены (бор).

Основным поражающим фактором волны цунами, приводящим к разрушению зданий и сооружений, является гидродинамическое давление потока. При прохождении гидравлической волны мимо здания возникает сложная дифракционная картина взаимодействия, и объект подвергается воздействию нестационарных (изменяющихся во времени) давлений. Поле давлений зависит от параметров волны, характеристик объекта и его ориентации относительно фронта волны.

При достижении подходящей волной фронтальной стены в первый момент происходит ее удар о стену. На фронтальную стену действует давление P изменяющееся во времени t :

$$P = P_s + P_d,$$

где $P_s = 0,5\rho gh(t)$ — среднее по сечению гидростатическое давление; $P_d = 0,5\beta\rho u^2(t)$ — гидродинамическое давление; h - меняющаяся высота подходящей волны; ρ — плотность воды; g — ускорение свободного падения; u - средняя по сечению скорость потока; β - экспериментальный коэффициент лобового сопротивления.

Наиболее рациональным способом обеспечения цунамистойкости зданий является использование предохранительных конструкций (ПК), связанное с проемностью зданий, поскольку увеличение проемности стен приводит к снижению силового воздействия гидротока. ПК в наружном ограждении помещения вскрываются при сравнительно небольшом давлении, что обеспечивает интенсивное истечение воды через проемы и снижение нагрузок на несущие колонны. Поток может проскользнуть сквозь первый этаж, вырвав перегородки, унеся оборудование, однако повреждения зданию будут минимальными.

Стекла, используемые в качестве ПК, могут устанавливаться в стенах здания в виде застекленных оконных переплетов (рис.59,а). Вскрытие остекления зависит от размеров стекол, их толщины, условий закрепления и вида остекления (одинарное, двойное или тройное).

Имеются решения ПК в виде легкобрасываемых облегченных стеновых панелей (рис.59,б). Эти панели крепятся к каркасу здания таким образом, чтобы при кратковременном нагружении обеспечивалось разрушение креплений и отделение панелей от каркаса. В результате сброса стеновых панелей ликвидируется определенная часть наружного ограждения. В стенах сооружений ПК могут устраиваться в виде облегченных металло-пенопластовых панелей типа «Сэндвич», перекрывающих заранее предусмотренные проемы.

Образование проемов в стенах может происходить и без разрушения ПК. Для этого могут быть использованы переплеты с открывающимися створками (рис.59,в). Створки крепятся к рамам дверей и ворот наружного ограждения помещения вертикальным или

горизонтальным (верхним или нижним) шарниром и специальным запорным устройством, удерживающим створку в закрытом положении. Срабатывание запорных устройств и открывание створок должно происходить при давлении гидротока, значительно меньшем того, которое может вызвать разрушение здания.

Ограждающие конструкции первых этажей зданий могут отсутствовать (рис.59 д). В этом случае здание будет располагаться на мощных несущих колоннах, способных выдержать максимальное давление гидротока. Силовое воздействие на здание при этом варианте будет минимальным.

Наиболее важным фактором, определяющим эффективность ПК, является время их вскрытия. За время вскрытия принимают время, за которое образуется проем, по площади равный площади самой конструкции.

Предохранительные конструкции в виде остекления применяют для защиты сооружений от аварийных взрывов газоздушных смесей. Однако при их эксплуатации происходят большие потери тепла, что значительно снижает эффективность конструкций. Инерционные предохранительные конструкции хорошо сохраняют тепло, но выполняются в виде разрушаемых или легкобрасываемых панелей, которые при воздействии нагрузки могут травмировать людей и разрушать оборудование. Выполнение инерционных ПК в виде вращающихся плит является технически сложной задачей, так как каждая панель представляет механизм, что значительно удорожает строительство. Для защиты от гидродинамической нагрузки сооружений подобные конструкции не применяются.

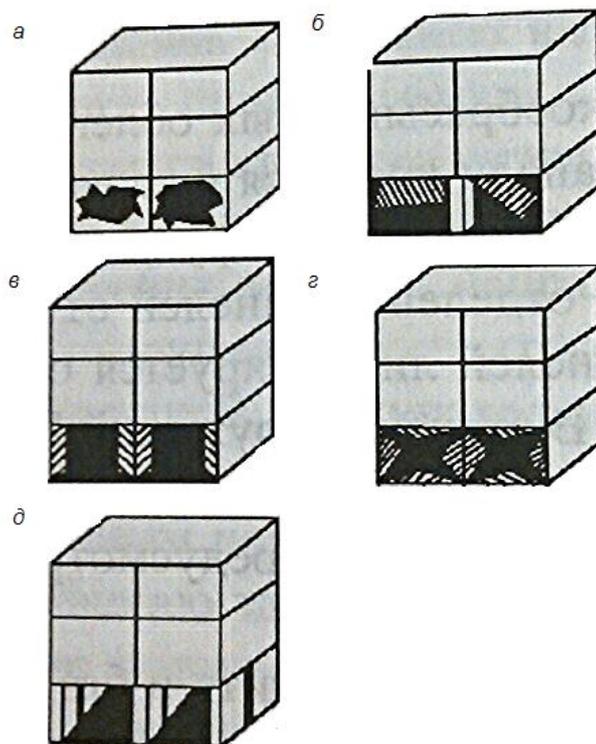


Рисунок 59 Технические решения цунамистойких зданий: а – легкоразрушаемые конструкции (остекления помещений); б – легкобрасываемые конструкции (метало-пенопластовые панели); в – предохранительные конструкции; г – организованно разрушаемые конструкции; д – здания без ограждающих конструкций на колоннах.

4.1.5. Организованно разрушаемые конструкции

Учитывая недостатки существующих предохранительных конструкций, наиболее эффективным представляется использование в качестве защитных стен помещений организованно разрушаемых конструкций (ОРК, рис.59 г). Орловым Г.Г., Ларионовым В.И.,

Мишуевым АВ. и др. исследовались поворотные стеновые панели при действии воздушной ударной волны. Полученные результаты могут быть использованы при рассмотрении вопроса применения ОРК для снижения нагрузок от гидропотока.

Основной характеристикой, определяющей эффективность применения ОРК, является время их вскрытия. Расчет времени вскрытия ОРК проводят для двух стадий работы элементов: стадии до разрушения и стадии поворота на угол 90° . Лучшей из альтернативных считается конструкция с минимальным временем вскрытия при идентичных массовых и геометрических характеристиках.

Рассматриваемые ОРК представляют железобетонные панели размером $6 \times 1,5$ м. Панель состоит из разрушаемой и неразрушаемой частей. Неразрушаемая часть выполнена в виде несущих ребер (200×150 мм), расположенных по контуру. В середине панели имеется также ребро жесткости, совпадающее по направлению с боковыми ребрами.

Разрушаемая часть выполнена в виде двух прямоугольных плит ($2,7 \times 1,2$ м), по контуру заземленных в ребрах жесткости. Плиты имеют ослабленные участки прямолинейными, треугольными в поперечном сечении пазами, за счет которых плита при воздействии нагрузки может быть разделена на части. Соединение разрушаемых частей панели в пазах производится арматурой с таким расчетом, чтобы плиты не деформировались при перевозке, монтаже и действии ветровой нагрузки.

Вскрытие ОРК происходит в результате разрушения железобетонных стеновых плит при силовом воздействии движущегося по сухому берегу гидропотока. Предлагаемые ОРК хорошо сохраняют тепло в отапливаемых зданиях и изготавливаются с использованием существующей технологической оснастки, а при их разрушении не образуются опасные для окружающих обломки.

Время разрушения при ОРК определяется из условия, что конструкция работает по жесткопластической схеме. Полагается, что конструкция будет находиться в покое, пока динамическая нагрузка не достигнет величины, равной предельно-упругому значению восстанавливающей силы. Предельная деформация в пластической стадии определяется из условия разрыва конструктивной арматуры, когда половинки панелей будут деформироваться как механизм. За величину принимается время поворота разрушаемых частей панели на угол 90° . По схеме рис. 60 половинки железобетонных панелей после разрыва арматуры продолжают вращаться вокруг опор до образования «сплошного проема» в момент вскрытия

Расчетная схема и варианты конструктивных решений ОРК представлены на рис.60 - 64

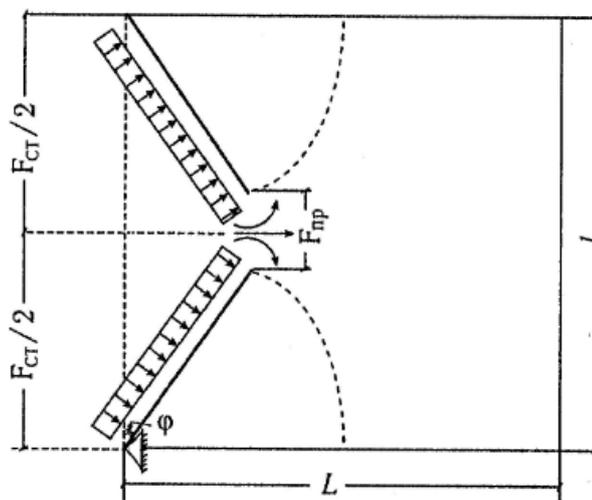


Рисунок 60 Общая расчетная схема разрушения ОРК

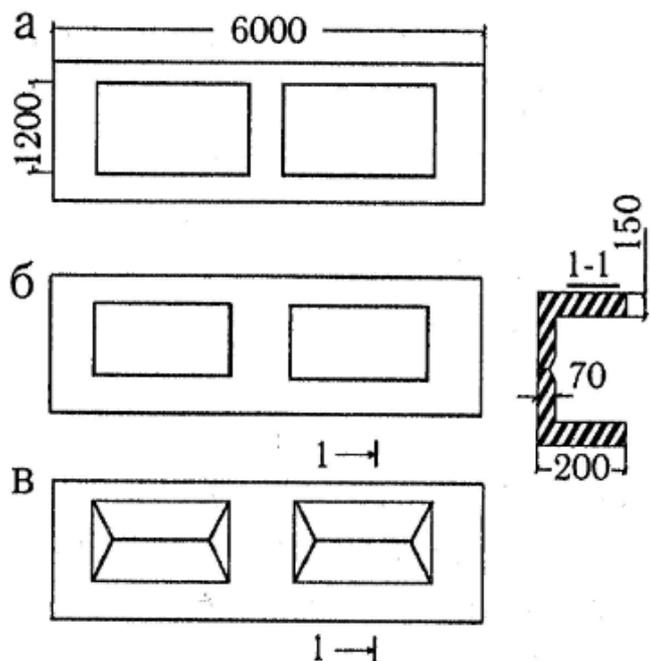


Рисунок 61 Конструктивные решения ОРК: а – с вертикальным шарниром; б – с горизонтальным шарниром; в – с шарнирами по контуру («конверт»)

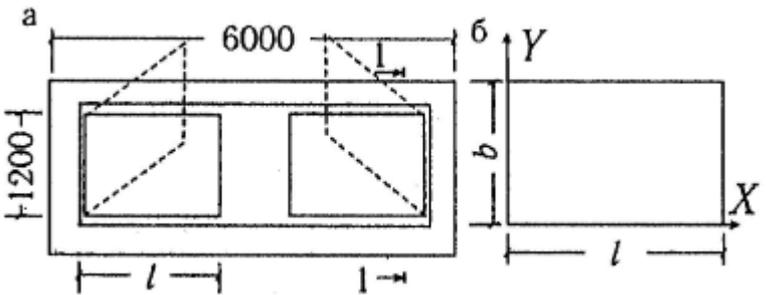


Рисунок 62 ОРК с вертикальным шарниром

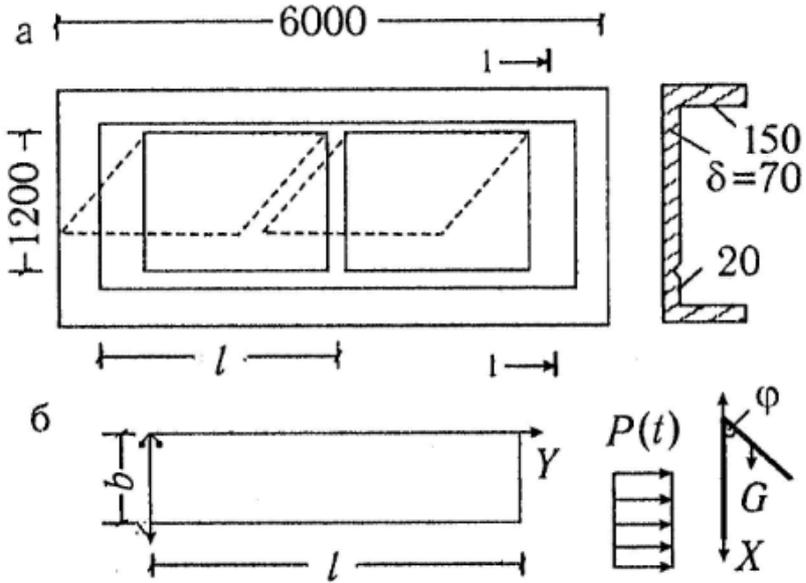


Рисунок 63 ОРК типа «конверт»

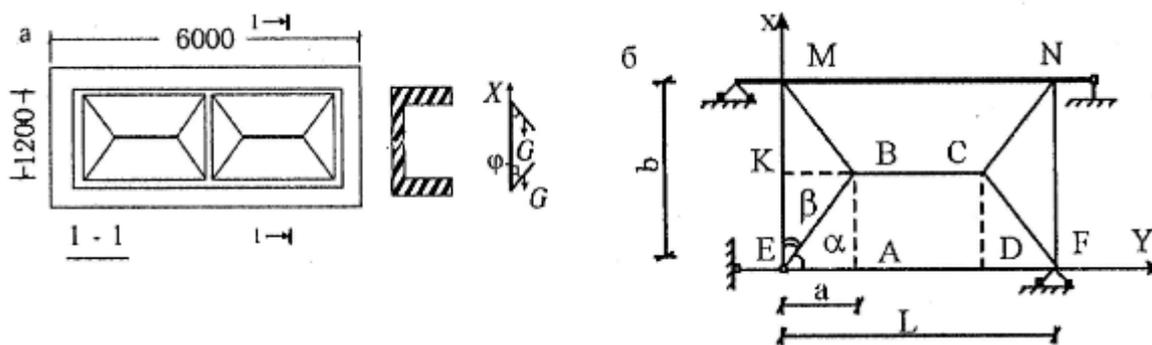


Рисунок 64 ОРК с шарнирами по контуру типа «конверт»: а – конструкция; б – расчетная схема

4.1.6 Авария на Фукусима-1

Землетрясение произошло в Японском жёлобе — глубоководной океанической впадине, где сталкиваются Тихоокеанская и Охотская литосферные плиты. Более тяжёлая в этом месте океаническая Тихоокеанская плита погружается под материковую Охотскую плиту, над которой располагается часть Евразийского континента и некоторые Японские острова. Предполагается, что Охотская плита по своему движению может считаться частью одной из 7 наиболее крупных литосферных плит — Северо-Американской плиты.

Для землетрясения такой силы обычно требуется длинная (480 км) и относительно прямая линия разлома. Поскольку контуры плиты и зона субдукции в этой области не такие прямые, то землетрясения в этом регионе, как правило, ожидаются с магнитудой до 8-8,5, и сила этого землетрясения была неожиданностью для некоторых сейсмологов.

Наиболее сильный толчок был зарегистрирован 11 марта в 05:46:23 UTC, ему предшествовала серия крупных землетрясений-форшоков, начавшаяся 9 марта с толчка магнитудой 7,2 примерно в 40 км от основного толчка и продолжившаяся тремя другими толчками в тот же день с магнитудой 6. За минуту до начала землетрясения в Токио система раннего предупреждения, объединяющая около 1000 сейсмографов в Японии, передала по телевидению сообщение о приближающемся землетрясении. Это стало возможным благодаря тому, что сейсмические S-волны распространяются со скоростью 4 км/с и им потребовалось 90 секунд для преодоления расстояния в 373 км до Токио. Считается, что это сохранило большое количество жизней.

Землетрясение произошло в западной части Тихого океана в 130 км к востоку от города Сендай на острове Хонсю. По данным Геологической службы США эпицентр находился в 373 км от Токио. После основного толчка магнитудой 9,0 в 14:46 местного времени, последовала серия афтершоков: 7,0 магнитуд в 15:06, 7,4 в 15:15 и 7,2 в 15:26 местного времени. Всего после основного толчка зарегистрировано более четырёхсот афтершоков силой 4,5 и более магнитуд.

Очаг землетрясения распространяется от взморья префектуры Иватэ до взморья префектуры Ибараки. Японское метеорологическое агентство сообщает, что это землетрясение, возможно, произошло в результате подвижки в зоне разлома от Иватэ до Ибараки с длиной 400 км и шириной 200 км. Анализ показал, что землетрясение представляет собой серию из трёх толчков. Было отмечено, что это землетрясение, возможно, имеет такое же происхождение, что и крупное землетрясение 869 года, тоже вызвавшее большое цунами.

По шкале Японского метеорологического агентства (ЯМА) землетрясение получило максимальную оценку — 7 баллов в городе Курихара (префектура Мияги). В трёх других префектурах, Фукусима, Ибараки и Тотиги, зарегистрированы толчки более 6 баллов по

шкале ЯМА. Сейсмические станции в префектурах Иватэ, Гумма, Сайтама и Тиба зарегистрировали менее 6 баллов, в Токио — более 5.

Американский институт ядерной энергии опубликовал данные, показывающие что в пике землетрясения вблизи эпицентра земля тряслась с ускорением $0,35g$ ($3,43 \text{ м/с}^2$). Исследование Токийского университета показывает, что в некоторых районах ускорение было выше $0,5g$ ($4,9 \text{ м/с}$). Само по себе это землетрясение не было особенно разрушительным (землетрясение в Новой Зеландии в феврале 2011 вызвало ускорения до $2,2g$, более чем в четыре раза выше), основной ущерб был причинён в результате цунами

Геофизик Росс Штейн сообщил, что землетрясение передвинуло часть северной Японии на $2,4 \text{ м}$ в сторону Северной Америки, то есть в направлении к эпицентру землетрясения. Часть северной Японии сделалась «шире, чем она была раньше». Наиболее близкий к эпицентру регион испытал наибольший сдвиг. Штейн также отметил, что 400-километровый участок побережья опустился на $0,6 \text{ м}$, что позволяет цунами распространяться дальше и быстрее вглубь побережья.



Рисунок 65 Последствия землетрясения в Японии

Землетрясение вызвало сильное цунами, которое произвело массовые разрушения на северных островах японского архипелага. Цунами распространилось по всему Тихому океану; во многих прибрежных странах, в том числе по всему тихоокеанскому побережью Северной и Южной Америк от Аляски до Чили, было объявлено предупреждение и проводилась эвакуация. Однако когда цунами дошло до многих из этих мест, оно вызвало лишь относительно незначительные последствия. На побережье Чили, которое находится дальше всех от тихоокеанского побережья Японии (около $17\,000 \text{ км}$), зафиксированы волны до 2 метров в высоту.

Предупреждение о цунами, выданное Японским метеорологическим агентством, было самым серьёзным по его шкале опасности; оно оценивалось как «крупное» (Major tsunami), высотой не менее 3 м . Реальная высота была различной. Максимальная наблюдалась в префектуре Мияги и достигала 10 м . Землетрясение произошло в $14:46 \text{ JST}$ на расстоянии

около 70 км от ближайшей точки на побережье Японии, и первоначальный подсчет показал, что цунами потребовалось от 10 до 30 минут, чтобы достичь первых пострадавших областей, а затем дальше на север и юг в зависимости от географии побережья, в 15:55 JST, через час с небольшим после землетрясения, цунами затопило аэропорт Сендай, который находится недалеко от побережья префектуры Мияги. Его волны сметали автомобили и самолеты, затапливали и разрушали здания.

13 марта 2011 года Японское метеорологическое агентство (ЯМА) опубликовало подробную информацию о зафиксированных ударах цунами по побережью Японии. Наиболее сильные цунами с высотой более 3 метров, наблюдавшиеся после землетрясения в 14:46 JST

- * 15:12 JST — Камаиси — 6,8 м
- * 15:15 JST — Офунато — 3,2 м или выше
- * 15:20 JST — Исиномаки — 3,3 м или выше
- * 15:21 JST — Мияко — 4,0 м или выше
- * 15:21 JST — Камаиси — 4,1 м или выше
- * 15:44 JST — Эримо — 3,5 м
- * 15:50 JST — Сома — 7,3 м
- * 16:52 JST — Оарай — 4,2 м



Рисунок 66 Наплыв волны на побережье г. Мияко

* Волны цунами высотой около 1-2 метров достигли южных Курильских островов.

* Согласно МЧС России, волна высотой в 3 метра достигла села Малокурильское. Властями было эвакуировано 11 тысяч жителей с прибрежных территорий.

* На Гавайях первым островом, по которому ударило цунами, был остров Кауаи. Волны высотой около метра устремились на берег Гонолулу, заливая пляж в Вайкики и вздыбив кирпичную стену на всемирно известном курорте, но вскоре остановились ввиду преграды в виде высоких гостиниц. Также волны цунами нанесли серьёзный ущерб трём причалам малых катеров, уничтожив около двухсот катеров и нанеся урон, по оценкам, в 500 тысяч долларов США для каждого причала.

* В Гуаме сила цунами сорвала со швартовых две субмарины ВМС США, но буксирные суда сумели затащить их обратно.

* Первые волны от цунами достигли американского материка вдоль побережья Северной Калифорнии и штата Орегон. В частности, на северокалифорнийский город Кресент-Сити обрушились волны высотой в 2 метра, от которых пострадали около 35 лодок и портовые доки. В результате цунами погиб один человек.

* В Индонезии цунами отмечалось на её восточном побережье (в провинциях Северный Сулавеси и Малуку) и было высотой не более 10 сантиметров.

* В Мексике отмечались волны цунами высотой до 70 см. Обошлось без разрушений и жертв.

* В Эквадоре на Галапагосских островах волна цунами затопила Сан-Кристоваль.

* В Перу в городе Пуэбло Нуэво-де-Колан океан отступил от пляжа на 200 метров, а затем вернулся и с силой разрушил несколько домов на берегу. В порту Писко океан дошёл до городской площади и повредил около 300 домов.

* На Чилийском побережье были повреждены коттеджи, цунами унесло в океан небольшие катера. Тем не менее, урон от цунами был ограниченным. Цунами породило накат волн на дальнем чилийском острове Пасхи.

* Было объявлено предупреждение о цунами для Курильских островов, Тайваня, Филиппин, Папуа — Новой Гвинеи, Индонезии, Гавайских островов, Австралии, Новой Зеландии, Канады и побережья США, в частности штатов Калифорния, Вашингтон, Орегон и Аляска, а также Гуама, Северных Марианских островов, Центральной и Южной Америки.

В результате землетрясения сильно пострадали префектуры Мияги, Иватэ и Фукусима.

По состоянию на 23 часа вечера 22 марта официальное число погибших в результате землетрясения и цунами в 12 префектурах Японии составляет 9199 человек, 13786 человек числятся пропавшими без вести в 6 префектурах.

Некоторые разрушения вызванные цунами:

- Погнулся шпиль токийской телебашни (первоначально сообщалось об обрушении).
- На побережье в префектуре Мияги обрушились волны цунами высотой в 10 метров, а на портовый город Камаиси в префектуре Иватэ — высотой 4 метра, которые смывали автомобили и врезались в здания.
- Разрушено много секций автострады региона Тохоку, обслуживающей север Японии.
- Прорыв дамбы в префектуре Фукусима.
- Сендайский аэропорт, расположенный на равнине у побережья, практически смыло волной цунами.
- Авария на АЭС Фукусима-1

Катастрофа на японской АЭС Фукусима-1 в марте 2011 г. – крупнейшая радиационная авария в мире после Чернобыльской АЭС. Осознание причин произошедшего и масштаба последствий этой катастрофы позволяет извлечь полезные уроки на будущее и выработать взвешенное отношение к дальнейшему развитию атомной энергетики.

Авария, произошедшая 11 марта 2011 г. на японской АЭС «Фукусима-1», сопровождалась потерей теплоносителя первого контура, перегревом и плавлением тепловыделяющих элементов, образованием в результате парциальной реакции водорода с последующим взрывом гремучей смеси, вызвавшим пожары и радиоактивное

загрязнение окружающей среды. Важным уроком этой аварии стало то, что для обеспечения безопасности ядерных энергетических объектов нельзя пренебрегать учётом даже таких факторов риска, проявление которых считается крайне маловероятным.

Авария на АЭС «Фукусима-1» спустя 25 лет после трагических событий на ЧАЭС стала вторым предупреждением человечеству о необходимости повышения требований к безопасности АЭС. Впервые природная ЧС привела к крупной техногенной радиационной катастрофе.



Рисунок 67 Затопление АЭС «Фукусима-1»

Современные исследователи в сфере безопасности ядерной энергетики обращают основное внимание на не столь очевидные причины в начальный и последующий периоды аварии, что не менее важно, а исследуют вопрос о том, какие предупредительные меры помогут избежать подобных катастроф в будущем. Анализ произошедшего позволяет сделать некоторые замечания по поводу случившегося:

1. На АЭС Фукусима-1 в отличие от аварии на ЧАЭС не произошло ядерного взрыва реактора. АЭС Фукусима-1, рассчитанная на 7- балльное землетрясение, выдержала 9 баллов. Если бы не наложение других факторов (цунами, проблемы с резервным энергоснабжением сразу после аварии), ситуацию можно было бы быстро нормализовать. Последующее отключение электричества и невозможность сбрасывать остаточное тепло привели к значительному повреждению защитной оболочки, систем охлаждения реакторов и бассейнов с отработавшим топливом, частичному расплавлению ядра, выбросу радиоактивных газов и утечке зараженной воды. Из зоны радиоактивного загрязнения радиусом 20 км было эвакуировано 80 тыс. человек. Администрация не смогла из-за невозможности получать достоверную информацию реагировать на аварию в реальном времени.

2. Вызывают тревогу просчёты конструкторов и неготовность руководства и персонала быстро принимать решения в условиях параллельно развивающихся аварийных процессов тяжёлой многофакторной аварии (сказался недостаток фундаментальных знаний у специалистов). Принятие решений шло через 12 уровней управления между руководителями и ликвидаторами. Ликвидаторы строго придерживались заранее составленных инструкций без учёта особенностей произошедшей аварии.

3. Реакторные установки имели многобарьерные системы защиты, но не были взаимосвязаны с точки зрения ликвидации реальной нештатной аварии. Взрыв водорода в реакторном здании блока №1, повлиявший на ход аварийных работ и взрывы на блоках №2-4, свидетельствуют не только об отсутствии эффективных систем подавления аварийного водорода, но также о недостатках систем вентиляции реакторного здания и сомнительной необходимости его использования как вторичной защитной оболочки, что заведомо исключает ручные операции при выполнении противоаварийных мер. Следует указать также на отсутствие надёжной технологии работы с облучённым топливом внутри реактора после аварии с повреждением штатных подъёмных механизмов.

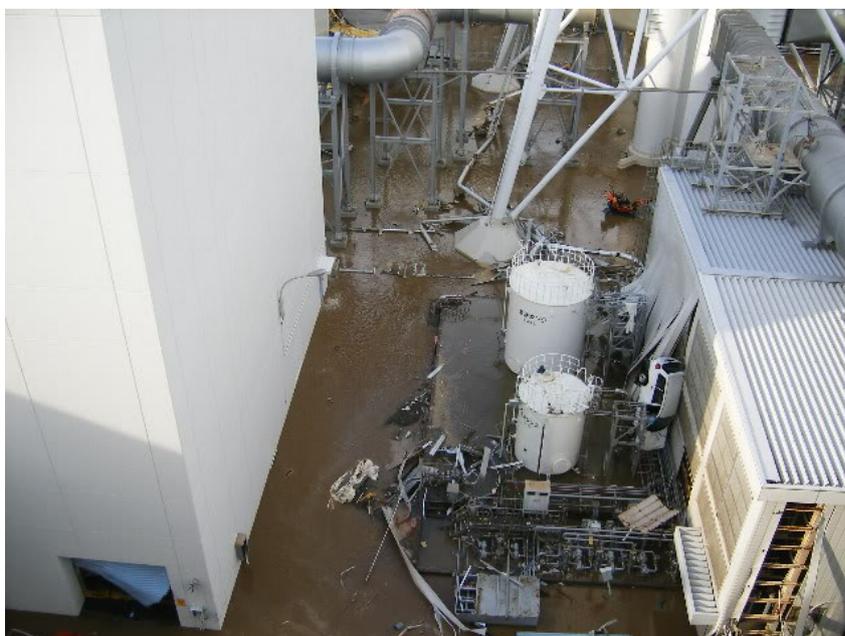


Рисунок 68 Затопление АЭС «Фукусима-1»

4. АЭС является объектом сверхвысокой опасности, рассчитанным на долгие годы эксплуатации, больше чем жизнь одного поколения. Поэтому конструкторы должны закладывать в проекты решения с учётом обеспечения безопасности будущих поколений. Следует особо отметить недостатки по выбору проектных значений внешних факторов. В связи с изменением климата повышается уровень океана, делая АЭС в прибрежных зонах ещё более уязвимыми. Требуется усилить ответственность за принятие важнейших инженерных решений в условиях высокой сейсмической активности. При строительстве АЭС, исходя из российских норм безопасности в атомной энергетике, необходимо учитывать возможность появления цунами до 20 м в цунами опасных районах Японии. АЭС должны иметь максимальные запасы прочности, надёжности и живучести. При их сооружении должны использоваться только высококачественные материалы. Требуется новые технологии защиты объектов с повышенной опасностью.

5. Масштабность и периодичность происходящих в мире техногенных катастроф свидетельствуют о значительно возросшей роли специалистов технического профиля. Сложные технологические системы требуют строгого соблюдения технологий и регламентов. Качество подготовки кадров для обслуживания таких систем, а также ликвидации последствий аварий, должно быть поднято на уровень, соответствующий сложности объектов, создаваемых в XXI веке.

6. Совершенно непонятны объяснения, представленные официальными органами по поводу причин несрабатывания системы аварийного расхолаживания реакторов (ссылки на цунами, превысившую запроектовую высоту). Согласно официальным данным, 13 дизель-генераторов с топливными баками были смыты волной. Но по проекту дизель-генераторы располагаются в подвальном здании реакторов. Если и были смыты, то не основные, а дополнительные передвижные дизель-генераторы. Прошло сообщение, что незадолго до аварии дизель-генераторы на АЭС «Фукусима-1» были заменены газогенераторами, снабжение которых газом осуществлялось централизованно.

Первые дни аварии проявили все недостатки проекта реакторной установки и ошибки, допущенные эксплуатирующей организацией. Но главной ошибкой оказалась высокая уязвимость систем аварийного энергоснабжения и системы забора морской воды.



Рисунок 69 Исследование радиоактивного фона после затопления АЭС «Фукусима-1»

Был ли шанс у персонала станции предотвратить взрывы водорода на АЭС? По проекту при превышении предельного давления срабатывает предохранительный клапан, и пар из корпуса реактора стравливается во внешний корпус - контеймент. Прочность контеймента была недостаточной, поэтому потребовалось сбросить водородно-паровую смесь в здание реактора. После модернизации 1992 г. реакторы этого типа должны были иметь вентиляционную магистраль для сброса давления из тора за пределы здания. Но во время аварии в результате такой вентиляции водород почему-то оказался не снаружи, а в помещениях реакторных зданий.

По словам специалистов, акватория в районе Фукусимы будет оставаться очагом заражения еще минимум 30 лет. Прилегающие к аварийной АЭС области по-прежнему пустынные, напоминанием о прокатившейся здесь стихии служат остатки фундаментов разрушенных зданий. Даже в уцелевших или восстановленных домах живут лишь единицы. По проведенным опросам, каждый четвертый житель больше не надеется вернуться в свой дом после цунами. Последствия аварии по-прежнему остаются серьезными, несмотря на то, что ситуацию на АЭС более-менее стабилизировали.

4.2 Землетрясения

Землетрясения - есть колебания земной поверхности вследствие внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней мантии. Движение грунта при землетрясениях носит волновой характер. Волам трех типов, - продольные, поперечные и поверхностные, - распространяются с различными скоростями. Колебания грунта в сейсмических волнах возбуждают колебания зданий и сооружений, вызывая в них инерционные силы. При недостаточной прочности (сейсмостойкости) конструкций происходят их повреждения различной степени или разрушения.

Сейсмическая опасность при землетрясениях определяется как интенсивными колебаниями грунта, так и вторичными факторами, среди которых назовем: лавины, оползни, обвалы, опускание (просадку) и перекосы земной поверхности. разжижение грунта, наводнения при разрушении и прорыве плотин и защитных дамб, а также пожары.

Интенсивность землетрясений на поверхности земли оценивается по 12-балльной шкале, согласно ГОСТ 6249-52. ЮНЕСКО рекомендовано использовать близкую международную шкалу MSK–1964. В настоящее время в России используется рекомендованная Бюро межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС) АН РФ, так называемая шкала ИФЗ, положенная в основу норм "Строительство в сейсмических районах" - СНиП II-7-81. Шкалы ИФЗ, MSK, а также американская модифицированная шкала Меркалли MM и европейская шкала Меркалли-Конкани-Зиберга близки между собой.

4.2.1 Последствия сейсмического воздействия на здания и сооружения

Последствия воздействия землетрясений оценивают по шкале, одобренной Бюро МСССС (1973 г.), согласно которой здания и сооружения классифицируют по трем типам:

А - здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома;

Б - кирпичные дома, здания крупноблочного типа, здания из естественного тесанного камня;

В - здания панельного типа, каркасные железобетонные здания, деревянные дома хорошей постройки.

Степени повреждений зданий и сооружений приняты следующими:

1 - легкие повреждения: тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки;

2 - умеренные повреждения: небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб;

3 - тяжелые повреждения: большие, глубокие и сквозные трещины в стенах, падение дымовых труб;

4 - разрушения: обрушения внутренних стен и стен заполнения каркаса, проломы в стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными частями здания;

5 - обвалы: полное разрушение зданий.

Приведем описание разрушений зданий и сооружений, соответствующих различной балльности землетрясений:

6 баллов. Повреждения 1 степени в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А; в отдельных зданиях типа А повреждения 2 степени.

7 баллов. Во многих зданиях типа В повреждения 1 степени и в отдельных - 2 степени. Во многих зданиях типа А повреждения 3 степени и в отдельных - 4 степени. Трещины в каменных оградах.

8 баллов. Сильные повреждения зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 2 степени и в отдельных - 3 степени. Во многих зданиях типа Б повреждения 3 степени и в отдельных - 4 степени. Во многих зданиях типа А повреждения 4 степени и в отдельных - 5 степени. Памятники и статуи сдвигаются. Надгробные памятники опрокидываются. Каменные ограды разрушаются.

9 баллов. Всеобщие повреждения зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 3 степени и в отдельных - 4 степени. Во многих зданиях типа Б повреждения 4 степени и в отдельных - 5 степени. В большинстве зданий типа А повреждения 5 степени. Памятники и колонны опрокидываются.

10 баллов. Всеобщие разрушения зданий.

11 баллов. Катастрофа.

12 баллов. Изменения рельефа.

Анализ последствий землетрясений показывает, что здания различной конструкции получают следующие повреждения, если сейсмические воздействия превышают расчетные (для зданий, запроектированных с учетом требований СНиП 11-7-81) или здания не имели антисейсмических усилений (по данным А.Мартемьянова).

В каркасных зданиях преимущественно разрушаются узлы каркаса. Особенно сильные повреждения получают основания стоек и узлы соединения ригелей со стойками каркаса, если размеры последних недостаточны и если они не имеют усилений в виде вутов.

Отсутствие вутов в ригелях рамы приводит к разрушению узлов и к искажению формы здания, а иногда – его обрушению.

Разрушение стоек происходит в сечении у фундаментов, реже - у ригеля. Арматура выпучивается наружу, бетон по всему сечению дробится, а стойки укорачиваются.

В малоэтажных зданиях, если стены расположены вплотную снаружи стоек каркаса и опираются на фундаментные балки, в результате соударений в стенах появляются трещины, а иногда они полностью разрушаются.

В крупнопанельных и крупноблочных зданиях наиболее ответственными являются места стыковых соединений панелей и блоков между собой и с перекрытиями. Когда связи стыковых соединений недостаточны, отмечаются случаи взаимного смещения панелей, раскрытия вертикальных стыков, отклонения панелей и даже их обрушение.

Крупноблочные здания перенесли сильные землетрясения в Петропавловском-Камчатском в 1959 и 1971 г.г., где сила землетрясения была более 7 баллов, но здания не были разрушены, получив повреждения в виде трещин.

В зданиях с несущими каменными стенами возникают: косые и Х-образные трещины в простенках и глухих стенах; вертикальные трещины - в местах сопряжения продольных и поперечных стен (возможно выпадение стен наружу); трещины в местах заделки железобетонных перемычек. Возможны сдвиг железобетонных перемычек, а также повреждение антисейсмического пояса.

В зданиях с несущими стенами из местных материалов (сырцовый кирпич, глиносаманные блоки и др.) разрушения носят катастрофический характер. Особо низкой устойчивостью обладают печи и дымовые трубы, разрушение которых часто вызывает пожары.

В деревянных зданиях (рубленных, сборно-щитовых, каркасно-заборных) повреждения стен при землетрясениях незначительны. Характерные повреждения в рубленных домах - щели в углах, в то время, как каркасно-щитовые здания повреждаются более сильно. В каркасно-заборных домах из-за перекоса короткие бревна выходят из пазов, и во многих домах происходит выпадение стен.

Наиболее существенные повреждения деревянных домов происходят при сдвиге по цоколю, причем значительно повреждаются отопительные системы. Степень их повреждения в Байкальском землетрясения 1959 г. в некоторых населенных пунктах составила 100% дымовых труб, 15% всех печей и свыше 10% всех плит. Конструкции зданий можно расположить по убывающей сейсмостойкости в такой последовательности: каркасные здания, крупнопанельные, деревянные рубленые и сборно-щитовые, здания с несущими каменными стенами, здания со стенами из местных материалов.

4.2.1. Надежность антисейсмической защиты зданий и сооружений

Фактическая надежность зданий и сооружений, вообще говоря, должна подтверждаться статистикой отказов, но для строительных объектов в целом такая статистика никем не ведется и именно поэтому возникает проблема оценки фактической надежности по данным специальных расчетов. Однако имеется область инженерно-строительной деятельности, где фактические отказы изучаются систематически. Это инженерный анализ последствий разрушительных землетрясений. Поэтому ниже будут приведены некоторые накопленные данные о фактической величине сейсмического риска. Для конкретности будет рассматриваться один из наиболее массовых объектов строительства - крупнопанельные жилые здания. В работе [22] представлены данные анализа последствий землетрясений различной интенсивности, перенесенных крупнопанельными зданиями за период около 20 лет. Фактическая повреждаемость характеризовалась в условных единицах по следующей шкале:

- 1 - небольшие трещины в стенах, откалывание небольших кусков штукатурки (легкие повреждения);
- 2 - небольшие трещины в стенах, небольшие трещины в стыках между панелями, откалывание значительных кусков штукатурки, падение черепицы с крыши, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб (умеренные повреждения);
- 3 - большие, глубокие и сквозные трещины в стенах, значительные трещины в стыках между панелями, падение дымовых труб (тяжелые повреждения);
- 4 - обрушение внутренних стен и стен заполнения каркасов. проломы в стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий (разрушения);
- 5- полное разрушение зданий (обвалы).

Усредненные данные приведены в табл. 7

Таблица 7

Расчетная сейсмичность здания, баллы	Степень повреждения (условных единиц) при землетрясении силой, балл		
	7	8	9
6	1,67	2,60	3,53
7	1,35	2,13	2,91
8	1,03	1,66	2,29
9	0,71	1,19	1,68

СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» предусматривают при расчетной интенсивности воздействия степень повреждения, близкую к трем условным единицам. Если считать такие повреждения отказом, то найденные вероятности превышения этой границы (сейсмический риск) будут равны величинам, показанным в табл. 8.

Таблица 8

Расчетная сейсмичность здания, баллы	Сейсмический риск крупнопанельных зданий при интенсивности землетрясения, баллы		
	7	8	9
6	0,008926	0,324092	0,654985
7	0,000163	0,112217	0,464014
8	0,000026	0,008179	0,178367
9	0,000025	0,000028	0,009722

Очевидно, что вероятность появления сейсмических повреждений зависит от срока службы здания. Некоторые из них, имеющие малый срок существования, вообще могут не подвергаться расчетным или близким к ним по интенсивности землетрясениям.

Чем меньше будет интервал между сильными землетрясениями T_s , по сравнению с расчетным сроком службы здания T_c , тем выше вероятность получить повреждения. Это схематично показано на рис 70, где по горизонтальной оси отложено время, а интенсивность землетрясения показана высотой столбика. В промежутках между расчетными землетрясениями возможны землетрясения меньшей интенсивности.

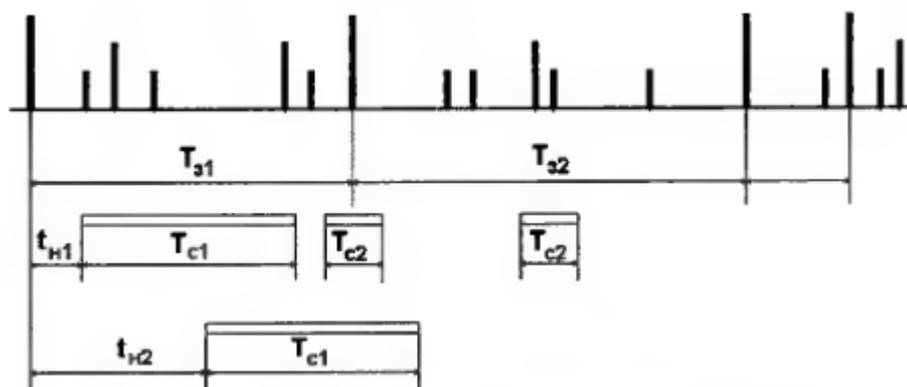


Рисунок 70 Схема интервалов времени между землетрясениями

Как видно из этой схемы, отношение среднего срока эксплуатации к среднему промежутку времени между расчетными землетрясениями, хорошо отражает опасность реализации землетрясения в течение срока службы. Так, для сооружения со сроком службы T_{c1} эта опасность велика, а для сооружения со сроком службы $T_{c2} < T_{c1}$ - сравнительно мала.

В то же время, если говорить о землетрясениях меньшей интенсивности, то они неизбежно реализуются, и для сооружения со сроком службы T_{c1} не один раз.

Для крупнопанельных зданий с $T_c = 125$ лет и с учетом среднегодового количества землетрясений различной интенсивности, соответствующей карте сейсмического районирования, были получены уточненные значения сейсмического риска в случае расположения здания в «своем» сейсмическом районе (табл. 9).

Таблица 9

Среднегодовое количество землетрясений расчетной	Сейсмический риск крупнопанельных зданий при интенсивности землетрясения, баллы		
	7	8	9

интенсивности в рассматриваемом регионе (индекс повторяемости)			
1,0000 (1)	0,000057	0,002797	0.002797
0,0010 (2)	0,000021	0,001022	0,001215
0,0001 (3)	0,000006	0,000242	0,000336

Анализ влияния землетрясений различной интенсивности на надежность застройки, представленный выше, нашел воплощение в так называемом двухуровневом подходе к обеспечению сейсмостойкости. Этот подход исходит из идеи о том, что при относительно частых землетрясениях с повторяемостью раз в 100-200 лет (проектные землетрясения - ПЗ) не допускается нарушение нормальной эксплуатации, а при редких разрушительных землетрясениях с повторяемостью раз в 2000-5000 лет (максимальные расчетные землетрясения - МРЗ) необходимо обеспечить сохранность жизни людей и ценного оборудования. По существу двухступенчатое проектирование является первым шагом к анализу сценариев длительного (в течение времени жизни объекта) поведения зданий и сооружений в увязке с методом расчетных предельных состояний.

В дополнение к сказанному необходимо отметить, что расчетный анализ сейсмического риска сам по себе недостаточен в силу той большой неопределенности сейсмологической информации, которая характерна для современного состояния науки. Ведь «сейсмостойкие» здания оказываются уязвимыми не только за счет небрежного исполнения, как это часто утверждается, но и при самом тщательном выполнении всех нормативных требований. И опыт катастрофических разрушений при землетрясениях 1999 года в Турции и на Тайване является тому свидетельством.

По данным, приведенным в работе А.А. Петрова [20], рекомендации нормативных документов расходятся с наблюдениями на порядки. Так, при землетрясении в Нортридже, оценка балльности которого соответствовала 8 баллам по шкале ММ, были зарегистрированы пиковые ускорения грунта от 0,15g до 1,78g, в то время как расчетное ускорение в СНиП II-78-81* для землетрясения в 8 баллов принимается равным 0,2g (принятая в СНиП шкала МЭК близка к шкале ММ). Все это заставляет относиться с должной осторожностью к расчетам надежности и безопасности при сейсмических воздействиях и во многом полагаться не только на такие расчеты, но и на выработанный веками на основе метода проб и ошибок практический опыт применения конструктивных решений успешной сейсмозащиты зданий и сооружений.

Эффективность применения мер защиты, в частности мер сейсмозащиты, продемонстрировало землетрясение 1989 года в г. Лос-Анджелесе, которое по силе не уступало спитакскому, но не вызвало никаких разрушений сооружений при полном отсутствии человеческих жертв. А спитакское землетрясение, обрушившееся на объекты, не защищенные в необходимой степени (добавим: и низкое качество строительных работ), унесло более 25000 жизней.

Такие сопоставления требуют проведения весьма тщательного инженерного анализа последствий землетрясений, который должен выявить удачные и неудачные конструктивные решения и дать возможность понять, почему расположенные рядом здания, запроектированные, кстати, с учетом рекомендаций антисейсмических норм, в одном случае прекрасно выдерживают землетрясение, а в другом - разрушаются (рис.71).



Рисунок 71 Разрушения при землетрясении в Мексике 10 марта 2014

По этому поводу имеются самые противоречивые точки зрения, одна из самых радикальных такова: «Причины недавних катастрофических разрушений «сейсмостойкой» застройки в Турции и на Тайване состоит в том, что официальная наука о сейсмике до сих пор не имеет достоверной информации о тех сейсмических воздействиях, которые разрушают здания и сооружения во время сильных землетрясений, и категорически отказывается признать реальность. ... Об этом свидетельствует множество очевидных фактов и явлений. Главные из них — необъяснимые перманентные разрушения современных «сейсмостойких» зданий, происходящие вопреки всем нормам и расчетам, а также полное несоответствие формы всех видов сейсмических разрушений зданий тем низкочастотным колебаниям грунта, которые в течение последнего столетия официально считаются единственной причиной разрушения зданий при землетрясениях» [21]. Можно по-разному относиться к таким мнениям, но нужно помнить, что сейсмическая опасность слишком серьезна, чтобы пренебрегать любыми возможностями ее уточнения. Будем помнить, что за последний век жертвами землетрясений стало около миллиона человек по всей земле.

4.2.2 Землетрясение на Гаити

Землетрясение на Гаити 2010 года — крупное землетрясение на острове Гаити, произошедшее 12 января в 16 часов 53 минуты по местному времени. Эпицентр находился в 22 км к юго-западу от столицы Республики Гаити Порт-о-Пренс, гипоцентр на глубине 13 км. После основного толчка магнитудой 7 было зарегистрировано множество повторных толчков, из них 15 с магнитудой более 5.



Рисунок 72 Президентский дворец на Гаити, белоснежное здание в колониальном стиле, которое в центральной части составляло раньше три этажа, также пострадало от землетрясения.

Вечером 12 января 2010 года в течение нескольких минут произошли три землетрясения в нескольких милях от побережья Гаити. Магнитуда первого землетрясения составила 7,0 баллов. Магнитуда повторных подземных толчков составила 5,9 и 5,6 баллов. Особых бед натворил первый толчок. По данным различных информагентств, разрушения в столице Гаити составляют от значительных до максимальных. Некоторые просто говорят, что столица стерта с лица земли.

Столь же различаются и оценки человеческих жертв: президент Гаити Рене Преваль заявил, что число погибших колеблется от 30 до 100 тысяч. Но по другим сообщениям, эти осторожные оценки занижены многократно, и число жертв может перевалить за полмиллиона людей.

Землетрясение на Гаити стало результатом подвижек земной коры в зоне контакта Карибской и Северо-Американской литосферных плит. Последний раз землетрясение такой разрушительной силы произошло на Гаити в 1751 году.



Рисунок 73 Вид на разрушенный землетрясением район Санапе-Верв в столице Гаити 13 января 2010. (REUTERS/Eduardo Munoz)

По официальным данным на 18 марта 2010 года число погибших составило 222 570 человек, получивших ранения — 311 тыс. человек, пропавших без вести 869 человек. Материальный ущерб оценивается в 5,6 млрд евро.

В день землетрясения в столице Гаити Порт-о-Пренсе были разрушены тысячи жилых домов и практически все больницы. Без крова осталось около 3 миллионов человек. Были также разрушены Национальный дворец, здания Министерства финансов, Министерства общественных работ, Министерства связи и культуры и кафедральный собор.

Столица страны Порт-о-Пренс (население 2,5 млн человек) была опустошена землетрясением, остальные районы страны пострадали мало.

Почему разрушений и жертв так много? Почему власти Гаити оказались не готовы к такому повороту событий?

Во-первых, столь разрушительного землетрясения на острове не было с XVIII века. Соответственно, никто и не предполагал, что подобное может произойти именно в январе 2010 года. А во-вторых, многие дома гаитянской столицы оказались непригодными к такой катастрофе – до 80 % гаитянцев живут за чертой бедности, их лачуги были стерты с лица земли в первые же секунды. А учитывая большую скученность построек, можно предположить, что число жертв может действительно измеряться сотнями тысяч человек.



Рисунок 74 Трещины поползли по дому после землетрясения в Порт-о-Пренс 12 января. (Clarens Renois / AFP - Getty Images)

Впрочем, очень многое зависит и от правил поведения во время землетрясения. Так, например, десять сотрудников МВД России, которые работали в столице Гаити, во время первого же толчка моментально выскочили из здания, в котором они находились, а потому отделались только царапинами...

Но землетрясение на Гаити не ограничилось тремя толчками вечером 12 января. Уже спустя несколько часов на острове был зафиксирован еще ряд толчков. Только в последний час дня их было пять – силою от 4,2 до 5,7 баллов. На следующий день здесь были зафиксированы еще 32 толчка, причем тринадцать из них превышали 5 баллов по шкале Рихтера. Так что они, несомненно, добавили еще разрушений и привели к человеческим жертвам.

По мнению специалистов Национального информационного центра землетрясений при Геологической службе США землетрясения не прекратятся еще долго. Они подчеркнули, что в самых разных уголках планеты происходит в среднем в год одно землетрясение катастрофической степени (силой в 8 и более баллов), 18 землетрясений, которые можно квалифицировать как «очень сильные» (7–7,9 балла), 120 просто «сильных» землетрясений (6–6,9 балла), около 800 «умеренных» колебаний почвы (5–5,9 балла), более 6 200 легких землетрясений (4–4,9 балла), почти 50 тысяч «слабых» (3–3,9 балла). Нетрудно подсчитать, что в среднем в день происходит порядка 150 землетрясений различной магнитуды колебаний.

4.3 Пожары

В результате пожаров в зданиях повреждаются их конструкции вплоть до полного разрушения. Степень огневого воздействия на строительные конструкции зависит от их материала, размеров, температуры и длительности пожара.

Деревянные конструкции

При огневом воздействии на деревянные конструкции из них выделяются горючие газы, которые сгорают вне древесины. Под действием перегонки древесина нагревается и обугливается. Влажность древесины уменьшается, а прочность необугленных слоев конструкции возрастает. При заливе пожара водой древесина увлажняется, и ее прочность становится равной той, которую она имела до пожара.

При восстановлении деревянной обгоревшей конструкции весь обуглившийся слой древесины должен быть удален, т. к. он длительное время сохраняет неприятный запах. В деревянных конструкциях определяют сечение элементов за вычетом толщины обугливания.

Расчетное сопротивление древесины при этом принимают как для древесины, не подвергшейся огневому воздействию.

Стальные конструкции

Стальные конструкции выполняются из малоуглеродистой стали. При нагреве стальных элементов выше 600 °С они получают большие деформации и не могут быть использованы по назначению.

Усиление стальных конструкций, подвергшихся огневому воздействию при пожаре, производится теми же методами, что и конструкций, не поврежденных пожаром.

В стальных элементах определяют их сечение, при этом учитывая время возведения здания. Определяются прогибы в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Расчетное сопротивление стали принимают в зависимости от времени выпуска стального проката без учета огневого воздействия. При этом учитывают наличие искривлений оси поврежденного элемента.

Каменные конструкции

Каменные конструкции (стены, столбы, своды) повреждаются с поверхности. Повреждения выражаются глубиной шелушения кирпича. При этом конструкции из силикатного кирпича получают более глубокие повреждения по сравнению с конструкциями из керамического кирпича. В результате тепловых воздействий при пожарах каменные стены и своды могут получить большие деформации, приводящие к образованию трещин. Усиливают каменные конструкции, поврежденные пожаром, так же, как и конструкции, не подвергшиеся огневому воздействию. Остаточная несущая способность каменной кладки также зависит от температуры и длительности пожара. Камни кладки и раствор повреждаются только на ее поверхности. В расчетах остаточной несущей способности необходимо учитывать наличие трещин в кладке.

Железобетонные конструкции

Наиболее сложным является учет степени огневого повреждения при пожарах железобетонных конструкций. Разнородность материалов, составляющих железобетон, при нагреве приводит к разным температурным деформациям, нарушает связь между цементным камнем, крупным и мелким заполнителем и арматурой. В результате в железобетонных элементах происходят необратимые изменения механических свойств, снижение прочности на сжатие и растяжение, дополнительные прогибы.

Изменения механических свойств бетона при его нагреве и последующем охлаждении в настоящее время оцениваются очень приблизительно. Это затрудняет определение несущей способности железобетонных элементов, подвергшихся огневому воздействию при пожаре и последующему охлаждению, особенно для сжатых элементов. Обычно после пожара нет точных данных о температуре нагрева конструкций и продолжительности пожара. Приходится судить об этом по состоянию и цвету поверхности железобетонных конструкций после огневого воздействия пожара на них.

Это снижает точность определения остаточной прочности железобетонных элементов после пожара. При расчетах остаточной несущей способности железобетонных элементов сечение элемента разделяют на полосы толщиной, в зависимости от размеров сечения элемента, 50...100 мм. Расчетное сопротивление бетона определяется путем умножения расчетного сопротивления неповрежденного бетона на понижающие коэффициенты, вычисляемые по таблицам и графикам. При нагреве бетона свыше 500 °С его сопротивление сжатию и сопротивление арматуры, расположенной в нем, принимаются равными нулю. Растянутую арматуру класса А-240, А-300, А-400 и А-500, нагретая до температуры выше 600 °С, также не учитывают в расчетах.

Расчетное сопротивление сжатию слоёв бетона, повреждённых огнём, после охлаждения можно определить по формуле

$$R_{b1}^{\circ} = \gamma_{b1}^{\circ} \cdot R_b.$$

где γ_{b1}° – коэффициент снижения расчетного сопротивления бетона сжатию после охлаждения в зависимости от температуры нагрева.

Расчетное сопротивление при растяжении слоёв бетона, повреждённых огнём, определяется по формуле

$$R_{bt.1}^{\circ} = \gamma_{bt.1}^{\circ} \cdot R_{bt}.$$

где $\gamma_{bt.1}^{\circ} = \gamma_{b1}^{\circ} - 0,2(1 + 0,1t)$; t – температура нагрева бетона.

Начальный модуль упругости бетона, подвергавшегося нагреву и последующему охлаждению, определяют по формуле:

$$E_{b1}^{\circ} = \beta_b \cdot E_b,$$

где $\beta_b = 1 - kt$ – коэффициент снижения модуля упругости бетона.

Значение k для тяжёлого бетона равно $0,17 \cdot 10^{-2}$, для керамзитобетона $0,10 \cdot 10^{-2}$. Снижение модуля упругости бетона при нагреве необратимо после охлаждения.

При нагреве бетона свыше 500 °С модуль упругости не учитывается в расчетах прочности и деформативности конструкции. Значения расчетного сопротивления арматуры растяжению при нагреве и последующем охлаждении определяются по формуле:

$$R_{s1}^{\circ} = \gamma_{s1}^{\circ} \cdot R_s.$$

где γ_{s1}° – коэффициент снижения расчетного сопротивления арматуры растяжению в зависимости от температуры нагрева.

Для арматурной стали классов А-240, А-300, А-400, расположенной в растянутой зоне, при размере меньшей стороны сечения элемента более 300 мм и температуре нагрева арматуры до 500 °С, и размере меньшей стороны сечения элемента менее 300 мм, и температуре нагрева до 600 °С $\gamma_{s1}^{\circ} = 1$.

При меньшем размере стороны сечения элемента более 300 мм и температуре нагрева арматуры более 500 °С, и меньшем размере стороны сечения элемента менее 300 мм, и температуре нагрева арматуры более 600 °С $\gamma_{s1}^{\circ} = 0$.

Для арматурной стали класса А-500, А-600 при температуре нагрева арматуры до 400 °С, а при температуре нагрева арматуры более 400 °С $\gamma_{s1}^{\circ} = 0$.

Значение расчетного сопротивления арматуры сжатию можно определить по формуле:

$$R_{sc}^{\circ} = \gamma_{s1}^{\circ} \cdot \gamma_{s2}^{\circ} \cdot R_s.$$

где γ_{s2}° – коэффициент, учитывающий снижение сцепления арматуры с бетоном после нагрева и охлаждения.

Для стержневой гладкой горячекатаной арматуры $\gamma_{s2}^{\circ} = 1 - 0,001t$.

Для стержневой горячекатаной арматуры периодического профиля $\gamma_{s2}^{\circ} = 1 - 0,001(0,1 + 0,001t)$.

Модуль деформации арматурной стали после нагрева и последующего охлаждения принимается при $\gamma_{s1}^{\circ} = 1,0$, как для арматуры, не подвергшейся нагреву.

При учёте неравномерности распределения прочности бетона по толщине элемента, подвергнутого огневому воздействию пожара производится приведение неравномерно прогретых слоёв бетона к однородному материалу.

Коэффициент приведения частей (бетонных слоёв) сечения элемента, повреждённого огнём $\alpha_{bt,i}$, следует принимать бетона рассматриваемого слоя $R_{bt,1}^{\circ}$ к прочности основного слоя $R_{b,loc}^{\circ}$.

$$\alpha_{bti} = \frac{R_{bt1}^{\circ}}{R_{b,loc}^{\circ}}.$$

Для принятия решения по использованию конструкций, подвергшихся огневому воздействию при пожаре производят техническое обследование пострадавшего здания. Целью технического обследования является определение остаточной несущей способности поврежденных пожаром конструкций.

4.3.1 Пожар на Останкинской телебашне

Останкинская телевизионная башня была построена в 1967 г. по проекту гениального советского и российского ученого и инженера Н.В. Никитина. Высота башни — 533 м. Основная конструкция башни - пустотелая железобетонная коническая оболочка с сильно развитым основанием. Верхняя часть башни (с отметки 385 м) антенна в виде стальной телескопической трубы высотой 148 м.



Рисунок 75 Пожар на Останкинской телебашне

Толщина кольцевых стенок ствола башни — 350-400 мм. Толщина защитного слоя бетона у рабочей арматуры ствола башни составила 60 мм.

Во внутреннем пространстве железобетонной оболочки ствола (рис. 76) по высоте размещены инженерные коммуникации и вертикальный транспорт: четыре шахты лифтов, шахты силовых кабелей связи, радиотехнических фидеров, системы водопровода и водоотведения.

По всей высоте башни оболочка ствола башни обжата предварительно напряженной канатной арматурой, которая устанавливалась на специальных упорах у внутренней поверхности ствола. Эти напрягаемые канатные элементы были запроектированы открытыми и располагались внутри ствола башни на расстоянии 2-5 см от внутренней поверхности стенки ствола.

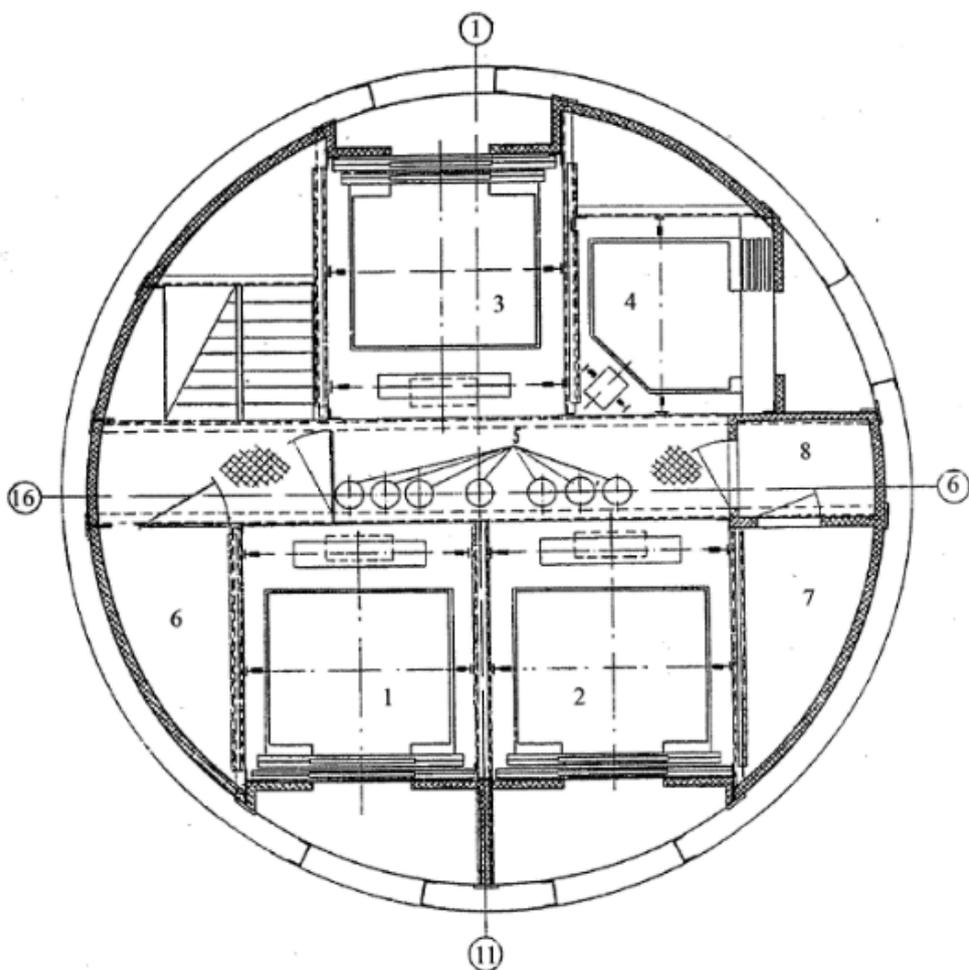


Рисунок 76 План ствола Останкинской телебашни: 1, 2, 3, 4 – лифты; 5 – радиотехнические фидеры; 6 – шахта кабельной связи; 7 – шахта кабелей; 8 – шахта сантехническая

Пожар на Останкинской телевизионной башне произошел 27-28 августа 2000 года. Пожар начался в районе отметок +454 ...+430 м антенной части башни (рис. 75).

Распространение огня происходило сверху вниз до отметки +80 м (рис.77).

На рис. 77 указаны значения температуры пожара и время ее действия по высоте пожара.

Во время пожара на Останкинской телевизионной башне специалистам, противопожарным службам и инженерам пришлось принимать решения по возникшей проблеме: потеряет башня свою устойчивость, произойдет прогрессирующее обрушение башни во время пожара или непосредственно после него или такой опасности нет?

От ответа на этот вопрос зависел целый комплекс весьма ответственных решений, в том числе о срочной эвакуации людей и зоны возможного падения обломков башни (рис. 78). Оценки специалистов по этому вопросу разделились, но в конце концов возобладало мнение, что башня устоит и прогрессирующего разрушения не должно произойти, то непростое решение оказалось правильным - прогрессирующего разрушения башни не произошло. Не произошло в результате правильных простых решений по обеспечению огнестойкости ствола башни.

Значение фактического предела огнестойкости ствола башни составляло более 180 мин по потере несущей способности. Этот предел огнестойкости ствола башни с запасом обеспечил необходимое сопротивление башни при воздействии реального пожара 27 августа 2000 г., температурный режим которого был более «мягкими по сравнению с режимом «стандартного» пожара.

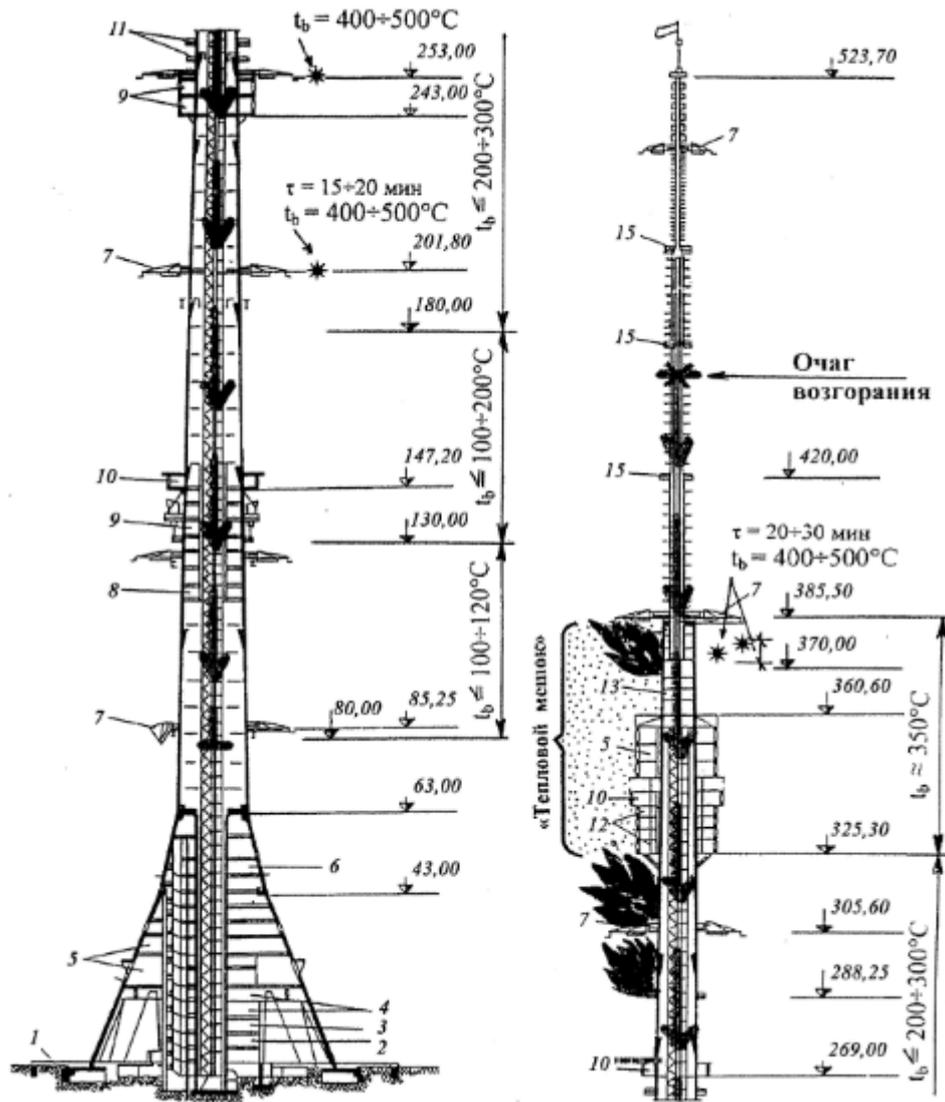


Рисунок 77 Схема распространения пожара внутри ствола Останкинской телевизионной башни: 1 - стилобат; 2 - зал заседаний; 3 - трансформаторная подстанция; 4 - технический этаж; 5 - передающие станции; 6 - кухня ресторана; 7, 8 - технические помещения; 9 - аппаратная; 10 - смотровой балкон; 11 - балкон для установки приемных антенн; 12 - ресторан; 13- машинные отделения лифтов; 14 - лаборатория; 15 - заградительные огни; τ - длительность воздействия огня; t_b - температура на поверхности бетона, \rightarrow - направление распространения пожара

Именно огнестойкость ствола башни обеспечила конструктивную целостность этого сооружения при воздействии пожара 27 августа 2000 г.

Форма оболочки ствола башни позволила продолжить эксплуатацию башни до восстановления большинства предварительно напряженных канатов внутри ствола, которые утратили при пожаре свое функциональное назначение.

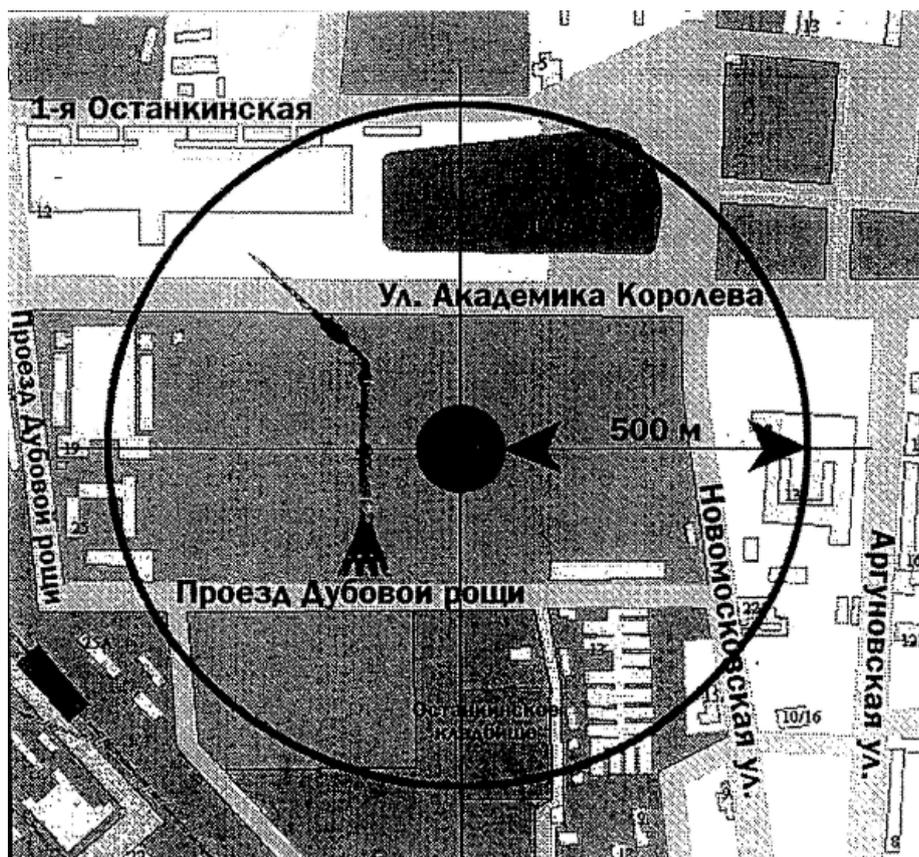


Рисунок 78 Зона возможного падения обломков в случае утраты устойчивости Останкинской телевизионной башни при пожаре 27 августа 2000 г.

4.3.2 «Хромая лошадь»

Пожар в клубе «Хромая лошадь» — крупнейший по числу жертв пожар в постсоветской России, произошедший 5 декабря 2009 года в ночном клубе «Хромая лошадь» в Перми по адресу: улица Куйбышева, дом 9, и повлекший смерть 156 человек.

Согласно основной версии, возгоранию способствовала небольшая высота потолка и имевшийся на нём декор из ивовых прутьев и холста. Ударившие в потолок искры привели к его возгоранию. Быстрому распространению огня способствовали использованный вопреки строительным нормам пенопласт (из-за жалоб жителей дома клуб решили звукоизолировать, хотя пенопласт не служит звукоизоляционным материалом и должен применяться только внутри конструкции), пластиковая отделка стен, а также скопившаяся на потолке пыль и высокая температура воздуха в помещении. К часу ночи она уже была выше 30 градусов. Так же следует обратить внимание, что сам потолок был пропитан огнезащитными веществами и от пожара практически не пострадал. Зато загорелся пенополистирол, а «его горение сравнимо с напалмом, при возгорании огонь буквально лился сверху на людей», отмечал один из следователей этого дела.



Рисунок 79 Клуб «Хромая лошадь» после пожара



Рисунок 80 Спустя 3 года после пожара в «Хромой лошади»

Главной причиной массовой гибели стала незаконная реконструкция здания, а не пиротехника, считает пермский губернатор Чиркунов О. А. В интервью «Известиям» он сказал, что пиротехника – это причина пожара, а не гибели людей.

Чиркунов считает, что люди погибли из-за незаконной реконструкции, которая стала результатом попустительства чиновников. Люди погибли потому, что «оказались заперты в ловушке, потому что из-за незаконной реконструкции здания пути эвакуации были перекрыты», сказал он.



Рисунок 81 «Хромая лошадь» спустя 3 года

Чиркунов рассказал, что в 2001 году был согласован проект реконструкции помещения магазина под кафе, причем число посетителей не должно было превышать 50 человек. Проект предусматривал, что по фасаду здания будут расположены несколько огромных окон-витражей, предназначенных для эвакуации людей в случае пожара. Позже в документах появилось два свидетельства БТИ, согласно которым площадь помещения составляла 460 кв. метров и в которых говорилось о наличии витражей. Однако уже после пожара выяснилось, что фактическая площадь составляет 666,9 кв. метров.

«Это означает, что после 2003 года там была построена глухая стена вдоль фасада, которая присоединила к зданию еще 200 метров, – полагает Чиркунов. – Арендная плата за них в государственный бюджет не поступала. Но главное, что эта же стена перегородила аварийные выходы. Скорее всего, на рубеже 2003-04 годов была проведена незаконная реконструкция, а чиновники, отвечавшие за сдачу объекта в эксплуатацию, скрывали информацию».

Эксперты считают - трагедии можно было избежать. Бесспорно, случившееся - результат целого ряда грубейших нарушений техники безопасности. Тем не менее поборники безопасного строительства призывают к применению безопасных материалов - уже на стадии проектирования. Пусть использование безопасных материалов будет главным правилом пассивной безопасности.

4.4 Воздушные катаклизмы

Многим современным сооружениям, обладающим большой гибкостью, легкостью, низкими частотами собственных колебаний и весьма малым демпфированием, свойственна высокая чувствительность к непрямым воздействиям. Для их оценки важное значение имеет информация о ветровом режиме местности, где расположено сооружение. Действующие

нормативные документы не содержат исчерпывающих указаний по оценке прочностных параметров сооружений, чувствительных к действию ветровых нагрузок.

Высотные сооружения типа башен, мачт с оттяжками, труб и протяженные типа мостов, ЛЭП и т.п. по своим динамическим и геометрическим характеристикам могут быть объединены в один класс линейно-протяженных сооружений. Специфическими особенностями, общими для этого класса сооружений, являются большие периоды собственных колебаний и значительные размеры, соизмеримые с масштабами турбулентных вихрей в атмосфере. Указаний действующих нормативных документов по расчету подобных сооружений явно недостаточно.

Наибольшей энергией обладают такие крупномасштабные атмосферные явления, как тропические циклоны, возникающие над океаном по обе стороны от экватора за счет тяги перегретого и влажного воздуха в верхние холодные слои атмосферы и вращения образовавшейся атмосферной воронки. Тропические циклоны, называемые ураганами в Атлантике, тайфунами - у берегов Китая и Японии, вилли-вилли — в Австралии, бегвизами — на Филиппинах, обычно перемещаются со скоростью от 5 до 50 км/ час. Резкий перепад между давлениями в центре и по краям воронки диаметром 200-800 км. и высотой порядка 10 км вызывает ветер с огромной скоростью, которая может даже превышать 60...70 м/с, что приводит к катастрофическим последствиям. Так, при урагане “Ида” в западной части Тихого океана в сентябре 1958 года была достигнута скорость 113 м/с.

В средних широтах на границе различно нагретых воздушных масс, т. е. на теплом или холодном фронте, за счет перепада давлений возникает такое синоптическое атмосферное движение, как внетропический циклон, охватывающий огромную территорию иногда до 3000 км в диаметре. При этом по краям такого циклона дуют сильные ветры, которые могут усиливаться до шторма. В основном внетропические циклоны, характерные для средних широт Евразии, движутся с запада на восток со скоростью порядка 20 км/час летом и 50 км/час зимой.

В общей циркуляции роль мелкомасштабных местных ветров незначительна, однако их интенсивность может быть велика. К таким ветрам относится фён, возникающий во многих горных районах в результате пересечения воздушным потоком горного хребта и уплотнения и разогрева воздуха при падении с гор в долины. Известны такие теплые ветры типа фёна, как афганец в Средней Азии, бахрок — на о.Суматра, сирокко - в Италии, солано - в Испании, чинук - в Скалистых горах США и т.д. В местностях, где крутые склоны отделяют массы воздуха, в более теплую область могут проникать чрезвычайно сильные холодные ветры. Примерами таких ветров могут служить борё на Мархотском перевале под Новороссийском продолжительностью в несколько суток, движущийся со скоростью в порывах до 60 - 70 м/с., а также на Новой Земле (40 - 50 м/с). Аналогичны холодный норд в Баку (20 - 30 м/с) и сильный местный ветер сарма на Байкале. Усиление ветра типа боры может происходить за счет эффекта струйных течений, связанных с влиянием рельефа местности, как, например, ветер мистраль в долине реки Роны на юге Франции.

Во время грозы при встрече холодных и теплых масс воздуха возникает сильный кратковременный (длительностью до 30 мин) ветер-шквал, движущийся со скоростью в порыве порядка 30 м/с и идущий узкой полосой от 200 м. и до 6 км.

Весьма большой энергией могут обладать торнадо - вихри диаметром 300 м с вертикальной или крутонаклонной осью, перемещающиеся по траектории длиной до 15 км.

При этом максимальные значения тангенциальных скоростей могут превышать 100 м/с (по некоторым данным могут достигать до 300 м/с). Несмотря на высокий уровень воздействия торнадо, их учет в строительных нормах обычно не предусматривается из-за малой вероятности появления в данной местности.

Из других местных ветров известны песчаные бури-самумы в пустынях Северной Африки и средней Азии, связанные или с проходящим циклоном, или с небольшим местным циклоном, возникающим при подъеме сильно нагретого воздуха и перемещении с большой скоростью на его место более плотного холодного воздуха из соседних районов.

При проектировании сооружений наибольший интерес представляют нагрузки, возникающие при сильных ветрах в пределах пограничного слоя атмосферы, где механическая турбулентность вызывает нейтральную стратификацию. При этом основные характеристики ветрового потока получаются, главным образом, для условий внетропических циклонов.

Давление ветра на сооружение принято разделять на среднюю (статическую) и пульсационную составляющие, вызываемые соответствующими составляющими скорости ветра. Для каждой точки пространства вводится понятие средней скорости, получаемой путем осреднения истинной скорости в интервале времени от 10 мин до 1 часа. Выбор времени осреднением обусловлен данными наблюдения, согласно которым в обобщенном спектре скоростей Ван Дер Ховена существует «провал», разделяющий синоптическую (низкочастотную) и турбулентную (высокочастотную) области в интервале периодов от нескольких минут до нескольких часов.

На основе анализа скоростей ветра на стандартной высоте анемометра (10 м) в условиях незащищенной местности по данным сети метеостанций бывшего СССР разработаны карты средних скоростей ветра различной обеспеченности. Нормативное давление ветра соответствует средней скорости v_0 , превышаемой в среднем один раз в пять лет, при 10-минутном осреднении. Расчетное давление ветра определяется путем умножения нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке γ_f , принятая в СНиП 2.01.07-85 его величина $\gamma_f = 1,4$ соответствует повторяемости ветра примерно один раз в 40 – 50 лет. Для ответственных сооружений с большим сроком службы значение этого коэффициента подлежит уточнению с учетом увеличения среднего интервала повторяемости скорости ветра.

Распределение скоростей ветра по высоте $v(z)$ характеризуется вертикальным профилем, обычно описываемым степенным законом с показателем α , зависящим от типа местности. В СНиП 2.01.07-85 приняты три типа местности с показателями $\alpha = 0,15; 0,2; 0,25$. В настоящее время зарубежными метеорологами для описания профилей средних скоростей ветра в нижних слоях атмосферы лучшим считается логарифмический закон.

4.4.1 Ураган «Катрина»

Ураган «Катрина» (англ. *Hurricane Katrina*) — самый разрушительный ураган в истории США. Это был ураган 5 категории по шкале ураганов Саффира-Симпсона, шестой по силе ураган Атлантического бассейна за всю историю наблюдений. Произошёл в конце августа 2005 года. Наиболее тяжёлый ущерб был причинён Новому Орлеану в Луизиане, где под водой оказалось около 80 % площади города. В результате стихийного бедствия погибли 1836 жителей, экономический ущерб составил \$125 млрд (оценка 2007).

За несколько дней, разрушая все на своем пути, он прокатился по побережью *Флориды, Мексиканскому заливу* и штату Луизиана. Главный город штата *Луизиана -Новый Орлеан* был затоплен, разрушены и затоплены населенные пункты в прибрежных районах Луизианы, Миссисипи и Алабамы. Более 1000 человек погибло. Катрина - одиннадцатый по счету "именной" ураган крайне тяжелого в **2005** году атлантического сезона. К примеру, согласно статистике, среднее число "назывных" ураганов за последние 60 лет не превышало десять.

25.08.2005 г.

Шторм Катрина начал образовываться в районе Багамских островов. Он быстро продвинулся на север и окреп до силы тропического урагана.

Побережья ураган достиг **23 августа** со скоростью 80 миль в час. Ожидалось, что мощность Катрины усилится, однако метеорологи сообщили, что скорость ветра снизилась до семидесяти миль в час.

Потом тропический шторм "Катрина" вновь окреп до уровня урагана небольшой мощности. **25 августа** Национальный центр слежения за ураганами в Майями присвоил урагану "Катрина" первую - низшую категорию силы по принятой в США пятибалльной шкале. Из-за приближения тропического урагана "Катрина" к восточному побережью штата Флорида (США) в аэропортах Майями и Форт-Лаудердейл на ближайшие сутки были отменены все пассажирские авиарейсы. По прогнозам синоптиков основной удар "Катрины" должен был прийти поздно вечером **25 августа** или утром **26-ого** по местному времени на побережье Флориды в районе Майями протяженностью 260 километров, где еще **24 ноября** вечером было распространено официальное штормовое предупреждение. В этом районе живет около пяти миллионов человек. Губернатор Флориды, объявил чрезвычайное положение на всей территории штата. В тот момент скорость ветра в эпицентре "Катрины" составляла 75 миль в час, затем выросла до 120 км/час.

В тот период ураган «Катрина» двигался «относительно медленно», поэтому ему и присвоили тогда только низшую первую категорию.

26.08.2005 г.

Катрина обрушилась на плотно заселенный участок побережья между населенными пунктами Халландэйл-бич и Норт-Майями-бич. В зоне действия урагана порывы ветра достигали 130 км/ч, а высота волн доходит до 4,5 метров. Шквальный ветер рвал линии электропередач.

По данным энергетической компании штата, без света остались более 700 (1000 и более по другим данным) тыс. человек. Ураган обрушил также и строящуюся на флоридском шоссе-836 эстакаду к западу от Майями.



Рисунок 82 Ураган «Катрина»

Ураган достиг теплых вод Мексиканского залива утром **26 ноября**. К двум часам по времени восточного побережья США, центр Катрины располагался прямо над Заливом в сорока милях к юго-западу от островов Марко и в шестидесяти милях к северо-востоку от Key West.

Долгосрочный мониторинг из Национального центра ураганов показал, что второй раз Катрина должна была настичь побережья **27 августа** вечером и рано утром **30 августа**. "Мы крайне озабочены тем, что ураган движется глубоко в Мексиканский залив", - признавался Макс Мэйфилд, директор центра.

По колено в воде - так выглядел Майами, один из крупнейших морских портов Флориды. Ураган Катрина бушевал тогда уже в районе Мексиканского залива. Были затоплены улицы города, повсюду - снесенные штормом деревья и дорожные знаки.

27.08.2005 г.

Власти нескольких юго-восточных штатов США объявили штормовое предупреждение в связи с приближением урагана «Катарина».



Рисунок 83 Волны разбиваются о корабль, который выбросило на шоссе 80 во время урагана Катрина 29 августа 2005 года в Галфпорте, штат Миссисипи. (AP / John Bazemore)

Специалисты из Национального центра по наблюдению за ураганами в Майами /штат Флорида/ сообщили, что ураган за минувшую ночь, проходя над Мексиканским заливом, значительно окреп, и теперь ученые присвоили ему третью категорию опасности по пятибалльной шкале. Сила ветра "Катрины" достигала тогда 185 км/ч. Эпицентр урагана, который продолжал движение в западном направлении со скоростью около 11 км/ч, находился тогда примерно в 350 км к западу от Ки-Уэста. А многие районы Флориды по-прежнему в воде. Как ожидали эксперты, "Катрина" должна была снова ударить по территории США на участке между штатами Луизиана и Флорида.

28.08.2005 г.

Мэр главного города американского штата Луизиана Нового Орлеана, расположенного ниже уровня моря и с населением в полмиллиона человек, Рэй Нэджин отдал приказ о принудительной эвакуации жителей в связи с надвигающимся ураганом "Катрина", которому была присвоена уже 5-я, наивысшая категория. Сила ветра в центре урагана достигла 260-280 км в час.

По данным метеорологов, на пути "Катрины" также должны были оказаться штаты Миссисипи, Флорида, Алабама и Луизиана. Здесь тоже было объявлено чрезвычайное положение.

29.08.05 г.

«Катрина» несколько изменила свой курс и взяла чуть восточнее той траектории, которую ей начертили ученые. В результате главный удар пришелся не на Новый Орлеан, а на прибрежные районы штатов Луизиана и Миссисипи.



Рисунок 84 Разорванный американский флаг развивается перед пострадавшим от урагана Катрина отелем «Hyatt Hotel» в Новом Орлеане 29 августа 2005 года. (AP / Bill Haber)

Во время урагана ветер сорвал фрагменты крыши с крупнейшего стадиона Superdome. В кровле образовались два сквозных отверстия, через которые лилась вода. Национальная служба погоды США, следящая за продвижением урагана "Катрина", сообщила о "тотальных структурных разрушениях" в ряде городских кварталов Нового Орлеана (штат Луизиана). Многие здания в городе лишились крыш и стекол, улицы усыпаны обломками. В районе порта было отмечено сильное наводнение. В районе Территаун в Новом Орлеане на улице Райт-авеню из-за урагана "Катрина" рухнул многоквартирный жилой дом, в котором находились люди. Без света остались более 400 тыс. семей.

Произошло прорыв защитной дамбы в районе "Промышленного канала" на улице Тенесси, что привело к наводнению в этом районе.

Высота волн, которые принесла с собой "Катрина", достигала в некоторых районах города 8,5 метра. Из-за отсутствия электричества встали все насосные станции.

Эпицентр урагана начал продвигаться в сторону города Билокси (штат Миссисипи), в который уже была прекращена подача электроэнергии. Теперь от него почти ничего не осталось. На город обрушилась 9-метровая волна, говорят очевидцы. Вода, глубина которой в некоторых местах достигает шести-семи метров, затопила прибрежные районы Луизианы, Миссисипи и Алабамы на семь-десять километров от обычной береговой линии. Спасатели и

национальные гвардейцы при помощи вертолетов снимали с крыш домов тех, кто не успел вовремя эвакуироваться из района бедствия. Во время урагана "Катрина" нефтяная платформа, располагавшаяся в районе бухты Мобайл, штат Алабама, сорвалась с якоря и врезалась в мост. Еще две платформы дрейфовали в Мексиканском заливе.

30.08.2005 г.

Ураган существенно ослаб, превратился в циклон, сопровождаемый тропическими дождями, и передвигается в направлении центральных и северных штатов.

В Новый Орлеан были вызваны войска национальной гвардии и отряды военной полиции для содействия в поисково-спасательных работах и обеспечения безопасности в районах, где продолжала медленно прибывать вода. На следующий день после урагана "Катрина" обрушилась плотина на канале Нового Орлеана. В результате потоки воды из озера Понтчартрен хлынули на улицы города. Власти начали укреплять защитные дамбы, через трещины в которых все время прибывала вода. 80% территории Нового Орлеана было все еще затоплено водой, которая в ряде мест стояла на уровне 7 метров. В городе в результате урагана рухнули по меньшей мере 30 зданий, не было ни электричества, ни питьевой воды, заканчивались запасы продовольствия. В некоторых районах были видны клубы дыма. Во всех пострадавших районах разрушены системы водопроводов и канализации, на линиях электропередачи - аварии. По оценкам экспертов, ущерб от урагана может достигнуть 25 миллиардов долларов.



Рисунок 85 Затопленная часть Нового Орлеана 30 августа 2005 года. (AP / David J. Phillip)

Официальное число погибших на юго-востоке США в результате тропического урагана "Катрина" составило в общей сложности 1836 человек. Об этом сообщили федеральные власти. Наибольшее число погибших - 923 человека - в штате Луизиана, который пострадал

от урагана больше всего. В штате Миссисипи зарегистрировано 218 погибших и еще 19 человек стали жертвами стихии в штатах Флорида, Алабама, Джорджия и Теннесси.



Рисунок 86 Руины в Лэйквью Дистрикт – в разрушенном районе для среднего рабочего класса, расположенным сразу за восточной частью улицы 17th Street Canal в Новом Орлеане 22 сентября 2005 года. (AFP/ Getty Images / Robyn Beck)

4.5 Терроризм

В последние годы в мире нарастает опасность террористических актов, происходит расширение географии и масштабов терроризма.

Террористы обычно преследуют политические, религиозные, националистические, корыстные или другие цели и направлены на устрашение людей, общества, органов власти. При терактах обычно гибнут ни в чем не повинные люди, наносится социальный, материальный или экологический ущерб.

В отличие от ЧС техногенного и природного происхождения террористические акты относятся к ЧС, вызванным преднамеренными противоправными действиями со злым умыслом различных преступных группировок или лиц. Потому такие ЧС нельзя отнести к случайным событиям, но прогноз их возможен. Эти события прогнозируются с помощью информации, получаемой по разным каналам, в том числе агентурным, а также игровыми методами (как антогонистические игры с нулевой суммой).

В 1998 г. принят закон "О борьбе с терроризмом", возложивший на органы МВД РФ задачи по предупреждению, выявлению и пресечению преступлений террористического характера. Однако, помимо силовых мер противодействия терроризму, предполагается использовать различные технические, организационные и режимные мероприятия и правила.

Объектами терактов обычно являются потенциально опасные производства, места скопления людей (особенно в замкнутых пространствах), транспортные объекты, общественные и административные здания, а также — многоэтажные жилые дома.

В качестве средств террора могут использоваться взрывные устройства, горючие смеси, сильнодействующие ядовитые вещества (СДЯВ), отравляющие, радиоактивные вещества и бактериальные аэрозоли. При этом взрывные устройства могут быть замаскированы под различные бытовые изделия.

Результатом теракта может быть взрыв, пожар, заражение территории, воздуха, воды или продовольствия, эпидемии и т.д.

Известны теракты, совершенные без использования специальных средств, а путем умышленного высвобождения энергетического потенциала или активного компонента из существующих энергосетей (например, газопроводов) или емкостей-хранилищ химически опасных веществ.

Технические и конструктивные меры по противодействию терактам в зданиях целесообразно предусматривать еще на стадии его проектирования, т.к. в уже существующих зданиях выполнить эти мероприятия сложнее.

При рассмотрении комплекса мер по антитеррору исходят из следующих общих принципов:

- выявления наиболее уязвимых мест в здании и его системах жизнеобеспечения, ограничения или полного исключения доступа посторонних лиц к этим местам;
- применения в системах жизнеобеспечения зданий оборудования, оснащенного элементами безопасности, исключающими несанкционированный запуск (останов) или преднамеренное повреждение оборудования;
- обеспечения наблюдения (мониторинга) и контроля за ситуацией внутри здания и снаружи;
- применения современных средств и систем распознавания наличия опасностей и угроз;
- использования средств автоматической защиты, обеспечивающих срабатывание соответствующих агрегатов и устройств при распознавании опасностей;
- наличия аварийного источника электроснабжения, а также системы сигнализации и оповещения людей о возникших опасностях;
- наличия разработанных инструкций поведения людей при экстремальных ситуациях.

Каждый объект, представляющий интерес для террористов, имеет некие уязвимые места. В жилых и общественных зданиях это подвалы, лифтовые шахты, технические этажи, воздухозаборы систем вентиляции.

Например, наиболее уязвимыми при химическом или биологическом терроризме являются системы приточной вентиляции и центрального кондиционирования воздуха, а также крыши лифтовых кабин. В первом случае опасные вещества в виде газа или аэрозолей, попавшие в воздухозаборное устройство, распространяются по сети воздуховодов в помещения с большой скоростью, во втором - при движении лифта создается мощный воздушный поток и вещество распространяется по этажам, затем проникает в помещения.

При заражении наружного (атмосферного) воздуха целесообразно внутри здания предусматривать возможность создания подпора (избыточного давления) с помощью системы приточной вентиляции (при условии, что воздухозаборное устройство находится вне зоны заражения).

В целом, для снижения результативности терракта с использованием систем вентиляции и кондиционирования здания следует при их проектировании учитывать следующие требования:

- размещать воздухозаборы в сравнительно труднодоступных и скрытых для посторонних лиц местах и оснащать их прочными решетками; обеспечить нормативную или повышенную герметичность сети воздухопроводов (согласно СНиП), устройство байпасов и оснащение участков сети заслонками с автоматическим приводом для отключения зараженных участков и изменения направления воздушных потоков;
- предусмотреть систему датчиков для обнаружения токсичных веществ вблизи воздухозабора, на выходе из вентиляторов, на входе и выходе из центрального кондиционера;
- обеспечить контроль доступа в технические этажи здания, к просмотровым люкам, вентиляторам, фильтрам, насосам, оросительным камерам, электропитающим устройствам и т.д.
- при интегрировании всех систем жизнеобеспечения здания в единую диспетчерскую компьютерную систему, что характерно для "интеллектуальных" зданий, помимо аварийного электропитания данной системы, предусматривать информационную защиту компьютерных программ от несанкционированного доступа и попыток взлома по телефонной линии или из Интернета.

В настоящее время одной из актуальных задач, касающихся защитных технологий, является создание эффективных и недорогих средств обнаружения в воздухе широкого спектра химических и биологических веществ, а также способов их нейтрализации.

4.5.1 Прогрессирующее обрушение

В своей первоначальной идеологии метод расчетных предельных состояний не ориентировался на анализ аварийных ситуаций, которые считались запредельными и исключались из рассмотрения на том основании, что предельные состояния первой группы предшествуют аварии и их недопущение по идее препятствует появлению аварии.

Внедрение двухуровневого подхода к проектированию сейсмостойких сооружений, а также анализ фактических причин аварийности поколебали эту парадигму. В частности, в последнее время четко проявилась тенденция проектирования с защитой от прогрессирующего разрушения. Термин «прогрессирующее обрушение» и формулировка проблемы защиты от него панельных зданий появился в 1968 году в докладе комиссии, расследовавшей причины известной аварии 22-этажного жилого дома Ronan Point в Лондоне. Это драматическое событие началось с взрыва газа в одной из квартир на 18-м этаже, вызванного утечкой в газовой плите. Наружные панели здания были запроектированы, чтобы выдержать только давления ветра, и после разрушения на одном этаже была потеряна возможность передачи вертикальной нагрузки от верхних этажей. Обломки из перекрытий с 18 до 22 этажа упали на перекрытие 17 этажа, что породило цепочку отказов перекрытий, поскольку нагрузка обломков превысила грузоподъемность одного перекрытия. Результатом было то, что разрушился целый угол здания выше и ниже места взрыва.

В здании Ronan Point были выполнены все строительные нормы и правила, и было установлено отсутствие производственных дефектов. Но прогрессирующее обрушение было неизбежным, поскольку схема конструкции была аналогична карточному домику, то есть она не имела никакой возможности перераспределить нагрузку на отдельные подсистемы и тем самым локализовать отказ.

Новую волну активности вызвали обрушения, вызванные террористическими атаками на высотное здание в Оклахома-Сити и на башни Центра мировой торговли в Нью-Йорке, а у нас - разрушение покрытия над аквапарком в Москве. Многочисленные публичные выступления, зачастую неквалифицированные, породили слухи, сомнения и нереальные требования. Даже в публикациях профессионалов встречаются ссылки на некоторые мифы, относящиеся к якобы абсолютной живучести сооружений старой проектировки, в которых могут находиться люди, или же, наоборот, к полному пренебрежению возможностью появления аварийной ситуации и необходимости абсолютной гарантии неразрушимости объектов.

Нормативные документы по проектированию несущих конструкций в явной форме практически не говорят ничего о необходимости проведения проверки конструкций на живучесть, т. е. о необходимости отслеживать ситуацию после отказа какой-нибудь из частей или подсистем несущего каркаса. Правда, обычно нормы содержат ссылку на ГОСТ 27751-88, где в пункте 1.10 сказано, что при расчете конструкций должна рассматриваться аварийная расчетная ситуация, возникающая непосредственно после отказа какого-либо элемента конструкции. Но сама ссылка уж очень неконкретна, да и формулировка ГОСТа неточна, поскольку вряд ли можно подразумевать, что проектировщик обязан обеспечить существование объекта после отказа любого элемента конструкции. Достаточно представить себе любое купольное покрытие с разрушенным опорным кольцом или мост с разрушившейся опорой, чтобы потребовать закрытия практически всех храмов и прекращения движения по всем мостам.

Очевидно, что для некоторых конструкций живучесть должна достигаться одновременным использованием трех типов защиты: достаточным запасом несущей способности одних конструктивных элементов, исключением прогрессирующего разрушения вследствие отказа других конструктивных элементов и комплексом защитных антитеррористических мероприятий.

Очевидно, что требуется конкретизировать указание ГОСТ 27751-88, например, дополнив его требованием, чтобы формулировки отказных состояний содержались в нормах проектирования зданий и сооружений конкретного типа. По сути, так и поступают, например, при проектировании конструкций линий электропередачи, где в правилах указывается перечень аварийных режимов. Аналогична идеология проектирования объектом атомной энергетики, где, в частности, принципиально важным является использование таких понятий, как проектная и запроектная авария.

Защита зданий в аварийных проектных ситуациях должна быть предусмотрена заранее и определяется соответствующими нормами проектирования, для несущих элементов она реализуется, в частности, в форме создания необходимых запасов несущей способности, обеспечивающих недопущение разрушения. Защита зданий в запроектных ситуациях ориентирована не на недопущение разрушений, а на обеспечение безопасности людей и возможности их эвакуации, на реализацию необходимого для этого запаса времени и т. п.

Оценка возможности прогрессирующего разрушения и выработка мер его предотвращения ставит перед проектировщиками следующие нетрадиционные задачи:

- определение списка стартовых аварийных воздействий, вызывающих локальное разрушение;
- выработку методики расчета сложных многоэлементных конструкций на внезапное разрушение одного или нескольких несущих элементов;
- установление критериев выхода из строя несущих элементов, перегруженных в результате аварийного воздействия;
- выработку конструктивных мер защиты и смягчения последствий аварийного воздействия.

К научному решению многих из этих проблем и в особенности к их нормативному оформлению чаще всего еще и не приступали, хотя здесь и имеются некоторые пионерные разработки. Как показывает анализ чрезвычайных ситуаций, наиболее частыми исходными событиями, приводящими к запроектным авариям, являются локальные аварийные воздействия на отдельные конструкции одного здания: взрывы, пожары, карстовые провалы, наезды транспортных средств, дефекты конструкций и материалов, аварии инженерных систем здания, некомпетентная реконструкция и т. п. Это случайные, в общем случае непредсказуемые воздействия, параметры которых очень трудно определить.

Наши общестроительные нормы не приводят данные о значениях аварийных воздействий, такие сведения отрывочно присутствуют в нормативных документах другого типа. Представляется, что было бы полезным иметь нормативный документ, в котором приводились бы правила определения нагрузок для таких массовых ситуаций аварийного характера, как удары при наездах автотранспортных средств, падения грузов, промышленные взрывы и т. п. Данные о некоторых из нагрузок такого рода содержатся в главе Еврокода-1, многие из них традиционно учитываются при проектировании объектов атомной энергетики.

Было также предложено вместо реальных запроектных аварийных воздействий рассматривать их условные аналоги или уже вызванные ими локальные повреждения. В частности, рекомендации [23, 24] приводят следующий список таких исходных событий:

- образование карстовой воронки диаметром 6 м, расположенной в любом месте под фундаментом;
- повреждение перекрытия общей площадью до 40 м²;
- разрушение двух пересекающихся стен на участке от их сопряжения (в том числе и от угла) до ближайшего проема или до следующего пересечения, но на длине не более 3 м;
- разрушение любого из простенков наружной стены или внутренней стены между двумя дверными проемами;
- появление в пределах одного этажа горизонтальной нагрузки на вертикальные элементы (на стержнях сосредоточенная сила 3,5 т, на стенах и диафрагмах 1 т/м²).

Этот список косвенно указывает и на то, что небольшие строения, габариты которых сопоставимы с размерами «локальных» повреждений, не имеет смысла проверять на возможность прогрессирующего разрушения. Поэтому целесообразно установить некоторые критерии для отбора объектов анализа и здесь целесообразно иметь классификацию зданий и сооружений по таким признакам:

- объекты класса 1, при проектировании которых допускается не принимать во внимание возможность возникновения аварийных ситуаций;
- объекты класса 2, в которых все конструкции могут быть защищены от аварийных повреждений неконструктивными мерами охраны и поэтому их проверка на прогрессирующее разрушение является излишней;
- объекты класса 3, некоторые конструктивные элементы которых невозможно защитить от аварийных повреждений, что потребует проверки на прогрессирующее разрушение.

Естественно, что эта классификация не может быть инвариантной по отношению к списку исходных событий, поэтому, скорее всего, она должна быть представлена в нормах проектирования зданий и сооружений определенного типа. Там же, возможно, следует указывать список исходных ситуаций, которые могут породить процесс прогрессирующего разрушения.

Можно предполагать, что вероятность совпадения исходного события, инициирующего цепочку отказов, с экстремальными значениями временных нагрузок пренебрежимо мала. В частности, это положение нашло свое отражение в так называемом «принципе единичного отказа», которым используется в Общих положениях обеспечения безопасности атомных

станций (ОПБ-88/97), где декларируется, что можно ограничиться рассмотрением случаев только одного отказа технической системы или только одной ошибки персонала.

Но из малой вероятности реализации исходного события следует, что проверке подлежит поведение конструкции, на которую действуют только постоянные нагрузки и длительная часть временных, и важно оценивать относительный уровень загруженности конструкции именно в таком состоянии. Так, в производственных зданиях усилия в колоннах, вызванные постоянными и длительными нагрузками, редко превышают 15-20%, основной вклад в загруженность определяется действием нагрузок от мостовых кранов. Поэтому вывод колонны из строя (например, вследствие террористического акта) может и не привести к обрушению всего здания, поскольку пространственные развязки способны нести двадцатипроцентную нагрузку. В офисных, жилых и общественных зданиях усилия от собственного веса несущих и ограждающих конструкций, а также от действия длительной части полезных нагрузок составляют 70-80% от уровня несущей способности, и здесь уже трудно ожидать сохранения здания при выходе из строя какой-нибудь из основных колонн. Поэтому вызывают определенные сомнения слова из статьи [25] «В годы войны отступающие войска фашистов, пытаясь уничтожить наш промышленный потенциал, подрывали колонну громадного цеха, и, оглядываясь назад с удивлением видели, что он не падает... Сейчас с экранов телевизоров нас убеждают в том, что если одна колонна упадет, то и все здание обязано упасть. Если это так, то такое здание должно стоять вдали от людей с часовым у ворот, который никого бы и него не впускал, кроме авторов проекта».

4.5.2 События 11 сентября 2001 года в здании Пентагона

Назначение здания Пентагона — офисное. Площадь этажа – 122 600 м². Общая площадь здания - 613000 м².

Здание пятиэтажное, имеет форму пятиугольника (см. рис. 87). Внутри здание разделено на корпуса, образующие пять концентрических колец, обозначенных А-Е начиная с внутреннего кольца. В верхних трёх этажах кольца здания разделены световыми пространствами. Между вторым и третьим кольцами устроен проезд, известный как АЕ-проезд.

Конструктивная система здания, включая покрытие, выполнена из монолитных железобетонных конструкций. Бетон — обычный тяжёлый.

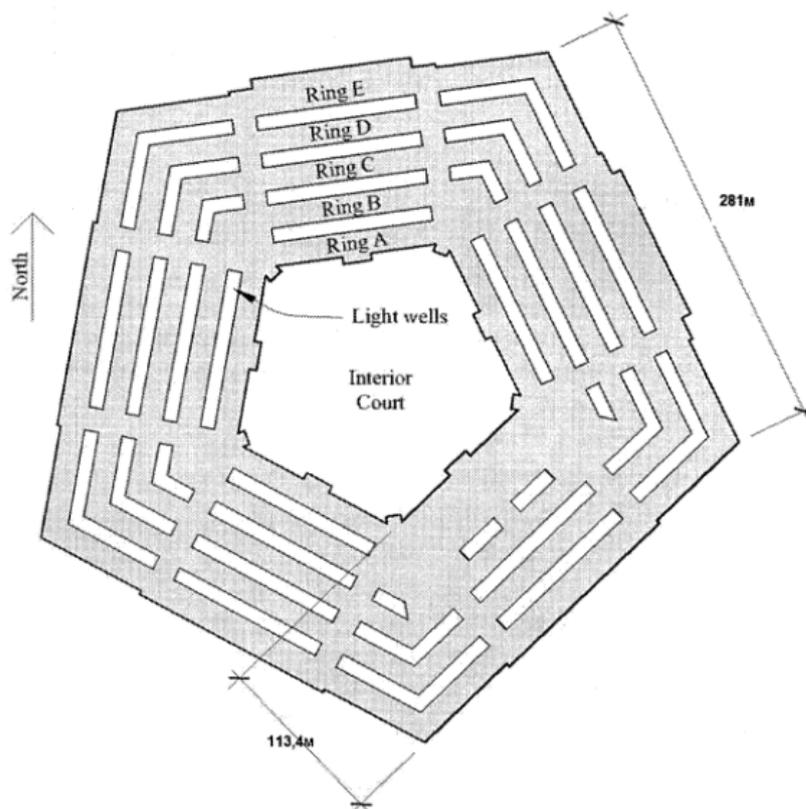


Рисунок 87 Общий план здания Пентагона

Высота здания — 19,74 м. Высота 1-го этажа - 4,30 м. Ширина наружного кольца «Е» здания — 18,288 м. Конструктивная схема — полный рамно-связевый каркас. Колонны 1-го этажа здания квадратные, сечением — 0,53×0,53 м со спиральным армированием (рис. 89).

Перекрытия состоят из плит, ригелей и системы балок, опирающихся на колонны. Монолитные балочные перекрытия выполнены с использованием главных и второстепенных балок.

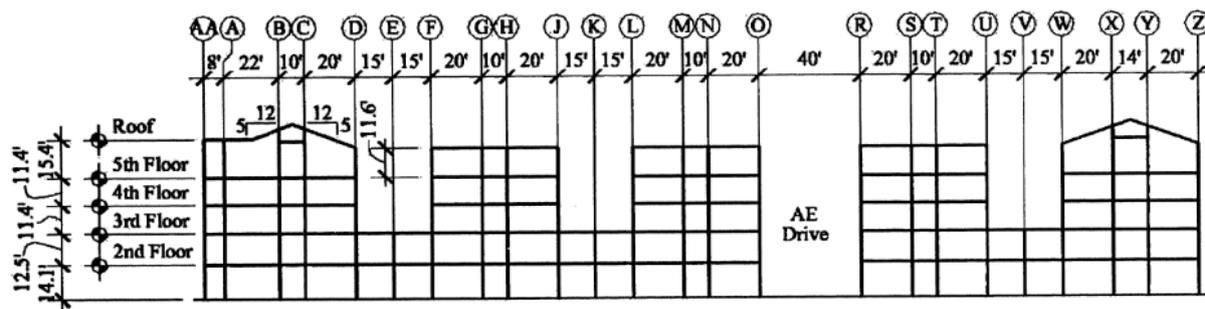


Рисунок 88 Поперечный разрез здания (для перевода футов в метры умножить на 0,3048)

Балки и плиты имеют двойное армирование в приопорных сечениях и одинарное армирование в пролётных сечениях. Растянутая арматура пролётных и приопорных сечений соединена наклонными стержнями.

Большая часть колонн — квадратного сечения, как показано на **рис. 5.12**. Размеры в целом изменяются от 0,53×0,53 м на первом этаже до 0,35×0,35 м на пятом этаже. Несущие колонны имеют спиральное армирование.

Длина колонн 1-го этажа — 4,3 м. Бетон тяжёлый на гранитном заполнителе.

Диаметр стержней продольной рабочей арматуры — 20 мм.

Предел огнестойкости такого рода колонн составляет более 180 мин по потере несущей способности (> R180).

Плиты перекрытия здания Пентагона железобетонные, монолитные, высотой сечения 140 мм, имеют двойное армирование в приопорных сечениях и одинарное армирование в пролётных сечениях (рис. 90). Растянутая арматура пролетных и приопорных сечений соединена наклонными стержнями. Плиты расположены по балкам сечением 0,35×0,51 м и длиной 3 м.

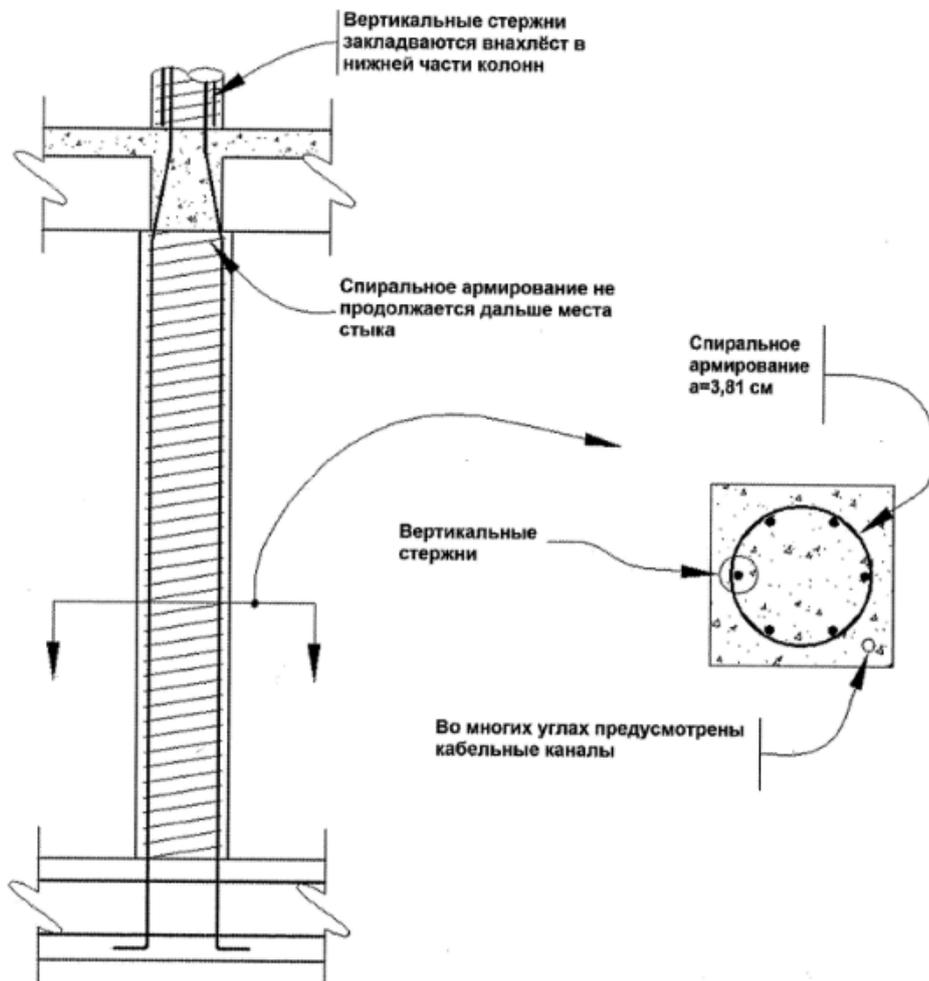


Рисунок 89 Железобетонная колонна наружного кольца здания Пентагона

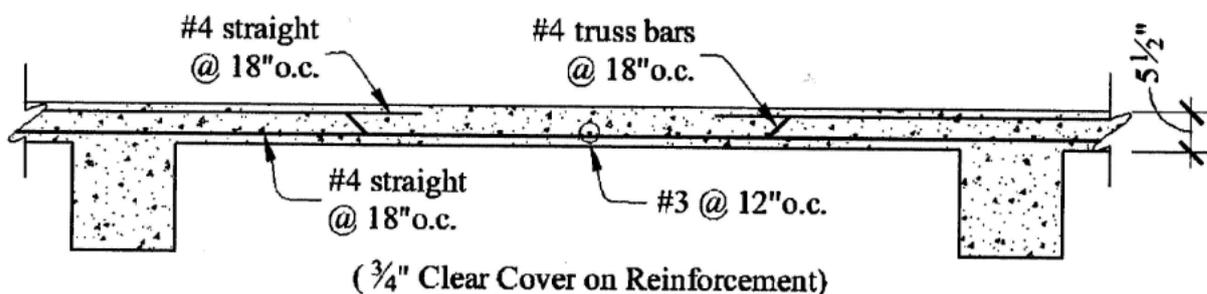


Рисунок 90 Конструкция плиты перекрытия здания Пентагона

Балки пролётом 3 или 6 м, иногда 4,6 м. Главная балка сечением 0,4×0,6 м перекрывает пролёт 6,1 м параллельно внешним стенам и служит опорой для второстепенной балки по середине.

Развитие событий 11 сентября 2001 г. в здании Пентагона

Самолет рейса 77 компании American Airlines 11 сентября 2001 г. в 8:20 вылетел из аэропорта Вашингтона в Лос-Анджелес. На его борту находилось 58 пассажиров и четыре члена экипажа. Приблизительно в 8:54 угонщики захватили самолет.

В 9:37 самолет рейса 77, двигающийся со скоростью 530 миль в час, столкнулся со зданием Пентагона. Погибли все находившиеся на борту самолета и большое количество гражданского и военного персонала Пентагона.

Согласно отчётам очевидцев и другой информации, Боинг-757 перед столкновением со зданием Пентагона, летел на очень маленькой высоте. На расстоянии приблизительно 97 м от западного фасада здания Пентагона он летел лишь в нескольких футах от земли. Удар самолета пришёлся в первый этаж здания, под углом приблизительно 42° к внешнему фасаду здания (рис. 91).

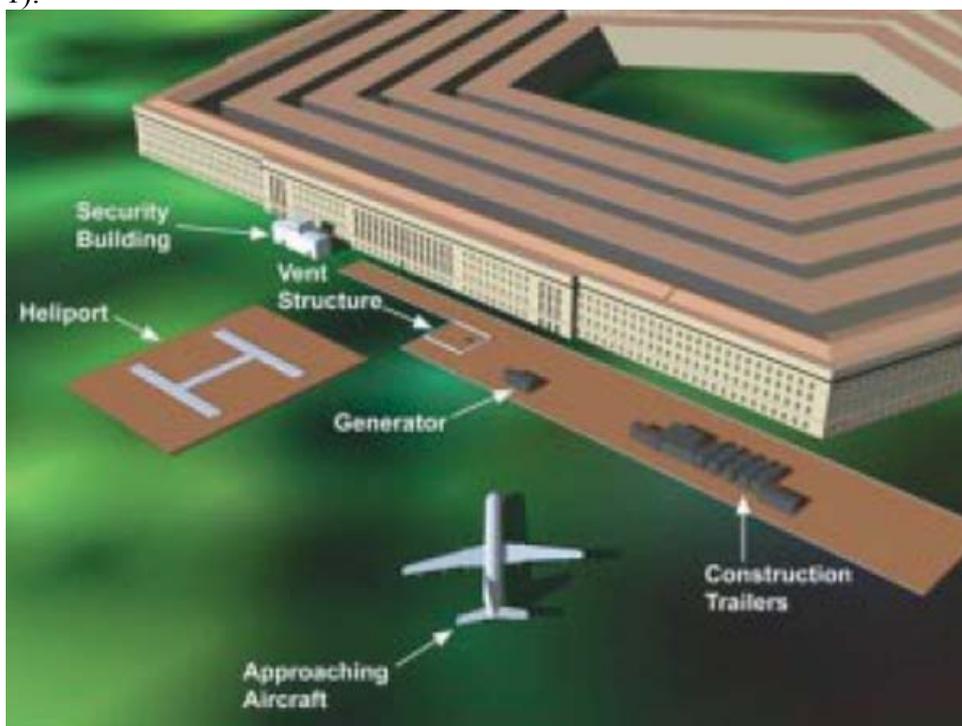


Рисунок 91 Направление движения самолета перед столкновением

Столкновение самолета с рассматриваемым зданием привело к возникновению и развитию ЧС в виде комбинированных особых воздействий типа «удар — взрыв — пожар».

Первое особое воздействие – удар самолёта – разрушило и повредило ряд конструктивных элементов 1-го этажа здания. Основной удар приняли на себя несущие элементы здания — железобетонные колонны.

Обломки самолета проникли внутрь здания (рис. 92). Из разрушенных баков самолета, размещенных в его крыльях, топливо было выброшено в зону удара внутри здания.

Это привело к возникновению вторюю особого воздействия на конструкции здания — взрыва смеси топлива с воздухом. Взрывом была разрушена и повреждена еще часть конструктивных элементов здания.

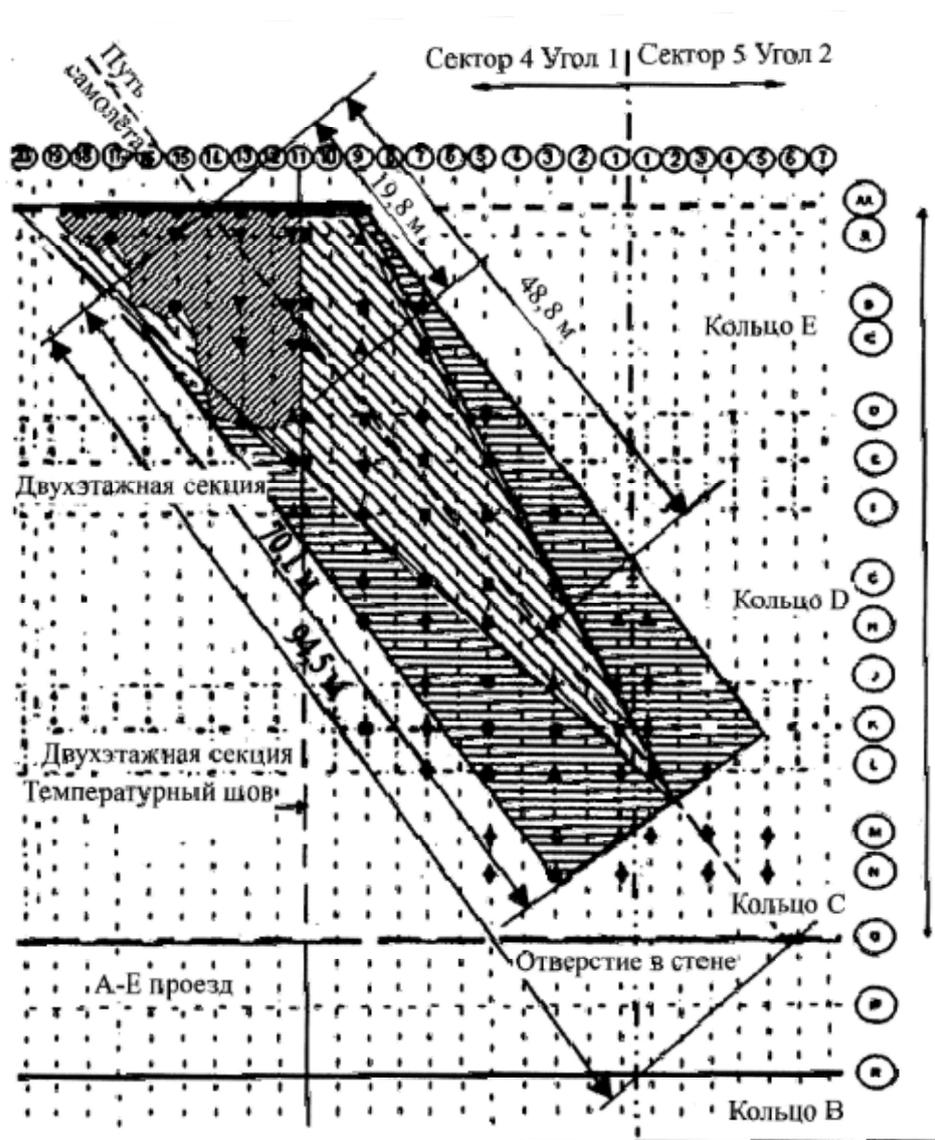


Рисунок 92 Схема повреждений конструкций здания Пентагона на пути движения обломков самолета после его столкновения со зданием

После удара и взрыва внутри здания, в зоне поражения, возникает и развивается третье особое воздействие - пожар. Огонь охватывает часть помещений на пути движения обломков самолета.

Здание Пентагона в первые минуты СНЕ⁴², несмотря на значительные повреждения конструкций в трех первых кольцах здания (рис. 92), в целом сохранило свою устойчивость.

Однако через 19 мин после начала комбинированного особого воздействия типа «удар — взрыв - пожар» произошло прогрессирующее обрушение наружного кольца здания Пентагона в зоне «СНЕ IEF⁴³» (рис. 94).

⁴² Комбинированное особое воздействие (СНЕ) – чрезвычайная ситуация, связанная с возникновением и развитием нескольких видов особых воздействий на объект в различных сочетаниях и последовательностях. В качестве аббревиатуры этого понятия используется английский вариант названия “combined hazardous effect” – СНЕ.

⁴³ Основные особые воздействия техногенного характера на строительные объекты: удар(I), взрыв(E), пожар(F) и т. д.



Рисунок 93 Вид фасада наружного кольца здания Пентагона в первые минуты после удара самолета и взрыва топлива (прогрессирующего обрушения конструкций еще не произошло)

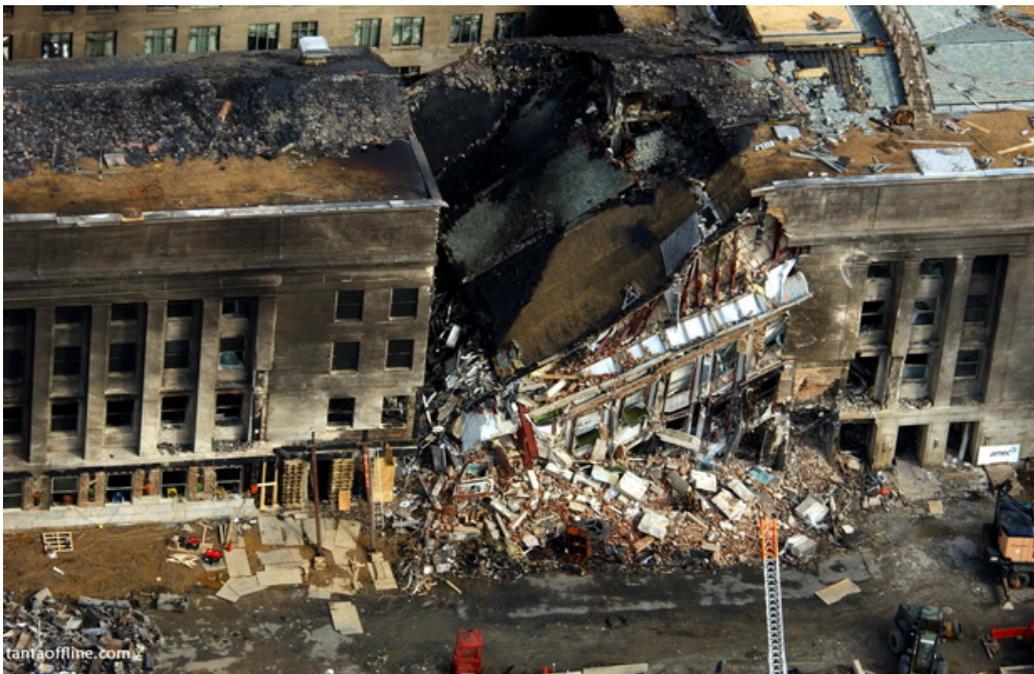


Рисунок 94 Прогрессирующее обрушение конструкций наружного кольца здания Пентагона во время событий 11 сентября 2001 г.

Таким образом, аналогично поведению башен ВТЦ в Нью—Йорке во время событий 11 сентября 2001 г., несмотря на то что способность сопротивлялся воздействию пожара основных несущих конструкций здания Пентагона (предел огнестойкости по потере несущей способности) превышала 180 мин, прогрессирующее обрушение конструкций наружного кольца здания Пентагона 11 сентября 2001 г. произошло гораздо быстрее — через 19 мин после начала террористической атаки.

4.6 ГИС

Уровень безопасности населения и территорий от аварий и катастроф определяется целым рядом случайных пространственно распределенных явлений и характеризуется:

- вероятностью возникновения техногенных аварий, катастроф и возможным ущербом при этих событиях;
- степенью негативного воздействия на человека и окружающую среду техногенных процессов.

Вероятностные характеристики выражают риск определенных событий: в первом случае — риск техногенных аварий, во втором - риск ухудшения здоровья человека, негативных изменений в окружающей среде. В ряде ситуаций важно выполнить районирование территории с целью определения мест, в которых меры по снижению риска должны быть приняты немедленно. Эффективным инструментом для автоматизации процессов районирования больших территорий по комплексу признаков является географические информационные системы (ГИС).

ГИС, характеризуются как новое и бурно развивающееся направление геоинформатики, родившееся на стыке множества научных и технических дисциплин. Среди них: прикладная кибернетика, информатика, математическое моделирование местности, компьютерная имитация сложных природных и техногенных процессов, машинная графика, цифровая картография, системы управления базами данных и знаний, дистанционное зондирование и т.д.

Географические информационные системы (иногда их называют «Геоинформационные системы» от названия научной дисциплины «геоинформатика») являются разновидностью современных информационных систем, базирующихся на использовании компьютеров и компьютерных сетей. Практика решения управленческих, проектировочных, конструкторских и других задач привела людей к пониманию простой истины: «Увеличение количества информации об объекте или явлении не обеспечивает глубины понимания их свойств до тех пор, пока они не будут визуализированы, например, отображены на топографическом плане или карте».

Необходимость анализа географического расположения объектов особенно остро возникает в кризисных ситуациях, когда эффективное решение необходимо принять за короткий промежуток времени. Геоинформационные системы обеспечивают полную автоматизацию процесса работы с картами и снимками местности, делая ее более продуктивной. С этим, в основном, связан рост интереса к ГИС при оценке последствий природных и техногенных катастроф.

В обыденном употреблении термин ГИС/GIS (геоинформационная система/geoinformation system) охватывает множество самых разных систем. Это может быть программа, которая едва отображает на фоне растровой картинке некоторые условные знаки. Или это действительно сложная система со многими тысячами функций, оперирующая растровой и векторной информацией, работающая с большим числом пользователей и обладающая всеми признаками «взрослой» промышленной корпоративной системы.

При формировании определении ГИС во внимание принято обстоятельство, что география является связующим звеном информации, получаемой из многочисленных источников. Прежде всего, это различные типы карт: планы застроек, топографические и разнообразные тематические карты. Кроме того, данные могут поставляться с аэро- и космических снимков, из файлов на магнитных дисках, из отчетов и компьютерных систем, из результатов полевых измерений. Значительная часть географических данных быстро меняется с течением времени и поэтому неприемлемым становится использование только

традиционных бумажных карт. Быстроту получения информации и поддержание ее актуальности может гарантировать только автоматизированная система

Современная ГИС — это автоматизированная система с большим числом графических и тематических баз данных, соединенная с модельными и расчетными функциями для манипулирования ими и преобразования в пространственную картографическую информацию для принятия на ее основе разнообразных решений и осуществления контроля. Главной отличительной особенностью ГИС является характер хранимой и обрабатываемой информации. Как правило, это пространственно распределенные данные, описывающие предметы и явления территорий в координатной и табличной формах. Пространственная определенность, или как ее еще называют «картографическая привязка», расширяет круг возможных осмысленных действий над информационными единицами.

Стандартным и наиболее употребляемым действием является построение тематических карт. Например, карта общего сейсмического районирования (ОСР) территории России является тематической. На этой карте представлены (специальными условными знаками) районы с различной сейсмической активностью. Каждая тематическая карта образует информационный слой, состоящий из цифровых описаний площадных, линейных и точечных объектов. Цифровые описания объектов интерпретируются как множества, которые можно объединять, пересекать, дополнять. Например, пересечение двух тематических слоев, один из которых характеризует сейсмичность территорий, а другой — сейсмостойкость строений, позволяет получить третий слой с данными по дефициту сейсмостойкости.

ГИС чаще всего относят к инструментальным средствам, предназначенным для решения тех или иных специальных задач. В этом смысле, формируемая система, становится технологообразующей. Информационные технологии, построенные на базе ГИС, принято называть «ГИС-технологиями». Информационными они являются потому, что их основной задачей становится преобразование информации. Цель технологического цикла определяется как получение новых знаний об изучаемых объектах. На входе и выходе технологии присутствует только информация, представленная в различных формах.

Для материализации ГИС-технологий создаются программно - инструментальные комплексы, включающие:

- вычислительные средства (ЭВМ различного класса);
- программные средства (операционные системы, программы общего назначения, текстовые и графические редакторы, драйверы устройств, электронные таблицы, сетевые программы, специальные программы, к которым можно отнести процедуры поддержки ввода-вывода картографической информации, модели процессов и явлений, программы управления картографическими базами данных и т.д.);
- технологическую документацию;
- информационные массивы;
- статус системы и регламент.

4.6.1 Примеры ГИС-проектов прогнозирования последствий природных чрезвычайных ситуаций

Данная система включает комплект программ, который дает возможность хранить, систематизировать и обрабатывать картографическую и семантическую информацию, прогнозировать последствия землетрясений в городах и населенных пунктах, а также обосновывать эффективные сценарии реагирования в пострадавшем регионе.

Проект «Экстремум» прогнозирования последствий землетрясения

Программные средства ГИС отвечают требованиям:

- оперативности, информативности, многофункциональности, блочности построения структуры;
- наглядности отображения ситуации, масштабированности картографической основы;
- возможности использования математических и статистических расчетных моделей; сопрягаемости расчетных моделей с картографической основой, с данными сейсмологического и гидродинамического мониторинга земной поверхности; пространственной и временной привязки событий и информации;
- расчетам по факту события; возможности развития системы.

Геоинформационная система разработана на основе трех взаимосвязанных блоков: картографической, семантической базы данных и расчетно-аналитического модуля.

Блок картографической базы данных содержит цифровые картографические материалы («электронные карты») четырех уровней детальности:

- обзорные—для всего мира (М 1:1 000 000);
- регионов (М 1:200 000);
- городов с изображением кварталов (М 1:100 000);
- городов с изображением отдельных строений (М 1:10 000).

В таком объеме подготовлены «электронные карты» для Камчатского сейсмоопасного региона, для Сахалина, Курильских островов, Алтае-Саянского региона и Северного Кавказа.

Указанный блок обеспечивает: ввод координат эпицентра землетрясения; ввод и редактирование картографической информации; импорт готовых цифровых карт; просмотр и документирование картографической информации, включая выбор территории для отображения на экране дисплея произвольно или по адресным признакам, включения-выключение слоев; уменьшение-увеличение рассматриваемых карт; вывод на принтер любого рассматриваемого на экране фрагмента; возможность запроса в семантическую базу данных и отображение выбранных из нее объектов; картографическое представление информации, полученной при использовании расчетных моделей.

Блок семантической базы данных содержит информацию, которая необходима для решения задач ГИС. Она включает: описание сейсмической активности региона; данные о горно- геологических и климатических условиях; характеристику застройки; сведения о населении региона; данные о сейсмологических и гидродинамических наблюдениях; характеристику объектов, являющихся вторичными источниками опасности (взрыво- и химически опасных, гидродинамических); сведения о силах и средствах; данные об опыте ликвидации последствий.

Расчетно- аналитический блок содержит математические модели, которые можно разделить на пять групп: модели воздействия; модели, описывающие сопротивление объектов воздействию; прогнозные. Каждая модель дает возможность решить определенные типы задач, как до землетрясения, так и по факту его возникновения.

Модели воздействия позволяют определить параметры землетрясения с учетом пространственных факторов, а также параметры вторичных источников опасности (взрыво- и химически опасных объектов, гидротехнических сооружений). На основе *моделей, описывающих сопротивление объектов воздействию*, формируются законы разрушения зданий, поражения людей, проводятся расчеты устойчивости объектов. *Прогнозные модели* дают возможность оценить последствия первичного и вторичного воздействия, включая

медицинскую, инженерную, пожарную и химическую обстановку в районе воздействия разрушительного землетрясения, в также оценить индивидуальный риск для населения.

Кроме оценочных расчетов по факту землетрясения, прогнозирование может осуществляться с использованием карт общего сейсмического районирования и микросейсморайонирования, а также с использованием данных региональных каталогов землетрясений. Результаты таких расчетов позволяют заблаговременно подготовить сценарии реагирования, обосновать превентивные мероприятия по смягчению последствий и снижению риска. Для этого составляются карты индивидуального сейсмического риска и карты дефицита сейсмостойкости населенных пунктов.

На рис. 95 приведен пример расчета последствий разрушительного землетрясения на территории Турции. По мере удаления от эпицентра землетрясения средняя степень повреждения зданий уменьшается от разрушений (черный цвет) до отсутствия повреждений (синий цвет).

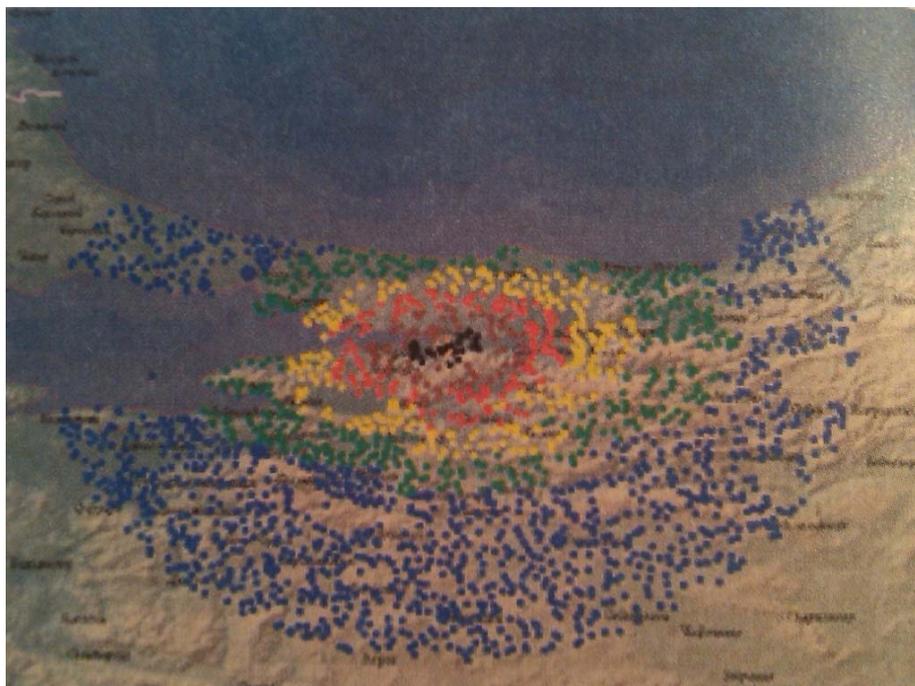


Рисунок 95 Распределение средних степеней повреждения зданий в городах и населенных пунктах (землетрясение в Турции 12.11.1999 г.)

Глава 5 Старение материалов и конструкций от воздействий.

"Старение" материалов — медленное самопроизвольное необратимое изменение свойств материалов. Старение происходит под действием теплового движения молекул и атомов, светового и иного излучения, механических воздействий, гравитационных и магнитных полей и других факторов. В результате материал переходит в более равновесное состояние. В экономике считается вредным процессом, так как свойства материала с течением времени отклоняются от спроектированных, обычно в худшую сторону.

Старение происходит, как правило, в твёрдых телах, полимерах и жидких смесях. В газах и низкомолекулярных чистых жидкостях старения не происходит из-за того, что они крайне быстро приходят в термодинамическое равновесие.

Основные виды старения:

- Механическое старение металлов в основном связано с диффузией атомов металла. Особое значение имеет старение стали.

- Магнитное старение приводит к постепенному изменению магнитных свойств под действием переменных магнитных полей, температурных перепадов, вибрации и иных факторов.
- Старение коллоидных систем имеет много проявлений, среди которых известны коагуляция, коалесценция, седиментация, синерезис и рекристаллизация.
- Старение полимеров — это деструкция макромолекул (либо, наоборот, их сшивание) под действием тепла, излучений, воды, воздуха и других факторов.

Чтобы изготавливаемый материал имел стабильные свойства, нередко применяют искусственное старение.

Усталость строительных конструкций

Усталость (старение, износ) конструкций строений и сооружений – понятие, которое интересует не только строителей промышленных или административных объектов, владельцам частных домов и загородных коттеджей также необходимо знать о причинах и последствиях этого явления. Зная особенности и динамику старения конструкций, можно своевременно осуществлять усиление строительных конструкций зданий (стальных, каменных, деревянных), делая свою жизнь безопасной, а эксплуатацию объектов – максимально продолжительной.

Причины старения конструкций

Каждое строение (дом, цех, склад, гараж) и сооружение (мост, радиотрансляционная вышка) изнашивается с течением времени – одни объекты быстрее, другие – медленнее. Так, индивидуальные коттеджи и дачные домики имеют тенденцию «терять» первоначальное состояние на 1% ежегодно, у промышленных и административных объектов состояние за тот же период ухудшается больше – на 1,5-2%, что требует осуществлять реконструкцию зданий и сооружений гораздо чаще.

Даже при постоянном и добросовестном текущем ремонте причины старения носят различный характер, и даже воздействуют на конструкции параллельно, одновременно. Причин несколько:

- Влияние погодных условий
- Конструктивные дефекты
- Несоответствие качества (некондиционность) строительных материалов
- Нарушения в правилах и порядке эксплуатации объектов
- Механические повреждения конструкций или их элементов
- Некачественный капитальный или текущий ремонт.

Как ни странно – качество ремонта является одной из причин старения (усталости) объекта: затягивание сроков проведения ремонтных работ приводит к усилению воздействия внешних факторов на старение конструкций.

Необходимость усиления конструкций

Чаще всего в первую очередь требуется усиление стальных конструкций: они больше всего подвержены воздействию неблагоприятных факторов атмосферы (ее составляющих) – влаги, мороза, колебаний температур, ветра. Действие воды знает каждый – это не столько окисление металла (ржавчина), сколько ее увеличение в объеме при замерзании: Именно проникновение влаги в полости и разрушает чаще всего любую (бетонную, металлическую, каменную) конструкцию.

Деревянные конструкции имеют свои особенности – недостаточный приток воздуха (недостаточная вентиляция) и света при определенных температурах являются причиной возникновения благоприятных условий для развития разрушающих грибков и плесени. В

каменных (кирпичных, бетонных) конструкциях увлажнение кладки и наличие грибков снижают теплоизоляционные и несущие свойства, статическую прочность всей конструкции.

Разрушение конструкций, старение материалов и некачественное обслуживание объектов – причина гибели людей, повреждения оборудования, и ванный повод усиления конструкций зданий. Долговечность и состояние объекта, стоимость строения зависят от своевременного диагностирования дефектов конструкции и добросовестного ремонта.

5.1 Вода

Для многих отраслей промышленности характерно выделение газов, агрессивных по отношению к строительным конструкциям, например, для предприятий цветной металлургии, химии, искусственного волокна, целлюлозной промышленности, коксохимических и др. Все газы, кроме аммиака и кислорода, являются кислыми или кислотообразующими, причем образование кислот происходит только при наличии в воздухе или на поверхности строительной конструкции капельножидкой влаги. Воздействие воды на строительные материалы в ряде случаев является причиной выщелачивания отдельных составляющих материалов, а при условии одновременного замораживания — и причиной их разрушения.

Наличие солей в воде, как правило, увеличивает ее агрессивность.

Растворы кислот или оснований являются еще более агрессивными.

Особенно агрессивно кислоты воздействуют на металлы, бетоны на щелочной основе, силикатный кирпич и на осадочные горные породы, (известняки и др.). Керамические изделия, кирпич и бетоны на жидком стекле хорошо противодействуют кислотам, но относительно быстро разрушаются щелочными.

Для увеличения срока службы конструкций производственных зданий, специальных сооружений и сетей в условиях агрессивных воздействий среды необходимо не только использовать более стойкие материалы, но особенно тщательно выполнять фундаменты, полы, стены, покрытия, а также ответственные узлы и сопряжения конструктивных элементов. Агрессивность кислот определяется их природой, концентрацией водных растворов водородный показатель принят для нейтральной среды равным, кислой — мен, щелочной — более окислительной способностью и температурой среды.

Растворы сахара, патоки, фруктовые соки (глюкозиды) и т. п. агрессивны в отношении цементных бетонов. Кроме того, весьма агрессивны к бетону растительные окисляющиеся и прогорклые масла.

На многие металлические конструкции, а также на материалы органического происхождения разрушающее действие оказывают окислители.

Окисление происходит не только в результате воздействия кислорода воздуха, но и в кислой, а также нейтральной или щелочной среде, содержащей и другие окислители (хлор, пары брома и йода и др.). При их действии не разрушаются только силикатные материалы.

5.1.1 Опасность коррозионного поражения семипроволочных прядей в эксплуатируемых конструкциях⁴⁴

Объем предварительно-напряженного бетона для строительных конструкций в нашей стране составляет около 15-20% от общего объема.

В качестве предварительно-напряженной арматуры уже многие годы для таких конструкций используются семипроволочные пряди (канаты), обладающие высокими прочностными характеристиками (класс арматуры К-7). Согласно ГОСТ 13840-68, такая арматура должна обладать относительным удлинением при разрыве 4% и расчетным сопротивлением для предельных состояний первой группы 1170 МПа. Коэффициент

⁴⁴ В.П. Шевяков: <http://pamag.ru/prensa/risk-korrizy>

надежности для арматуры этого класса составляет 1,2, согласно СП 52-102-2004, т.е. такой же, как и для отдельных классов стержневой арматуры. Между тем, условия работы семипроволочных прядей могут значительно отличаться от условий работы стержневой арматуры, что может существенно влиять на ее долговечность.

Объектом обследования было покрытие гражданского здания построенного 38 лет тому назад.

Несущими конструкциями покрытия служили железобетонные складчатые двухконсольные балки пролетом 27 м. Вылеты консолей составляли с каждой стороны соответственно 12 и 6 м. Над балками, которые перекрывали основной пролет, была выполнена теплая кровля. Консольные части балок, выступающие за габариты здания, ввиду того, что они выходили на улицу имели кровлю без утеплителя. Каждая из балок представляла трапецеидальную складку открытого профиля с толщиной стенок от 100 до 150 мм. Высота складки составляла 1,5 м, а ширина 1,2 м. Рабочей арматурой были предварительно напряженные семипроволочные пряди класса К-7. Каждая из семи прядей имела диаметр 5 мм. Пять прядей располагались в нижней горизонтальной части складки и по восемь прядей в каждой из наклонных частей.

Изготовление складок осуществлялось на месте производства работ, где был смонтирован стенд для предварительного натяжения арматуры. Натяжение проводилось в два этапа: первоначально каждую прядь натягивали до 50% проектной нагрузки, устанавливали конструктивную арматуру, а затем пряди натягивали до проектной величины и заливали бетоном.

Затем конструкции специальным краном поднимали и устанавливали на опоры. Складки соединяли между собой монолитными железобетонными распорками. Таким образом, установленные ряды складок служили несущей конструкцией, на которую затем укладывался утеплитель и гидроизоляция.

При обследовании складок определялись прочность, водонепроницаемость, карбонизация бетона, величина защитного слоя арматуры, а также наличие хлоридов.

Кроме этого была проведена диагностика состояния и проведены анализы кровельного покрытия и утеплителя.

В процессе обследования выяснилось, что кровельное покрытие длительное время протекало, утеплитель намокал, отдельные элементы складок в торцевых зонах подвергались физической и биологической коррозии. Такие повреждения являются довольно типичными для железобетона в условиях увлажнения и знакопеременных температур.

Однако наиболее важными для оценки состояния конструкций оказались результаты анализов предварительно напряженной арматуры. Как известно одним из основных характеристик коррозионного состояния арматуры в бетоне является степень карбонизации. Карбонизация приводит к снижению рН жидкой фазы цементного камня, разложению силикатов и алюминатов кальция, потере пассивирующего действия бетона по отношению к стальной арматуре. По различным данным пассивирующее действие щелочной среды рН бетона нормальной толщины (при отсутствии хлоридов) составляет около 11,5. Коррозия арматуры развивается в условиях снижения рН и повышенной влажности окружающего воздуха.

Определение карбонизации выполняли с использованием цветного индикатора 1%-го раствора фенолфталеина в этиловом спирте. Результаты показали, что толщина карбонизированного слоя составляла 0,3-0,8 мм и лишь в отдельных складках достигала 1-1,5 мм. Структура бетона была плотно заполнена гранитной фракцией. Испытания прочности бетона различными методами показали, что его прочность была не менее 46 МПа при коэффициенте вариации 3,9%. Водонепроницаемость, определенная с помощью прибора ВВ-2 оказалась от В-6 до В10.

Таким образом, бетон складок имел отличные показатели по плотности, прочности, защитным характеристикам арматуры.

Вскрытия конструктивной ненапряженной арматуры (защитный слой 30 мм) не выявили каких-либо коррозионных повреждений.

Состояние предварительно-напряженной арматуры определяли путем визуального осмотра при вскрытии, а также путем проведения химических анализов металла проволоки прядей, а также механических испытаний арматурных канатов.

В отличие от конструктивной, рабочая предварительно напряженная арматура в прядях, у которой защитный слой был более 40 мм, имела коррозионные повреждения. Из семи прядей наибольшая коррозия имела место в центральном стержне. Поверхность была покрыта практически сплошным налетом ржавчины толщиной 100-120 мкм. Кроме того, на арматуре обнаружена язвенная коррозия. Размер язв 5-15 мм и глубина 100-150 мкм.

Шесть остальных стержней, окружающих седьмой центральный стержень, в зоне контакта с бетоном были без следов коррозии, а в местах соединения со средним стержнем также имели коррозионные повреждения. Проведенный химический анализ стали показал, что в целом, она соответствует ГОСТ 14959-79.

Наиболее важными оказались результаты механических испытаний: за период эксплуатации значительно изменились механические свойства стали. Согласно нормативным требованиям, полное относительное удлинение перед разрывом должно быть равно 4%. По результатам испытаний оно оказалось 1,5%. Существенное изменение пластичности стали прядевой арматуры значительно повышают опасность ее внезапного хрупкого разрушения и следовательно снижают вероятность безопасной эксплуатации.

На основании обследований был разработан комплекс мероприятий по обеспечению дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

Коэффициент надежности для арматуры класса К-7 должен приниматься с учетом отсутствия плотного контакта отдельных прядей с бетоном, что влияет на ее пассивацию и поэтому должны быть больше, чем у стержневой арматуры.

Отсутствие герметичности в торцах предварительно напряженных конструкций с арматурой класса К-7 может привести к прониканию атмосферного воздуха в прядевую зону. В свою очередь это активизирует развитие коррозионных процессов, снижающих безопасность конструкций.

5.1.2 Защита строительных конструкций от коррозии

В строительстве находят применение различные конструкции зданий и сооружений. С развитием строительного дела и техники постоянно возникает необходимость в совершенствовании их свойств. В частности, требуются увеличение срока эксплуатации, снижение веса, стоимости, обеспечение экологической безопасности и т.д. Это относится и к современным техническим сооружениям, подверженным высоким нагрузкам и агрессивному воздействию окружающей среды.

Повышение долговечности и защита от коррозионного износа строительных конструкций промышленных зданий и сооружений являются наиболее актуальными проблемами современного строительства и эксплуатации как в России, так и во всем мире. По вопросам улучшения качества материалов и повышения срока службы конструкций как в процессе нового строительства, так и при их эксплуатации и реконструкции с 10 по 12 октября 2007 года в г.Санкт-Петербурге состоялась Международная конференция «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве» – МКДЗК - 07.

Основываясь на анализе представленных материалов, заслушанных докладов и выступлений в дискуссиях, конференция отметила направления дальнейшего научно - технического прогресса. Одним из этих направлений является переработка действующего СНиП 2.03.11 - 85 с учетом всех научных и практических достижений в области повышения долговечности и защиты от коррозии с введением раздела «Реконструкция и восстановление конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред».

Агрессивные условия эксплуатации промышленных зданий и сооружений приводят к ускоренному выходу из строя строительных конструкций. В связи с этим необходимо более тщательно исследовать условия эксплуатации конструкций, точнее определять и прогнозировать напряженно - деформированное состояние с учетом коррозии, выявлять зоны локальных концентраторов и т. д.

Для обеспечения безопасной работы конструкций зданий и сооружений, для предотвращения техногенных аварий и экологических катастроф важно не только хорошо спроектировать конструкцию, но и регулярно проводить обследование их реального состояния, перерасчеты на прочность с учетом изменения геометрических параметров и металлографических свойств за счет коррозии, старения материала и износа в процессе эксплуатации. Необходимо больше внимания уделять противокоррозионной защите. Представляется целесообразным разработать систему автоматизированного проектирования (САПР) противокоррозионной защиты. Это способствовало бы получению экономичных способов защиты, сокращению сроков на их разработку, повышению качества проектных работ.

В качестве решения задачи, поставленной Международной конференцией «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве» – МКДЗК - 07 Гатауллиным И. Н. (к. т. н., доцент) разработана система автоматизированного проектирования противокоррозионной защиты металлических конструкций (САПР «Противокоррозионная защита»).

Для автоматизированного проектирования противокоррозионной защиты металлических конструкций с помощью ЭВМ разработана реляционная база данных (РБД) и средства манипулирования данными под названием САПР «Противокоррозионная защита».

База данных представляет собой компьютерный аналог организованной информации. На персональных компьютерах наибольшее применение нашли СУБД, поддерживающие реляционную модель данных. Реляционная модель позволяет построить базу данных из отношений. Понятие отношения (relation) удобно описывается обычной таблицей.

Реляционная база данных – это совокупность взаимосвязанных отношений. Отношение – это совокупность записей одинаковой структуры, организованная в логически обособленный набор данных. Отношение имеет всего два измерения и состоит из фиксированного числа столбцов и произвольного числа строк. Столбцы отношения называются атрибутами или полями. Атрибуты имеют имена – заголовки. Каждая отдельная запись отношения называется кортежем или записью. В табличном представлении картежи отношения имеют одинаковую структуру. Это означает, что оставляющие кортеж отдельные атрибуты имеют одинаковые тип и длину и занимают одно и то же положение во всех кортежах отношения. Каждый атрибут имеет имя, которое должно быть уникальным в отношении.

Отношения РБД хранятся независимо друг от друга, а их взаимосвязь задается извне и выявляется СУБД во время манипулирования данными или выполнения других функций СУБД. Связь между отношениями РБД задается через их атрибуты. Один и тот же атрибут

может принадлежать нескольким отношениям РБД, тогда их взаимосвязь устанавливается по его значениям. Таким образом, реляционный подход позволяет образовать новые отношения из уже существующих отношений.

При этом допустимо формирование одного отношения - результата из нескольких отношений – источников.

Реляционная модель легко корректируется и дополняется в случае появления новых данных о взаимодействии металлических конструкций и агрессивной среды.

В настоящей работе САПР «Противокоррозийная защита» разработана в среде СУБД Microsoft Access. Реляционная база данных (РБД) содержит следующие данные:

1. Степени агрессивного воздействия газов, твердых сред (солей, аэрозолей и пыли), неорганических и органических жидких сред, грунтов на металлические конструкции и изделия.

2. Способы защиты от коррозии металлических конструкций и изделий методами металлизации и лакокрасочными покрытиями.

3. Системы лакокрасочных покрытий (группа, индекс, число покрывных слоев, общая толщина лакокрасочного покрытия).

4. Лакокрасочные материалы для защиты металлических конструкций, изделий (марка материала, тип связывающего, нормативный документ, цвет и стоимость лакокрасочного покрытия).

5. Общие данные о лакокрасочных материалах (расход материала, адрес изготовителя, источник информации и примечания по использованию лакокрасочных материалов).

6. Единые районные единичные расценки на проведение противокоррозионных работ, территориальные районы и коэффициенты к расценкам.

7. Долговечность (срок службы) защитных покрытий в зависимости от степени агрессивного воздействия среды.

Реляционная модель данных САПР «Противокоррозионная защита» содержит более тридцати взаимно связанных отношений (рис.96). Реляционная модель может быть легко откорректирована в случае появления новых данных о взаимодействии металлических конструкций, изделий и агрессивной среды, так как позволяет дополнять данные и изменять структуру прикладных программ, использующих эти данные.

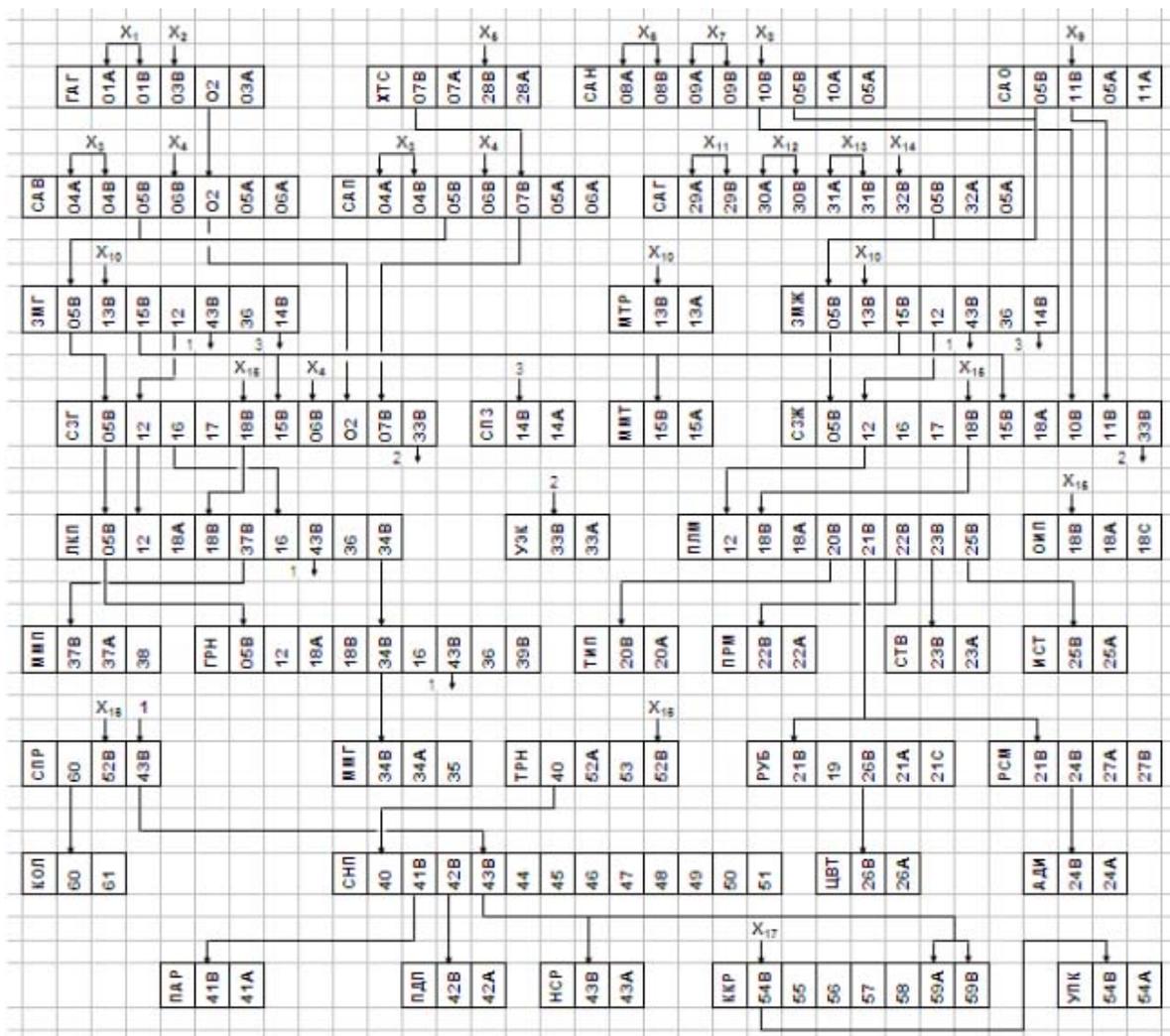


Рисунок 96 Реляционная модель данных

Данными для РБД «Противокоррозионная защита» являются глава СНиП 2.03.11 - 85 «Защита строительных конструкций от коррозии», сборник 13 единых районных единичных расценок на строительные конструкции и работы СНиП 1У – 5 - 82 «Защита строительных конструкций и оборудования от коррозии», прейскуранты на лакокрасочные материалы и другие литературные источники, которые хранятся в виде тридцати двух отношений.

Для получения нужной информации из РБД САПР «Противокоррозионная защита» необходимо определить исходные данные. Исходными данными для реализации запросов являются: материал конструкций и место их расположения, температурно-влажностный режим, характеристика твердых сред (солей, аэрозолей и пыли), воздействие органических, неорганических жидких сред и грунтов, водородный показатель рН, суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, территориальный район и коэффициенты к расценкам.

Исходные данные описывают 17 факторов:

- X1 – концентрация газа;
- X2 – код наименования газа;
- X3 – относительная влажность воздуха;
- X4 – код места расположения конструкций;
- X5 – код твердой среды;
- X6 – водородный показатель;
- X7 – суммарная концентрация сульфатов и хлоридов;
- X8 – код неорганической жидкой среды и грунта;

X9 – код органической жидкой среды;
X10 – код материала конструкций;
X11 – средняя годовая температура воздуха;
X12 – водородный показатель грунтовых вод;
X13 – суммарная концентрация сульфатов и хлоридов грунтовых вод;
X14 – код места расположения грунта;
X15 – индекс покрытия;
X16 – код страны СНГ, республики, области, края и автономной республики;
X17 – код условия применения коэффициентов к расценкам.

Из них определяют:

X1, X2, X3, X4 – агрессивное воздействие газовой среды;
X3, X4, X5 – агрессивное воздействие твердых сред;
X6, X7, X8 – агрессивное воздействие неорганических жидких сред;
X9 – агрессивное воздействие органических жидких сред;
X11, X12, X13, X14 – агрессивное воздействие грунтов;
X10 – материал металлических конструкций;
X15 – индекс покрытия;
X16 – территориальный район страны СНГ, республики, области, края и автономной

республики;

X17 – коэффициенты к расценкам.

Средства манипулирования данными позволяют получить из РБД необходимую информацию, соответствующую исходным данным: степень агрессивного воздействия среды, способы защиты от коррозии, системы лакокрасочных покрытий, данные о лакокрасочных материалах, расценки на проведение противокоррозионных работ, сроки службы защитных покрытий, средние годовые затраты на всевозможные варианты защитных покрытий и другая необходимая информация.

САПР «Противокоррозионная защита» обеспечивает выбор оптимального варианта защиты от коррозии металлических конструкций с учетом условий их эксплуатации, вида агрессивной среды и требуемой стойкости покрытия.

5.2 Ветер

Лишь в последние годы строители и конструкторы столкнулись с совершенно новой проблемой: не как надежно опереть здание на грунт, а как его «привязать», заанкерить к земле, чтобы его не оторвали от земли другие воздействия, в основном ветровые усилия. Это произошло потому, что собственный вес конструкций в результате применения новых высокопрочных материалов и новых конструктивных схем все время уменьшался, а габариты зданий росли. Увеличивалась площадь, на которую действует ветер, иначе говоря, парусность здания. И, наконец, воздействие ветра стало более «весомым», чем воздействие веса здания, и здание стало стремиться к отрыву от земли.

Ветровая нагрузка является одной из основных временных нагрузок. С увеличением высоты воздействие ветра возрастает. Так, в средней части России нагрузка от ветра (скоростной напор ветра) на высоте до 10 м принимается равным 270 Па, а на высоте 100 м она уже равна 570 Па. В горных районах, на морских побережьях воздействие ветра намного возрастает. Например, в некоторых районах береговой полосы Арктики и Приморья нормативное значение ветрового напора на высоте до 10 м равно 1 кПа. С подветренной стороны здания возникает разряженное пространство, которое создает отрицательное давление - отсос, который увеличивает общее воздействие ветра. Ветер меняет как направление, так и скорость. Сильные порывы ветра создают, кроме того, и ударное,

динамическое воздействие на здание, что еще более усложняет условия для работы конструкции.

С большими неожиданностями столкнулись градостроители, когда стали возводить в городах здания повышенной этажности. Оказалось, что улица, на которой никогда не дули сильные ветры, с возведением на ней многоэтажных зданий стала очень ветреной. С точки зрения пешехода, ветер со скоростью 5 м/с уже становится надоедливым: он развеивает одежду, портит прическу. Если скорость немного выше - ветер уже поднимает пыль, кружит обрывки бумаг, становится неприятным. Высокое здание является основательной преградой для движения воздуха. Ударяясь об эту преграду, ветер разбивается на несколько потоков. Одни из них огибают здание, другие устремляются вниз, а затем у земли также направляются к углам здания, где и наблюдаются самые сильные потоки воздуха, в 2-3 раза превышающие по своей скорости ветер, который дул бы на этом месте, если бы не было здания. При очень высоких зданиях сила ветра у основания здания может достигать таких размеров, что валит пешеходов с ног.

Амплитуда колебаний высотных зданий достигает больших размеров, что отрицательно влияет на самочувствие людей. Скрип, а иногда и скрежет стального каркаса одного из самых высоких в мире здания Международного торгового центра в Нью-Йорке (высота его 400 м) вызывает тревожное состояние у находящихся в здании людей. Предусмотреть, рассчитать заранее действие ветра при высотном строительстве очень сложно. В настоящее время строители прибегают к экспериментам в аэродинамической трубе. Как и авиастроители они обдувают в ней модели будущих зданий и в какой-то мере получают реальную картину воздушных токов и их силу.

5.2.1 Ветрозащита посредством зеленых насаждений.

В практике проектирования нередко возникает необходимость защиты городской застройки от неблагоприятных ветров. В этом случае поперек основного ветрового потока устраивают защитные полосы зеленых насаждений.

Движение воздуха снижает эффективные температуры, под которыми понимается теплоощущение человека при определенном состоянии атмосферы. Например, воздух, насыщенный влагой при температуре 20°C и скорости ветра 3 м/с, равноценен по теплоощущению неподвижному воздуху при температуре 14°C. Защитная роль полос зеленых насаждений определяется их плотностью и расположением, а также типом застройки. Ветрозащитными свойствами обладают зеленые насаждения даже сравнительно небольшой высоты и плотности посадки.

Ветрозащитное влияние неширокой зеленой полосы, состоящей из восьми рядов деревьев высотой 15—17 м, отмечается на расстоянии 300—600 м. В этой зоне скорость ветра составляет 25—30% первоначальной.

Установлено, что для снижения скоростей ветра достаточно наличие размещаемых на определенных расстояниях друг от друга зеленых полос шириной 20—30 м. В глубине леса на расстоянии на расстоянии 120—240 м наступает полный штиль. Наиболее эффективны ажурные защитные полосы, пропускающие сквозь себя до 40% ветра всего потока. Допускаются небольшие разрывы среди зеленых полос для проезда и проходов, которые практически не снижают ветрозащитных свойств зеленых насаждений.

При большой величине защищаемого участка на нем равномерно располагают посадки ажурной конфигурации так, чтобы они находились поперек ветрового потока, что способствует равномерному снижению скорости ветра на всем участке.

5.3 Динамические воздействия

Некоторые аварии и обрушения, произошедшие без внешних динамических нагрузок, можно было (при помощи либо грамотного модального анализа проекта сооружения, либо при специальных приемочных динамических испытаниях) предвидеть еще на предпроектной стадии и предотвратить если не в ходе проектирования, то, конечно, не позже этапа сдачи в эксплуатацию. В работе⁴⁵ был описан предложенный лет 20 назад метод динамического формообразования (МДФ), который позволил бы избежать, например, нашумевшего обрушения оригинальных (следовательно, мало изученных!) конструкций «Трансваальпарка» в Ясенево, где 14 февраля 2004 г. погибло более 60 человек.

Традиционный подход инженера-строителя к динамике при проектировании новых зданий и сооружений до последнего времени состоял в корректных измерениях, исследованиях и учете в расчетах динамических нагрузок. А также – в «борьбе авторов конструкций и технологий» с этими нагрузками, в разработке специальных мероприятий по снижению амплитуд колебаний сооружения и его элементов.

История развития инженерных расчетов «на динамику» начиналась (и так долгое время преподавалась в вузах) с упрощения динамических моделей до линейных систем с одной степенью свободы и последующего вычисления частоты ее собственных колебаний. Прогресс же вычислительных средств (от логарифмической линейки, арифмометра – к компьютеру) подталкивал инженера к решению сегодня сотен дифференциальных уравнений (для описания динамики соответственно и систем с сотнями динамических степеней свободы) и к учету различных видов нелинейностей (геометрических, физических, конструктивных). К сожалению, подавляющее большинство современных вычислительных комплексов до сих пор не может выполнять такой учет в динамике. Варианты решения этих проблем даны в сборнике МОО ПК №10 в статье автора⁴⁴, а также в выпусках 9 и 11, в последнем – обосновываются состав и работы лабораторий экспериментальной динамики строительных конструкций.

Здесь следует отметить, что в последние годы в вопросах динамических расчетов и проектирования сооружений плохо стыкуются:

- возможности самой вычислительной техники;
- подготовка разработчиков профессиональных вычислительных программных комплексов (ПК) в фундаментальных дисциплинах типа строительной механики, механики грунтов, теории колебаний;
- разработка нормативных материалов чаще всего не связана ни с действующими ПК, ни с нормами соседних стран и содружеств, не создает легитимные переходы от предыдущих версий норм и ПК, не всегда базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях;
- знания современных выпускников строительных вузов, особенно в вопросах динамических расчетов на ПК, а также натуральных и лабораторных испытаний, не образуют единую логическую цепь.

Очевидно, что к решению описанных проблем для развития традиционного пути расчетов на динамику можно добавить и необходимость проведения сбора и исследований современных динамических нагрузок для высотных и большепролетных зданий и сооружений путем развития виброизмерительной приборной базы и кадрового потенциала. Инженерная практика также нуждается в конкретных рекомендациях по:

- выбору динамических моделей;
- учету нелинейностей;

⁴⁵ Кулябко В.В. Резервы конструкторских приемов и методик расчетов нелинейного гашения колебаний зданий, сооружений и их элементов / Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып.10.- МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК, ЦНИИПСК. – М.: 2006. – С.157-167.

- составлению и решению дифференциальных уравнений движения;
- измерению и вводу в компьютерную модель реальных возмущений: например, акселерограмм ураганных (в т.ч. при одиночных порывах ветра), сейсмических (в прямых методах расчета), технологических и других воздействий.

Развитие компьютерной и экспериментально-испытательной техники (виброизмерительная аппаратура, силовозбудители и т.д.) привело к совершенно новому применению динамических характеристик и свойств сооружений – к динамической диагностике, мониторингу, паспортизации. Покажем ее «возможную эффективность» на примере упомянутой аварии аквапарка в Ясенево. Из материалов акта комиссии правительства Москвы по расследованию причин обрушения аквапарка видно, что еще на стадии основных расчетов проекта авторы сооружения могли заметить из модального анализа, что массивная оболочка большого пролета относительно слабо закреплена к «диску земли». Низшей в расчетах собственных колебаний всего сооружения оказалась частота не изгибных колебаний этого железобетонного покрытия (что было бы логично для большепролетной тяжелой конструкции), а частота поступательных горизонтальных его перемещений как абсолютно твердого тела. Следующей на частотной оси расположилась форма вращательных в плане колебаний диска покрытия относительно вертикальной оси – так же «как твердого тела». И только в третьей форме основными деформациями конструкции большого пролета оказались изгибные. Очевидно, что сложную тяжелую конструкцию, поднятую на большую высоту, следовало бы более солидно закрепить к «диску земли»! Так, чтобы третья, изгибная, форма перешла на первое место. Еще одним примером необходимости и целесообразности использования МДФ является тот факт, что в настоящее время разработан и действует международный стандарт ISO с рекомендациями по контролю частот и форм собственных колебаний высотных зданий, имеющих прямоугольный план. Там, в частности, на основании анализа динамических характеристик лучших 163-х зданий мира, рекомендуются совершенно определенные частоты и, главное, – их порядок расположения на частотной оси - для трех низших собственных форм: изгиб в направлении меньшей изгибной жесткости здания; изгиб в направлении, перпендикулярном предыдущему; и только третье место рекомендуется для формы собственных колебаний с вращением перекрытий в плане (закручивание вокруг вертикальной оси здания).

5.4 Микроорганизмы

Повреждения строительных материалов, вызванные заселением и развитием бактерий, плесени (грибов), актиномицетов могут представлять серьезную опасность как непосредственно для конструкций зданий и сооружений, так и для здоровья людей. Эта проблема особенно актуальна для городов, в пределах которых находятся крупные промышленные предприятия мясомолочной, рыбной и консервной промышленности, а также производства, на которых путем микробиологического синтеза изготавливаются различные лекарственные препараты. Поскольку в настоящее время не обеспечивается должная защита атмосферы городов от выбросов предприятий, содержащих споры плесневых грибов (преимущественно рода *Penicillium*), имеется множество очагов развития процессов грибной коррозии строительных материалов.

Поражения наблюдаются как в старых, так и в новых постройках. Эксперименты по изучению поведения материалов в условиях воздействия микроорганизмов и натурные обследования зданий и сооружений свидетельствуют о снижении прочностных показателей, разрушении бетонных и кирпичных изделий, отслаивании штукатурных покрытий, обесцвечивании или образовании пигментных пятен на лакокрасочных покрытиях, растворении стекла, разбухании шпатлевок. Более всего подвержены биоразрушению

целлюлозосодержащие материалы. Например, грибы (плесень) за несколько месяцев способны уничтожить конструкции из древесных материалов. При благоприятных условиях микроорганизмы разрушают железобетон, металлы и т. д. Исследования показывают, что во многих зданиях и сооружениях зараженность помещений микроорганизмами превышает предельно допустимую норму в несколько десятков и даже сотен раз. При этом процессы биоразрушений прогрессируют с каждым годом. Так, 10 июля 1999 года в г. Санкт-Петербурге обрушился козырек вестибюля станции метро "Сенная площадь". Биоповреждение железобетона явилось одной из причин трагедии, унесшей человеческие жизни.

Выборочное обследование зданий и сооружений в Москве, Нижнем Новгороде, Санкт-Петербурге, Тамбове, Владивостоке, Якутске, Саранске и других городах показало, что большое их количество поражено различными микроорганизмами. На ранней стадии поражения здание еще можно отремонтировать, однако если процесс зашел слишком далеко, оно подлежит сносу. На многих строительных объектах Москвы в процессе монтажа корпусов жилых зданий неоднократно отмечалось появление разноцветных пятен и пушистых налетов, особенно обильное при неблагоприятных погодных условиях (дождливое лето и осень). В большом количестве они покрывали внутренние стены зданий, в частности внутренние поверхности санитарно-технических кабин (ванны, туалеты) крупнопанельных жилых домов, где был обнаружен рост плесневых грибов, покрывающих в отдельных случаях до 80 % поверхности стен. Пушистые налеты на стенах и пятна имели разнообразную окраску: белые, розовые, коричневые, бурые, черные, зеленые – различных оттенков. Наиболее активно подвергаются воздействию микроорганизмов исторические центры городов. Подавляющее большинство музеев, библиотек, архивов располагаются в зданиях более чем вековой давности. Строительные конструкции этих зданий, даже, несмотря на ремонт, имеют нарушенную гидроизоляцию из-за геологических, климатических особенностей региона.

Обследование зданий различного назначения (в том числе и только что отремонтированных) в Санкт-Петербурге, проведенное в рамках инициативного исследования Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), показало, что в центре города большинство (80 - 90 %) зданий вследствие нарушения горизонтальной и вертикальной гидроизоляции, протечек кровель и т.п. поражены различными организмами: бактериями, микроскопическими грибами (микросциетами), домовыми грибами, водорослями, лишайниками.

Грибы (плесень) ухудшают внешний вид материалов, обесцвечивая их поверхность или образуя на них пятна. Разрастаясь по поверхности природных и искусственных камней, грибы образуют бархатистые, войлочные и ватообразные налеты различной окраски, чем вызывают функциональную деградацию камня. В тех случаях, когда мицелий внедряется вглубь материала, образуя в нем различной величины полости, наступает снижение механической прочности камня. Метаболиты грибов и высокая относительная влажность воздуха ухудшают физико-химические свойства лакокрасочных покрытий: наблюдается отслоение и растрескивание покрытий; модуль упругости, прочность при растяжении и относительное удлинение резко уменьшаются. Окрашенные поверхности, пораженные плесневыми грибами, вспучиваются, шелушатся, осыпаются, покрываются бурыми и серо-зелеными пятнами, теряют эстетические и эксплуатационные свойства. Повторная окраска таких пораженных участков часто не дает положительных результатов, так как через слой свежей краски, вскоре вновь прорастают грибы. Следствием развития плесневых грибов на резинах является появление пигментных пятен, потускнение поверхности, неприятный запах. Гипсобетонные стены, покрытые масляно-клеевой шпаклевкой, вододисперсионными красками, в условиях повышенной влажности и отсутствия вентиляции также поражаются плесенью. Почвенные и другие мицелиальные грибы поражают различные виды линолеума.

Синтетические материалы, применяемые в строительстве, обычно более устойчивы к повреждению микроорганизмами, чем материалы на основе природных продуктов. Однако на практике встречаются случаи биоповреждений синтетических материалов. Доказано, что эти биоповреждения связаны с низкой биостойкостью не полимерной основы или связующего синтетического материала, а низкомолекулярных добавок: пластификаторов, наполнителей, армирующих материалов, катализаторов полимеризации и пр. Особенно подвержены биоразрушению микроорганизмами материалы и конструкции, которые контактируют с грунтом, водой, загнившими продуктами, навозом или постоянно увлажняются в процессе эксплуатации. В деревянных постройках возникают очаги смешанной гнили, которая может создать при благоприятных условиях массовые очаги разрушения, т. к. при этом значительно снижается прочность древесины. В животноводческих помещениях, строительные конструкции и изделия которых инфицированы патогенными микроорганизмами, снижаются приросты, увеличивается падеж животных, а медицинские учреждения, зараженные стафилококковой инфекцией, пригодны для эксплуатации только после проведения ремонтных работ, заключающихся в замене зараженного слоя штукатурки новым. Процессы биоповреждения в производственных помещениях перерабатывающих предприятий резко обостряют проблемы сохранения продовольствия: зерна и муки на мукомольных предприятиях, молока и мяса на мясомолочных комбинатах и т. д. Основными социально-экономическими последствиями биоповреждений объектов строительства и их элементов для населения является снижение работоспособности и увеличение заболеваемости, для основных фондов - ускорение физического износа, увеличение количества отказов в работе оборудования, ухудшение состояния.

Система мер по защите элементов объектов строительства от биоповреждений осуществляется по двум направлениям: а) обеспечение снижения отрицательного воздействия микроорганизмов на биологическое разрушение материалов; б) получение новых фунгицидных и биостойких строительных материалов. Экономический эффект от проведения биоохранных мероприятий заключается в предотвращении потерь живого и овеществленного труда и выражается в приросте прибыли или объема чистой продукции либо в экономии затрат на выполнение работ и оказание услуг, связанных с биоповреждением материалов. Интенсивное развитие плесени связано с наличием благоприятных условий для нее в помещениях (повышенная влажность, неисправность системы вентиляции, протечки, наличие внешних загрязнений и т.д.). Практически все обследуемые жилые квартиры и комнаты общественных зданий находились на последних этажах многоэтажных зданий, и основные очаги обрастания возникали в местах протекания кровли (сопряжение стены и потолка). Также одной из основных причин возникновения и развития плесневых грибов является сезонное промораживание-оттаивание и, как следствие, накопление влаги железобетонными панельными стенами, не соответствующими нормам новых СНиП по сопротивлению теплопередаче, и нуждающимися в утеплении. Долговечную эксплуатацию зданий и сооружений в условиях воздействия биологически активных сред можно обеспечить только при знании процессов биодеградации, механизм которой весьма сложен. Она протекает в несколько этапов: заселение и адсорбция микроорганизмов на поверхности изделий; образование колоний микроорганизмов и накопление продуктов метаболизма (кислот, ферментов); стимулирование процессов биоразрушения за счет одновременного воздействия микроорганизмов, влажности, температуры и химических агрессивных сред. Интенсивность протекания данных процессов определяется структурой и химическим составом материалов и их компонентов, технологией изготовления, степенью старения, наличием в материале минеральных и органических загрязнений, биозащитных компонентов. Степень разрушительного воздействия микроорганизмов определяется физическими, химическими, биологическими и другими факторами.

5.4.1 Защита от биоповреждений строительных конструкций

Более 50% общего объема регистрируемых в мире коррозионных повреждений связано с деятельностью микроорганизмов, – считает доктор биологических наук, заместитель директора Биологического НИИ Санкт-Петербургского государственного университета Дмитрий Власов. – В нашем городе проблема эта стоит особенно остро в связи с влажным климатом. Разрушаются уникальные памятники архитектуры, скульптурные ансамбли, что в значительной степени связано с процессами биоповреждения материалов.

Меры первичной и вторичной защиты зданий и строительных конструкций от биологического воздействия сформулированы уже давно. Так, в Санкт-Петербурге в середине 2006 года были приняты региональные нормы в части защиты от химических агрессивных воздействий, основанные на федеральных СНиПах более раннего временного периода – РВСН 20-01-2006. В них на более чем 130 страницах описаны виды поражений и сформулированы нормы защиты на различных этапах ведения строительных работ.

Многие главы рекомендаций были впервые сформулированы и опубликованы в России. Некоторые специалисты говорят, что общенациональную нормативную базу пора корректировать.

– Современное общество постоянно сталкивается с биологическим загрязнением, – говорит генеральный директор научно-производственной фирмы «БиоспейсСтрой» Сергей Старцев. – Этой тематике не уделяется достаточного внимания, хотя масштабы наносимого вреда от коррозии и биокоррозии, и в частности экономического урона, во всех странах мира огромны.

В США, к примеру, предпринимаются очень серьезные меры по предотвращению биоповреждений зданий и сооружений, а в нашей стране не осуществляется даже учет потерь от химической и биологической коррозии материалов и конструкций. Серьезно не учитывают этот фактор ни проектировщики, ни строители.

Ученые, занимающие активную позицию в этом вопросе, говорят, что причиной биокоррозии являются природный и техногенный факторы.

– Микробы великолепно адаптируются к изменению среды, – считает доктор геолого-минералогических наук, профессор Санкт-Петербургского горного института Регина Дашко. – Иногда они становятся более агрессивными, чем первоначальные популяции.

Источники биопоражений зданий и сооружений можно разделить на три группы. Возникновению первой мы обязаны присущему нашей природе громадному количеству захороненных болот, которые являются активными «биореакторами».

Вторая – в методике хозяйственного освоения города, в котором с XVIII по XIX век отходы захоранивались рядом с жилыми домами, и теперь они являются питательной средой для микроорганизмов. Третья – вклад современного хозяйствования. Это, прежде всего, утечки из систем водоотведения.

Известно также, что при воздействии на строительные конструкции перепада температур, сильных ветровых нагрузок, радиационного излучения и других факторов в них появляются трещины, которые затем заполняются пылью. Ученые выяснили, что и она является питательной средой для бактерий, различных грибов и даже высших растений.

Химическое воздействие на строительные материалы оказывают, главным образом, микроорганизмы: бактерии, актиномицеты, микромицеты, микроводоросли, лишайники. Как правило, в разрушении строительных материалов принимают участие сообщества микроорганизмов.

Причем одни виды разрушают защитный слой, а другие основной материал конструкции. В сообщества могут входить микроорганизмы, которые не принимают непосредственное участие в разрушении строительных материалов, но играют важную роль в жизнедеятельности сообщества и способствуют накоплению общей биомассы.

В процессе своей жизнедеятельности микроорганизмы продуцируют ферменты, кетоны, спирты и такие агрессивные метаболиты, как кислоты – органические и неорганические, в том числе – азотную и серную, а также аммиак, сероводород, метан, углекислый газ.

Продукты их жизнедеятельности могут играть роль мощных катализаторов химических процессов, ускоряя химические реакции в несколько раз. Некоторые микроорганизмы, например тионовые бактерии, могут увеличить скорость реакции в сотни тысяч и даже в миллионы раз.

Многие виды микроорганизмов способны сорбировать влагу из воздуха, выделять воду в качестве метаболита, что ведет к избыточному увлажнению строительного материала, растворению загрязнителей и развитию гидрофильных микроорганизмов.

Механическое воздействие могут оказывать как микро-, так и макроорганизмы. Микроорганизмы, попадая в трещины и микротрещины в строительных материалах, в местах сочленения различных конструкций, при благоприятных условиях начинают развиваться, накапливая биомассу. Мицелии многих грибов способны проникать в микротрещины на любую глубину.

Увеличение объема биомассы приводит к расширению заселенных трещин и появлению новых. Циклическое изменение относительной влажности воздуха, переход температуры окружающей среды через 00С способствуют расширению трещин на фасадах зданий, заселенных микроорганизмами.

Биодеструкторы материалов условно делятся на опасные, менее опасные и редко встречаемые слабые. Некоторые бактерии и грибы превращают серосодержащие материалы в серную кислоту.

Губительной для строительных конструкций является корневая система самосевных трав и деревьев, мох и лишайник. Они разрушают камень, в том числе граниты, и постепенно осваивают городское пространство. Следует упомянуть также и о воздействии на строительные материалы беспозвоночных насекомых, грызунов, птиц.

Кроме этого, существует и такой вид вредного воздействия, как электрохимическое воздействие. Разрушение или коррозия стальной поверхности идет по гальваническому пути.

При наличии жидкого электролита происходит коррозия черных металлов. Гальванический процесс заканчивается после того, как вся поверхность металла покрывается окисной пленкой, толщиной 400–450 микронов. Микроорганизмы могут разрушить эту пленку и тогда гальваническая реакция возобновляется.

Поскольку причиной появления плесени и высолов является повышенная влажность, то и главным методом борьбы становится защита сооружения от излишней влаги. Среди предлагаемых методов и устройство свободного доступа к опорным узлам конструкций как для осмотра, так и проветривания, и различные методы гидроизоляции и вентиляции, а также регулирование в помещениях температурно-влажностного режима. Иногда применяется обработка конструкций гидрофобными составами.

Внутренние факторы, влияющие на разрушения, – это в первую очередь повышенная влажность материала. Для кирпича это больше 2%, дерева – 20%, бетона – 0,5%, штукатурки – 0,1%.

При этих показателях начинается колонизация материалов микроорганизмами. Рекомендации при второй степени биоповреждений – любым способом промыть зараженную поверхность биоцидными растворами.

Но такая обработка помогает лишь при поверхностном поражении. Если инфицирование пошло вовнутрь, этот метод не поможет. Самое эффективное – сделать прокаливанию до 60 градусов. Однако это не всегда возможно.

Альтернативой прокаливанию может быть метод биоцидных компрессов. Такой метод может быть эффективным, если обрабатываемые материалы предварительно просушить.

Многие производители ЛКМ и сухих строительных смесей предлагают антисептические растворы, предотвращающие появление плесени. Например, концерн «Тиккурила» недавно наладил в Петербурге выпуск стеклоакрилатной грунтовки с биоцидными добавками. А компания «Крепс» в линейке своей продукции предлагает проникающую антисептическую и обеспыливающую пропитку «Праймер Крепс».

Некоторые антисептики широкого спектра антимикробного действия также могут использоваться для санитарной обработки строительных конструкций. Институтом высокомолекулярных соединений РАН для этих целей предлагается раствор «Катапол».

Есть и такой способ борьбы, как фумигационная обработка помещений. В 2009 году компания «Контех» предложила продукт, окуривая которым можно бороться с плесенью.

Иначе выглядят меры борьбы с влажностью, когда ее причина в нарушении культурного слоя. В качестве борьбы с этим массовым явлением может помочь вертикальная и горизонтальная гидроизоляция.

Одним из способов восстановления горизонтальной гидроизоляции кладки является забивка листов нержавеющей стали. Так обеспечивается противокapиллярная защита. Но этот метод не считается идеальным, поскольку надо защитить и то, что ниже кладки.

Сейчас широко распространен метод инъектирования в кирпичную кладку гидрофобных растворов. Однако при таком способе возникает опасность повреждения кладки, связанная с механическим перфорированием стенки.

Другая ошибка, когда в качестве тампонирующего шнуры состава используют обычный цементный раствор. Поскольку этот материал по сравнению со старой кирпичной кладкой гораздо тверже, а здание неизбежно колеблется, то есть опасность возникновения трещин. Так случилось при реставрации одного из соборов на Кипре.

В старых домах, а в Санкт-Петербурге их не более 2%, применялись «глиняные замки». Их устраивали только в тех случаях, когда уровень пола подвала должен быть ниже уровня грунтовых вод. Иногда предпринимаемое сегодня восстановление «глиняных замков» – весьма сложная задача, поскольку трудно обеспечить надежную герметичность в месте стыка старой и новой глины.

Для защиты фундаментов зданий от грунтовой влаги в европейских странах с успехом применяются различные профилированные мембраны из специального полиэтилена. В нашей стране они тоже находят применение.

Для решения проблемы воздействия на кирпичную кладку влаги культурного слоя весьма эффективен метод локального грунтопонижения с помощью специальных лотков, которые прерывают контакт между цоколем здания и культурным слоем.

– Популярным сегодня методом стало устройство проникающей гидроизоляции. Этот метод эффективен для бетона, но в случае с кирпичными стенами вызывает много вопросов.

Современный рынок предлагает сотни материалов для биозащиты строительных конструкций. Разработаны методы и препараты, технологии и приспособления, позволяющие предупредить разрушения и продлить срок эксплуатации зданий из самых различных конструктивных материалов. И грамотный выбор защиты поможет сэкономить средства на масштабную реконструкцию.

Заключение

Анализируя данные об произошедших авариях можно заключить, что обрушения прямо или косвенно связаны с несоблюдением требований норм и правил строительной практики.

Следование действующим нормам и правилам гарантирует достаточно высокую надежность сооружения (вероятность аварии этих сооружений не превышает $2,4 \times 10^{-6}$).

Исследование причин аварий послужило основанием для попытки оценить их возможность возникновения на основе формализованного анализа условий, влияющих на надежность сооружения.

К числу этих условий отнесем надежность проекта, качество строительства и эксплуатации.

Недостаточная надежность проекта может возникнуть вследствие:

1) несоответствия принятой расчетной модели действительной работе конструкций из-за отсутствия или неполноты норм на проектирование, неясности расчетных схем, нагрузок и фактических условий работы и эксплуатации объекта, учета сопротивляемости сооружения случайным воздействиям;

2) недостаточной апробированностью конструктивного решения (наличия построенных аналогичных сооружений, значительного отличия размеров проектируемого сооружения и нагрузок в большую сторону от построенных ранее аналогичных сооружений);

3) нарушения строительных норм и правил при выполнении проектирования в части: полноты инженерно-геологических исследований, учета агрессивности внешней среды, отсутствия указаний в проекте о принятых нагрузках, возможных допусках на изготовление, марках материалов, методов строительства и эксплуатации;

4) допущенных ошибок из-за отсутствия достаточного опыта проектировщиков, недостатка времени или средств на проектирование.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

5) применения материалов и конструкций, не соответствующих проекту;

6) низкого качества строительно-монтажных работ;

7) использования необычных или неапробированных методов возведения;

8) плохого контроля за качеством строительства, неудовлетворительного взаимодействия проектировщиков и строителей;

9) низкой квалификации производственного персонала, частой смены производственного персонала;

10) неудовлетворительной обстановки на стройке: недостаток времени, средств, плохие взаимоотношения персонала;

11) отступлений от строительных норм и правил строительной практики при строительстве сооружения, отступлений от первоначального проекта;

Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

12) завышения проектных нагрузок;

13) отсутствия контроля за состоянием сооружения, эксплуатации сооружения с неустранимыми дефектами;

14) отступлений от правил эксплуатации, использования сооружения не по назначению.

Анализ аварий показал, что при несоблюдении условий, указанных выше, возможна авария сооружении.

Список использованной литературы

- 1) Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб., 2004;
- 2) Теличенко В. И., Ройтман В. М., Слесарев М. Ю., Щербина Е. В. Основы комплексной безопасности строительства: Монография / Под ред. В. И. Теличенко и В. М. Ройтмана. - М.: Издательство АСВ, 2011. – 168 с.;
- 3) СП13-102-203.Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.М., 2003;
- 4) Курлапов Д.В.Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции - Инженерно строительный журнал, No 4, 2009;
- 5) Кулябко В.В. Резервы конструкторских приемов и методик расчетов нелинейного гашения колебаний зданий, сооружений и их элементов / Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып.10.- МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК, ЦНИИПСК. – М.: 2006. – С.157-167;
- 6) Добромыслов А. Н. Ошибки проектирования строительных конструкций: Научное издание. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 208 с.;
- 7) Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара/НИИЖБ. М., 1985;
- 8) Добромыслов А. Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2008. – 72 с.;
- 9) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 1. /под ред.: К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского и А. В. Забегаева/ В. А. Котляревский, К. Е. Кочетков, А. А. Носач, А. В. Забегаев и др. - М.: Издательство АСВ, 1995. – 320 с.;
- 10) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 2. /под ред.: К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского и А. В. Забегаева/ В. А. Котляревский, А. В. Виноградов и др. - М.: Издательство АСВ, 1996. – 384 с.;
- 11) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 3. /под ред.: В. А. Котляревского и А. В. Забегаева/ В. А. Котляревский, А. В. Забегаев, А. А. Носач и др. - М.: Издательство АСВ, 1998. – 416 с.;
- 12) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 4. /под ред.: В. А. Котляревского и А. В. Забегаева/ В. А. Котляревский, А. В. Забегаев, Ю. Н. Глазунов и др. - М.: Издательство АСВ, 1998. – 208 с.;
- 13) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 5. /под ред.: В. А. Котляревского и А. В. Забегаева/ В. А. Котляревский, А. М. Аверченко, А. В. Забегаев и др. - М.: Издательство АСВ, 2001. – 416 с.;

- 14) Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 6. /под ред.: В. А. Котляревского / В. А. Котляревский, А. В. Р. Д. Октябрьский, И. Е. Сеницына и др. - М.: Издательство АСВ, 2003. – 408с.;
- 15) Райзер В. Д. Теория надежности сооружений. Научное издание. - М.: Издательство АСВ, 2010. – 384с.;
- 16) Н.Н. Никонов Добровольно о безопасности (введение в специальность) (Мысли вслух о техническом регулировании как приложение к «Лекциям о профессии», Москва, Изд-во АСВ, 2005г.) / Учебное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2010. – 216с.;
- 17) А. В. Перельмутер Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. - М.: Издательство АСВ, 2007. – 253с.;
- 18) Ерёмин К.И., Матвеюшкин С.А. Особенности экспертизы и неразрушающего контроля строительных металлических конструкций: [Электронный документ] // Предотвращение аварий зданий и сооружений, – 2009. (<http://pamag.ru/prensa/expert-metall>);
- 19) Кулябко В.В. Резервы конструкторских приемов и методик расчетов нелинейного гашения колебаний зданий, сооружений и их элементов / Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып.10.- МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК, ЦНИИПСК. – М.: 2006;
- 20) Петров А.А. О влиянии выбора расчетных моделей на оценку сейсмической реакции // Промышленное и гражданское строительство. 1999. № 10;
- 21) Смирнов С.Б. Решение проблемы надежной сейсмозащиты зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство, 1999, № 10;
- 22) Тамразян А.Г., Степанов А.Ю., Ларфенов С. Г. Конструктивная безопасность железобетонных конструкций зданий и сооружений при запроектных воздействиях // «Бетон и железобетон - пути развития». Научные труды II Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону, Москва, 5-9 сентября 2005 г.- Том 6. Дополнительный. Секционные доклады.– М.: Дипак, 2005;
- 23) Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях / Москомархитектура.- М.: ГУП "НИАЦ", 2002.- 20 с.;
- 24) Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях / Москомархитектура.- М.: ГУП "НИАЦ", 2002_-24 с.;
- 25) Ларионов В.В. Публичная техническая политика в строительстве // Промышленное и гражданское строительство, 2004, №5.- С. 11-12.

Электронные источники:

- 26) <http://www.pandia.ru/text/77/215/1689.php>
- 27) <http://pamag.ru/prensa>
- 28) <http://bcrash.ru>
- 29) <http://archiv-nostroy.ru/sitePage.do?name=accidents>

30) <http://omsk-club.ru/publ/4-1-0-42>

31) <http://swalker.org/other/2296-hromaya-loshad-tri-goda-spustya-damy-i-gospoda-mygorim.html>