

На правах рукописи

Мельчаков Анатолий Петрович

**ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ СТРОЯЩИХСЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Специальность 05.26.04 – “Промышленная безопасность”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Челябинск 1998

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Губайдулин Р.Г.**,

доктор технических наук, профессор **Шлыков В.Н.**,

доктор технических наук, профессор **Ерёмин К.И.**

Ведущая организация – ОАО “Уральский научно-исследовательский и проектный институт строительных материалов” (УралНИИСтромпроект), г. Челябинск.

Защита состоится ____ июня 1998 г., в 9 часов, на заседании диссертационного совета Д 135.10.02 при Научно-техническом центре угольной промышленности по открытым горным работам – Научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте по добыче полезных ископаемых открытым способом (НИИОГР) по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИОГР.

Автореферат разослан 07 мая 1998 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, с.м.с.



Н.Ю.Назарова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Способность объектов строительства сопротивляться перегрузкам в экстремальных условиях эксплуатации без обрушения несущих конструкций зависит от уровня конструктивной безопасности законченных строительством зданий и сооружений. Официальные данные свидетельствуют, что повреждения и обрушения зданий и сооружений при авариях происходят из-за критических дефектов (ГОСТ 15467-79) изготовления и монтажа несущих конструкций. Тяжесть последствий аварий зависит от количества и степени опасности критических дефектов, допущенных при устройстве оснований и возведении несущих конструкций. Наблюдаемый в Российской Федерации рост числа строительных аварий с недопустимо высокой степенью обрушения несущих конструкций доказывает, что обеспечение конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений остается одной из актуальных проблем строительства на современном этапе.

Проблема снижения риска аварии построенных зданий и сооружений требует разработки технологии контроля качества возведения несущих конструкций на основе оценки соответствия фактического уровня конструктивной безопасности нормативным требованиям. Такая технология соответствует утвержденному постановлением Правительства РФ № 360 от 17 апреля 1995г. перечню приоритетных технологий федерального уровня. Для её создания необходимо располагать нормативной базой конструктивной безопасности и методом прогнозирования риска аварии. Поэтому из общей и многогранной проблемы обеспечения конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений в работе рассматриваются два её основных аспекта: информационный, связанный с анализом и оценкой строительно-монтажных рисков, и нормативный, требующий установления для строящегося объекта допустимого уровня конструктивной безопасности.

Целью работы является разработка методов прогнозирования и нормирования конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений.

Идея работы состоит в обеспечении конструктивной безопасности на основе оценки риска аварии в процессе возведения зданий и сооружений.

К основным задачам исследования относятся:

- 1) разработка научно-методических основ прогнозирования и нормирования показателей конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений;
- 2) разработка автоматизированной экспертной системы мониторинга и оценки конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений.

Методы исследований основаны на системном и логико-вероятностном подходе к решению проблемы и включают в себя физическое и математическое моделирование, методы теории экспертных систем и теории нечётких множеств, а также методы строительной механики и теории надежности

Научные положения, выносимые на защиту

1. Риск аварии определяется совокупностью критических дефектов изготовления и монтажа несущих конструкций и может использоваться в качестве комплексного показателя конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений.

2. Нормативные значения комплексного показателя конструктивной безопасности должны находиться в области допустимых значений рисков аварий, устанавливаемой в зависимости от характеристик капитальности строящегося объекта с учётом его подверженности внешним провоцирующим аварии факторам риска

3. Конструктивная безопасность законченных строительством зданий и сооружений обеспечивается управлением качеством возведения несущих конструкций на основе оценки риска аварии для каждого завершённого этапа строительства.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждаются:

1) представительным объемом данных о причинах случившихся на территории РФ аварий объектов строительства за период 1986 – 1996 гг.;

2) совпадением результатов исследований, полученных различными методами;

3) применением теорий и методов, позволяющих осуществлять корректную формализацию экспертных данных;

4) регламентами сертификационных испытаний в соответствии с действующими стандартами и нормативными документами;

5) сертификационными испытаниями объектов строительства, которые показали удовлетворительную сходимость результатов научных исследований и практических данных.

Научная значимость и новизна работы

1. Установлена взаимосвязь между величиной риска аварии и дефектами изготовления и монтажа несущих конструкций строящихся объектов, и на её основе получены соотношения, позволяющие осуществлять оценку риска аварии по совокупности ранжированных по степени опасности критических дефектов

2. Разработана и обоснована модель объекта строительства, адекватно отражающая процесс накопления риска аварии и обеспечивающая минимальную погрешность его прогнозирования.

3. Получена зависимость для определения приемлемой величины риска аварии, учитывающая ответственность строящихся зданий и сооружений и позволяющая устанавливать допустимые значения показателей конструктивной безопасности как для части строящегося объекта, так и для здания или сооружения в целом.

Практическое значение работы заключается в разработке комплекса следующих прикладных методик:

- методика установления требуемого уровня конструктивной безопасности зданий жилищно-гражданского назначения;
- методика назначения класса безопасности зданий и сооружений по подверженности внешним провоцирующим аварию факторам риска;
- автоматизированная экспертная система сертификационных испытаний объектов строительства на соответствие требованиям конструктивной безопасности.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы использованы:

- при сертификационных испытаниях построенного в г. Челябинске 16-этажного монолитного жилого дома;
- при сертификационных испытаниях построенной в аэропорту г. Челябинска взлетно-посадочной полосы, проведенных в связи с ее страхованием;
- при проведении учебного процесса на архитектурно-строительном факультете Южно-Уральского государственного университета.

Личный вклад автора заключается:

- в установлении закономерностей формирования риска аварии в процессе возведения зданий и сооружений;
- в разработке и обосновании методов прогнозирования и нормирования показателей конструктивной безопасности объектов строительства;
- в создании технологии обеспечения конструктивной безопасности законченных строительством зданий и сооружений.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

- на Первых Уральских академических чтениях Российской академии архитектуры и строительных наук. – Челябинск, 1996 г.
- на Вторых Уральских академических чтениях Российской академии архитектуры и строительных наук. – Екатеринбург, 1997 г.
- на Третьих Уральских академических чтениях Российской академии архитектуры и строительных наук. – Екатеринбург, 1997 г.
- на Всероссийской конференции “Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции”. – Чебоксары, 1997 г.
- на заочной научно-практической конференции “Прогнозирование чрезвычайных ситуаций”. – Москва, 1997 г.
- на семинаре Южно-Уральского академцентра РААСН. – Челябинск, 1997 г.
- на семинаре кафедры строительных конструкций Уральского государственного технического университета - УПИ. – Екатеринбург, 1997 г.
- на семинаре кафедры “Строительные конструкции и строительное производство” Уральской государственной академии путей сообщения. – Екатеринбург, 1997 г.
- на научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (1991 – 1997 гг.)

Результаты работы демонстрировались

– на выставках “Стройкомплекс Челябинской области” (г. Челябинск, 1995 г., 1996 г. и 1997 г.)

– на выставке “Страхование '96” (г. Москва, 1996 г.).

Публикации. По материалам исследований опубликованы 17 работ, в том числе одна монография.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы (76 наименований) и приложения, содержит 175 страниц, 27 рисунков, 22 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность проблемы обеспечения конструктивной безопасности зданий и сооружений, сформулированы цель, идея и задачи исследования и приведены основные научные и практические результаты работы. Первая глава посвящена критическому анализу существующих методов и подходов к оценке конструктивной безопасности объектов строительства. Вторая глава содержит обоснование концепции конструктивной безопасности объектов строительства и метода построения решающих правил прогнозирования относительного риска аварии. В третьей главе излагается методология диагностики бездефектности завершенных и строящегося объекте строительно-монтажных работ. Четвёртая глава содержит описание подхода к формированию нормативной базы и построению математической модели назначения стандартов конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений. Пятая глава посвящена построению структуры и алгоритмов компьютерных экспертных систем для прогнозирования и оценки достигнутого уровня конструктивной безопасности построенных зданий и сооружений. В шестой главе описаны структура и основные экономические механизмы системы управления безопасностью и предупреждения аварий. В Приложении приведены концепция страхования строительно-монтажных рисков и методики для её практической реализации.

Разработке теоретических и практических основ обеспечения конструктивной надежности 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.В. Геммерлинга, В.Д. Райзера, А.Р. Ржаницина, С.А. Тимашева и др. Подходы к оценке безопасности строительных систем с позиций теории риска представлены в работах Я.М. Айзенберга, И.И. Гольденблата, А.П. Синицина и др. Проблеме анализа рисков в строительном производстве, причин строительных аварий и методов контроля качества

строительства посвящены работы С.Г.Головиева, Р.Г.Губайдулина, А.Г.Ройтмана, Б.В.Сендерова, В.С.Сытника, А.Н.Шкинева, В.Н.Шлыкова и др.

Из зарубежных ученых существенный вклад в развитие вероятностных методов расчета и проектирования строительных конструкций внесли Г.Аугусти, А.Баратта, Ф.Кашнати. 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. Представляют интерес работы и других ученых, например D.I.Blockley и R.Hausser.

При критическом анализе современного состояния проблемы конструктивной безопасности строительных конструкций изучены работы Болотина В.В., Ржаницина А.Р., Силинина А.П., Тимашева С.А. и др., в которых за аварию конструкции принимается невыполнение неравенства $S > F$ (F – внешнее воздействие на конструкцию, S – сопротивление конструкции этому воздействию), а вероятность события $(F - S) > 0$ (риск аварии) отыскивается без учета человеческого фактора (грубых ошибок). На практике же невыполнение этого неравенства влечет за собой различные последствия: от незначительных разрушений локального характера до катастрофических обрушений конструкций, при этом тяжесть последствий аварий в значительной мере зависит от количества и степени опасности не ликвидированных при строительстве критических дефектов. Предположение, что сооружения, обладающие достаточным запасом надежности (живучести) по отношению к внешним воздействиям, обычно более надежны и по отношению к критическим дефектам, практикой не подтверждается: излишний запас, как правило, не компенсирует человеческие ошибки. Поэтому методология оценки безопасности объектов строительства в обязательном порядке должна учитывать человеческий фактор, а свести до минимума влияние последнего можно лишь созданием и введением в строительную практику определенных экономических механизмов.

Доминирующая роль грубых ошибок в формировании аварийного состояния строительных конструкций отмечается в работах Г.Аугусти, А.Баратта и Ф.Кашнати, посвященных проблеме применения вероятностных методов в строительном проектировании. В частности, эти авторы считают, что заложенная в проект строительного объекта теоретическая вероятность обрушения (проектный риск аварии) к окончанию строительства из-за грубых ошибок увеличивается по меньшей мере на порядок. Первая попытка описать человеческий фактор риска с позиций теории нечетких множеств сделана D.I.Blockley.

В существующих вероятностных подходах к оценке безопасности строительных конструкций уязвимым местом остается принцип назначения нормативной вероятности нарушения целостности конструкции (риск аварии). Известные подходы к определению нормативных рисков (Болотин В.В., Ржаницин А.Р., Тимашев С.А. и др.) базируются на принципе минимума полных ожидаемых затрат,

предусматривающих затраты на возведение сооружения и затраты на ликвидацию последствий аварии. Такой подход не вызывает возражений для сооружений, аварии которых приводят к чисто экономическим последствиям. В случае возможности разрушений с человеческими жертвами от волевых назначений нормативного риска пока избавиться не удалось.

Известно, что заложенные при проектировании строительного объекта теоретические вероятности аварий имеют порядок 10^{-6} . Фактические же риски аварий построенных зданий и сооружений могут значительно отличаться от проектных. Однако практикам сложно уловить различие в двух весьма малых величинах, например, 10^{-3} и 10^{-6} , хотя и отличающихся на три порядка. Целесообразно отказаться от численного представления нормативного риска и осуществить переход на сравнительную форму назначения нормируемых величин, в частности, требуемый уровень конструктивной безопасности задавать в виде допустимого превышения риска аварий, закладываемого в проекты зданий и сооружений, и соответствующего таким затратам на обеспечение безопасности, которые общество может себе позволить.

При разработке метода прогнозирования риска аварий зданий и сооружений, имеющих критические дефекты, риск аварии представлен относительной формой в виде коэффициента $K_{\phi} = R_{\phi} / R_n$, показывающего, во сколько раз фактический риск аварии R_{ϕ} превышает теоретическую вероятность аварии R_n , заложенную в проект здания или сооружения. Принимается, что $R_{\phi} = R_n + R_d$, где R_d – дополнительный риск, учитывающий критические дефекты строительства и зависящий от этих дефектов.

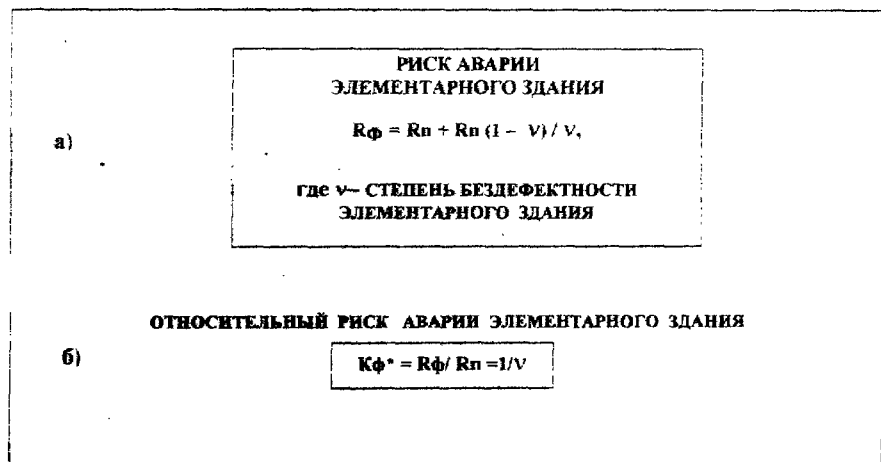


Рис.1. Соотношения для риска аварии элементарного здания

Для отыскания зависимости риска от допущенных при строительстве дефектов исследуемые здания (сооружения) представляются как совокупность элементарных зданий, каждое из которых содержит нулевой цикл и типовую часть объекта (этаж, ярус, пролет). Исследования, выполненные на неограниченном множестве элементарных зданий с применением логики и теоремы гипотез теории вероятностей, позволили получить соотношения, показанные на рис.1. На рис.1-а приведена формула для определения R_{ϕ} , из которой следует, что, если $v=1$ (критических дефектов нет), то $R_{\phi}=0$. В окончательном виде логико-вероятностная модель, связывающая относительный риск аварии элементарного здания с уровнем его бездефектности, приведена на рис.1-б.

Процесс возведения любого здания (сооружения) характеризуется законченными этапами строительства в виде "промежуточных зданий", каждое из которых можно представить в виде ориентированной совокупности элементарных зданий. Из логико-вероятностной модели следует, что вычисление риска аварии элементарного здания сводится к определению степени его бездефектности v . Для её оценки элементарное здание рассматривается как система, состоящая из двух подсистем: нулевого цикла и типовой части, которые в свою очередь состоят из элементов – видов строительно-монтажных работ (СМР), ответственных за конструктивную безопасность подсистем, и к этой системе применяются методы системной теории надежности.

В зданиях и сооружениях любого конструктивного типа всегда можно выделить виды СМР с последовательным соединением в подсистемах. Такие виды СМР в работе обозначены как основные. Введение такого понятия позволяет однозначно выразить значение коэффициента K_{ϕ}^* для элементарного здания через степени бездефектности основных видов СМР. Остальные виды СМР (не основные) учитываются в зависимости от типа их соединения в подсистемах по известным правилам теории надёжности. Для наиболее распространённых конструктивных типов зданий перечень основных видов СМР приведен в табл.1.

Степень бездефектности элементарного здания v при известных степенях бездефектности его двух подсистем (нулевого цикла μ_0 и типового этажа μ_2) оценивается по формуле $v = \mu_0 \mu_2$, а если известны степени бездефектности μ_i основных видов СМР, относящихся к подсистеме, степень бездефектности каждой подсистемы определится из выражения $\mu_p = \prod \mu_i$. При обозначениях, приведённых в табл.1, решающие правила прогнозирования относительного риска аварии элементарных зданий принимают вид:

для каменных элементарных зданий $K_{\phi}^* = 1/(\mu_{01} \mu_{02} \mu_{03} \mu_{11} \mu_{12} \mu_{13})$,

монолитных для элементарных зданий $K_{\phi}^* = 1/(\mu_{01} \mu_{02} \mu_{04} \mu_{21} \mu_{22})$,

для крупнопанельных элементарных зданий $K_{\phi}^* = 1/(\mu_{01} \mu_{02} \mu_{03} \mu_{31} \mu_{32} \mu_{33} \mu_{34})$.

Полученные выражения можно использовать для построения решающих правил прогнозирования относительного риска аварии зданий и сооружений конкретного конструктивного типа. Для построения этих правил исследуемое здание (сооружение) представляется последовательным набором элементарных зданий, являющихся вершинами ориентированного графа "И/ИЛИ" в виде «дерева состояний», отражающего процесс возведения этого объекта.

Таблица 1

Основные виды строительно-монтажных работ

Подсистемы зданий	Элементы подсистем (основные виды СМР)		Степень бездефектности СМР
Нулевой цикл	01	Устройство основания	μ 01
	02	Возведение фундамента	μ 02
	03	Возведение несущих конструкций подвала	μ 03
Типовой этаж каменного здания	11	Кладка несущих стен	μ 11
	12	Монтаж плит перекрытия	μ 12
	13	Монтаж лестничных площадок и маршей	μ 13
Типовой этаж монолитного здания	21	Устройство монолитных конструкций	μ 21
	22	Монтаж сборных ж/б конструкций	μ 22
Типовой этаж крупнопанельного здания	31	Монтаж стеновых панелей	μ 31
	32	Монтаж плит перекрытия	μ 32
	33	Монтаж лестничных площадок и маршей	μ 33
	34	Сварочные работы и защита от коррозии	μ 34

Построение правила свертки риска аварии базируется на следующих утверждениях.

1. Вершины графа образуют полную группу независимых и несовместных событий в плане наступления аварийного состояния. Независимость вершин достигается включением в состав каждого элементарного здания построенного нулевого цикла.

2. Авария, обычно понимаемая как повреждение или обрушение здания, всегда является следствием развития аварийной ситуации в одном, заранее не известном и наиболее "слабом" элементарном здании.

Эти утверждения позволяют для построения правила свёртки использовать методы теории вероятностей, теории графов и теории множеств в пространстве вероятностей, применение которых привело к одинаковому результату.

$$P(A) = \sum P(A_i) - P(A_0 \cap A_1 \cap \dots \cap A_m); \quad P(A_0 \cap A_1 \cap \dots \cap A_m) = \text{PR}(A_i);$$

$$P(A) = \sum P(A_i) - \text{PR}(A_i); \quad P(A_i) \ll 1 \text{ для всех } i; \quad \text{погрешность } \text{PR}(A_i) \cong 0$$

ПРАВИЛО СВЁРТКИ

$$K\phi = \sum (K\phi^*)_i$$

где $(K\phi^*)_i$ — ФАКТИЧЕСКИЙ РИСК АВАРИИ i -ГО ЭЛЕМЕНТАРНОГО ЗДАНИЯ

ФАКТИЧЕСКИЙ РИСК АВАРИИ n -ЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ:

каменных $K\phi = 1 / (\mu_{01} \mu_{02} \mu_{03}) [1 + \sum (1 / \mu_{11} \mu_{12} \mu_{13}) i];$

монолитных $K\phi = 1 / (\mu_{01} \mu_{02} \mu_{03}) [1 + \sum (1 / \mu_{21} \mu_{22}) i];$

крупнопанельных $K\phi = 1 / (\mu_{01} \mu_{02} \mu_{03}) [1 + \sum (1 / \mu_{31} \mu_{32} \mu_{33} \mu_{34}) i].$

Рис. 2. Решающие правила прогнозирования относительного риска аварии

На рис. 2 вероятность наступления аварии здания в целом (события A) рассмотрено с позиций теории множества в пространстве вероятностей как объединение возможных аварий элементарных зданий (событий A_i). Применение методов теории множеств дает возможность оценить погрешность при использовании полученного правила свёртки относительных рисков аварии элементарных зданий. К решающим правилам прогнозирования относительного риска аварии (см. рис. 2) для указанных в табл. 1 конструктивных типов зданий с числом этажей "n" приводит подстановка в правило свёртки соответствующего решающего правила для элементарного здания.

Правила свёртки существенно зависят от «дерева состояния» строящегося объекта. На рис. 3 приведено решающее правило прогнозирования показателя конструктивной безопасности для сооружений, «дерево состояний» которых имеет вид горизонтально ориентированного графа. Аналогично можно построить решающее правило и для других конструктивных типов зданий и сооружений. Процедура их построения включает в себя отыскание типовых частей сооружения (элементарных зданий) и определение основных видов СМР для подсистем этих элементарных зданий.

Решающие правила сводят задачу прогнозирования относительного риска аварии построенного здания к задаче диагностики бездефектности основных видов СМР.

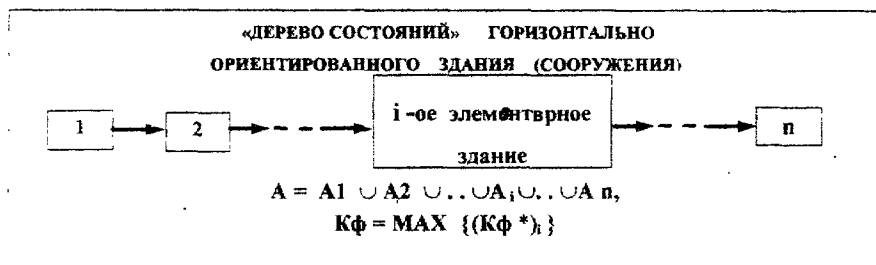


Рис. 3. Решающее правило прогнозирования относительного риска аварии для горизонтально ориентированных зданий и сооружений

Диагностика бездефектности завершённых строительно-монтажных работ осуществляется на множестве параметров, имеющих коды "М" и "С". Код "М" указывает на то, что параметр характеризует качество используемых в СМР материалов, изделий, конструкций, а код "С" – качество монтажа. Исходными данными для диагностики служит первичная экспертная информация (далее ПЭИ) о качестве завершённых на объекте строительства СМР, задаваемая в виде числовых значений исполненных параметров СМР. Очевидно, что как для параметров с кодом "М", так и для параметров с кодом "С" ПЭИ является нечёткой. Поэтому методы теории вероятности, приспособленные для обработки и представления знаний, полученных на основе достаточно большого числа опытов с учетом возможных ошибок приборов и измерений, не могут быть применены для обработки ПЭИ. Для этих целей использованы методы теории нечетких множеств, в основе которой лежит понятие степень принадлежности некоторого события множеству, для которого удовлетворяется совокупность требований и ограничений. Применение методов теории нечетких множеств требует формализации ПЭИ, т.е. представления её в определенной форме. Формой представления ПЭИ является безразмерное множество степеней принадлежности $\{ \phi_i \}$ контролируемых параметров множеству проектных данных, которые являются исходной информацией для определения степени бездефектности завершённых СМР. Формализация ПЭИ заключается в переводе элементов экспертной информации в соответствующее безразмерное множество степеней принадлежности. При таком переводе ПЭИ должна пройти в обязательном порядке стадию ранжирования её элементов по степени их влияния на качество (безопасность) исполненного вида СМР.

Для формализации ПЭИ, представленной экспертом в виде числовых значений параметров различной мерности, разработана математическая модель, основанная на нормальном законе распределения и позволяющая при отсутствии строгих статистических данных предсказать степень принадлежности исполненного параметра СМР значениям, установленным нормативными документами. Эта модель имеет следующий вид:

$$\varphi = \exp[-(x-p)^2 / (t u)^2],$$

где:

x — элемент ПЭИ (измеренное значение показателя контролируемого параметра);

p — значение величины x , устанавливаемое в соответствии с требованиями нормативных документов;

t — число, характеризующее степень влияния параметра на качество (безопасность) вида СМР и равное значению, при котором $\varphi = 0,5$, если $x = u$;

u — предельное значение величины x .

Принятая модель в неявном виде (через параметр "t") обеспечивает процедуру ранжирования параметров по уровню их влияния на качество (безопасность) исполненного вида СМР.

При формировании предельных значений контролируемых параметров СМР (элементов множества u) используют методы и подходы, цель которых состоит в выявлении фактического запаса безопасности, заложенного в установленное строительными нормами значение. Наиболее простой метод формирования предельного значения контролируемого параметра состоит в удалении из его нормативного значения коэффициентов запаса, предусмотренных строительными нормами. При строгом подходе следует воспользоваться известным в строительной механике методом расчета по предельному равновесию. При этом задача формулируется следующим образом: определить значения контролируемых параметров, при которых действующая на конструкцию нагрузка становится предельной, соответствующей наступлению аварийного состояния (переход несущей конструкции в механизм).

Для назначения степени бездефектности завершеного вида СМР по известным значениям степеней принадлежности её контролируемых параметров используют правила свёртки. Нечеткий характер сведений о контролируемых параметрах СМР обуславливает при построении правил свёртки применение методов теории нечётких множеств. Степень принадлежности (φ_i) исполненного параметра вида СМР множеству, где удовлетворяются все требования нормативных документов, определится посредством операций над нечеткими множествами, применение которых не требует каких-либо ограничений на совокупность элементарных событий (полнота, независимость и др.), накладываемых в теории вероятностей. Правила свёртки для назначения степеней принадлежности

диагностируемого вида СМР отдельно по совокупности контролируемых параметров, отвечающих за качество материалов (код "М") и качество строительства (код "С"), также определяются через операцию пересечения соответствующих множеств. Решающее правило свёртки для назначения степени бездефектности диагностируемого вида строительного-монтажной работы в целом (μ), в которой четко выделены две группы контролируемых параметров (с кодами "М" и "С"), получено на основе теоремы полной вероятности и учитывает различную степень влияния параметров с кодом "М" и кодом "С" на формирование аварийного состояния объекта. На рис. 4 приведен алгоритм диагностики бездефектности строительного-монтажных работ, позволяющий в условиях реального строительства с наименьшими затратами оценить степень бездефектности завершённых на объекте СМР.

ЭТАП ДИАГНОСТИКИ	ТРЕБУЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ
ОТБОР ПЕРВИЧНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ	$\{x_{ij}\} = \{\{x_{ij}\}_m, \{x_{ij}\}_c\}$
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ	$\{\varphi_{ij}\} = \{\{\varphi_{ij}\}_m, \{\varphi_{ij}\}_c\}$
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЕЗДЕФЕКТНОСТИ ИСПОЛНЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ	$\{\varphi_i\} = \{\{\varphi_{im}\}, \{\varphi_{ic}\}\}$
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЕЗДЕФЕКТНОСТИ СМР (ОТДЕЛЬНО ПО КАЧЕСТВУ ИСПОЛЬЗОВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, КОНСТРУКЦИЙ И КАЧЕСТВУ СТРОИТЕЛЬСТВА)	μ_m, μ_c
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЕЗДЕФЕКТНОСТИ СМР	μ

ПРАВИЛА СВЁРТКИ
ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ПЕРВИЧНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

$$\{\varphi_{im}\} = \{\min\{\varphi_{ij}\}_m\}, \quad \{\varphi_{ic}\} = \{\min\{\varphi_{ij}\}_c\},$$

$$\mu_m - \min\{\varphi_{im}\}, \quad \mu_c - \min\{\varphi_{ic}\}$$

РЕШАЮЩЕЕ ПРАВИЛО СВЁРТКИ

$$\mu = 0.4(1 - \mu_m)(1 - \mu_c) + 0.8(1 - \mu_m)\mu_c + 0.5(1 - \mu_c)\mu_m + \mu_m \mu_c$$

Рис. 4. Алгоритм диагностики строительного-монтажных работ

При разработке метода нормирования конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений принято, что требуемый уровень конструктивной безопасности определяется безразмерной величиной в форме коэффициента $K_n = R_f/R_p$, устанавливающего допустимое превышение проектного риска аварий. Такая форма представления допустимого риска аварии позволяет произвести оценку уровня конструктивной безопасности законченного строительством здания или сооружения через сравнение фактического относительного риска (коэффициента K_f) с его допустимым значением в виде коэффициента K_n .

Для назначения K_n необходимо располагать законом распределения случайной величины R_f/R_p применительно к элементарным зданиям, из которых формируется «дерево состояний» строящихся объектов. Теоретически существует кривая распределения плотности вероятностей для случайной величины K_n , но построить её обычными в инженерной практике методами математической статистики не представляется возможным из-за полного отсутствия статистических данных о её возможных значениях. Однако исходя из физических соображений можно сделать ряд логических заключений относительно распределения случайной величины $K_n = R_f/R_p$.

1. Вероятности значений $R_f/R_p \leq 1$ равны нулю, поскольку обеспечить в процессе строительства проектный риск аварии не удастся по целому ряду причин, в т.ч. объективных.

2. Кривая распределения случайной величины R_f/R_p является асимметричной, причем значения R_f/R_p с максимальной плотностью вероятности (мода случайной величины) сдвинуты влево от среднего значения. Этот факт обусловлен тем, что существует естественное стремление общества обеспечить безопасность среды своего обитания, к которой относятся объекты строительства.

Для описания случайных величин, принимающих лишь положительные значения, В.В.Болотиным рекомендованы законы, основанные на распределениях Пирсона, из которых с учетом вышеназванных особенностей наиболее подходящим для случайной величины $X = R_f/R_p$ является однопараметрическое распределение Рэлея: $p(X) = X - 1/\sigma^2 \cdot \exp[-(X-1)^2/2\sigma^2]$, если $X > 1$, и $p(X) = 0$, если $X \leq 1$, где σ – параметр распределения. Из теории вероятностей известно, что в распределении Рэлея параметр σ связан с математическим ожиданием (Mx) и модой ($\langle x \rangle$) соотношениями: $Mx = 1 + 1,25\sigma$; $\langle x \rangle = \sigma + 1$, из которых следует, что для описания случайной величины X достаточно знать значение хотя бы одной из этих величин (σ , Mx или $\langle x \rangle$). Из математической модели $K_f = 1/v$, связывающую случайную величину X с уровнем бездефектности элементарного здания, следует, что $Mx = 1/Mv$, где Mv – математическое ожидание (среднее значение) степени бездефектности элементарного здания (v) как случайной величины, численные значения которой находятся в пределах от 0 до 1. Если рассмотреть бесконечное множество элементарных зданий и построить закон распределения плотности

вероятностей случайной величины v , то очевидно, что он будет симметричным относительно значения $v = 0.5$. Отсюда следует, что, независимо от вида кривой распределения, математическое ожидание случайной величины v будет равно 0.5, а следовательно, $Mx = 2$, т.е. относительный риск аварии элементарного здания в естественных условиях равен 2. Поскольку естественный риск по своей природе аналогичен среднему значению (математическому ожиданию), вокруг которого группируются возможные значения случайной величины, величину 2 можно принять за оценку математического ожидания случайной величины X . Имея оценку для Mx , из вышеприведенных соотношений получаем: $\sigma = 0,8$; $\langle x \rangle = 1,8$. В результате определился закон распределения плотности вероятностей для случайной величины $X = Rф/Rп$, который может служить основой для назначения требуемых уровней конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений.

Приемлемый риск аварии не может быть выше риска в естественных условиях, на который у людей ещё спокойная реакция. Поэтому приемлемая величина относительного риска аварии элементарного здания отыскивается в диапазоне от 1 до 2. Если обозначить через k^* допустимое превышение проектного риска аварии на элементарном здании, то используя приёмы нечеткой логики, можно сконструировать формулу для назначения коэффициента k^* . Эта формула, построенная на понятии лингвистической переменной и его приложениях к операциям “очень”, “очень-очень” и т.д., имеет следующий вид:

$$k^* = Mx \cdot (\langle x \rangle / Mx)^\alpha,$$

где отношение $\langle x \rangle / Mx = 0.9$ является основанием лингвистической переменной “очень”, а $\alpha = 0,1,2,\dots$ – её численный аналог или мера ответственности объекта строительства. Значение $\alpha = 0$ соответствует объектам, эксплуатация которых после окончания строительства осуществляется без участия людей; с повышением ответственности строящихся объектов, зависящей от степени подверженности объекта внешним провоцирующим аварию факторам риска, параметр α принимает отличающиеся от нуля положительные значения.

На основе последней формулы в табл.2 представлено правило назначения коэффициента k^* для элементарных зданий объектов строительства. Табл.2 построена таким образом, что основным критерием для назначения класса строящегося объекта является степень тяжести неэкономических последствий (ущерб здоровью, жизни людей и ущерб природе) в случае гипотетической аварии. Поэтому необходимым этапом при назначении коэффициента k^* является прогнозирование возможного ущерба конкретного строительного объекта на конкретной строительной площадке. Предложена методика, позволяющая выявить и проанализировать все возможные причины повышенной опасности, включая техногенные и природные факторы риска, и обоснованно назначить класс строящегося объекта.

Приемлемые значения относительных рисков аварии
для элементарных зданий объектов строительства

Класс объекта	Характеристика класса	Параметр α	Коэффициент k^*
1	Уникальные или престижные объекты, эксплуатируемые при скоплении людей	4	1.312
2	Объекты, тяжесть неэкономических последствий которых в случае аварии весьма значительная	3	1.458
3	Объекты, тяжесть неэкономических последствий которых в случае аварии существенная	2	1.620
4	Объекты социально значимые. Тяжесть неэкономических последствий аварии невелика	1	1.800
5	Объекты, эксплуатация которых осуществляется без участия людей	0	2.000

Другой особенностью табл. 2 является относительно большое число классов строительных объектов. Это обусловлено экономическими соображениями, так как даже незначительное ужесточение норматива по безопасности строящегося объекта требует значительных затрат на его обеспечение. Значения коэффициентов k^* из табл. 2 являются исходной информацией для определения требуемого уровня конструктивной безопасности (коэффициента K_n), зависящего от класса строящихся зданий и сооружений. От принятого класса существенно зависит и требуемый для обеспечения конструктивной безопасности уровень бездефектности μ^* законченных на строящемся объекте основных видов СМР. В таблице 3 приведены требуемые значения μ^* , рассчитанные по решающим правилам для каменных, монолитных и крупнопанельных зданий, которые в зависимости от этажности и условий строительства можно отнести к одному из классов, указанных в табл. 2 (кроме 5-го). Для n -этажных зданий определение допустимых значений относительных рисков аварии производится по формулам, полученным подстановкой в решающие правила для этих зданий соответствующих значений μ^* из табл. 3:

для каменных зданий – $K_n = (\mu^*)^{-3} [1 + n (\mu^*)^3]$;

для монолитных зданий – $K_n = (\mu^*)^{-3} [1 + n (\mu^*)^2]$;

для крупнопанельных зданий – $K_n = (\mu^*)^{-3} [1 + n (\mu^*)^4]$,

где n – число этажей здания.

Требуемые уровни бездефектности завершенных на объекте
строительно-монтажных работ

Класс объекта	Коэффициент κ^*	Требуемые значения μ^* для зданий		
		каменных	монолитных	крупнопанельных
1	1.312	0.955	0.947	0.972
2	1.458	0.939	0.928	0.963
3	1.620	0.922	0.908	0.953
4	1.800	0.908	0.889	0.943

Совокупность допустимых рисков аварии всех промежуточных зданий строящегося объекта образует нормативную базу конструктивной безопасности. Эту базу целесообразно отобразить на карте риска, где из области возможных значений случайной величины $K_f = R_f/R_p$ выделяется область допустимых её значений, определяемая коэффициентами K_n . Если фактические значения рисков аварии (коэффициенты K_f) всех промежуточных зданий строящегося объекта находятся в области допустимых значений, конструктивная безопасность законченного строительством объекта обеспечена. На рис. 5 в качестве примера показана карта риска для 9-и этажного монолитного здания (цифрой 1 отмечен нулевой цикл), на которой изображена область допустимых значений рисков, образованная коэффициентами K_n , вычисленными по полученной формуле при $\mu^* = 0,889$ как для

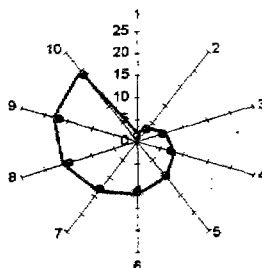


Рис. 5. Область допустимых значений рисков

монолитных зданий 4-го класса ответственности.

Предложенная нормативная база, позволяющая назначать допустимый риск аварии для любого промежуточного здания строящегося объекта, не является

альтернативной действующим строительным нормам. Исследования показали, что допустимые значения рисков аварии соответствуют нормативной вероятности выхода за границу допустимых отклонений на изготовление и монтаж несущих конструкций. Однако нормативная база, представленная в виде допустимых значений рисков аварии, позволяет использовать для обеспечения конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений эффективные экономические механизмы: сертификацию конечной строительной продукции на соответствие нормативным требованиям конструктивной безопасности и страхование рисков аварии.

Сертификационные испытания строящихся зданий и сооружений на соответствие нормативным требованиям конструктивной безопасности необходимо осуществлять с помощью автоматизированных экспертных систем (АЭС), обеспечивающих наибольшую достоверность и оперативность результатов прогноза и оценки достигнутого уровня конструктивной безопасности объекта строительства при минимальных затратах на проведение экспертных работ. Основными задачами АЭС являются расчет по экспертным данным значения риска аварии всех промежуточных зданий строящегося объекта и формирование заключения об уровне конструктивной безопасности здания или сооружения в целом. В АЭС использован видоизмененный вариант известного способа представления конкретных данных с помощью ассоциативной четверки «объект – атрибут – значение – фактор достоверности» (фактор достоверности характеризует нечеткость исходной информации). Между элементами АЭС установлены определенные отношения, задаваемые базой знаний. База знаний АЭС структурирована и имеет 5 независимых блоков:

- 1) правила формирования «дерева состояний», которое определяет логическую модель, регламент сбора информации с исследуемого объекта строительства и правила свертки;

- 2) база данных о предельных и нормативных значениях контролируемых параметров, используемых для формализации и ранжирования экспертной информации;

- 3) правила свертки формализованной экспертной информации;

- 4) нормативная база конструктивной безопасности;

- 5) тарификационная модель (используется при страховании).

Для организации логических и математических процедур используется представление каждого объекта строительства в памяти АЭС ориентированным графом в форме «дерева состояний», отражающего процесс возведения строительного объекта, а программная реализация осуществляется на базе объектно-ориентированного языка.

Структура АЭС показана на рис.6, где стрелками между квадратами 1..7 показан путь прохождения первичной информации, предоставляемой независимыми экспертами (инспекторами), к функциям которых относится:

- выявление (согласно регламенту) в процессе строительства объекта критических дефектов;
- предложение контрмер для ликвидации обнаруженных дефектов;
- предоставление (согласно регламенту) числовой информации по неликвидированным дефектам.

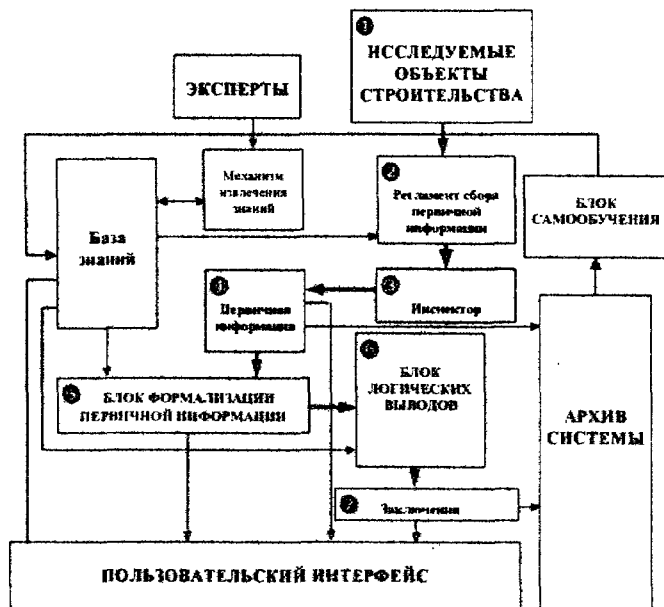


Рис.6. Структура экспертной системы

Функцию формализации числовой информации осуществляет блок формализации по правилам, заложенным в базу знаний АЭС. Блок логических выводов содержит набор решающих правил, позволяющий на основании сведений базы знаний и формализованной первичной информации сделать логические выводы и заключение по существу решаемой задачи.

Результатами экспертизы с использованием АЭС являются текущая и итоговая информация о фактическом уровне конструктивной безопасности объекта, тарифной ставке, если объект застрахован, а также информация о «законсервированных» в этом объекте критических дефектах с указанием степени их опасности и ответственных исполнителей работ. Эта информация является основой для

разработки и принятия мер корректирующего воздействия с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений.

Результаты проведенных исследований реализованы в нескольких компьютерных версиях АЭС. Экспертная система «ТРАССА», предназначенная для сертификационных испытаний автомобильных дорог и аэродромных покрытий, использована при страховой экспертизе построенной в аэропорту г.Челябинска взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Таблица 4

Контролируемые параметры СМР при сертификационных испытаниях ВПП

Взлетно-посадочная полоса			Фактические значения параметров на экспертных участках				
Шифр. 01 950001	Пикет № 10		№1	№2	№3	№4	№5
Виды завершённых на пикете ВПП строительно-монтажных работ	Параметры, влияющие на безопасность ВПП	Проектные значения параметров					
Устройство ест. основания	Кэф. соответствия	1	1	1	1	1	1
	Кэф. уплотнения	1	1,05	1,02	1,05	1,05	1,05
Устройство грунт насыпи	К. уплот. (слой № 1)	1	0,95	1	1	1,02	0,95
	К. уплотн. основания	1	1	1	1	0,99	1
Щебниочная подгот	Модуль упр Е (МПа)	450	467	467	467	467	467
Полосы безопаснос.	Кэф. соответствия	1	1	1	1	0,99	0,99
Устройство стабилизированного бетонного основания	Прочн бетона (МПа)	19,3	25	25	25	25	25
	Модуль упр Е (МПа)	27000	26350	26350	26350	26350	26350
	Кэф. соответствия	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Устр. арм. каркасов	Кэф. соответствия	1	1	1	1	1	1
Устройство конструкционного бетонного покрытия	Прочн. бетона (МПа)	32,6	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2
	Модуль упр Е (МПа)	34500	34900	34900	34900	34900	34900
	Морозостойкость	200	200	200	200	200	200
	Швы (К соотв.)	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	Трещины (К соотв.)	1	1	1	1	1	1
Монтаж дренажной системы	Уклон	4	4	4	4	4	4
	Засыпка щебнем (h)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

В процессе сертификационных испытаний ВПП прослеживались этапы строительства всех её частей и зон (собственно ВПП, боковые полосы безопасности, рулевые дорожки, разворотное кольцо, система водоотвода). Главное внимание уделено качеству строительства собственно ВПП, разделенной на 32 пикета,

расстояние между которыми 100 м. Рабочими нормативными документами экспертизы являлись: проект ВПП; СНиП 3.06.06-88 (Аэродромы); СНиП 3.02.01-87 (Земляные сооружения, основания и фундаменты). На предварительном этапе разработан регламент экспертных работ, содержащий виды строительного-монтажных работ (СМР), ответственных за конструктивную безопасность ВПП, и определён перечень параметров, подлежащих обязательному контролю (табл.4). В соответствии с присвоением ВПП 1-го класса по ответственности стандарт её конструктивной безопасности составил величину $k^* = 1,312$. Независимую экспертизу ВПП осуществляли специалисты Южно-Уральского академического центра. Фрагмент первичной экспертной информации показан в табл.4, а на рис. 7 приведена карта риска законченной строительством ВПП, которая даёт возможность визуально удостовериться в том, что все пикеты, а следовательно, и полоса в целом удовлетворяет нормативным требованиям конструктивной безопасности.

Карта Риска ВПП

- Фактические значения относительного риска аварии (коэф –ты Кф)
- Граница области допустимых значений относительного риска аварии

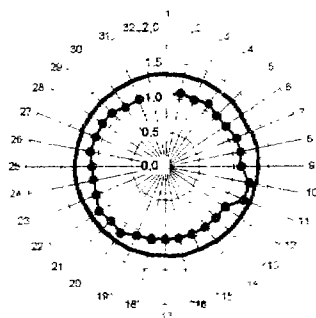


Рис. 7. Результаты сертификационных испытаний ВПП

Проведённые сертификационные испытания ВПП отнесены к разряду научно-производственного эксперимента, в котором была обеспечена независимость всех его основных участников: исполнителя работ – строительной фирмы Union Engineering (Югославия), экспертной группы, формирующей первичную информацию о качестве строительства ВПП и разработчиков экспертной системы “ТРАССА”. Результаты эксперимента в виде карты риска дают основание считать, что сходимостью результатов научных исследований с практикой является удовлетворительной.

Разработанные методы прогнозирования и нормирования риска аварии позволили определить оптимальную схему управления качеством возведения несущих конструкций с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений. Управление осуществляется через

механизм страхования и основывается на информации о текущих значениях риска аварии, формируемой в процессе страховой экспертизы, совмещенной с сертификационными испытаниями объекта строительства на соответствие нормативным требованиям конструктивной безопасности.

Схема взаимодействия участников строительного рынка при таком подходе к управлению качеством возведения несущих конструкций показана на рис.8, а способы регулирования конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений определяются регламентом и правилами страхования.

Правила страхования предусматривают непрерывную количественную оценку рисков и осуществляемую на её основе корректировку (увеличение или снижение) страхового платежа с целью достижения максимально точного соответствия между реальной подверженностью созданных материальных ценностей риску аварии и



Рис. 8. Схема взаимодействия участников строительного рынка

вероятностью возникновения финансовой ответственности страховщика. Такая корректировка является основным экономическим регулятором конструктивной безопасности строящихся объектов, при котором подрядным организациям становится выгодно устранять допущенные критические дефекты изготовления и монтажа несущих конструкций или предпринимать меры для компенсации их негативного влияния на величину риска аварии. В регламенты страхования

предусмотрен предстраховой консалтинг, который также является эффективным способом регулирования конструктивной безопасности строящегося объекта. Он представляет собой анализ внешних провоцирующих аварию факторов риска, на основе которого разрабатываются и осуществляются мероприятия по предупреждению аварий и снижению разрушительности их последствий.

В системе экономических отношений участников строительного рынка (см. рис.8) регулятором конструктивной безопасности является корректировка цены конечной строительной продукции, обеспечивающая реальное соотношение цена/качество. Такую корректировку можно осуществить на основе функции, учитывающей зависимость реальной стоимости $S(x)$ объекта строительства от фактически достигнутого уровня его конструктивной безопасности как базового свойства качества построенных зданий и сооружений. Эта функция может иметь вид: $S(x) = S_0 \cdot \exp[-x]$, где S_0 - начальная стоимость объекта, а $x = (K_f - K_n)/K_n$.

Таким образом, система управляющих воздействий, направленная на обеспечение конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений, определяется совокупностью управляемых переменных, и состоит из 4-х главных компонентов, представленных в табл. 5.

Таблица 5

Система управляющих воздействий для обеспечения конструктивной безопасности законченных строительством зданий и сооружений

Управляющие воздействия	Управляемые переменные
ДО начала строительно-монтажных работ в рамках предстрахового консалтинга	
1. Выработка рекомендаций по страховой защите строительства и назначение требуемого уровня конструктивной безопасности строящегося здания или сооружения	- Меры по поглощению риска - Меры по предотвращению и контролю возможных потерь - Коэффициент K_n
2. Назначение основных условий страхования	-Страховая сумма. -Страховой тариф
ПОСЛЕ начала строительно-монтажных работ при непрерывной страховой инспекции, совмещенной с сертификационными испытаниями объекта	
3. Определение мер по устранению критических дефектов или компенсации их негативного влияния на величину риска аварии по условию обеспечения конструктивной безопасности	-Коэффициент K_f
4. Коррекция условий страхования и начальной цены конечной строительной продукции в зависимости от величины K_f K_n	- Страховой тариф. - Условия страхования. - Цена конечной продукции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе осуществлено решение научной проблемы обеспечения конструктивной безопасности законченных строительством зданий и сооружений, имеющей важное народнохозяйственное значение для повышения качества и безопасности строящихся объектов, что является определенным вкладом в развитие теории и практики промышленной безопасности.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации:

1. Конструктивная безопасность законченных строительством зданий и сооружений зависит от количества и степени опасности не ликвидированных при возведении несущих конструкций критических дефектов, интегральной оценкой которых является коэффициент превышения проектного риска, трактуемый в работе как относительный риск аварии. Установлено, что этот риск наиболее полно характеризует конструктивную безопасность объекта строительства и может служить её комплексным показателем.

2. Точность прогноза показателей конструктивной безопасности, осуществляемого на основе полученных в работе соотношений между величиной относительного риска аварии и уровнями бездефектности завершённых строительно-монтажных работ, адекватна принятой модели исследуемого объекта, отражающей процесс его возведения, а следовательно, и процесс накопления риска аварии. Если в качестве такой модели использовать граф, вершинами которого являются «элементарные здания», содержащие нулевой цикл и типовую часть надземного строения, а его ребрами служат виды строительно-монтажных работ по устройству основания и возведению несущих конструкций, погрешность прогноза будет минимальна и равна произведению рисков аварии всех «элементарных зданий» строящегося объекта.

3. Достоверность оценки конструктивной безопасности исследуемого здания или сооружения в значительной мере зависит от точности определения степеней бездефектности завершённых на объекте строительно-монтажных работ. Необходимая точность обеспечивается использованием аналитического подхода к ранжированию допущенных критических дефектов и методов теории нечетких множеств для назначения степени бездефектности исполненного вида строительно-монтажной работы. Применение указанных методов позволило не только разработать корректные правила свёртки формализованной экспертной информации, но и учесть влияние на уровень конструктивной безопасности строящегося объекта как дефектов применённых материалов, изделий и конструкций, так и ошибок строительства и монтажа.

4. Допустимый по условию конструктивной безопасности относительный риск аварии, определяемый на основе предложенной в работе логико-вероятностной

модели, зависит от характеристик капитальности возводимого объекта, его назначения и степени подверженности внешним провоцирующим аварию факторам риска. Он должен быть рассчитан для всех «промежуточных зданий» строящегося объекта для того, чтобы для здания или сооружения в целом получить область допустимых значений относительных рисков аварии. Если спрогнозированные значения относительного риска аварии завершённых этапов строительства не выходят за пределы допустимой области, конструктивная безопасность построенного объекта обеспечена.

5. Требуемый уровень конструктивной безопасности объекта строительства вполне обеспечивается управлением качеством изготовления и монтажа несущих конструкций на основе оценки и анализа риска аварии на каждом завершённом этапе строительства. Наиболее эффективным образом цель управления достигается через страхование риска аварии при условии совмещения страховой инспекции с сертификационными испытаниями объекта строительства на соответствие нормативным требованиям конструктивной безопасности. Такая схема страхования отличается от существующих наличием дополнительных управляющих воздействий для регулирования конструктивной безопасности зданий и сооружений в процессе их возведения.

6. Оперативность получения сведений о значениях рисков аварии завершённых этапов строительства, используемых для управления качеством возведения несущих конструкций, достигается применением при проведении сертификационных испытаний автоматизированных экспертных систем, позволяющих на основе разработанной базы знаний и информации, предоставляемой экспертами, оценивать конструктивную безопасность как «промежуточных зданий» так и объекта строительства в целом. Автоматизация процессов формализации экспертной информации и подготовки заключений обеспечивает не только оперативность прогноза риска, но и существенно повышает достоверность и объективность его результатов, главным образом, за счёт жестко регламентированного исполнения заложенных в базу знаний правил.

7. Апробация теоретических положений работы, осуществлённая при проведении сертификационных испытаний построенных в г. Челябинске взлётно-посадочной полосы и 16-ти этажного монолитного жилого дома, показала их практическую пригодность для оценки и обеспечения конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений. Испытания, выполненные на специально разработанных автоматизированных экспертных системах, позволили в ходе строительства указанных объектов контролировать качество возведения несущих конструкций и принимать своевременные меры по ликвидации допущенных критических дефектов.

8. Внедрение результатов работы в строительную практику даст возможность создать интегрированную электронную базу конструктивной безопасности

построенных зданий и сооружений, позволяющую прогнозировать срок службы объектов строительства и планировать меры по предупреждению их аварий, а также позволит решать новые актуальные задачи, возникающие в процессе экономических реформ, таких как защита инвестиций, стимулирование конкуренции производителей и др. Основным эффектом от внедрения разработанных методов оценки конструктивной безопасности и технологий её обеспечения заключается в снижении тяжести социальных и экономических последствий аварий зданий и сооружений, спровоцированных внезапными и непредвиденными факторами риска

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Мельчаков А.П., Габрин К.Э., Мельчаков Е.А. Управление безопасностью строительства. Прогнозирование и страхование рисков аварии зданий и сооружений. Челябинск-Курган: Зауралье, 1996 – 198 с.
2. Мельчаков А.П., Рябченков С.И. Расчет и управление надежностью рамных тонкостенных конструкций при случайном нагружении// Инфор материалы Всесоюзной школы "Расчет и управление надежностью больших мех. систем". 1986.– С.5
3. Мельчаков А.П. О рациональном проектировании узловых соединений рамных металлоконструкций// Сб трудов ЧПИ № 37. Челябинск, 1987 – С.45–48
4. Мельчаков А.П., Степанов А.Н. Безопасность строительных объектов в системе сертификации // Бюллетень строительной техники. 1993. № 1. – С.38–39
5. Мельчаков А.П. Механизмы предупреждения аварий // Бюллетень строительной техники 1995, № 9 – 10. – С.11.
6. Мельчаков А.П., Сытник А.С. Оценка уровня конструктивной безопасности здания в системе сертификации // сб. докладов РААСН . 1996.– С.51–52.
7. Мельчаков А.П. Конструктивная безопасность зданий и сооружений// Промышленное и гражданское строительство. 1996. № 11. – С.15–16.
8. Мельчаков А.П., Габрин К.Э., Мельчаков Е.А. Оценка конструктивной безопасности построенных зданий в системе предупреждения строительных аварий // Стройкомплекс Челябинской области. 1996. № 2. - С.28–29.
9. Мельчаков А.П. О нормировании показателей конструктивной безопасности зданий и сооружений // сб докладов. Третья уральские академические чтения. УРО РААСН 1997 С.95–100
10. Мельчаков А.П. Технология сертификационных испытаний зданий и сооружений на соответствие нормативным требованиям конструктивной безопасности // Тез. докл. Всероссийской конференции. г.Чебоксары. 1997. – С.25
11. Мельчаков А.П., Габрин К.Э., Мельчаков Е.А. Система предупреждения строительных аварий:// Сб. докл. на научно-практической конферен "Прогнозирование ЧС" г. Москва 1997 – С.1-8

12. Мельчаков А.П. Логико-вероятностный подход к оценке безопасности технических систем // Электробезопасность. 1997. № 1. – С.26–33.

13. Мельчаков А.П., Сидоров А.И., Габрин К.Э. Метод назначения для технической системы класса по конструктивной безопасности// Известия Челябинского научного центра, № 1. УрОРАН. 1997. – С. 1–5 (на сервере).

14. Мельчаков А.П., Габрин К.Э. Практика страховой и технической защиты инвестиций// Стройкомплекс Челябинской области. 1997. № 8–9. – С.22–25.

15. Габрин К.Э., Мельчаков А.П. Логико-вероятностный метод прогнозирования максимального убытка при строительных авариях с учетом фактического качества строительства// Известия Челябинского научного центра УрОРАН. 1997. № 1. – С. 6–10 (на сервере).

16. Мельчаков А.П. Анализ строительных рисков в регламентах страхования и сертификации конечной строительной продукции// Стройкомплекс Челябинской области. 1997. № 12. – С. 34–35.

17. Мельчаков А.П., Габрин К.Э. Оценка конструктивной безопасности строящейся в аэропорту г. Челябинска взлетно-посадочной полосы, проведенной в связи с её страхованием // сб докладов. Третьи уральские академические чтения УРО РААСН. 1997. – С. 100–104.



Издательство Южно-Уральского государственного университета
ЛР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 05.05 98. Формат 60 × 84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ л. 139. Уч. изд. л. 161.

Тираж 100 экземпляров. Заказ 64.80