

05.23.01

Ш684

На правах рукописи



Шлейков Илья Борисович

**ОЦЕНКА И РЕГУЛИРОВАНИЕ
УРОВНЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПЛАНИРУЕМЫХ К ВОЗВЕДЕНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Специальность

05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

13-16-5848

Челябинск – 2006

Работа выполнена на кафедре «Строительная механика»
ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор, советник РААСН
Мельчаков Анатолий Петрович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ерёмин Константин Иванович,
кандидат технических наук, доцент
Байбурин Альберт Халитович.

Ведущая организация – Институт «УралНИИпроект» РААСН
(г. Екатеринбург)

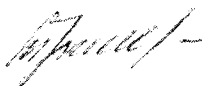
Защита состоится 21 декабря 2006 г., в 14:00 часов, на заседании
диссертационного совета ДМ 212.298.08 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский
государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, проспект
им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО
«Южно-Уральский государственный университет».

Автореферат разослан 20 ноября 2006 г.

Отзыв на автореферат (2 экз.), заверенный печатью учреждения, просим
направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76,
диссертационный совет ДМ 212.298.08 ЮУрГУ.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., проф., советник РААСН



Б.Я. Трофимов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

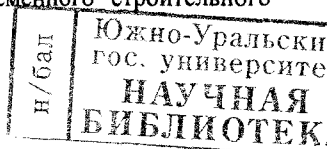
Актуальность темы исследования. Современное развитие строительного комплекса нашей страны характеризуется серьезными качественными преобразованиями. Создаются уникальные сооружения, осваивается подземное пространство, широко развывается высотное строительство. Внедрение оригинальных планировочных и инженерных решений с применением высоких технологий и современных материалов формирует все более сложные строительно-эксплуатационные системы.

С ростом сложности таких систем возрастает и присущая им энтропия, а следовательно и ответственность при их создании. Изменяется характер распределения, степень и частота внешних (часто запроектных) воздействий на здания и сооружения. Все это на фоне снижения качества строительства существенно сказывается на базовой характеристике строительных объектов – их безопасности. По данным Госстройнадзора в России ежегодно происходит от 30 до 43 аварий на строительных объектах, связанных с обрушением несущих конструкций, причем большая часть событий связана с объектами нового строительства. Сопоставление с показателями аварийности предыдущих десятилетий с учетом существенного снижения объемов нового строительства свидетельствует о повышении доли аварийных объектов.

Такое положение дел в совокупности со спецификой строительной продукции – единичное производство, неизбежно несущее в себе определенный уровень дефектности и исключающее возможность отбраковки – диктует необходимость более детального учета, прогнозирования и управления строительными рисками, особенно на ранних стадиях реализации инвестиционно-строительных проектов (ИСП), предшествующих непосредственному возведению объекта, что соответствует принципу предупреждения ущерба.

Огромное значение вопросу безопасности строительных объектов придается со стороны государства. В меняющемся законодательстве в сфере технического регулирования прослеживается взятие курса на управление безопасностью с опорой на методологию риска. Во введенном в действие с 2003 г. ФЗ «О техническом регулировании» обозначена в качестве базового свойства технических систем характеристика *безопасности*, трактуемая как *отсутствие недопустимого риска*. Однако методическое обеспечение законодательства для реализации положений в практической плоскости, а также состояние научно-исследовательской сферы характеризуется в настоящей момент отсутствием необходимых методик и процедур по априорному (еще до момента физической реализации) управлению безопасностью строительных объектов с опорой на методологию риска.

Таким образом, формирование последовательности системных процедур и методик, устанавливающих степень конструкционной безопасности элементов зданий и сооружений в целом, а также разработка моделей и критериев для системного принятия решений и прогноза безопасности с учетом риска являются весьма актуальными потребностями современного строительного комплекса.



Цель диссертационной работы – разработка теоретических положений и методических рекомендаций по оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели возникла необходимость решения следующих основных задач:

1. Исследовать состояние вопроса о риске аварии зданий и сооружений, факторах его формирования.
2. Изучить законодательную и нормативную основы конструкционной безопасности зданий и сооружений.
3. Предложить адекватную математическую модель оценки конструкционной безопасности зданий и сооружений.
4. Определить метод прогнозирования основных входных параметров математической модели для априорной оценки конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений.
5. Разработать методические рекомендации по оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений.

Объектом исследования являются планируемые к возведению здания и сооружения.

Предметом исследования является безопасность планируемых к возведению зданий и сооружений.

Теоретической и методологической основой исследования является общенаучная методология, предусматривающая комплексность, системный подход, применение сравнительного анализа, сопоставления и обобщения, методы нечеткой логики, теории вероятности и математической статистики.

В основу исследования положены труды отечественных и зарубежных ученых, нормативные документы, действующие в Российской Федерации.

Эмпирическую базу диссертационного исследования составили данные статистического учета аварий зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения на территории РФ, материалы научно-практических конференций по вопросам качества и безопасности строительной продукции, практическая деятельность кафедры и автора в области обследования и оценки технического состояния объектов строительства, данные, собранные из печатных изданий и электронных источников информации.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке и обосновании теоретических положений, методических рекомендаций и процедур по априорной оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений, базирующихся на прогнозировании будущего технического состояния объекта.

Научная новизна подтверждается следующими полученными научными результатами:

- В качестве математического аппарата предложена риск-модель, характеризующая риск аварии строительных объектов с учетом основных рисков факторов, а также разработана матмодель прогнозирования ее

входных параметров для целей априорной оценки и регулирования конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений.

- Сформированы методические рекомендации и процедуры по априорной оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений, базирующиеся на предложенной риск-модели и прогнозировании с ее помощью на предпроектной стадии реализации ИСП будущего технического состояния объекта.
- Произведена увязка предложенных методических рекомендаций и процедур управления, опирающихся на методологию риска, с существующей системой обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности строительных объектов.

Как совокупный результат диссертационных исследований **на защиту выносятся следующие положения**, отражающие научную новизну диссертационной работы:

- Абсолютно безопасных зданий и сооружений не существует. Уже на стадии проектирования в них закладывается весьма малая вероятность аварии, обусловленная действующими строительными нормами. Это утверждение позволяет за показатель уровня конструкционной безопасности построенного строительного объекта принять параметр, показывающий во сколько раз его фактическая вероятность аварии выше вероятности, заложенной в него при проектировании. Такой параметр в работе обозначается как риск аварии, от величины которого существенным образом зависит размер ущерба в случае гипотетической аварии строительного объекта.
- Непреднамеренные человеческие ошибки, случайным образом допускаемые в процессе проектирования и возведения зданий и сооружений, вносят существенную неопределенность в техническое состояние несущего каркаса объекта, оказывающую доминирующее влияние на величину риска аварии. При этом прогноз величины риска аварии строительных объектов должен осуществляться на основе математических логико-вероятностных моделей, построенных на методах теории вероятностей, теории надежности, теории нечетких множеств и приемах нечеткой логики.
- В правильно запроектированном и построенном объекте величина риска аварии после завершения строительно-монтажных работ не должна превышать величины естественного (нормального) риска аварии, что требует принятия жестких управленческих решений при подборе на рынке подряда участников ИСП (проектировщиков, поставщиков материалов и конструкций, строителей). В основу критериев для принятия управленческих решений должна быть положена подтверждаемая практикой гипотеза о прямой зависимости уровня конструкционной безопасности построенного объекта от эффективности функционирования систем менеджмента качества организаций-участников ИСП.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается системным характером исследований, базирующемся на общенаучной методологии, общепринятых научных теориях вероятности, надежности и математической статистики, фактических материалах экспертиз проектных решений, обследований строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений, а также сопоставлением теоретических результатов исследований и практических данных, показавшем удовлетворительную сходимость.

Практическая значимость работы состоит в том, что основные выводы и предложения, сформулированные в диссертационном исследовании, создают методическую основу совершенствования систем оценки и регулирования уровня конструкционной безопасности зданий и сооружений на ранних стадиях реализации ИСП.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные положения диссертационного исследования доложены и положительно оценены на конференциях, семинарах, форумах:

- Ежегодные научно-практические конференции Южно-Уральского государственного университета в 2003–2006 гг.
- Научно-практическая конференция «Качество строительных работ, системы качества и вопросы сертификации в строительстве», Челябинск, 2005 г.
- Строительный форум «Саморегулирование строительной деятельности: перспективы, проблемы, пути решения», Челябинск, 2006 г.

Разработанные методические рекомендации использовались при оценке и регулировании конструкционной безопасности планируемых к возведению социально значимых строительных объектов, среди которых: «Подвесной пешеходно-технологический мост пролетом 250 м в г. Троицк Челябинской области», «Завод по производству керамических пропантов ООО «Карбо-Керамикс» (Евразия) в г. Копейск Челябинской области».

Личный вклад автора диссертации заключается в сборе и обобщении материалов и данных по исследуемой проблематике, постановке задач и разработке программы исследования; научном обосновании приоритетности и эффективности обеспечения безопасности сооружений с учетом фактора риска; организации и проведении обследований зданий и сооружений и взаимодействии с проектными и строительными организациями, по материалам которых подтверждались или отклонялись методические направления исследования; разработке моделей оценки и регулирования конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений с учетом фактора риска на предпроектной и проектной стадиях, выбора организаций-участников строительства; разработке методик научных выводов, положений и рекомендаций, изложенных в диссертационной работе.

Публикации. По теме диссертации выпущено 9 публикаций в различных научных сборниках и журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 101 наименование, приложений. Содержание работы изложено на 177 страницах текста, включает 21 таблицу, 25 рисунков и 3 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована проблема и обоснована актуальность темы исследования. Определены цель и задачи исследования, теоретическая и методологическая основы, подходы к решению задач, научная новизна и основные научные и практические результаты работы.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса по проблематике конструкционной безопасности и обоснованию цели и задач исследования. Выполнен анализ динамики развития знаний о риске в историческом и философском аспектах, проанализированы специфика риска и факторы его формирования применительно к строительным системам, существующие методики и подходы к оценке и регулированию конструкционной безопасности объектов строительства. Конкретизированы терминология и основные понятия.

Разработке теоретических и практических основ обеспечения конструкционной надежности и безопасности элементов несущих систем зданий и сооружений посвящены работы многих отечественных и зарубежных исследователей. Выдающаяся роль в построении вероятностных методов расчета строительных конструкций принадлежит Н.С. Стрелецкому, разработавшему принципы теории надежности применительно к строительным системам. Дальнейшее развитие теории надежности стало возможным благодаря работам В.В. Болотина, Б.А. Бондаровича, А.Р. Ржаницина, С.А. Тимашева и др. Подходы к оценке безопасности строительных систем с позиций теории риска представлены в работах А.П. Синицина, И.И. Гольденבלата, А.И. Лантух-Лященко, А.П. Мельчакова, А.Х. Байбурина, К.Э. Габрина и др.

Из зарубежных ученых существенный вклад в развитие вероятностных методов расчета и проектирования строительных конструкций, оценки риска и безопасности внесли Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати. Анализу безопасности сложных технических систем посвящены фундаментальные труды исследователей из США и Японии Э. Дж. Хенли и Х. Кумамото, разработавших математический аппарат анализа риска и механизмы его регулирования.

Не смотря на большое количество работ посвященных проблематике риска и прошествие уже более восьмидесяти лет с момента появления первых публикаций по данной теме, современные исследователи отмечают относительную молодость знаний о риске.

За время эволюции знаний о надежности и риске важным является факт осознания вероятностной сути многих процессов и невозможности однозначного предсказания поведения какой-либо системы, и в то же время понимания, что случайность, риск и непредсказуемость, характерные для одного объекта, могут приводить к упорядоченности и стабильности для целого ансамбля.

Само понятие риска с момента своего появления претерпело принципиальные содержательные изменения. В современном понимании *риск* – это не только объективная вероятностная характеристика возникновения неблагоприятного события или явления, но и одновременно субъективная мера опасности, характеризующая объем этого события (потери, ущерб, убытки).

Изучение специфики риска применительно к строительным системам показало объективное существование теоретической вероятности аварии (10^{-7} – 10^{-5}), по умолчанию закладываемой при проектировании, что обусловлено вероятностной природой характеристик внешнего воздействия на конструкцию F и ее сопротивления S (рис. 1). Фактическая же вероятность такого события в законченных строительстве зданиях, как отмечают Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати, увеличивается в разы за счет человеческих ошибок, случайным образом вносимых участниками строительного процесса (проектировщиками, строителями, поставщиками материалов и конструкций).

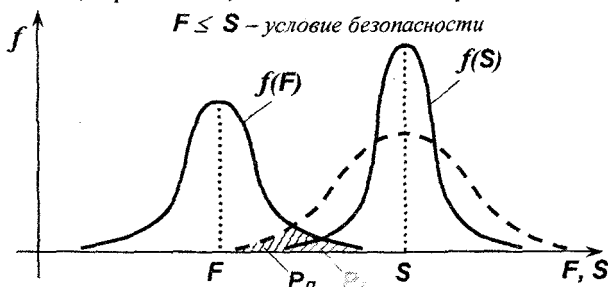


Рис. 1. Формирование риска аварии объектов строительства (F – воздействие на конструкцию; S – сопротивление конструкции воздействию; P_T – теоретический риск аварии (10^{-7} – 10^{-5}); P_d – дополнительный риск, формируемый за счет человеческих ошибок)

Данный факт подтверждается статистикой – по данным, приведенным в работах А.П. Мельчакова, К.Э. Габрина и А.Х. Байбурина около 80% строительных аварий происходят из-за ошибок людей, а распределение вероятностей ошибок при строительстве показывает, что вероятность человеческих ошибок (ошибок проектировщиков, строителей, поставщиков материалов и конструкций) на порядок выше вероятностей неучтенных отклонений внешнего воздействия.

В итоге анализ составляющих рисков аварий и катастроф в строительной сфере показал, что основными факторами риска планируемых к возведению, строящихся и построенных зданий и сооружений являются человеческие ошибки: ошибки при проектировании, дефекты изготовления строительных материалов и конструкций, а также дефекты СМР, снижающие уровень безопасности построенных зданий и сооружений. Наступление аварийных ситуаций, как правило, является результатом неблагоприятного сочетания допущенных критических дефектов с внешними провоцирующими воздействиями.

Изучение широкого арсенала существующих подходов к нормированию, учету и регулированию риска аварии объектов строительства представлено в виде анализа в классификации по используемым математическим моделям:

- эмпирическая модель;
- вероятностные модели;

- модель анализа риска появления «редких событий» на основе ретроспективных данных;
- динамическая модель;
- модели страховой экспертизы.

Рассмотренные модели обладают своими преимуществами и недостатками. В большинстве случаев модели обеспечивают апостериорный характер оценки риска физически представленных объектов, где риск оценивается применительно к отдельным составляющим сложной строительной системы, а не ко всей системе в целом. Ни одна из представленных математических моделей не может в полной мере ответить на вопрос о степени риска, присущего конкретному объекту на ранней стадии ИСП.

Важным является факт отражения в представленных моделях превышения фактического риска, присущего каждому объекту, над теоретическим, закладываемым по умолчанию в проектное решение. Причем, западные специалисты считают, что это превышение будет находиться в приемлемой зоне, если участники строительного процесса обладают сертифицированными системами качества.

Большинство существующих подходов к нормированию, учету и регулированию риска аварии объектов строительства не в полной мере учитывают основные рисковые факторы – человеческие ошибки. Еще больше осложняется вопрос при необходимости априорной оценки риска, ведь именно такая оценка, как считают многие исследователи, должна быть в основе управления рисками.

Свой отпечаток накладывает специфика строительных объектов, для которых аварии являются весьма редкими событиями, а сами объекты – сложными и уникальными конструкциями. В такой ситуации ограниченное применение находят традиционные вероятностные подходы и подходы теории надежности, учитывающей лишь простейшие (логические) взаимосвязи между элементами сложной системы.

Усложнение строительных систем с одновременным увеличением заложенного в них рискового потенциала (чему свидетельствует ежегодное увеличение числа аварий), а также расширение возможностей имитационного компьютерного моделирования делают сейчас актуальной проблему построения нового поколения моделей – моделей, позволяющих производить, в том числе, и *априорную* оценку и управление риском с учетом наиболее значимых рисковых факторов. Существующий же уровень изученности вопросов оценки и управления рисками создает хороший задел для разработки таких моделей применительно к ранним стадиям реализации ИСП, предшествующих непосредственной физической реализации объектов.

Вторая глава посвящена анализу законодательной и нормативной основ обеспечения конструкционной безопасности зданий и сооружений в Российской Федерации с научно-практической точки зрения для обоснования принятия решений в методическом аспекте. Проведено исследование структуры нормативно-правовой базы по обеспечению конструкционной

надежности и эксплуатационной долговечности зданий и сооружений, содержания требований и методического обеспечения. Определен законодательный механизм обеспечения качества и безопасности конечной продукции строительной отрасли – зданий и сооружений.

Анализ выполнен на основе рассмотрения основных элементов действующей системы законодательного регулирования конструкционной безопасности в иерархической структуре, представленной на рис. 2.

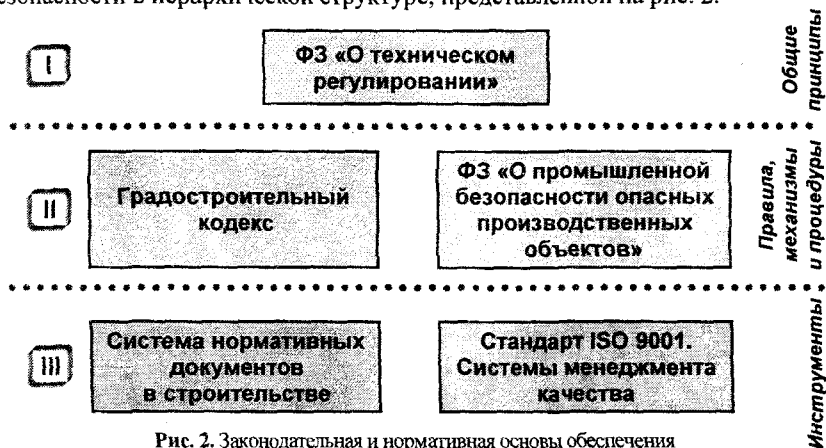


Рис. 2. Законодательная и нормативная основы обеспечения конструкционной безопасности

Настоящий период времени может быть охарактеризован коренными изменениями законодательства в сфере технического регулирования, обусловленными принятием и введением в действие ФЗ «О техническом регулировании» – наряду с постепенной отменой старых механизмов обозначаются и вводятся новые принципы и инструменты технического регулирования. Однако этот процесс характеризуется существенным отставанием прихода новой системы взамен старой. Важным является факт взятия в законе курса на приоритетное направление обеспечения безопасности продукции с опорой на *методологию риска*.

Законодательство, развивающее в практической плоскости общие принципы технического регулирования в строительной отрасли (Градостроительный кодекс, ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»), формирует и описывает систему, процедуры и требования обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности строительных объектов на различных стадиях жизненного цикла, начиная со стадии разработки проектной документации.

Методическая поддержка функционирования системы обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности зданий и сооружений осуществляется системой нормативных документов в строительстве, представляющей комплекс требований и инструментов, необходимых для выполнения отдельных этапов создания строительных

объектов. Однако, не смотря на широкий спектр регламентируемых характеристик в представленном комплексе, а также учет вероятностной природы многих процессов (внешних воздействий и внутреннего сопротивления строительных систем), большое количество объектов строительства отбраковывается на стадии эксплуатации – существующая система не в полной мере справляется с возложенными на нее обязанностями. Кроме того, на многие виды сооружений (в частности объекты высотного строительства) нормативная документация отсутствует или устарела и не отвечает современным требованиям.

В качестве недостатка методической поддержки следует отметить отсутствие подходов и методов оценки и регулирования безопасности с учетом наиболее значимых рисков факторов – непреднамеренных человеческих ошибок, случайным образом вносимых участниками строительного процесса. Необходимость таких методов и подходов определяется изменяющимся законодательством в сфере технического регулирования (ФЗ «О техническом регулировании»), обозначающим требование безопасности через отсутствие недопустимого риска.

В качестве нового рыночного инструмента управления безопасностью строительных объектов начинают выступать системы управления качеством, базирующиеся на серии международных стандартов ISO 9000, эффективность которых доказывает опыт передовых индустриально-развитых западных стран, повысивших уровень качества и безопасности конечной продукции регламентацией работ в пределах всех стадий жизненного цикла и, особенно, на стадиях, предшествующих физической реализации объектов. Однако внедрение указанного рыночного инструмента в нашей стране имеет на текущий момент ограниченное распространение и является актуальной задачей.

Таким образом, законодательство обладает всеми необходимыми процедурами и выстроенной системой обеспечения конструкционной безопасности строительных объектов, но имеет пробел в методическом обеспечении эффективного функционирования системы. Изменения, происходящие в современном законодательстве, формируют обновленную систему («матрицу») управления безопасностью объектов строительства с опорой на методологию риска, требующей наполнения практическими инструментами и методиками. Одним из практических элементов такого наполнения может быть подход по априорной оценке и регулированию конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений с учетом наиболее значимых рисков факторов.

Третья глава посвящена разработке математического аппарата для априорной оценки и регулирования уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений. Предложена риск-модель для оценки и управления конструкционной безопасностью с учетом наиболее значимых рисков факторов. Разработан подход и получена математическая модель прогнозирования входных параметров риск-модели для априорной

оценки и регулирования уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений.

В основу математического аппарата положена модифицированная риск-модель, разработанная на кафедре «Строительная механика» ЮУрГУ под руководством д.т.н., проф. А.П. Мельчакова. Риск аварии, в отличие от традиционных моделей, представлен в относительной форме – как превышение фактического риска над теоретическим, по умолчанию закладываемым в проект:

$$r = \frac{D_0}{D_0}, \quad (1)$$

где r – риск аварии в относительной форме; $P_Ф$ – фактический риск аварии строительного объекта; P_T – теоретический риск.

Соотношение между фактическим и теоретическим рисками определяется:

$$P_Ф = P_T + P_Д, \quad (2)$$

где $P_Д$ – дополнительный риск, учитывающий влияние человеческого фактора (см. рис. 1).

Такая трактовка риска делает его показатель более воспринимаемым в сравнении с традиционными значениями, имеющими порядок 10^{-5} – 10^{-7} .

Риск-модель, соответствующая относительно представлению риска:

$$R = \frac{1}{M[v]} = \frac{1}{\prod_{i=1}^n M[p_i]}, \quad (3)$$

где R – среднее значение риска (математическое ожидание); $M[v]$ – среднее значение уровня конструкционной надежности несущего каркаса здания; $M[p_i]$ – средний уровень надежности i -й группы однотипных последовательно возводимых несущих конструкций здания; n – количество групп однотипных последовательно возводимых несущих конструкций.

Определение входных параметров риск-модели $M[p_i]$ осуществляется на основе принципов квалиметрии. Для этого в каждой группе конструкций отыскиваются наиболее и наименее дефектные конструкции с экспертной оценкой их соответствия требованиям проекта в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости (p_1 , p_2). Причем экспертная оценка опирается на современные инженерные методы и подходы, используемые при проектировании и экспертизе технического состояния зданий и сооружений. Для остальных же конструкций принимается равномерный вероятностный закон распределения соответствия между наиболее и наименее дефектными (рис. 3) с функцией плотности вероятности:

$$f(p) = 1/(p_2 - p_1), \quad (4)$$

где p_1 и p_2 – степени соответствия наиболее и наименее дефектной в группе конструкции.

В качестве входного параметра для риск-модели (3) используется математическое ожидание случайной величины:

$$M[p] = (p_1 + p_2)/2. \quad (5)$$

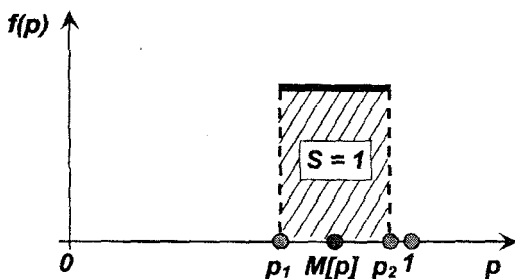


Рис. 3. Распределение надежности конструкций в группах

Для определения степени соответствия конструкции (p_1, p_2) по выявленным на экспертной основе отступлениям ее параметров от требований проекта используется правило, построенное на основе лингвистической переменной «очень» (табл. 1). В соответствие с этим правилом количественная оценка соответствия назначается ведущим экспертом на основе информации о техническом состоянии конструкции, своих знаний, опыта и инженерной интуиции. При необходимости принятая в условиях неопределенности экспертная оценка подтверждается соответствующими инженерными расчетами, базирующимися на методе предельных состояний, и испытаниями дефектных конструкций.

Таблица 1

Правило назначения уровня надежности конструкции в зависимости от уровня ее опасности и ранга

Уровень опасности конструкции	Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг уровня	Степень переменной «очень»	Уровень надежности конструкции
0	Дефектов нет	—	(очень) ^{0,00}	1,000
1	Соответствие требованиям проекта практически полное	1	(очень) ^{0,01}	0,994
		2	(очень) ^{0,02}	0,987
		3	(очень) ^{0,03}	0,981
2	Отклонения от требований проекта незначительные	1	(очень) ^{0,05}	0,969
		2	(очень) ^{0,10}	0,939
		3	(очень) ^{0,15}	0,910
3	Отклонения от требований проекта значительные	1	(очень) ^{0,20}	0,882
		2	(очень) ^{0,30}	0,828
		3	(очень) ^{0,40}	0,777
4	Соответствие требованиям проекта низкое	1	(очень) ^{0,50}	0,730
		2	(очень) ^{0,60}	0,686
		3	(очень) ^{0,70}	0,644
5	Соответствия требованиям проекта практически нет	1	(очень) ^{0,80}	0,604
		2	(очень) ^{0,90}	0,568
		3	(очень) ^{1,00}	0,533
6	Соответствие предельно-низкое	—	(очень) ^{1,10}	0,500
7	Конструкция содержит опасный дефект	1	(очень) ^{1,20}	0,470
		2	(очень) ^{1,30}	0,441
		3	(очень) ^{1,40}	0,414

Уровень опасности конструкции	Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг уровня	Степень переменной «очень»	Уровень надежности конструкции
8	Конструкция содержит несколько опасных дефектов	1	(очень) ^{1,50}	0,389
		2	(очень) ^{1,60}	0,365
		3	(очень) ^{1,70}	0,343
9	Конструкция содержит угрожающие аварии дефекты	1	(очень) ^{1,80}	0,322
		2	(очень) ^{1,90}	0,303
		3	(очень) ^{2,00}	0,284
10	Состояние конструкции практически предельное	—	(очень) ^{2,20}	0,250

Использование принципов квалиметрии с элементами вероятностного подхода позволяет симитировать всевозможные комбинации имеющихся дефектов и отступлений в конструктивных элементах при оценке риска аварии всего объекта строительства.

Применение описанной риск-модели подразумевает оценку соответствия конструкций фактически существующих зданий. Для целей априорной оценки и регулирования конструкционной безопасности в диссертационной работе разработан подход и получена математическая модель прогнозирования входных параметров риск-модели (3). Учитывая доминирующее влияние человеческого фактора, прогноз осуществляется на основе оценки систем менеджмента качества организаций-участников ИСП, формирующих строительный объект и определяющих его основные характеристики, включая конструкционную безопасность (рис. 4).

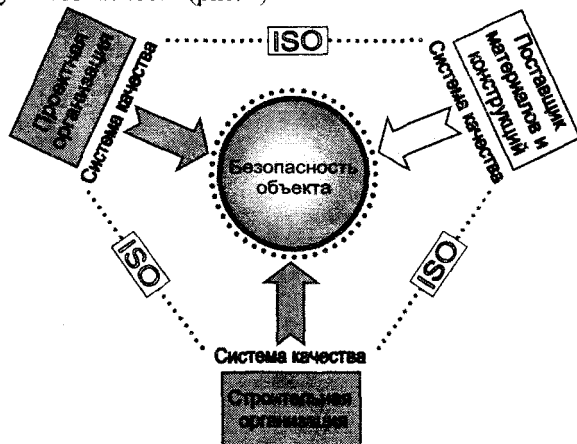


Рис. 4. Формирование конструкционной безопасности объекта

Практика доказала, что чем выше эффективность системы качества проектировщиков, поставщиков и строителей, тем выше уровень безопасности построенного объекта.

Матмодель прогноза входных параметров риск-модели (3), полученная на основе формулы полной вероятности, приемов нечеткой логики, а также статистики по причинам аварий зданий и сооружений:

$$M[p] = \mu_m \cdot \mu_c \cdot \mu_n + 0,8 \cdot (1 - \mu_n) \cdot \mu_c \cdot \mu_m + 0,5 \cdot \mu_m \cdot (1 - \mu_c) \cdot \mu_n + 0,9 \cdot \mu_m \cdot \mu_c \cdot (1 - \mu_n) + 0,4 \cdot (1 - \mu_m) \cdot (1 - \mu_c) \cdot \mu_n + 0,72 \cdot (1 - \mu_n) \cdot \mu_c \cdot (1 - \mu_m) + 0,45 \cdot \mu_m \cdot (1 - \mu_c) \cdot (1 - \mu_n) + 0,36 \cdot (1 - \mu_m) \cdot (1 - \mu_c) \cdot (1 - \mu_n), \quad (6)$$

где μ_n , μ_c и μ_m – степени соответствия систем менеджмента качества организаций-участников ИСП (соответственно проектировщиков, строителей, поставщиков материалов и конструкций) требованиям международных стандартов серии ISO.

Оценка входных параметров модели (6) производится экспертным методом на основе лингвистической переменной по правилу, приведенному в табл. 2 (модификация табл. 1).

Таблица 2

Правило назначения степени соответствия системы менеджмента качества организации-участника ИСП требованиям стандартов серии ISO

Уровень соответствия	Степень соответствия в лингвистической форме	Степень соответствия
0	Соответствие <i>полное</i>	1,000
1	Соответствие <i>практически полное</i>	0,987
2	Отклонение <i>незначительное</i>	0,939
3	Отклонение <i>значительное</i>	0,828
4	Соответствие <i>низкое</i>	0,686
5	Соответствия <i>практически нет</i>	0,568
6	Соответствие <i>предельно-низкое</i>	0,500

При наличии разработанного проекта параметр μ_n (отвечающий за проектировщика) определяется экспертизой проектного решения, как степень соответствия требованиям строительных норм в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости.

Для оценки приемлемости риска аварии используются стандартные показатели конструкционной безопасности, определенные в исследованиях проф. А.П. Мельчакова, характеризующие состояние строительного объекта (табл. 3).

Таблица 3

Стандартные показатели конструкционной безопасности

Показатель	Описание
<i>Стандартные значения риска</i>	
$R_n = 2$	<i>Нормальный риск</i> (естественный), регламентирующий величину риска аварии объекта после окончания его строительства (инвариант)
$R_{no} = 19$	<i>Предельно-допустимый риск</i> , соответствующий переходу объекта из безопасного в аварийное состояние (инвариант)
<i>Стандартные значения уровня надежности групп конструкций</i>	
$p_n = (R_n)^{-1/n}$ (7)	<i>Нормальный уровень</i> надежности группы несущих конструкций
$p_{no} = (R_{no})^{-1/n}$ (8)	<i>Предельно-допустимый</i> уровень надежности группы несущих конструкций

В итоге, представленный математический аппарат позволяет реализовать подход к априорной оценке и регулированию безопасности зданий и сооружений на ранних этапах ИСП с учетом наиболее значимых рисков факторов через косвенное воздействие с опорой на методологию риска, что соответствует ФЗ «О техническом регулировании».

Четвертая глава посвящена разработке методических рекомендаций и процедур по оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений. Выделены этапы реализации ИСП для оценки и регулирования. Разработаны механизмы оценки и регулирования безопасности для выделенных этапов ИСП. Произведена увязка разработанных методических рекомендаций с существующей системой обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности строительных объектов.

Для целей априорной оценки и регулирования целесообразно выделить двух этапов реализации ИСП, соответствующих предстроительной стадии – этапы экономического обоснования и проектирования (рис. 5).

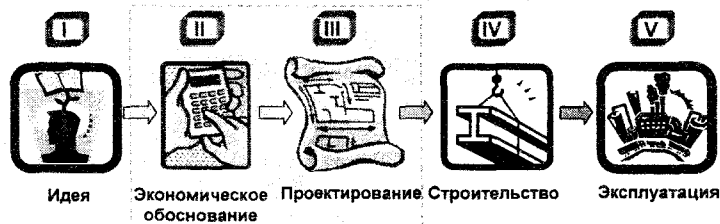


Рис. 5. Этапы реализации ИСП

Оценка и регулирование безопасности на предстроительной стадии может осуществляться:

- на этапе *экономического обоснования* через прогнозирование риска аварии будущего объекта на основе информации об организациях-участниках ИСП (проектировщике, поставщике материалов и конструкций, строителе), а также через формирование минимальных требований к организациям-участникам, которые в совокупности призваны обеспечить требуемый для новых зданий уровень риска аварии (см. табл. 3);
- на этапе *проектирования* через прогнозирование риска аварии будущего объекта на основе фактической оценки проектного решения (экспертиза) и информации об организациях-участниках ИСП (поставщике материалов и конструкций, строителе), а также через формирование (с учетом оценки проекта) минимальных требований к организациям-участникам.

Такой подход обеспечивает возможность декларирования и корректировки уровня конструкционной безопасности планируемого к возведению сооружения еще до начала строительных работ.

Решение задачи риск-менеджмента на предпроектной стадии (этап экономического обоснования) осуществляется, в свою очередь, в 5 этапов:

- 1) формирование «дерева» состояний объекта;
- 2) определение «нормального» (для новых зданий) уровня надежности групп несущих конструкций;

- 3) формирование минимальных требований к организациям-участникам ИСП для обеспечения «нормального» уровня надежности групп несущих конструкций;
- 4) подбор или проверка соответствия организаций-участников ИСП сформированным минимальным требованиям;
- 5) декларирование конструкционной безопасности.

На первом этапе формируется дерево состояний объекта, представляющее собой иерархическую последовательность возведения групп однотипных конструкций несущего каркаса (рис. 6).

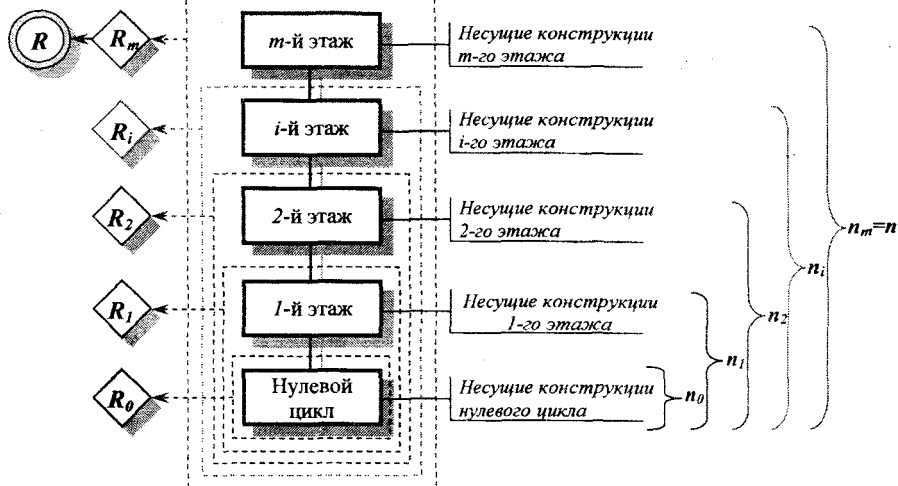


Рис. 6. Дерево состояний m этажного строительного объекта

Каждое из состояний характеризуется количеством групп конструкций n_i и риском аварии R_i . Целью построения дерева состояний является декомпозиция объекта и определение общего числа групп однотипных последовательно возводимых несущих конструкций n .

На втором этапе производится определение нормального уровня надежности групп однотипных несущих конструкций по формуле (7) с учетом общего числа групп n , определенного на предыдущем этапе:

$$p_n = (R_n)^{-1/n}.$$

Целью определения нормального уровня является установление минимальных требований к конструктивным элементам для обеспечения нормального уровня риска аварии всего объекта.

На третьем этапе производится формирование минимальных требований к организациям-участникам ИСП. Здесь определяется множество Q_n возможных комбинаций значений входных параметров модели (6) μ_n , μ_c и μ_w , обеспечивающих нормальный уровень надежности групп однотипных несущих конструкций:

$$M[p] = f(\mu_n, \mu_c, \mu_w) \geq p_n. \quad (9)$$

Сформированное множество Q_n представляет собой требования к организациям-участникам ИСП в части соответствия их систем менеджмента качества требованиям стандартов серии ISO, выполнение которых обеспечит для планируемого к возведению объекта нормальный риск аварии.

На четвертом этапе производится подбор или проверка соответствия требованиям множества Q_n выбранных организаций-участников через экспертную оценку функционирования их систем менеджмента качества (по правилу табл. 2).

На пятом этапе производится декларирование безопасности объекта еще до момента его физической реализации, что может быть обеспечено в случае выполнения требований принадлежности систем менеджмента качества организаций-участников множеству Q_n . В случае отклонений от требований принимается соответствующее управленческое решение в зависимости от величины дополнительного риска: принятие и страхование дополнительного риска; изменение состава участников.

Блок-схема риск-менеджмента на предпроектной стадии представлена на рис. 7.

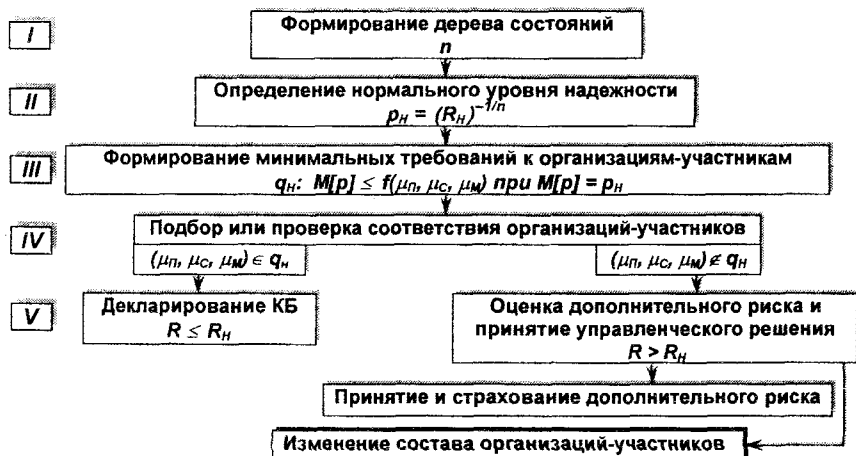


Рис. 7. Блок-схема риск-менеджмента на предпроектной стадии

Решение задачи риск-менеджмента на стадии проекта осуществляется в 6 этапов – в отличие от предпроектной стадии добавляется этап фактической оценки проектного решения. Порядок и состав действий на остальных этапах соответствует предыдущей стадии с отдельными изменениями и дополнениями, вызванными учетом оценки проекта (рис. 8).

Фактическая оценка проекта осуществляется через экспертную оценку соответствия проектного решения требованиям строительных норм в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости (по правилу табл. 2). При этом основой для принятия решения служат общепринятые инженерные методы анализа, включая поверочные расчеты.



Рис. 8. Блок-схема риск-менеджмента на стадиях проекта

В качестве практической реализации методики выполнена оценка и регулирование конструкционной безопасности одного из планируемого к возведению комплекса зданий завода ООО «Карбо-Керамикс» (Евразия) на стадии проекта. Рассматриваемое здание запроектировано в металлическом каркасе рамно-связевой системы, высота – 26 м, количество этажей - 5. Проведена экспертиза проекта и с учетом фактической оценки проектного решения разработаны минимальные требования к организациям-участникам ИСП для обеспечения нормального для новых зданий риска аварии. По факту завершения строительством рассматриваемого объекта была произведена фактическая оценка достигнутого уровня конструкционной безопасности и выполнено сопоставление с прогнозными показателями – рис. 9.

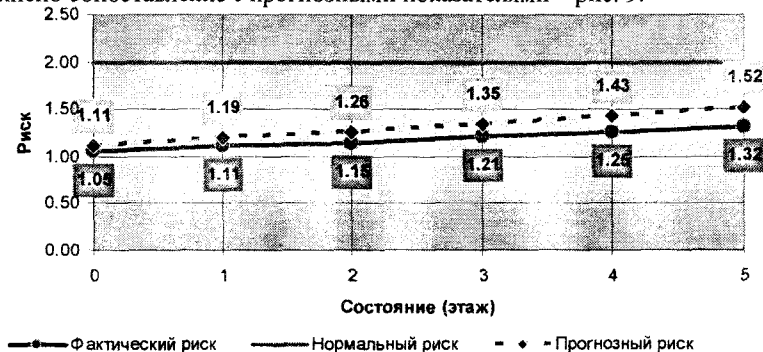


Рис. 9. Карта риска рассматриваемого здания

В итоге поставленная задача снижения негативного влияния человеческого фактора на конструкционную безопасность законченного строительством объекта была решена. Фактический риск (1,32) удовлетворяет требованиям для новых зданий ($R_{\phi} \leq R_n = 2$). Разница между прогнозным (1,52) и фактическим (1,32) показателями составляет 13,39%, что подтверждает работоспособность методики.

Предложенная процедура управления с опорой на методологию риска увязана с существующей системой обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности объектов строительства – рис. 10.

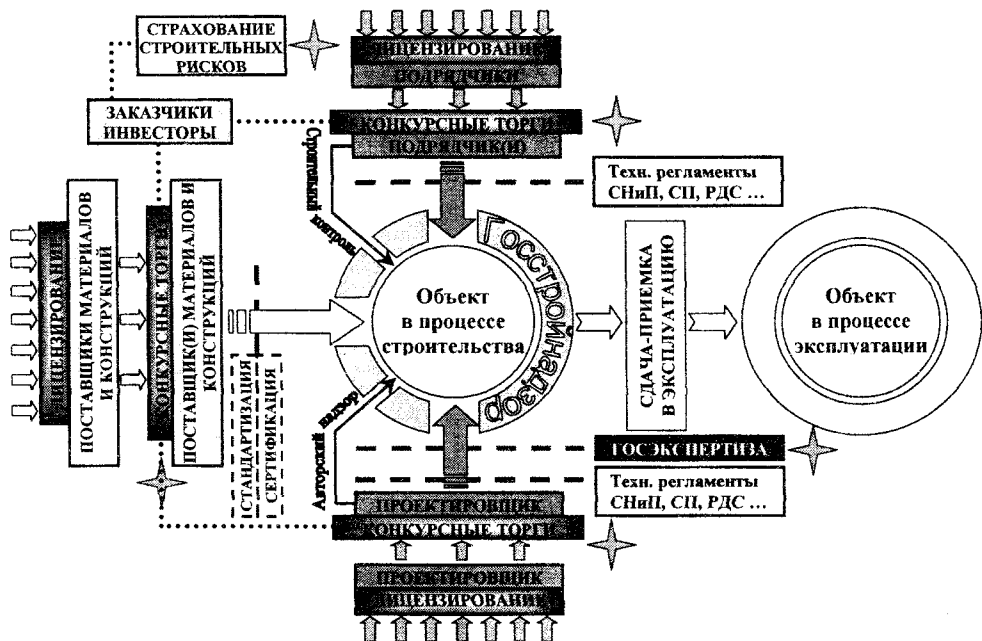


Рис. 10. Система обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности объектов строительства

В этой системе априорная оценка и регулирование риска являются дополнительными инструментами на отдельных этапах: конкурсные торги, экспертиза проектного решения и страхование строительных рисков. Использование дополнительных априорных инструментов управления риском в рамках существующей системы (без ее усложнения) позволяет повысить ее эффективность, посредством предоставления информации о состоянии будущего объекта и возможности его регулирования еще до момента его физической реализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача прогноза и регулирования уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению объектов строительства. Решение поставленной задачи имеет существенное значение для строительного комплекса, как инструмент повышения качества и конструкционной безопасности конечной строительной продукции – зданий и сооружений.

Основные результаты диссертационной работы:

1. Доминирующее влияние на конструкционную безопасность зданий и сооружений оказывает человеческий фактор – непреднамеренные ошибки, случайным образом вносимые участниками строительного процесса, увеличивающие теоретическую вероятность аварии, заложенную при проектировании (10^{-7} – 10^{-5}).
2. Существующие подходы к оценке и регулированию конструкционной безопасности носят апостериорный характер и не в полной мере учитывают основные рисковые факторы (человеческие ошибки).
3. Эволюционирующее законодательство в сфере технического регулирования обладает выстроенной системой обеспечения конструкционной безопасности строительных объектов, однако имеет пробел в методическом обеспечении ее эффективного функционирования. Взятие курса на обеспечение безопасности, трактуемой через отсутствие недопустимого риска, требует наличия соответствующих инструментов оценки и регулирования, в том числе и априорных, с опорой на методологию риска.
4. Предложен математический аппарат для априорной оценки и регулирования конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений с учетом основных рисковых факторов, включающий:
 - риск-модель, характеризующую риск аварии строительных объектов;
 - разработанную матмодель прогнозирования входных параметров риск-модели на основе оценки эффективности функционирования систем менеджмента качества организаций-участников строительного процесса.
5. Разработаны методические рекомендации и процедуры по априорной оценке и регулированию уровня конструкционной безопасности планируемых к возведению зданий и сооружений с опорой на предложенный математический аппарат и прогнозирование с его помощью будущего состояния объекта на различных этапах реализации ИСП, соответствующих предстроительной стадии. Предложенные рекомендации и процедуры управления с опорой на методологию риска увязаны с существующей системой обеспечения конструкционной надежности и эксплуатационной долговечности строительных объектов – как инструменты, повышающие эффективность ее функционирования на отдельных этапах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Мельчаков А.П., Шлейков И.Б. О проектировании строительных конструкций с учетом человеческого фактора риска // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: Тез. докл. второй всероссийской конференции. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1999. – С. 29–30.
2. Габрин К.Э., Мельчаков А.П., Шлейков И.Б. Априорная оценка риска аварии возводимого объекта строительства // Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия: Сборник материалов Первой Всероссийской научно-практической конференции. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – С. 104.
3. Мельчаков А.П., Шлейков И.Б., Никольский И.С. Математическая модель и компьютерная технология прогнозирования риска аварии зданий и сооружений // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: Материалы Третьей Всероссийской конференции. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. – С. 264–268.
4. Шлейков И.Б., Никольский И.С. Математическая модель прогнозирования риска аварии объектов строительства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». Выпуск 1. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – №5(05). – С. 37–38.
5. Шлейков И.Б., Никольский И.С. Проектирование подвесного пешеходно-технологического перехода // Конкурсы грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области: Сборник рефератов научно-исследовательских работ студентов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 73.
6. Шлейков И.Б., Никольский И.С. Априорная оценка риска аварии планируемых к возведению зданий и сооружений и ее применение к подбору организационных участников строительства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». Выпуск 1. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – №7(23). – С. 82–86.
7. Мельчаков А.П., Никольский И.С., Шлейков И.Б. Методика и технология оценки уровня конструктивной безопасности зданий и сооружений на основе регламента на величину риска аварий // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 4. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – С. 62–73.
8. Шлейков И.Б., Никольский И.С., Рябков А.Н. О техническом регулировании уровня конструктивной безопасности зданий и сооружений // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 4. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – С. 74–77.
9. Мельчаков А.П., Шлейков И.Б., Никольский И.С., Косогоров В.Г. Технологии регулирования уровня конструкционной безопасности зданий и сооружений на различных стадиях их жизненного цикла // Саморегулирование строительной деятельности: перспективы, проблемы, пути решения: Материалы строительного форума. – Челябинск, 2006. – С. 95–97.