

Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Московский государственный строительный университет
Ассоциация московских вузов

Утверждаю
Проректор по УМР и МД

_____ Гагин В.И.
« ____ » _____ 2009 г.

ОТЧЕТ

о выполнении подраздела мероприятий по социальному
обслуживанию населения в части предоставления
образовательных услуг жителям города Москвы

Подраздел №11.5.3.2. «Современные методы исследований
и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений»
(Научно-информационный материал)

Научный руководитель подраздела	Рук. НТЦ «РиБоС»			Тамразян А.Г.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО
Заместитель научного руководителя подраздела	Гл.инженер ОНИЛ КГК			Гафурова М.Ф.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии руководителя НТЦ «Риск и безопасность сооружений», профессора Тамразяна А.Г. (отв. исп. гл.инженер Гафурова М.Ф.) в рамках подраздела 11.5.3.2. были разработаны, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-информационные и научно-образовательные материалы в области современных методов исследований и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Основная часть	6
2.1. Обзорно-аналитические исследования по существующим нормативным подходам по предотвращению прогрессирующего обрушения	6
2.2. Анализ методов и разработка методик теоретических и экспериментальных исследований	7
2.3. Основные результаты выполненной работы	8
2.3.1. Учёт опасности прогрессирующего обрушения конструкций, обусловленной ошибками проектирования, изготовления, монтажа или неправильной эксплуатацией сооружения	8
2.3.2. Выбор рациональных конструктивных решений и материалов	9
2.3.3. Проектирование «ключевых» элементов, способных воспринимать аварийные воздействия	10
2.3.4. Основные требования по организации надлежащей эксплуатации сооружений	12
2.3.5. Требования по обеспечению безопасности от прогрессирующего обрушения при проектировании, строительстве	14
2.3.6. Расчет конструкций с учетом изменчивости параметров	15
2.3.6.1. Изменчивость нагрузок, действующих на строительные конструкции	16
2.3.6.2. Изменчивость механических характеристик прочности материалов	20
2.3.6.3. Несовершенства изготовления и монтажа конструкций	24
2.4. Анализ новизны созданных научных и технологических решений	33
2.5. Объекты интеллектуальной и промышленной собственности, созданные на отчетном этапе и представляющие собой объекты типа «инжиниринг»	35
2.6. Анализ направлений и масштабов использования полученных результатов	35
3. Заключение	36
4. Рекомендуемая литература	37

1. Введение

Проблемы обеспечения безопасности проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений приобретает все большую актуальность и значение.

Настоящее исследование содержит требования по обеспечению безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях, с учётом изменчивости геометрических и нагрузочных параметров.

В соответствии с принятой шкалой устанавливается оценка вероятности уязвимости (риски) проектных решений для различных опасностей:

-изменчивость нагрузок, действующих на строительные конструкции.

Все длительные и кратковременные нагрузки обладают определёнными специфическими свойствами, изучению и выявлению которых уделяется большое внимание.

-механические характеристики прочности материалов.

- несовершенства изготовления и монтажа конструкций.

Одним из источников случайных возмущений, приводящих к риску прогрессирующего обрушения являются случайные отклонения в размерах элементов конструкций.

В настоящее время требования по обеспечению безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях содержатся в документах [9, 10, 24]. Анализ имеющихся материалов показал, что проблема предотвращения прогрессирующего обрушения - это сложная проблема, вероятность ущерба возрастает по мере усложнения проектных решений, и не может быть решена универсальными методами.

Большинство зарубежных стандартов строительного проектирования учитывают возможность возникновения и потенциальные последствия прогрессирующего обрушения от аварийных воздействий. Наиболее четкое

определение дано в стандарте ASCE 7-02 [20] как «распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, которое, в конечном счете, приводит к обрушению всего сооружения или непропорционально большей его части». Причиной разрушения может быть любая из множества аварийных ситуаций, которые не рассматриваются в обычном проектировании. В то же время землетрясения, пожары, сильные ветры, включенные в строительные нормы, [6.12,13] также не должны приводить к прогрессирующему обрушению.

Сооружения должны проектироваться и эксплуатироваться так, чтобы ущерб, возникающий как следствие аварийных событий, не достигал размеров, несоизмеримо больших, чем последствия изначального локального повреждения.

2 Основная часть

2.1 Обзорно-аналитические исследования по существующим нормативным подходам по предотвращению прогрессирующего обрушения

Один из существующих подходов по предотвращению лавинообразного обрушения [9, 10,20,24] это требование, чтобы сооружение было бы запроектировано так, чтобы противостоять заданным аварийным воздействиям. В этом случае прочность, целостность и жесткость конструктивных «ключевых» элементов, способных, в дополнение к существующим нагрузкам, воспринимать аварийные воздействия, обеспечивается их усилением [18]. Этот вариант предполагает обязательное нормирование интенсивности аварийного воздействия.

В [21,22,23] предусматривается не прямое рассмотрение сопротивления прогрессирующему обрушению при проектировании и включает оценку и уменьшение влияния потенциальной опасности.

Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремлением стоимости сооружения к бесконечности [8].

В большинстве случаев аварийные воздействия не могут быть определены количественно и неизвестна степень возможных начальных повреждений, дефектов. Невозможно использовать численные методы расчета МКЭ ввиду отсутствия подробных знаний поведения конструкций при лавинообразном обрушении, а также достаточного опыта построения структурных комплексных моделей и интерпретации результатов вычислений. Необходимы разработки по развитию усовершенствованной методики оценки уязвимости конструктивных систем [1] и их совершенствования для смягчения прогрессирующего обрушения при различных вариантах опасности.

Существующий опыт проектирования показывает, что в большинстве случаев невозможно обеспечить живучесть строительных систем после

отказа ключевых несущих конструктивных элементов (например, колонн). Требование, чтобы подобные конструкции не теряли несущую способность в случае удаления ключевых элементов, при аварийных воздействиях невыполнимо. При буквальном соблюдении п. 1.10 ГОСТ 27751-88, касающегося этого вопроса, реальное проектирование таких объектов становится невозможным, ввиду нечеткости и неопределенности части требований этого раздела нормативного документа [5]. Какие расчетные сочетания нагрузок принимать для этого случая? Следует ли при этом учитывать причину отказа, вид отказа и возможные его последствия?

Анализ статистических данных показывает, что из возможных аварийных ситуаций ошибки проектирования, изготовления или монтажа, ненадлежащее качество материалов, неправильная эксплуатация сооружений имеют наибольшую вероятность.

2.2 Анализ методов и разработка методик теоретических и экспериментальных исследований

Безопасность сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях должна быть обеспечена правильным выбором и назначением необходимых запасов несущей способности основных («ключевых») элементов конструкций, в первую очередь, обеспечивающих общую устойчивость сооружения [18].

Для этого необходимы следующие мероприятия по обеспечению безопасности сооружений от лавинообразного обрушения при аварийных воздействиях:

1. Исключение или предупреждение опасности аварийных воздействий, которым может подвергаться конструкция или объект.
2. Выбор рациональных конструктивных решений и материалов, обеспечивающих несущую способность сооружения даже при наличии локальных (в пределах одного конструктивного элемента) повреждений.

3.Проектирование «ключевых» элементов, с учетом возможности восприятия аварийных воздействий в дополнение к стандартным проектным нагрузкам и воздействиям.

4. Мониторинг состояния несущих конструкций и организация надлежащей эксплуатации сооружения.

5.На стадии проектирования сооружений рекомендуется рассматривать несколько взаимосвязанных подходов по обеспечению безопасности конструкций от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях.

- Системный принцип - оценка уязвимости примененных конструктивных схем при аварийных воздействиях и прогрессирующем обрушении, разработка решений, которые являются эффективными для уменьшения последствий при различных сценариях угрозы [3].

- Превентивные меры безопасности – снижение степени опасности аварийных воздействий.

При принятии решений должны учитываться:

- причины и вид аварийных воздействий;
- возможные последствия лавинообразного обрушения, включающие опасность для жизни и увечий людей, экономические и социальные потери.

2.3 Основные результаты выполненной работы

2.3.1 Учёт опасности прогрессирующего обрушения конструкций, обусловленной ошибками проектирования, изготовления, монтажа или неправильной эксплуатацией сооружения

Выполняется анализ работы конструкции с целью выявления, «ключевых» элементов (расположенных в местах вероятных аварийных воздействий), выход из строя которых влечет за собой лавинообразное обрушение всей конструкции.

Для указанных элементов и узлов вводятся дополнительные коэффициенты условий работы, в соответствии с табл. 2.3.1. Величины коэффициентов регламентируются в зависимости от этажности, степени ответственности «ключевых элементов».

Таблица 2.3.1

Ключевые элементы конструкции здания	Этажность, кол-во	Дополнительные коэффициенты условий работы, $\gamma_{с,доп}$
Основные колонны сооружения; несущие балочные элементы	до 25	0.95
	от 25 до 75	0.9
	свыше 75	0.85

Примечания:

1. Дополнительный коэффициент условия работы $\gamma_{с,доп}$ уменьшает допускаемое расчетное сопротивление материала.
2. Приведенные в табл. 1 дополнительные коэффициенты условия работы $\gamma_{с,доп}$ следует учитывать одновременно с коэффициентом надежности по назначению γ_n и коэффициентами условий работы элементов, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

2.3.2 Выбор рациональных конструктивных решений и материалов

Конструктивные решения должны обеспечивать несущую способность сооружения даже при локальных повреждениях, предотвращать лавинообразное обрушение системы вследствие разрушения второстепенных элементов конструкции, узлов (связи, элементы, обеспечивающие устойчивость «ключевых» конструкций, и т.п.) [16].

Специальное внимание следует уделять расчётам и конструированию узлов, выполняя их равнопрочными сопрягаемым элементам по опорным сечениям или, когда сечения подобраны по гибкости или по прочности пролётного сечения, применять дополнительный коэффициент условия работы $\gamma_{с,доп} = 0.85$. Стыки элементов располагать вне зоны максимальных усилий.

Железобетонные основные несущие элементы следует проектировать с увеличенным количеством хомутов, постановкой спиральной арматуры или использованием внешнего листового армирования. В случае применения предварительно напряженного и сборного железобетона необходимо обращать дополнительное внимание при проектировании и изготовлении элементов, узлов и деталей. Для железобетонных конструкций следует учитывать их постпредельное состояние; работу конструкций при сверхбольших деформациях и прогибах, а также со значительным раскрытием ширины трещин.

Необходима разработка «Технических условий на изготовление и монтаж конструкций», содержащих дополнительные требования и основные положения показателей качества применяемых материалов, изготовления и монтажа конструкций, методы их контроля и приемки, не входящие в действующие нормативно-технические документы или регламентирующие более высокие требования.

2.3.3 Проектирование «ключевых» элементов, способных воспринимать аварийные воздействия

Прочность и устойчивость сооружения против прогрессирующего обрушения проверяется расчетом конструкций на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающих постоянные и временные длительные нагрузки по [14], а также одно из аварийных ударных воздействий [15], соответствующих определенной чрезвычайной ситуации.

Сосредоточенные или распределенные нагрузки на «ключевые» элементы. Величина, направление и места приложения нагрузок и воздействий должны быть определены «Специальными техническими условиями» на проектирование конкретного сооружения. При этом минимальные величины расчетных аварийных нагрузок и воздействий должны приниматься:

- для стержневых элементов в виде сосредоточенной силы не менее чем 35 кН (3.5 т);
- для пластинчатых и оболочечных элементов не менее чем 10 кН (1т) на 1м² поверхности рассматриваемого элемента.

Расчетная схема сооружения должна учитывать возможность изменения характера работы системы в целом и отдельных элементов: последовательное исключение конструктивных элементов, изменение знака усилий, перераспределение нагрузок, изменение прочностных и жесткостных характеристик материала [17] и т.п.

Выбор варианта расчета должен определяться в «Специальных технических условиях» на проектирование конкретного сооружения. Рекомендуется расчеты выполнять на статические нагрузки и воздействия, при необходимости с учетом геометрической и физической нелинейности, использования для железобетонных конструкций метода теории предельного равновесия. При этом усилия от аварийных воздействий на узловые элементы и соединения рекомендуется увеличивать на 15 %.

Расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов следует принимать равными их нормативным значениям, согласно действующим нормам проектирования. Эти характеристики сопротивления материалов для ненормируемых (запроектных) аварийных воздействий допускается повышать за счёт использования дополнительных коэффициентов надёжности и коэффициентов условий работы, учитывающих малую вероятность аварийных воздействий, использования

работы арматуры за пределом текучести материала, а также интенсивный рост прочности бетона в начальный период после возведения сооружения.

Эти коэффициенты рекомендуется принимать для железобетонных конструкций суммарно равными – 1.15.

Прочность и устойчивость сооружения в случае локального аварийного воздействия на отдельные элементы, должны быть обеспечены как минимум на время, необходимое для эвакуации людей. Перемещения конструкций и раскрытие в них трещин в рассматриваемых чрезвычайных ситуациях не ограничивается.

2.3.4 Основные требования по организации надлежащей эксплуатации сооружений

Для обеспечения безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения необходимо проведение инструментального мониторинга, отслеживающего техническое состояние элементов и конструкций в целом, их деформаций во времени и при различных нагрузках, при их возведении и после сдачи в эксплуатацию.

Проведение инструментального мониторинга позволяет:

- оценивать и прогнозировать фактическую несущую способность конструкций и обеспечивать контроль безаварийной работы сооружения;
- своевременно обнаруживать и контролировать развитие дефектов в конструкциях и на этой основе прогнозировать остаточный ресурс сооружения.

Надежная и безопасная работа сооружений обеспечивается проведением технического мониторинга на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации. Повышенные требования к надежности сооружений определяют необходимость их контроля на стадии эксплуатации по техническому состоянию, с организацией системы непрерывного или периодического технического мониторинга, который включает [4]:

- оценку нагрузок, воздействий и факторов, являющихся причинами возникновения и развития дефектов;
- оценку видов дефектов, их расположение, характер развития;
- расчёт на фактические нагрузки по этапам измерений и анализ соответствия результатов мониторинга несущих конструкций расчётным данным;
- разработку критериев оценки опасности обнаруженных дефектов и рекомендаций по безопасной эксплуатации сооружения.

При осмотрах строительных конструкций необходимо устанавливать их физическое состояние и выявлять дефекты, повреждения, в том числе общие и местные деформации конструкций, появившиеся в результате:

- ошибок при проектировании;
- нарушений, допущенных при изготовлении конструкций;
- эксплуатации конструкций (нагрузки и воздействия на конструкции, соблюдение правил эксплуатации конструкций и пр.).

Определение причин выявленных осмотрами и зафиксированных дефектов, повреждений, в том числе деформаций строительных конструкций на основании детального инструментального обследования.

В случае выявления недопустимых дефектов и повреждений должны быть приняты соответствующие неотложные меры по аварийным конструкциям.

К числу недопустимых дефектов и повреждений железобетонных конструкций, требующих немедленного устранения, относятся, превышающие требования норм: отклонения от проектного положения, нарушение геометрических размеров сечений, механические повреждения, различного характера трещины, смещения и деформации в узлах сопряжений конструкций, растрескивание и разрушение защитных слоев бетона, коррозия арматуры.

Основными задачами эксплуатации строительных конструкций сооружений являются:

- обеспечение соответствия параметров нагрузок и воздействий на строительные конструкции величинам, принятым при проектировании здания или оговоренным действующими нормативными документами;
- своевременное выявление, оценка и устранение неисправностей строительных конструкций.

2.3.5. Требования по обеспечению безопасности от прогрессирующего обрушения при проектировании, строительстве

1. Здания должны быть разработаны так, чтобы конструктивная система в целом оставалась устойчивой и не поврежденной в степени, непропорциональной первоначальному местному воздействию.

2. Безопасность сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях должна быть обеспечена правильным выбором и применением одного или нескольких перечисленных ниже мероприятий:

а). Исключение или предупреждение опасности аварийных воздействий.

б). Выбор рациональных конструктивных решений, обеспечивающих несущую способность сооружения при наличии локальных повреждений, предотвращающих обрушение системы.

в). Проектирование «ключевых» элементов, с учетом возможности восприятия аварийных воздействий.

г). Назначение необходимых запасов несущей способности основных элементов конструкций, обеспечивающих общую устойчивость сооружения.

Процесс управления рисками проекта, включает выполнение следующих процедур:

12) Идентификация рисков – определение рисков, способных повлиять на проект, и документирование их характеристик.

3) Количественная оценка – количественный анализ вероятности возникновения и влияния последствий рисков на проект.

4) Мониторинг рисков – выявление и определение остающихся рисков.

Контроль рисков - оценка эффективности действий по минимизации рисков, выявленных при мониторинге.

Все эти процедуры взаимодействуют друг с другом, а также с другими процедурами.

Количественная оценка риска – это формализованный процесс определения источников опасностей и оценки их последствий и вероятностей возникновения вместе со стратегией для осуществления возможных превентивных мероприятий.

Риск связывают с размером ущерба от опасного события (в данном случае прогрессирующего обрушения), как правило, в натуральном или стоимостном выражении. Таким образом, риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и объем негативных последствий этого события (убытки, потери, ущерб).

2.3.6 Расчет конструкций с учетом изменчивости параметров

Под условной вероятностью $P(B|C)$ понимается вероятность события B при условии того, что событие C имело место.

Вероятность произведения двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную при условии, что первое имело место:

$$P(AB)=P(A) \times P(B|A) . \quad (1)$$

Если события A и B независимы, то

$$P(BA)=P(B) \quad (2)$$

Для независимых события A и B эта теорема приводит к формуле

$$P(AB)=P(A) \times P(B) \quad (3)$$

где $P(A)$ и $P(B)$ — вероятное событие A и B , соответственно.

Формула (1) может быть обобщена в случае произвольного числа событий. Вероятность произведения нескольких событий равна произведению вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляется при условии, что все последующие имели место:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1) \times P(A_2 | A_1) \times P(A_3 | A_1 A_2) \times \dots \times P(A_n | A_1 A_2 \dots A_{n-1}). \quad (4)$$

И, наконец, формула полной вероятности

$$P(A) = P(A_1) \times P(A | A_1) + P(A_2) \times P(A | A_2) + \dots + P(A_n) \times P(A | A_n) \quad (5)$$

определяет вероятность события A , которое может произойти вместе с некоторыми из попарно несовместимых событий A_1, A_2, \dots, A_n , образующих полную группу. Полная группа—совокупность таких событий, каждое из которых может произойти и одно из которых обязательно произойдет при проведении испытания, причем вероятность суммы событий, образующих полную группу, равна:

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = 1 \quad (6)$$

2.3.6.1 Изменчивость нагрузок, действующих на строительные конструкции

Действующие на сооружения нагрузки можно разделить на две характерные группы: постоянные и временные, причем последние могут быть как длительными, так и кратковременными. Масса элементов строительных конструкций может быть определена либо по данным стандартов и заводов-изготовителей для элементов заводского изготовления, либо по проектным размерам и объемным массам материалов с учетом их весовой влажности для предусмотренных условий возведения и эксплуатации зданий и сооружений. Но совершенно очевидно, что в процессе изготовления возможны отклонения от проектных параметров, обусловленные изменением объемной массы материала, влажности, отклонениями геометрических размеров от номинальных, вызванных особенностями технологии

изготовления элементов, а также физико-механическими изменениями в процессе эксплуатации[17]. В связи с этим в [7] предусмотрено введение соответствующих коэффициентов перегрузки.

С точки зрения теории вероятностей нормативные нагрузки определяют некоторые средние значения, а коэффициенты перегрузки характеризуют стандарты (здесь следует подчеркнуть, что коэффициенты перегрузки характеризуют, а не определяют стандарты нагрузок, так как пока не введены в рассмотрение соответствующие законы распределения нагрузок). В дальнейшем, если отсутствуют специальные оговорки будем предполагать, что та или иная случайная величина подчиняется нормальному распределению. В случае принятия того или иного закона распределения можно поставить в соответствие расчетному значению и стандарту функцию обеспеченности, т. е. вероятность того, что данное расчетное значение нагрузки будет превышено случайной величиной.

Так, в случае распределения случайной величины по нормальному закону имеем следующие значения функций обеспеченности $F^*(x)$:

$$F^*(m + \sigma) = P(X > m + \sigma) = 0,1587;$$

$$F^*(m + 2\sigma) = P(X > m + 2\sigma) = 0,01797 ;$$

$$F^*(m + 3\sigma) = P(X > m + 3\sigma) = 0,0013499;$$

$$F^*(m + 4\sigma) = P(X > m + 4\sigma) = 0,0000317;$$

$$F^*(m + 5\sigma) = P(X > m + 5\sigma) = 0,0000003.$$

На основании полученного можно установить связь между заданной степенью обеспеченности i в % с расчетным числом s стандартов, которая характеризуется графиком, представленным в полулогарифмических координатах на рис.2.3.1

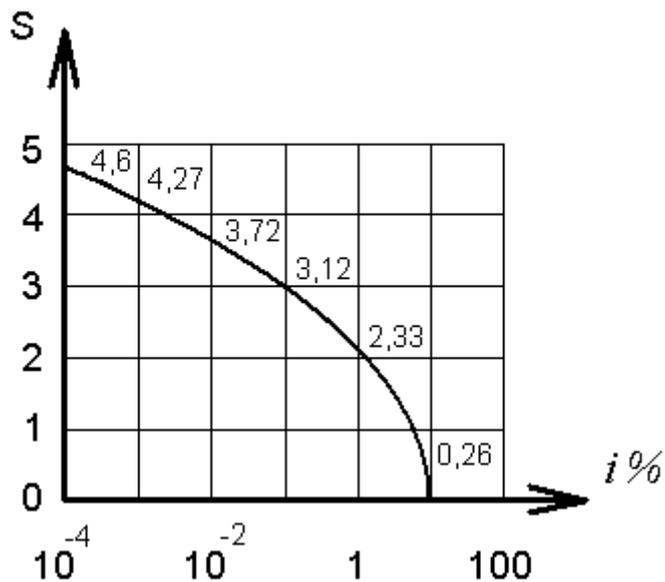


Рис.2.3.1 Связь между степенью обеспеченности $i\%$ и расчётным числом стандартов s

Если положить, что нормативные коэффициенты перегрузки n_n найдены в соответствии с правилом трех σ , когда расчетное значение величины нагрузки определяется как $m + 3\sigma$, что отвечает обеспеченности $0,135\%$, то можно установить связь между заданной степенью обеспеченности и коэффициентом перегрузки $n_i \%$:

$$n_{i\%} = 1 + s \frac{n_n - 1}{3} \quad (7)$$

Соответствующие результаты, определенные по формуле (7), приведены в табл. 2.3.2.

Таблица 2.3.2

n _H	n _i %						
	i%						
	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	50
1	1	1	1	1	1	1	1
1,1	1,15	1,14	1,12	1,10	1,08	1,01	1
1,2	1,31	1,28	1,25	1,21	1,16	1,02	1
1,3	1,46	1,43	1,37	1,31	1,23	1,03	1
1,4	1,61	1,57	1,50	1,41	1,31	1,03	1
1,5	1,77	1,71	1,62	1,52	1,39	1,04	1
1,6	92	1,85	1,74	1,62	1,47	1,05	1

Анализ данных, представленных в табл. 2.3.2, показывает, что существующие нормативные документы в определенной степени учитывают вероятностный характер нагрузок. Хотя в них в явном виде отсутствует взаимосвязь между обеспеченностью нагрузки и коэффициентами перегрузок, внутренне она учтена. Например, коэффициент перегрузки для равномерно распределенных нагрузок на перекрытия принимается в зависимости от значений нормативной нагрузки:

1,4-менее 20Н/м²;

1,3-от 20 до 50Н/м²;

1,2-от 50Н/м² и выше.

В соответствии с табл. 2.3.2 этот результат можно объяснить следующим образом. Если положить, что для каждой из нагрузок принят один и тот же коэффициент перегрузки $n_i/\% = 1,31$, то это соответствует для низких уровней нагрузки большему значению функции обеспеченности (1%), для средних уровней этот процент равен 0,1, а для высоких нагрузок — 0,0001. Совершенно очевидно, что с увеличением значений временных нагрузок их вклад в напряженное

состояние конструкции становится все более существенен и поэтому следует более строго оценивать вероятность их отклонения от средних значений. Иными словами, тот факт, что для меньших нагрузок принят больший коэффициент перегрузки, отнюдь не приводит к переоценке нагрузок с высоким уровнем, а, наоборот, способствует более правильному подходу к определению расчетных нагрузок.

Все длительные и кратковременные нагрузки обладают определёнными специфическими свойствами, изучению и выявлению которых уделяется большое внимание. Учет этих нагрузок и их сочетаний осуществляется в настоящее время, как с помощью коэффициентов перегрузки, так и коэффициентов сочетаний.

2.3.6.2 Изменчивость механических характеристик прочности материалов

Механические характеристики прочности материалов изучены статистически наиболее полно, так как неоднократно проводились многочисленные испытания конструкционных материалов с точки зрения полученных кривых деформирования, выявления пределов текучести, временных сопротивлений.

Создана статистическая теория прочности хрупких материалов[2].

В качестве аналитического закона распределения прочности бетона примем выражение, получаемое из нормального закона распределения.

На рис.2.3.2 пунктирной линией обозначен нормальный закон распределения $f_1(R)$, уравнение которого известно,

$$f_1(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(R-R_m)^2}{2\sigma^2}}$$

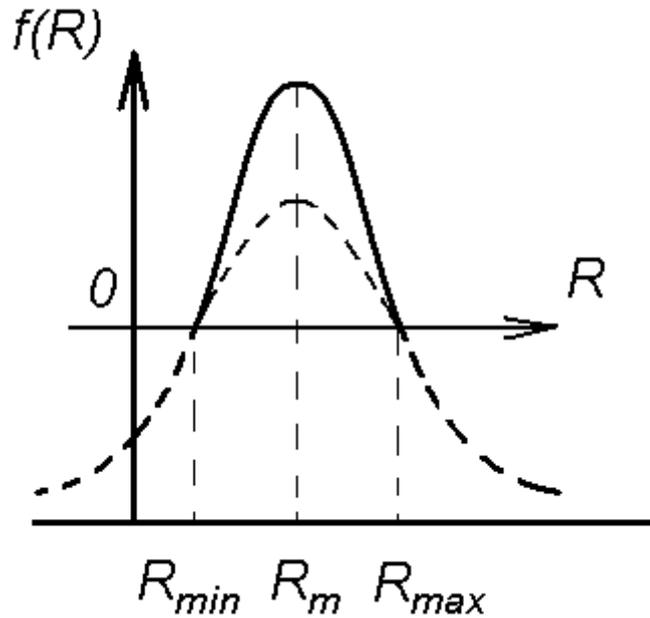


Рис.2.3.2 Теоретический закон распределения

Сместим ось абсцисс так, чтобы она пересекла кривую нормального распределения в точках, соответствующих абсциссам R_{\max} и R_{\min} . Отбросим теперь участки кривой нормального распределения, находящиеся ниже новой оси абсцисс, ординаты же кривой на интервале от R_{\min} и R_{\max} .

Умножим на величину $1 - \left(\frac{R_0 - R}{\Delta R} \right)$ и пропорционально изменим,

чтобы площадь, ограниченная сплошной кривой, была равна 1. Тогда будем иметь следующий закон распределения

$$f(R) = 0, \quad R \leq R_{\min};$$

$$f(R) = \frac{1}{2\sigma} \frac{\left[1 - \left(\frac{R_m - R}{\Delta R}\right)^2\right] \varphi\left(\frac{R - R_m}{\sigma}\right)}{\left(1 - \frac{\sigma^2}{\Delta R^2}\right) \Phi_0\left(\frac{\Delta R}{\sigma}\right) + \frac{\sigma}{\Delta R} \varphi\left(\frac{\Delta R}{\sigma}\right)}$$

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max};$$

$$f(R) = 0, R_{\max} \geq R,$$
(8)

где

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}; \Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Стандарт R_R ограниченного распределения (8) связан величиной σ , входящей в аналитическое выражение закона распределения, функциональным уравнением, получаемым из выражения для дисперсии

$$\beta = \frac{1}{y} \sqrt{1 + \frac{\frac{29}{32} \Phi_0(y) - y \left[y^2 + \frac{29+y}{32} \right] \varphi(y)}{(y^2 - 1) \Phi_0(y) + y f(y)}},$$
(9)

причем с целью упрощения записи здесь введены обозначения

$$\beta = \frac{\sigma_R}{\Delta R}; \quad y = \frac{\Delta R}{\sigma}; \quad \frac{\sigma_R}{\sigma} = \beta y.$$
(10)

На рис. 2.3.3 графически представлена связь между β (величиной, значение которой определяется путем статистической обработки

результатов испытаний) и $1/y$ (величиной, определяющей значение σ , входящее в аналитическую функцию распределения).

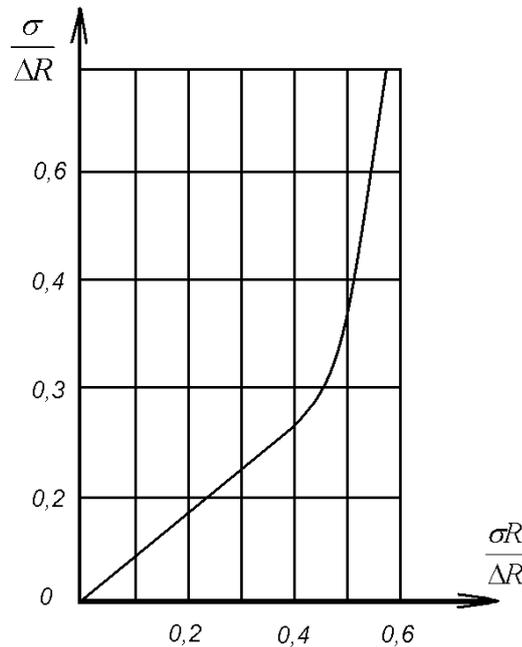


Рис. 2.3.3. Связь между величиной $\sigma_R/\Delta R$ и $\sigma/\Delta R$

Разобьем интервал, определяемый граничными значениями прочности R_{\min} и R_{\max} , на m участков. Тогда вероятность того, что значение прочности будет располагаться в пределах i -го участка ($i=1, 2, 3, \dots, m$) может быть найдена по формуле

$$P(R_i) = \frac{1}{2} \frac{1}{(y^2 - 1)\Phi_0(y) + y\varphi(y)} \left\{ (y^2 - 1) \times \left[\Phi_0\left(\frac{2i - m}{m}y\right) - \Phi_0\left(\frac{2i - 2 - m}{m}\right) \right] + \right. \\ \left. + y \left[\frac{2i - m}{m} \times \varphi\left(\frac{2i - m}{m}y\right) - \frac{2i - 2 - m}{m} \varphi\left(\frac{2i - 2 - m}{m}\right) \right] \right\}. \quad (11)$$

2. 3. 6.3. Несовершенства изготовления и монтажа конструкций

Одним из источников случайных возмущений, приводящих к риску прогрессирующего обрушения являются случайные отклонения в размерах элементов конструкций.

Рассмотрим задачу о расчете балки на прочность. Обозначим напряжения в крайнем волокне балки в сечении с координатой x в момент t $\sigma(x, t)$.

Условие прочности представим в виде

$$\sigma(x, t) < [\sigma] , \quad (12)$$

где $[\sigma]$ — некоторое допускаемое напряжение.

Нормальные напряжения $\sigma(x, t)$ равны

$$\sigma(x, t) = \frac{1}{W} M(x, t) , \quad (13)$$

где W — момент сопротивления сечения, который является неслучайной величиной.

Заменим условие прочности (12) требованием, чтобы условие (12) не нарушалось в области ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq t$) с заданной вероятностью P_0 , тогда можно записать

$$P\{M < [\sigma]W \mid 0 \leq x \leq 1; 0 \leq t\} = P_0 , \quad (14)$$

что привело к задаче о выбросах случайной функции двух переменных.

Эта задача может быть решена в общем случае следующим путем. Пусть $M(x, t)$ — непрерывный случайный процесс. Положим, что $a = [\sigma] \cdot W$ — значение ординаты функции $M(x, t)$, превышение которой нас интересует.

Определим вероятность того, что выброс произойдет в бесконечно малый промежуток времени dt , непосредственно следующий за моментом времени t в сечении x .

Тогда должны соблюдаться два неравенства

$$M(t | x) < a, \quad (15)$$

$$M(t + dt | x) > a, \quad (16)$$

откуда вероятность выброса в интервал времени dt может быть определена как

$$P\{ M(t | x) < a, M(t + dt | x) > a \}. \quad (17)$$

Левую часть неравенства (16) разложим в ряд Тейлора, ограничиваясь лишь линейными членами ряда, тогда получим

$$M(t + dt | x) = M(t | x) + \dot{M}(t | x)dt \quad (18)$$

В формуле (18) точка над символом обозначает производную по времени.

Неравенство (16) эквивалентно при этом неравенству

$$a - \dot{M}(t | x)dt < a, \quad (19)$$

причем

$$\dot{M}(t | x) > 0$$

Для вероятности осуществления этого неравенства введем в рассмотрение двухмерный закон распределения, ординаты случайной функции M и скорости ее изменения \dot{M} :

$$f(m, \dot{m} | x, t) \quad (20)$$

Тогда для искомой вероятности выброса получим

$$P\{a - \dot{M}(t | x)dt < M(t | x) < a\} = \int_0^1 \int_0^\infty \int_{a-\dot{m}dt}^a f(m, \dot{m} | x, t) dm dt dx \quad (21)$$

где пределы интегрирования охватывают все значения $M(t|x)$ и $\dot{M}(t|x)$, удовлетворяющие неравенству (19). Внутренний интеграл может быть вычислен на основании теоремы о среднем:

$$\int_{a-\dot{m}dt}^a f(m, \dot{m} | x, t) dm = dt \dot{m} f(a, m, \dot{m} | x, t) \quad (22)$$

Подстановка (21) в (20) дает

$$P\{a - \dot{M}([x, t)dt < M(x, t) < a\} = dt \int_0^1 \int_0^\infty f(a, \dot{m} | x, t) \dot{m} d\dot{m} dx \quad (23)$$

Полученная формула показывает, что вероятность выброса в течение бесконечно малого интервала времени dt пропорциональна dt .

$$P(a | x, t) = \int_0^1 \int_0^\infty f(a, \dot{m} | x, t) \dot{m} d\dot{m} dx \quad (24)$$

Предположим, что среднее число выбросов за данный промежуток времени достаточно мало, поэтому можно считать появление последовательных выбросов независимым редким событием. В этом случае число появлений выбросов можно считать приближенно подчиняющимся закону распределения Пуассона. Согласно этому закону вероятность того, что за время T не произойдет ни одного выброса, находится как

$$P(T) = e^{-\lambda T} \quad (25)$$

где λT — математическое ожидание.

Математическое ожидание числа выбросов может быть найдено из соотношения (24).

Если обозначить через $f(M, \bar{Q}|x)$ совместную плотность вероятностей изгибающего момента M и его производной по координате x в сечении x , найдем

$$e^{-\int_0^1 \int_0^\infty Q f(a, Q|x) dQ dx} = P_0 \quad (26)$$

Дальнейшее упрощение получим, если рассмотрим задачу о действии на балку внешней сосредоточенной силы N , приложенной в точке $x=b$. При каждой реализации этой силы момент $M(x)$ достигает максимума в сечении $x=b$. Условие (14) можно записать как

$$P\{M(b) < a\} = P_0 \quad (27)$$

Обозначим $P(M)$ функцию плотности распределения случайной величины M , которая связана с внешней нагрузкой соотношением

$$M = N \frac{b(l-b)}{l} \quad (28)$$

Условие (27) при этом может быть выражено соотношением

$$\int_{-\infty}^a P(M) dM = P_0 \quad (29)$$

Предположим, что M распределено по нормальному закону, математическое ожидание \bar{M} и стандарт σ_M определится как

$$\left. \begin{aligned} \bar{M} &= \bar{N} \frac{b(l-b)}{b}; \\ \sigma_M &= \frac{b(l-b)}{l} \sigma_M \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Закон плотности распределения запишется так:

$$P(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_M} e^{-\frac{(m-\bar{M})^2}{2\sigma_M^2}}$$

Соотношение (29) принимает вид

$$\Phi_0\left(\frac{a-\bar{M}}{\sigma_M}\right) = P_0 - \frac{1}{2}. \quad (31)$$

Из (31) следует выражение для W :

$$W = \frac{\bar{M} + k(P_0)\sigma_M}{[\sigma]}, \quad (32)$$

причем $k(P_0)$ находится из соотношения

$$\Phi_0[k(P_0)] = P_0 - \frac{1}{2}.$$

Зависимость $k(P_0)$ представлена на рис. 2.3.4.

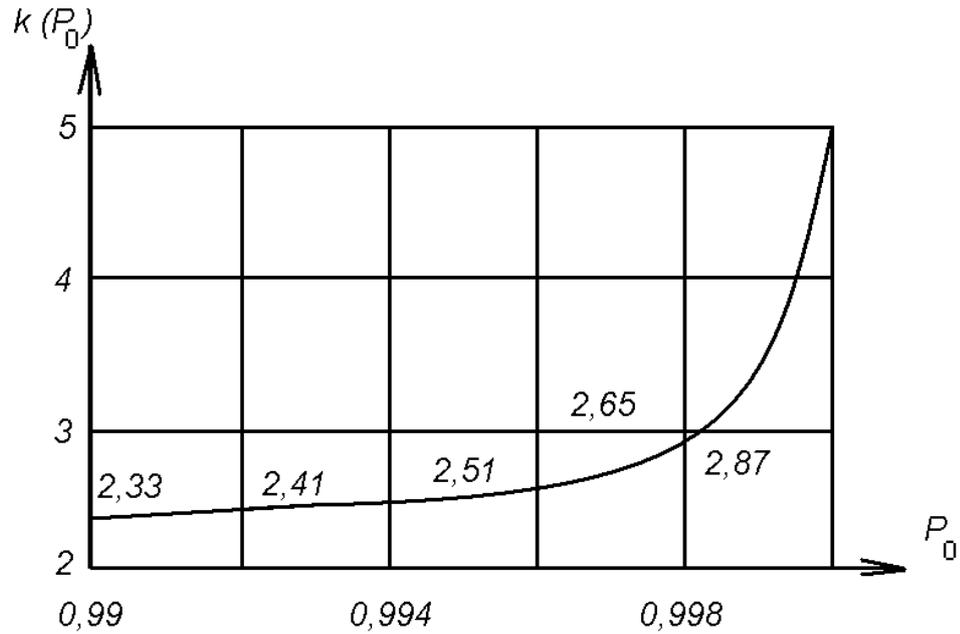


Рис.2.3.4 Зависимость $k(P_0)$ от P_0

Подставляя соотношения (30) в (32), будем иметь

$$W = \frac{\overline{N} + k(P_0)\sigma_N}{[\sigma]} b \frac{l-b}{b} .$$

Предположим, что на балку действует равномерно распределенная нагрузка $q(t)$, которая является случайной функцией времени t и не зависит от x . В этом случае максимальный момент возникает в середине пролета и его значение определяется формулой

$$M(t) = \frac{l^2}{8} q(t) . \quad (33)$$

Из (14) найдем

$$e^{-\int_0^T \int_0^\infty \dot{m} f(a; \dot{m}|t) d\dot{m} dt} = P_0, \quad (34)$$

где $f(m, \dot{m}|t)$ —совместная плотность распределения вероятностей ординат

функций $M(t)$ и $\dot{M}(t) = \frac{dM}{dt}$ в момент времени t .

В этом случае можно применить упрощенную методику расчета. При расчете на прочность представляют интерес наибольшие амплитудные значения, поэтому целесообразно рассмотреть распределение амплитудных значений или максимумом функций $q(t)$. Для ряда случайных процессов законы распределения максимумов даны в работе [19]. Если известны законы распределения $p(q_m)$ максимумов q_m случайной функции $q(t)$, то плотность распределения $p(m)$ величины M можно определить как

$$p(m) = \frac{8}{l^2} P\left(\frac{q_m}{l^2}\right). \quad (35)$$

Рассмотрим теперь задачу, в которой случайными являются как внешние нагрузки, так и характеристики прочности материала [11]. Условие неразрушимости конструкции, например, в случае осевого деформирования прямолинейного элемента, можно представить в виде

$$R = \sigma_{\text{пр}} - \frac{N}{F} > 0. \quad (36)$$

где R - функция неразрушимости; σ — предел прочности материала; N — растягивающие усилия; F — площадь поперечного сечения стержня.

Условие (36) можно записать в виде

$$R = r - q \succ 0. \quad (37)$$

Если предположить, что r и q распределены по нормальному закону и статистически независимы, то по нормальному закону будет распределена и функция R , тогда вероятность разрушения V или вероятность несоблюдения условия (37) можно определить как

$$V = \int_{-\infty}^0 f(R) dR = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} e^{-\frac{(R-\bar{R})^2}{2\sigma_R^2}} dR. \quad (38)$$

Или

$$V = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\bar{R}}{\sigma_R}\right) \quad (39)$$

Обозначая $\gamma = \frac{\bar{R}}{\sigma_R}$,

где γ - характеристика безопасности, будем иметь

$$V = \frac{1}{2} - \Phi(\gamma). \quad (40)$$

Связь между характеристикой безопасности и вероятностью разрушения приведена в табл. 2.3.3.

Таблица 2.3.3

V	0,1	0,01	0,001	0,0001	$3,2 \times 10^{-5}$	3×10^{-6}	$2,9 \times 10^{-7}$
γ	1,28	2,32	3,15	3,77	4,0	4,5	5,0

Следует отметить, что разобранный выше подход можно рассматриваться лишь как первое приближение в решении задачи, что связано с постулированием нормального закона как для нагрузки, так и для характеристик прочности. Дальнейшее развитие проблемы следует направить на учет действительных законов распределения случайных величин, входящих в расчет.

И, наконец, рассмотрим задачу, в которой учтём случайный характер величин, характеризующих геометрию конструкции.

Рассмотрим изгиб консольной балки прямоугольного сечения с пролетом l , шириной b и высотой h . На конце консоли приложена сосредоточенная сила N . Все величины, кроме h детерминированы. Высота h — случайная величина, распределенная по нормальному закону, с математическим ожиданием \bar{h} и стандартом σh . Изгибающий момент в заделке найдется как $M=Nl$, а наибольшие напряжения как

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6Nl}{bh^2} \quad (41)$$

Определим числовые характеристики случайной величины σ . Для этого разложим правую часть функции σ в ряд Тейлора в районе математического ожидания с учетом того, что с точностью до линейных членов

$$\frac{1}{h^2} \approx \frac{1}{\bar{h}^2} - \frac{2}{\bar{h}^3}(h - \bar{h}) = \frac{3}{\bar{h}^2} - \frac{2h}{\bar{h}^3} \quad (42)$$

Тогда будем иметь

$$\sigma = \frac{18Nl}{bh^2} \left(1 - \frac{2h}{3h} \right). \quad (43)$$

Математическое ожидание напряжения равно

$$\bar{\sigma} = \frac{6Nl}{bh^2}. \quad (44)$$

Стандарт напряжения σ_σ определится как

$$\sigma_\sigma = \frac{12Nl}{bh^3} \sigma h. \quad (45)$$

Функция плотности распределения напряжений запишется как

$$P(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\sigma} e^{-\frac{(\sigma-\bar{\sigma})^2}{2\sigma_\sigma^2}}. \quad (46)$$

Интегральный закон распределения имеет вид

$$P(\sigma) = \frac{1}{2} + \Phi_0 \left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_\sigma} \right). \quad (47)$$

2.4 Анализ новизны созданных научных и технологических решений

Для обеспечения безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях в работе предложены необходимые запасы несущей способности основных («ключевых») элементов конструкций, в первую очередь, обеспечивающих общую устойчивость

сооружения.

Разработаны и предложены мероприятия по обеспечению безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях:

1. Исключение или предупреждение опасности аварийных воздействий, которым может подвергаться конструкция или объект.
2. Выбор рациональных конструктивных решений и материалов, обеспечивающих несущую способность сооружения даже при наличии локальных повреждений.
3. Проектирование «ключевых» элементов, с учетом возможности восприятия аварийных воздействий в дополнение к стандартным проектным нагрузкам и воздействиям.
4. Мониторинг состояния несущих конструкций и организация надлежащей эксплуатации сооружения.
5. На стадии проектирования сооружений рекомендуется рассматривать несколько взаимосвязанных подходов по обеспечению безопасности конструкций от прогрессирующего обрушения при аварийных воздействиях.

Для «ключевых» элементов и узлов предложено вводить дополнительные коэффициенты условий работы. Величины коэффициентов регламентируются в зависимости от этажности, степени ответственности «ключевых элементов».

Рассмотрена задача о расчете балки на прочность с учетом изменчивости механических характеристик прочности материалов, нагрузок, размеров сечений, а также несовершенств изготовления и монтажа конструкций.

Определены границы изменчивости нагрузок, действующих на строительные конструкции, с учетом её влияния на надёжность и безопасность сооружения.

Установлена связь между заданной степенью обеспеченности i в % с расчетным числом s стандартов.

2.5 Объекты интеллектуальной и промышленной собственности, созданные на отчетном этапе и представляющие собой объекты типа «инжиниринг»

Созданные на отчетном этапе и представляющие собой объекты типа «инжиниринг» заключаются в следующем.

1. Введение дополнительных коэффициентов условий работы, величина которых регламентируются в зависимости от этажности, степени ответственности «ключевых элементов».
2. методика определения границ изменчивости нагрузок, действующих на строительные конструкции, с учетом её влияния на надёжность и безопасность сооружения.
3. Установлена связь между заданной степенью обеспеченности балки i в % с расчетным числом s стандартов.

2.6 Анализ направлений и масштабов использования полученных результатов

Работа выполнена на основании анализа нормативных и технических документов для зданий массового строительства. Такие сооружения имеют повышенный уровень ответственности по назначению, их обрушение может привести к тяжелым экономическим и социальным последствиям.

Результаты настоящей работы могут быть использованы для обеспечения безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций за счет исключения или снижения влияния аварийных воздействий, при изменчивости параметров сечения, её прочности, а также несовершенств изготовления и монтажа.

Предлагаемые превентивные меры от прогрессирующего обрушения могут быть использованы при проектировании и эксплуатации зданий

массового строительства, а также при составлении «Специальных технических условий» на проект или режим эксплуатации и мониторинга здания.

Для оценки риска прогрессирующего обрушения при изменчивости нагрузок и прочности рекомендуется использовать разработанную методику расчета.

3 Заключение

Исследование рисков прогрессирующего обрушения при эксплуатации несущих конструкций является сложной инженерной и важной научной проблемой.

Поэтому проблема обеспечения безопасности проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений в связи с нарастанием угроз различного характера и интенсивности в настоящее время приобретает все большую актуальность и значение.

Обеспечение сопротивления прогрессирующему разрушению требует больших усилий и специализации.

Для обеспечения безопасности сооружений от прогрессирующего обрушения конструкций при аварийных воздействиях необходимы расчётные запасы несущей способности основных («ключевых») элементов конструкций, в первую очередь, обеспечивающих общую устойчивость сооружения. Расчётные запасы определяются дополнительными коэффициентами условий работы, в зависимости от степени ответственности, этажности и пр.

Инженерно-конструктивные мероприятия необходимы всегда их минимум определяется обеспечением приемлемого уровня риска.

4. Рекомендуемая литература

1. *Алмазов В.О.* Железобетонные каркасы без прогрессирующего обрушения. М.: МГСУ, 2007.
2. *Болотин В.В.* Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. М., Стройиздат, 1982.
3. *Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Степанов А.Ю., Рахман И.А.* Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Монография. /Под общей редакцией Тамразяна А.Г. М.:МАКС Пресс, 2004. 304 стр.
4. *Гордиенко В.Е.* Мониторинг: пути повышения надёжности и прогнозирования остаточного ресурса металлических конструкций зданий и сооружений. Промышленное и гражданское строительство, № 12, 2005.
5. ГОСТ 27751-88. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту.
6. Динамический расчёт сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. –М.:2005.
8. *Райзер В.Д.* Теория надёжности в строительном проектировании. – М.: Изд-во АСВ, 1998.304с.
9. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. - М.: «НИАЦ», 2002.
10. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: «НИАЦ», 2005.
11. *Ржаницын А.Р.* Теория расчёта строительных конструкций на надёжность. М., Стройиздат, 1978.
12. СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений». – М.,1999.
13. СНиП П-7-85* «Строительство в сейсмических районах». – М.,1996.

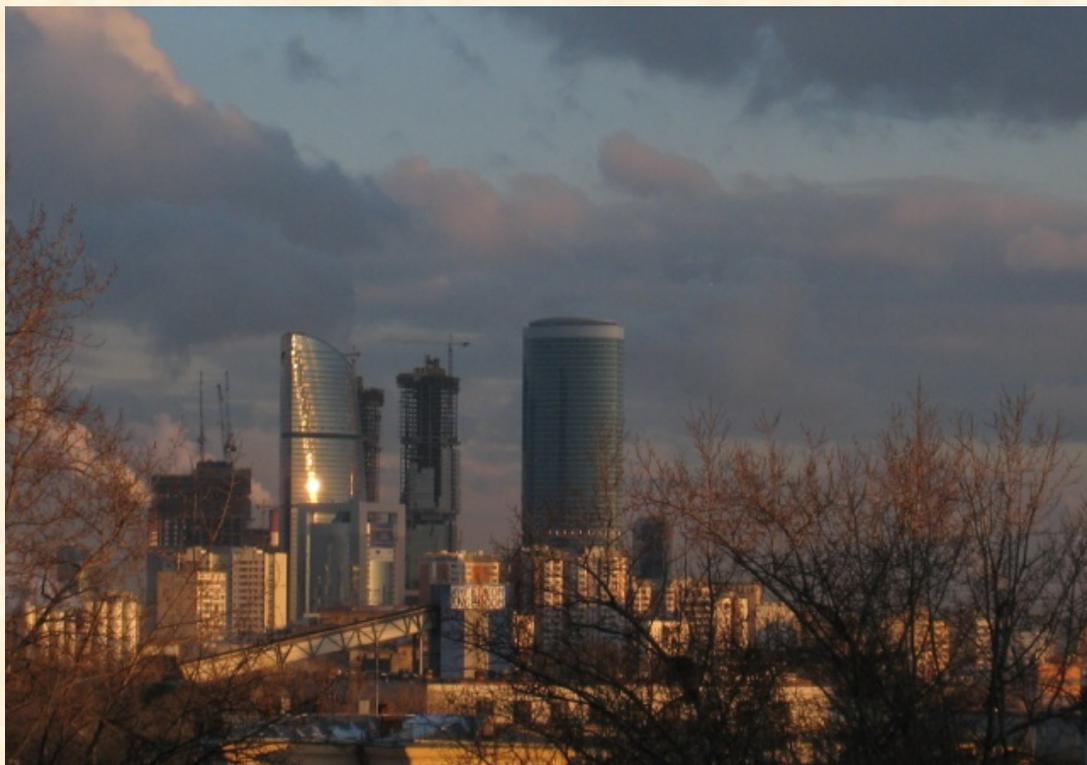
14. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия/ Госстрой России. - ГУП ЦПП, 2003.
15. Тамразян А.Г., Зодьбинов Д.В. Анализ риска прогрессирующего обрушения здания при аварийных ударных воздействиях вышележащих конструкций. //Предотвращение аварий зданий и сооружений. Сборник научных трудов. Магнитогорский ГТУ им.Г.И. Носова, U.S. Structural engineering company (Los Angeles). Вып.6.-Магнитогорск.2006.-312с.
16. Тамразян А.Г., Степанов А.Ю., Парфёнов С.Г. Конструктивная безопасность железобетонных конструкций зданий и сооружений при запроектных воздействиях. НИИЖБ II Всероссийская конференция 5-9 сентября, 2005г.
17. Тамразян А.Г., Томилин В.А. Несущая способность конструкций высотных зданий при локальных изменениях их физико-механических характеристик, «Жилищное строительство», №11, 2007г. стр.24-26.
18. Тамразян А.Г. «Оценка риска и надёжности несущих конструкций и ключевых элементов - необходимое условие безопасности зданий и сооружений». Вестник ЦНИИСК №1, 2009г., стр.160-171.
19. Тихонов В.И. Вопросы случайных процессов. Успехи физических наук.1974, т7. вып.3.
20. ASCE 7-02, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002 edition," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.
- 21 General Services Administration Washington, DC Draft, Progressive Collapse Analysis Draft, Progressive Collapse Analysis Office Buildings and Major Modernization Projects, 2003.
22. National Bureau of Standards Washington, DC 20234 Report Number -GCR p.p.75-78 The Avoidance of Progressive Collapse: Regulatory Approaches to the Problem, 1975.
23. NYC, 1973, "Chapter 18, Resistance to Progressive Collapse Under Extreme Local Loads, Appendix A – Rules of the City of New York, Building Code of the New York City," Gould Publications, Binghamton, NY 13901, 2001

24. *UFC 4-023-03*, “Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse”, Department of Defense USA, 2005.

«Современные методы исследований и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений»



**Д-Р ТЕХН. НАУК. ПРОФ. МГСУ,
руководитель НТЦ «РИСК И
БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»
ТАМРАЗЯН А.Г.**



Москва 2009

1. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Коэффициенты надежности конструкций при оценке прочности:

По материалам γ_m :

- для стальных конструкций

$$- \gamma_m = \gamma_s / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,1 / (1 - 1,64 \cdot 0,07) = 1,24$$

- для железобетонных конструкций,

$$\gamma_m = \gamma_b / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,3 / (1 - 1,64 \cdot 0,135) = 1,67$$

$C_v = 0,07$ для стали, $C_v = 0,135$ для бетона

По нагрузкам $\gamma_f = 1,2$,

По условию работы $\gamma_c = 1$

По назначению $\gamma_n = 1$

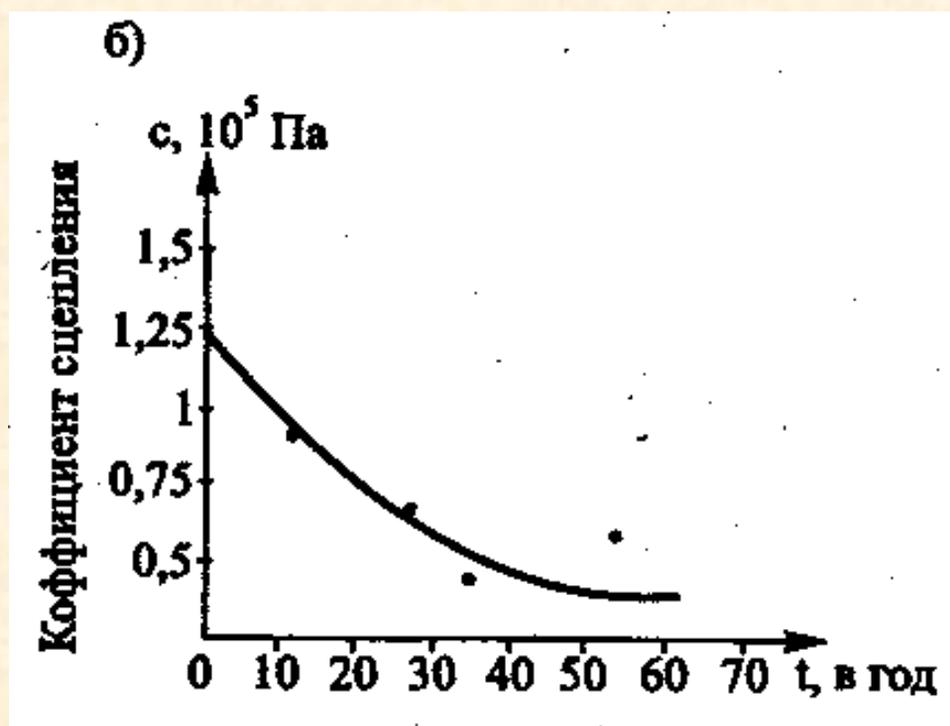
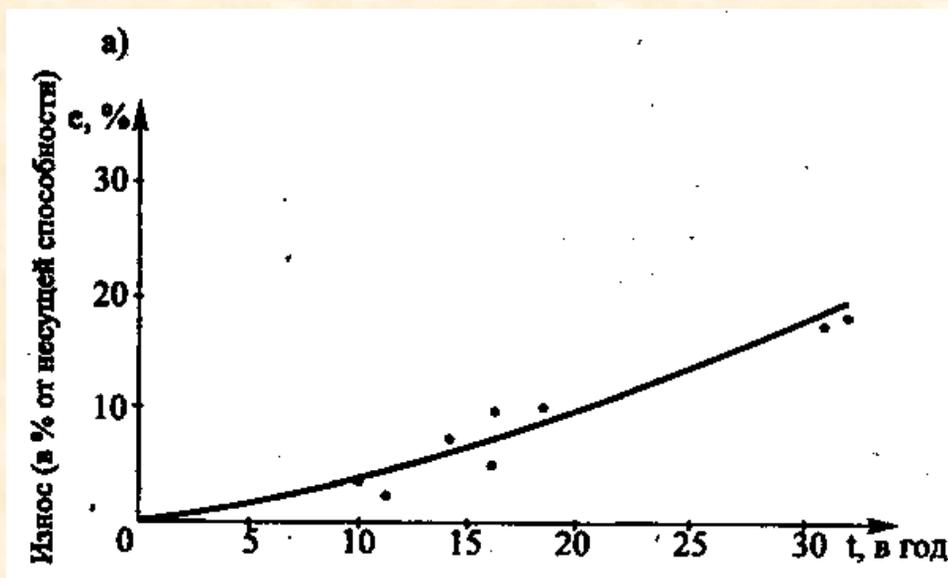
Полный коэффициент надежности

$$\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n$$

Значения характеристик надежности γ и ε от состояния конструкций

Характерис тики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетво рительное	Неудовлетво -рительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности γ при разру-шении по: арматуре бетону	$>1,35$ $>1,54$	1,21...1,35 1,21... 1,54	1...1,2 1...1.2
Относительная надеж-ность $y = \gamma/\gamma_0$	$>(0,77... 0,9)$	0,61...0,9	0,5...0,8
Средняя относительная надежность y	0,85	0,75	0,65
Средняя величина поврежденности $\varepsilon = 1 - y$	0,15	0,25	0,35

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ



Изменение надежности сооружений со временем:

а- снижение несущей способности железобетонных эстакад;

б- снижение сцепления глинистых грунтов в результате ползучести

Характеристики надёжности

Относительная надёжность конструкций

$$y = \gamma/\gamma_0 = e^{-\lambda t}$$

Величина повреждения конструкций через t лет

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t} .$$

Время до разрушения сооружения

$$t_a = 0,5/\lambda,$$

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта

$$t = 0,2/\lambda .$$

3. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

Причины аварий:

недоработка норм проектирования -10%,
неудачное проектное решение-36%,
низкое качество строительных материалов-2%,
плохое качество изготовления и монтажа- 39%,
недостатки эксплуатации-12%,
стечение неблагоприятных факторов-2%.

Фактическая вероятность аварий в год:

для зданий $1,4 \cdot 10^{-4}$,
для инженерных сооружений $1,5 \cdot 10^{-5}$.

Ошибки в проектах на различных стадиях бывают вызваны:

несоответствием принятых расчетных предпосылок
действительной работе сооружения;
неполным учетом возможных нагрузок и воздействий;
применением новых неапробированных решений;
недостаточным сопротивлением сооружения случайным
воздействиям;
допущенными ошибками из-за недостаточного опыта.

Наиболее характерными дефектами при строительстве являлись:

отступления от проекта в части:
применения непроектных материалов, изменения сечения
элементов;
изменения проектных узлов при монтаже;
нарушения технологии производства работ;
неуплотнение бетонной смеси;
недостаточное уплотнение насыпных грунтов,
несвоевременный водо-отвод и водопонижение,
промораживание основания.

Нарушения эксплуатации проявлялись в виде:

завышения проектных нагрузок;
отступлений от правил эксплуатации;
использования сооружения не по назначению;
отсутствия контроля за состоянием сооружения.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ (РИСКА) АВАРИЙ

Недостаточная надежность проекта может возникнуть вследствие:

- 1) несоответствия принятой расчетной модели конструкций;
- 2) недостаточной апробированности конструктивного решения;
- 3) нарушения СНиП при выполнении проектирования;
- 4) допущенных ошибок недостаточного опыта проектировщиков.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

- 5) применения материалов и конструкций, не соответствующих проекту;
- 6) низкого качества строительно-монтажных работ;
- 7) использования необычных методов возведения;
- 8) плохого контроля за качеством строительства;
- 9) низкой квалификации производственного персонала;
- 10) неудовлетворительной обстановки на стройке;
- 11) отступлений от СНиП строительной практики.

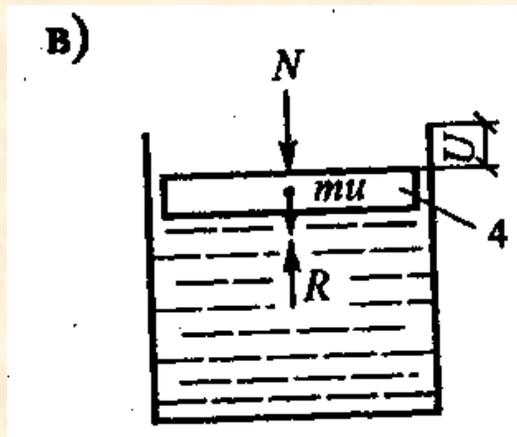
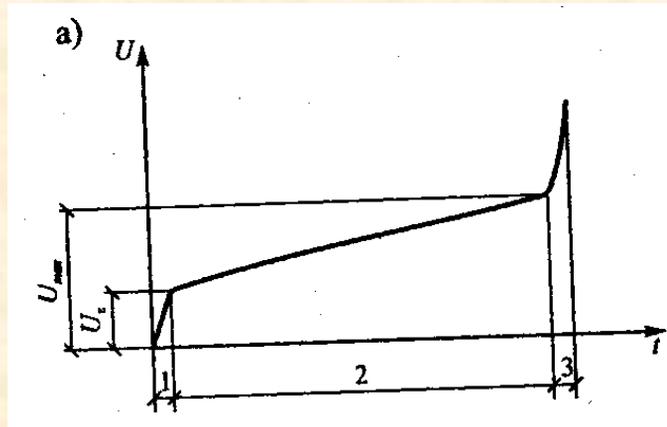
Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

- 12) завышения проектных нагрузок;
- 13) отсутствия контроля за состоянием сооружения;
- 14) отступлений от правил эксплуатации.

Шкала оценок надежности и вероятности аварии сооружений при экспертных оценках

Условная надеж ность β	Вероятность (частота) аварий в год	Словесная шкала оценки надежности
1,0	10^{-6}	Хорошая
0,8	10^{-5}	Удовлетвори тельная
0,6	10^{-4}	Неудовлетвори тельная
0.4	10^{-3}	Недопустимая

5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ



Расчетная модель работы конструкции во времени

Уравнение деформирования:

$$N + m\ddot{u} = \eta e^{-\lambda t} \dot{u}$$

ускорение движения, $\ddot{u} = d^2u/dt^2$

u - перемещение, t - время в годах, R - опорная реакция.

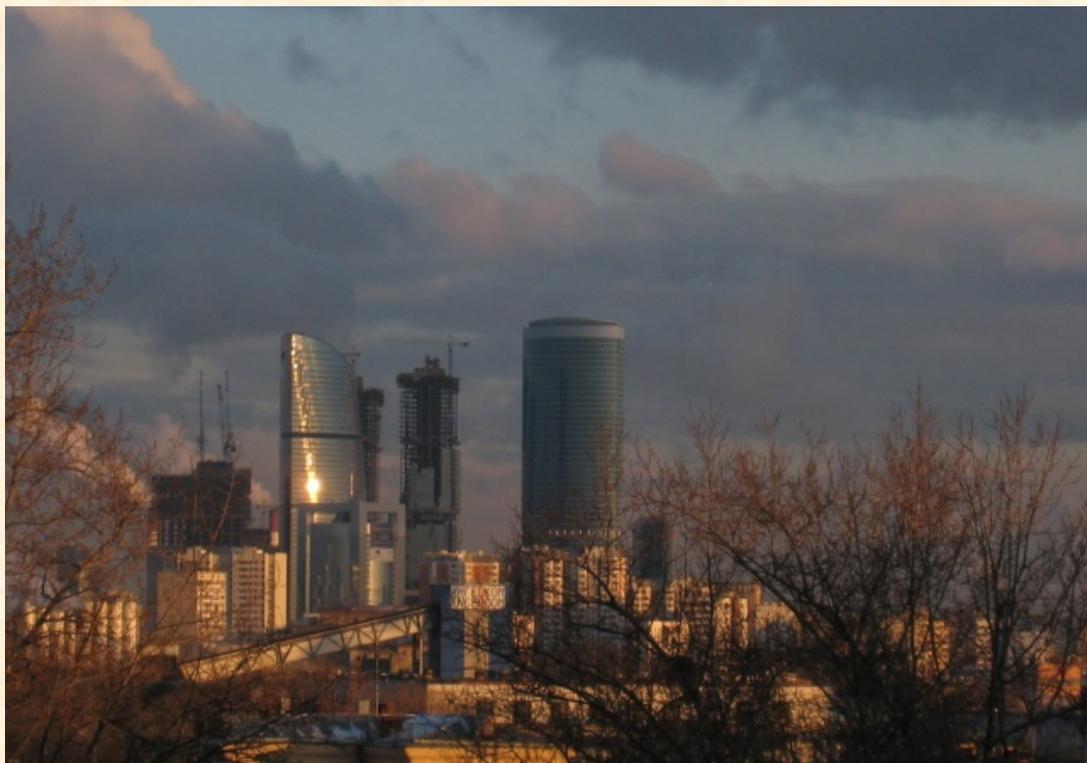
Для заданного момента времени:

$$N + m\ddot{u} = \eta e^{-\lambda t} \dot{u}$$

«Современные методы исследований и проектной оценки рисков аварий зданий и сооружений»



**Д-Р ТЕХН. НАУК. ПРОФ. МГСУ,
руководитель НТЦ «РИСК И
БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»
ТАМРАЗЯН А.Г.**



Москва 2009

1. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Коэффициенты надежности конструкций при оценке прочности:

По материалам γ_m :

- для стальных конструкций

$$- \gamma_m = \gamma_s / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,1 / (1 - 1,64 \cdot 0,07) = 1,24$$

- для железобетонных конструкций,

$$\gamma_m = \gamma_b / (1 - 1,64 \cdot C_v) = 1,3 / (1 - 1,64 \cdot 0,135) = 1,67$$

$C_v = 0,07$ для стали, $C_v = 0,135$ для бетона

По нагрузкам $\gamma_f = 1,2$,

По условию работы $\gamma_c = 1$

По назначению $\gamma_n = 1$

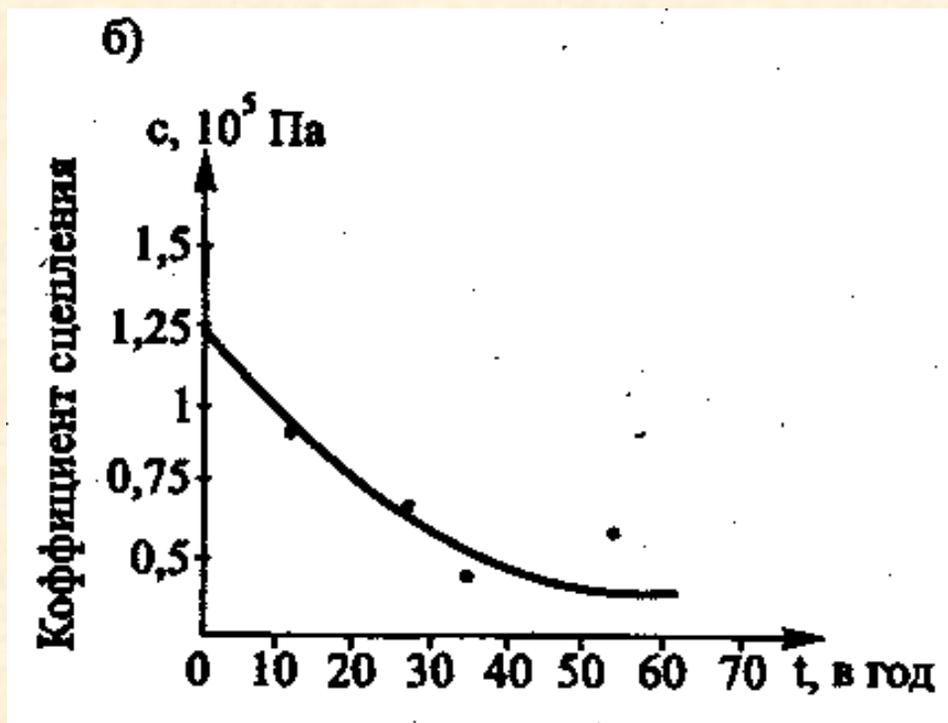
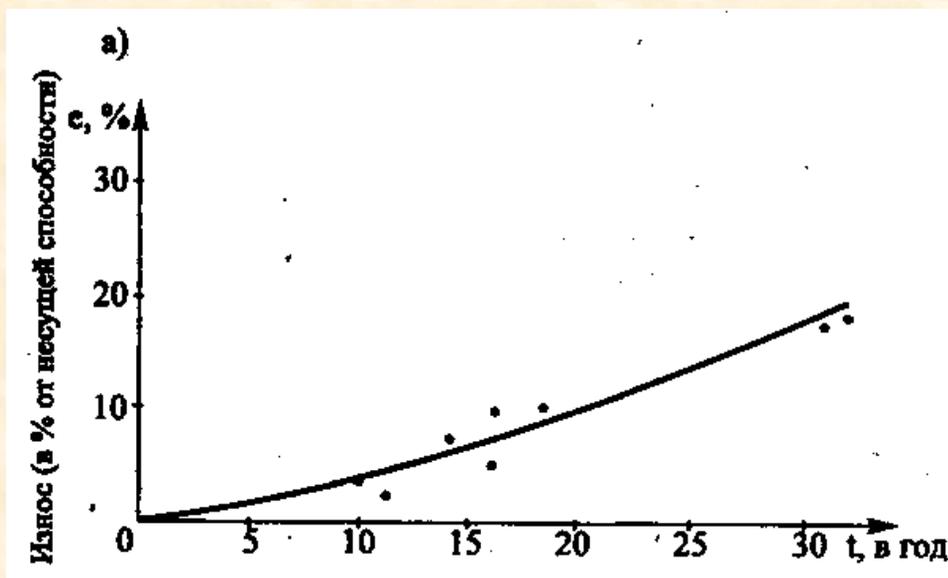
Полный коэффициент надежности

$$\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n$$

Значения характеристик надежности γ и ε от состояния конструкций

Характерис тики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетво рительное	Неудовлетво -рительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности γ при разру-шении по: арматуре бетону	$>1,35$ $>1,54$	1,21...1,35 1,21... 1,54	1...1,2 1...1.2
Относительная надеж-ность $y = \gamma/\gamma_0$	$>(0,77... 0,9)$	0,61...0,9	0,5...0,8
Средняя относительная надежность y	0,85	0,75	0,65
Средняя величина поврежденности $\varepsilon = 1 - y$	0,15	0,25	0,35

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ



Изменение надежности сооружений со временем:

а- снижение несущей способности железобетонных эстакад;

б- снижение сцепления глинистых грунтов в результате ползучести

Характеристики надёжности

Относительная надёжность конструкций

$$y = \gamma/\gamma_0 = e^{-\lambda t}$$

Величина повреждения конструкций через t лет

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t} .$$

Время до разрушения сооружения

$$t_a = 0,5/\lambda,$$

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта

$$t = 0,2/\lambda .$$

3. РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

Причины аварий:

недоработка норм проектирования -10%,
неудачное проектное решение-36%,
низкое качество строительных материалов-2%,
плохое качество изготовления и монтажа- 39%,
недостатки эксплуатации-12%,
стечение неблагоприятных факторов-2%.

Фактическая вероятность аварий в год:

для зданий $1,4 \cdot 10^{-4}$,
для инженерных сооружений $1,5 \cdot 10^{-5}$.

Ошибки в проектах на различных стадиях бывают вызваны:

несоответствием принятых расчетных предпосылок
действительной работе сооружения;
неполным учетом возможных нагрузок и воздействий;
применением новых неапробированных решений;
недостаточным сопротивлением сооружения случайным
воздействиям;
допущенными ошибками из-за недостаточного опыта.

Наиболее характерными дефектами при строительстве являлись:

отступления от проекта в части:
применения непроектных материалов, изменения сечения
элементов;
изменения проектных узлов при монтаже;
нарушения технологии производства работ;
неуплотнение бетонной смеси;
недостаточное уплотнение насыпных грунтов,
несвоевременный водо-отвод и водопонижение,
промораживание основания.

Нарушения эксплуатации проявлялись в виде:

завышения проектных нагрузок;
отступлений от правил эксплуатации;
использования сооружения не по назначению;
отсутствия контроля за состоянием сооружения.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ (РИСКА) АВАРИЙ

Недостаточная надежность проекта может возникнуть вследствие:

- 1) несоответствия принятой расчетной модели конструкций;
- 2) недостаточной апробированности конструктивного решения;
- 3) нарушения СНиП при выполнении проектирования;
- 4) допущенных ошибок недостаточного опыта проектировщиков.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

- 5) применения материалов и конструкций, не соответствующих проекту;
- 6) низкого качества строительно-монтажных работ;
- 7) использования необычных методов возведения;
- 8) плохого контроля за качеством строительства;
- 9) низкой квалификации производственного персонала;
- 10) неудовлетворительной обстановки на стройке;
- 11) отступлений от СНиП строительной практики.

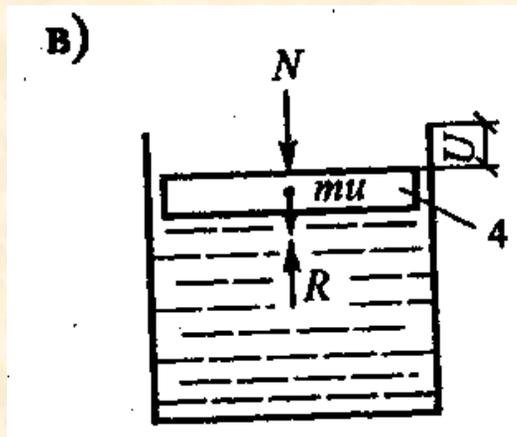
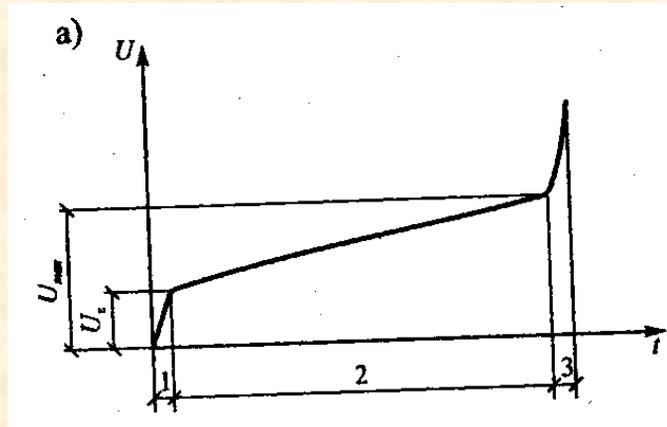
Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

- 12) завышения проектных нагрузок;
- 13) отсутствия контроля за состоянием сооружения;
- 14) отступлений от правил эксплуатации.

Шкала оценок надежности и вероятности аварии сооружений при экспертных оценках

Условная надеж ность β	Вероятность (частота) аварий в год	Словесная шкала оценки надежности
1,0	10^{-6}	Хорошая
0,8	10^{-5}	Удовлетвори тельная
0,6	10^{-4}	Неудовлетвори тельная
0.4	10^{-3}	Недопустимая

5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ



Расчетная модель работы конструкции во времени

Уравнение деформирования:

$$N + m\ddot{u} = \eta e^{-\lambda t} \dot{u}$$

ускорение движения, $\ddot{u} = d^2u/dt^2$

u - перемещение, t - время в годах, R - опорная реакция.

Для заданного момента времени:

$$N + m\ddot{u} = \eta e^{-\lambda t} \dot{u}$$