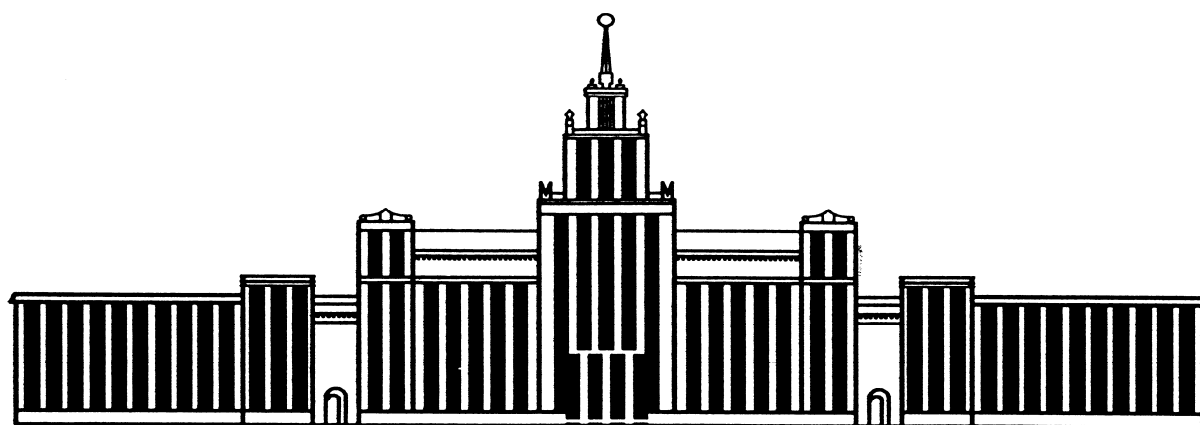

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

69(07)
М487

А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова

**КОНСТРУКЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА: ОЦЕНКА
И ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Учебное пособие

Челябинск
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Строительная механика»

69(07)
М487

А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова

**КОНСТРУКЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА: ОЦЕНКА
И ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2013

УДК [69:658.516](075.8) + [624.01:658.516](075.8)
М487

*Одобрено
учебно-методической комиссией
архитектурно-строительного факультета*

*Рецензенты:
Г.С. Пекарь, С.Б. Шматков*

Мельчаков, А.П.
М487 Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение: учебное пособие / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 136 с.

Пособие ориентировано на подготовку экспертов-исследователей и специалистов по риск-менеджменту с целью реализации в строительстве Федерального Закона «О техническом регулировании». Реализация закона – необходимое условие качественной модернизации строительной отрасли и успешного ее функционирования в ВТО (Всемирная торговая организация).

Пособие предназначено бакалаврам, магистрам и аспирантам по направлению «Строительство».

УДК [69:658.516](075.8) + [624.01:658.516](075.8)

© Мельчаков А.П., Байбурин Д.А., Казакова Е.А., 2013
© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ЗНАЧИМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ	4
ПРЕДИСЛОВИЕ К ПОСОБИЮ	5
Глава 1. ПРОБЛЕМА КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА	
1.1. Терминология. Специфика проблемы	11
1.2. Угрозы и сценарий строительной аварии	13
1.3. Ключевые задачи и подходы к их решению	16
Глава 2. ТЕОРИЯ РИСКА СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА	
2.1. Научные положения теории, ее концепция и методология	19
2.2. Математическая модель для прогноза риска аварии объекта	20
2.3. Приемлемый риск аварии для строящихся объектов	27
2.4. Пороговые риски и критический риск аварии объекта	29
2.5. Риск аварии и конструкционный износ объекта	32
2.6. Риск аварии и безопасный ресурс объекта	34
Глава 3. ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
3.1. Подход к обеспечению конструкционной безопасности объекта	37
3.2. Прогноз и оценка проектного риска аварии объекта	38
3.3. Контроль риска аварии при возведении объекта	47
3.4. Контроль риска аварии объекта при его эксплуатации	54
3.5. Экспертная система для контроля риска аварии объекта	61
Глава 4. ТЕХНОЛОГИИ ГАРАНТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
4.1. Гарантирование в системе сертификации	67
4.2. Гарантии при страховании объекта на случай аварии	69
4.3. Априорное гарантирование конструкционной безопасности	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	90
ПОСЛЕСЛОВИЕ К ПОСОБИЮ	92
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1. База знаний экспертной системы	93
Приложение 2. Примеры менеджмента риска аварии	102
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	130

ВВЕДЕНИЕ. ЗНАЧИМОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Конструкционная безопасность – ключевой вид безопасности в строительстве и базовое свойство качества зданий и сооружений, отвечающее за прочность, жёсткость и устойчивость их несущих конструкций. При отсутствии у строительного объекта такого свойства аварийные обрушения его конструкций практически неизбежны, и приносят они стране весьма существенные убытки. Зависит конструкционная безопасность от физического состояния несущих конструкций объекта и его основания. Термин «конструкционная безопасность» – четкий, ёмкий и правильно ориентированный. Его глубинная суть состоит в том, что, если такая безопасность у строительного объекта обеспечена, то его несущий каркас способен противостоять не только проектным нагрузкам, но и многим другим воздействиям, возникающим, например, в чрезвычайных ситуациях.

Для обеспечения конструкционной безопасности строительных объектов необходимо располагать нормативной базой такой безопасности. Ее разработка требует ответа на целый ряд важных вопросов, например, какая величина может служить мерой опасности аварийного обрушения зданий и сооружений? Какое значение меры опасности нельзя переступать? На первый из них уже ответил Федеральный Закон «О техническом регулировании». Закон определил, что мерой безопасности на любом производстве должна служить величина риска, но здесь чрезвычайно важно, в какой форме этот риск представить.

В пособии риск аварии строительного объекта представлен в форме отношения фактической вероятности аварии объекта к вероятности аварии, заложенной в нормы для его проектирования. В такой форме риск аварии – во-первых, численная мера опасности аварийного обрушения строительного объекта, а во-вторых, такая мера поддается определению.

Известно, что тяжесть последствий любой чрезвычайной ситуации зависит от степени обрушения зданий и сооружений, попавших в зону бедствия. Поэтому обеспечение конструкционной безопасности строительных объектов – одна из важнейших государственных задач по строительной отрасли.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПОСОБИЮ

*С приблизительным умением
плохо сварганенный дом
может отомстить немедля,
иль обрушиться потом.*

Роберт Рождественский

Сегодня, через СМИ, населению страны пытаются объяснить, что главная причина обрушения строительных объектов – это внешние непроектные воздействия на них природно-климатического или техногенного характера. Часто в таких репортажах фигурирует фраза «взрыв бытового газа». Но при этом не объясняется, почему одинаковый по мощности взрыв газа в одних случаях приводит к локальным разрушениям, а в других – к массовому обрушению жилого дома и летальным исходам для его обитателей. Здесь уместно привести недавний трагический и имеющий неумолимую тенденцию к повторению пример. Астрахань, 27 февраля 2012 г., 12-50. Полным ходом идёт избирательная кампания по выборам нового президента России. Сначала в интернете, а спустя некоторое время по всем телевизионным программам появляются леденящие сознание кадры прямого репортажа с места обрушения одной из секций (рис. 1) 9-этажного крупнопанельного многоквартирного жилого дома по адресу г. Астрахань, Советский район, ул. Н. Островского №150/1.



Рис. 1. Момент лавинообразного обрушения секции 9-этажного крупнопанельного жилого дома в г. Астрахани

Случайные прохожие, увидев зияющую дыру в жилом доме на уровне 3-го этажа, ради любопытства включили камеры своих мобильных телефонов и вскоре десятки миллионов россиян стали свидетелями гибели сограждан в момент полного обрушения секции дома. В аварии погибло десять человек.

За государственный счёт жертвы этой аварии похоронены, компенсации выплачены, дом снесен и на его месте устроен парк. Из государственного бюджета на все про все потрачено примерно 500 млн. рублей.

В сознании россиян трагедия уже забывается, но у профессионалов есть вопросы. Вопрос первый: Кто виноват в трагедии? Первоначально пытались привлечь к ответственности газосбытовую организацию, эксплуатирующую газовое хозяйство дома, но следствие показало, что всё оборудование работает в штатном режиме, утечек газа в системе нет. От чего произошел взрыв – неизвестно. Предположили такой сценарий: «Некто решил свести счеты с жизнью, включил газовую конфорку, чиркнул спичкой, и – взрыв».

Но такой сценарий был давным-давно учтён проектировщиками, которые первыми предложили оснащать многоквартирные панельные дома газовым оборудованием. При обязательной сертификации и до утверждения этого проекта в государственных органах технического надзора, проводились натурные испытания, которые показали, что в зависимости от содержания газа в воздухе результаты взрыва в доме, построенном в соответствии со СНиП, исчерпывающе делятся на три категории:

1. Разбитые стёкла в квартире.
2. Выбитые оконные рамы в квартире.
3. Выбитые не несущие стеновые панели (перегородки) в квартире.

Естественно, в случае взрыва «бытового» газа есть риск лишения жизни для находящихся в квартире людей, который возрастает по мере усиления мощности взрыва, но только в квартире, а не в подъезде и, тем более, не в доме. Так чья вина в этой трагедии? Безусловно, – это вина строителей. Именно они при возведении дома не обеспечили достаточную прочность и жесткость его несущего каркаса, из-за чего риск аварии дома был близок к критическому значению, а взрыв газа лишь спровоцировал его обрушение. Сейчас можно только предположить, что при монтаже стеновых панелей дома была применена так называемая технология «прихваток» панелей к плитам перекрытия, а окончательная приварка их к «закладным» либо вообще не была произведена, либо сама сварка произведена некачественно, и скорее всего, без дополнительных процедур по защите ее от коррозии. Про замоноличивание платформенных стыков и вовсе иногда забывается. Такая «технология» даже получила свое «научное» название – «скирдование». Ею пользуются в основном неквалифицированные строители, которые всегда стремятся как можно быстрее «закрыть объёмы» и сдать объект. В результате платформенные стыки плит перекрытия со стеновыми панелями

сплошь некачественные, а жесткость ячеек дома преступно занижена. По мнению автора книги, именно этот факт и послужил основной причиной лавинообразного обрушения подъезда дома. Кстати, исследованиями специалистов из МЧС было подтверждено аналогичное состояние необрушившихся секций дома. На основании их заключения и было принято решение о его сносе. А вот конкретных людей (монтажников, сварщиков, бетонщиков, бригадиров, мастеров и др.), которые реально виновны в этой строительной катастрофе, опять же нет. Поэтому возникает второй вопрос, тоже для России традиционный. Что делать? Ответ на этот вопрос читатель найдет в этом пособии.

В последние годы существования СССР для Совета Министров проводил семинары выдающийся учёный, академик Валерий Алексеевич Легасов. Основой его лекций была разрабатываемая им с конца 70-х годов прошлого столетия концепция безопасности на любом производстве. Трагическое подтверждение этой концепции сделал Чернобыль. Совместная работа председателя Госстроя СССР Ю.П. Баталина с академиком В.А. Легасовым по ликвидации последствий первого взрыва 4-го реактора ЧАЭС и их титанические усилия по предотвращению возможного последующего, гораздо более мощного, убедили руководство страны в необходимости смены всей парадигмы отношения людей к проблеме безопасности.

Действовавший ранее в практике хозяйственной жизни страны принцип «реагировать и исправлять» был заменен на новый, предложенный академиком В.А. Легасовым, фундаментальный принцип – «предвидеть и предупредить». Тогда при Госстрое СССР была создана рабочая группа по изучению мирового опыта в области безопасности строительства. Но 7 декабря 1987 года плановую работу этой группы прервала строительная катастрофа, вызванная землетрясением в Армении мощностью 7 баллов по шкале Рихтера. Её последствия – 25 682 погибших, 128 705 получивших ранения или увечья различной тяжести, 514 826 оставшихся без крова из 304 разрушенных населённых пунктов – стали «моментом истины» для всей строительной отрасли СССР. Казалось, во всём была виновата стихия, за 30 секунд перевернувшая и искалечившая жизни сотен тысяч людей. Однако, созданная при Совмине СССР после Чернобыля Государственная комиссия по чрезвычайным ситуациям (ГКЧС, председатель В. Х. Догужиев) была иного мнения. После расследования причин армянской трагедии комиссия опровергла поверхностные суждения прессы о неумолимой жестокости природы. Она пришла к следующему, неутешительному для Госстроя, выводу: Если бы попавшие в зону бедствия здания или сооружения были бы построены в полном соответствии с действующими СНиП, то страна в этой чрезвычайной ситуации потеряла бы не более тысячи человеческих жизней. Когда мощные подземные толчки стряхнули с армянских зданий штукатурно-окрасочный марафет, то обнажились грубые отступле-

ния от нормативных требований: вместо арматуры – проволока, кладочная смесь почти без цемента, там, где должен быть ровный сварной шов – ржавые уродливые наросты. Специалистам стало ясно, что во всём виновата халатность строителей, а землетрясение лишь спровоцировало аварийные обрушения зданий, под завалами которых погибло и пострадало огромное число советских граждан. Вслед этой трагедии специальная коллегия Госстроя СССР постановила: «В СССР необходимо создать и ввести систему предупреждения аварий в строительстве!».

После принятия постановления было организовано всесоюзное совещание учёных строительной отрасли, где они получили возможность ознакомиться с выводами объединённой комиссии ГКЧС и Госстроя СССР и последними достижениями зарубежной науки по безопасности строительства. Именно тогда председатель Госстроя СССР Ю.П. Баталин сформулировал проблему безопасности в строительстве и призвал ученых приступить к исследованиям по этой проблеме на основе концепции безопасности академика Легасова.

К сожалению, этим планам не суждено было сбыться. В 1991 г. пришли новые люди, которые представили новому руководству новой страны армянскую строительную катастрофу как чисто природную. Примером новых воззрений стала статья господина Айзенберга «Строительная наука против сейсмических катастроф» [51]. В ней автор не отрицает факта низкого качества строительства в Армении. Дословно: «Оно низкое не только в Армении, но и в Сибири, и на Дальнем Востоке», но утверждает, что главная причина армянской трагедии не в пресловутом человеческом факторе, а в «особом» характере произошедшего в Армении землетрясения. В ней он делает попытку доказать, что впервые за всю историю наблюдений длина волны сейсмических колебаний земли при землетрясении неожиданно совпала с периодом собственных колебаний всех объектов, построенных в зоне активности, чем вызвала резонанс, и это привело к фатальным для населения последствиям. Вот так. Ни больше и ни меньше! В результате такого «научного» обоснования трагедии, прочно укрепившегося в сознании новых государственных деятелей, никакой системы предупреждения аварий в строительстве в России сейчас нет.

Сейчас уже стало очевидным, что систему предупреждения строительных аварий надо создавать. Также очевидно, что в ее основе должен быть еще пока «неизвестный» строительной отрасли России менеджмент риска аварии. Иначе вступление России в ВТО (Всемирную торговую организацию) может для строительной отрасли страны обернуться экономическим крахом.

Чтобы понять значимость проблемы конструкционной безопасности, надо знать основную причину аварийного обрушения здания или сооружения. Например, наиболее реалистичный сценарий строительной катастрофы на территории Армении такой: – к моменту землетрясения конструк-

ционная безопасность большинства строительных объектов, находящихся в зоне активности, из-за многочисленных ошибок людей не была обеспечена; отсюда и «результат». В 90-х годах прошлого столетия этот сценарий подтвердили проектировщики из Дагестана. Их, после катастрофы, обвинили в ненадежности построенных на территории Армении по их проекту панельных зданий. Чтобы доказать «обратное», они провели натурный эксперимент. В полном соответствии со СНиП ими был возведен каркас панельного здания и произведена имитация землетрясения с постепенным увеличением мощности землетрясения до 9,4 баллов по шкале Рихтера. Этим экспериментом было доказано, что при той мощности землетрясения, какое было в Армении, правильно построенный по их проекту дом разрушиться не может. В эксперименте первые видимые повреждения дома стали наблюдаться в районе 9 баллов.

После Армянской трагедии в СССР издается книга «Вероятностные методы в строительном проектировании» [2]. Ее авторы – три профессора из Италии – Г. Аугусти (Флоренция), А. Баратта (Неаполь) и Ф. Кашиати (Павия). В ней они утверждают, что теоретическая вероятность обрушения конструкций, заложенная в объект при его проектировании, после реализации проекта может за счёт человеческих ошибок увеличиться примерно на порядок. В разделе «Анализ надежности в рамках норм проектирования» авторы пишут (дословно): «методы определения вероятности отказов учитывают лишь случайную природу нагрузок и сопротивлений им, пренебрегая такими источниками отказов, как ошибки и небрежности, которые могут проявлять себя во время проектирования, возведения и эксплуатации сооружений». Книга показала путь, который должны пройти разработчики норм на величину риска аварии строительного объекта.

С момента распада СССР прошло уже более 20 лет. За это время строительная отрасль страны существенно преобразилась. Сейчас на территории России зарегистрировано приблизительно 800 тысяч частных предприятий. Главная цель новоиспеченного «стройбизнеса» – извлечение прибыли. Естественно, инвестиций в новые строительные технологии он почти не делает. Ему это невыгодно, ведь на модернизацию заводов, закупку новой техники и переобучение кадров нужно тратить «свои» деньги. Поэтому сама стройка идёт пока «по старинке», и осуществляется она в основном за счёт сверхамортизации приватизированной материально-технической базы советской эпохи «индустриального» домостроения. А когда цены на металл, цемент и энергию внутри страны сравнялись и даже превзошли мировые, выяснилось, что на возведение одного квадратного метра жилья в России тратится в два раза больше металла и цемента, чем в развитых странах мира. Этот факт нынешние руководители строительного комплекса России объясняют не старым технологическим укладом строительства и коррупцией, а якобы «устаревшими» на сегодняшней день строительными нормами.

Безусловно, строительные нормы требуют модернизации и дополнения на ограничение риска аварии. Действительно, если нормы на величину риска аварии для конечной строительной продукции (зданий и сооружений) нет, то ее производители, как правило, допускают такую степень дефектности, которая обеспечивает им прибыль при минимуме затрат на ее создание. Именно поэтому объекты недвижимости, уже построенные и строящиеся сейчас, конструкционно-безопасными, в полном смысле этого понятия, считать нельзя. Но строительные беды не только и не столько из-за норм, в чем несложно убедиться, если ознакомиться с содержанием пособия.

В пособии рассматривается целый комплекс вопросов, связанных с проблемой конструкционной безопасности строительства. В ней есть ответ на вопрос, что надо делать, чтобы уменьшить риск аварий, число людских ошибок в проектировании и строительстве? Ведь, несмотря на то, что в строительстве давно запущена в действие система управления качеством ИСО-9001, массового качества как не было, так и нет. «Риск аварии» и, тем более, «риск менеджмент» сегодня для строителей России термин новый и непонятный большинству работников отрасли.

И последнее. В пособии предоставлена принципиальная возможность с помощью предложенных и описанных в ней методик в каждый конкретный момент времени количественно оценить реальную угрозу аварии здания или сооружения. Безусловно, это залог их конструкционной безопасности. Реализовать его позволяет, например, страхование строительных объектов на случай их аварии. При этом количественная оценка риска позволяет назначить адекватный фактическому риску аварии объекта страховой тариф и обеспечить баланс интересов сторон страховых отношений (страховщики с одной стороны, и собственники, балансодержатели – с другой). Процедура страхования в строительстве – это не только защита зданий и сооружений от аварии. Это еще одно из основных требований к строительной отрасли при вступлении в ВТО, которое, по-существу, нашей страной не выполнено.

Глава 1. ПРОБЛЕМА КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

1.1. Терминология. Специфика проблемы

К ключевым терминам названной проблемы относятся: «строительный объект», «конструкционная безопасность», «риск аварии» и «менеджмент риска», в совокупности образующие название пособия. Один из терминов, «конструкционная безопасность», уже рассмотрен во введении пособия, но следует отметить, в Федеральном Законе «О техническом регулировании» есть похожий термин – «механическая безопасность». Однако для конечной строительной продукции он непригоден. Видимо, авторы закона посчитали, что его прародительницей является «Строительная механика», поскольку эта дисциплина используется, когда надо выполнить расчет конструктивной системы здания (сооружения) на прочность, жесткость и устойчивость. Получается нестыковка: область интересов строительной механики – это объекты недвижимости, а слово «механическая», как прилагательное к существительному «безопасность», в сознании людей ассоциируется с движением объекта.

Описание других терминов приводится ниже:

Строительный объект – это геометрически неизменяемая система несущих и ограждающих конструкций, образующих единое замкнутое пространство для жизнедеятельности людей, в которой всякое изменение физического состояния конструктивных элементов изменяет ее реакцию на внешнее воздействие, повышая или понижая величину риска аварии.

Примечание. На «строительном» языке этот термин имеет ряд синонимов: здание, строение, сооружение. Они часто используются в директивных документах по строительной отрасли; в пособии они также применяются.

Риск (risk) аварии строительного объекта – мера опасности возможного обрушения несущих конструкций объекта. Мера – это число, полученное отношением фактической вероятности аварии объекта к теоретической вероятности, заложенной в строительные нормы. Величина риска аварии напрямую зависит от количества и степени опасности человеческих ошибок, допущенных при создании и/или эксплуатации объекта.

Примечание. Риск – это интегральная мера неопределенности физического состояния строительного объекта. Оценивается такая неопределенность информационной энтропией, являющейся одним из показателей закона распределения плотности вероятностей для риска аварии.

Менеджмент риска аварии (risk management) [81] – скоординированные действия по контролю и управлению риском аварии строительного объекта.

Примечание. Менеджмент риска включает в себя идентификацию риска аварии, его оценивание и регулирование. По-существу, менеджмент риска – это процедура контроля конструкционной безопасности объекта.

В монографии используются еще и следующие термины:

Предаварийное состояние – состояние объекта, когда в его несущих конструкциях уже есть повреждения, но он свои функции еще сохраняет.

Аварийное состояние – это состояние, когда даже слабое непроектное воздействия на объект может спровоцировать аварийное обрушение его несущих конструкций.

Авария – это переход части несущего каркаса объекта в механизм из-за разрушения и/или потери устойчивости его несущих конструкций. Нередко такой переход заканчивается лавинообразным обрушением всего объекта.

Бездефектность – соответствие конструкции объекта требованиям норм. Этот термин означает, что несущая конструкция способна: а) противостоять разрушению (прочность); б) сохранять под нагрузкой форму с допустимыми деформациями (жесткость); в) возвращаться в исходное положение при снятии внешних воздействий (устойчивость).

Степень бездефектности – неполное соответствие несущей конструкции объекта требованиям норм. Степень назначается экспертом. Она задается действительным числом от 0,99 до 0,28 (почему так, ответ ниже, в гл. 2). Ее можно отождествлять с понятием «надежность», а также с термином «степень принадлежности» множеству «бездефектных» конструкций (термин теории размытых множеств).

Максимально допустимый риск аварии – ограничение на величину риска аварии для завершеного строительством объекта.

Критический риск аварии – ограничение на величину риска аварии для объекта, находящегося в эксплуатации; при его достижении объект начинает переход в аварийное состояние.

Безопасный ресурс объекта – срок службы объекта, в течение которого конструкционная безопасность объекта еще сохраняется.

Безопасный остаточный ресурс – интервал времени эксплуатации объекта от текущего момента времени до момента достижения им критического значения риска аварии.

Диагностика – исследование физического состояния основания и конструктивных элементов несущего каркаса строительного объекта. Может применяться и при возведении, и при эксплуатации зданий и сооружений.

Мониторинг – протяженные во времени действия независимых экспертов по обеспечению конструкционной безопасности здания (сооружения) при его возведении. Является неотъемлемой частью технологии менеджмента риска аварии строящегося объекта.

О специфике проблемы. Восприятие зданий и сооружений как «объектов технического регулирования» (термин Федерального закона «О техни-

ческом регулировании») существенно отличается от восприятия промышленной продукции. Особый отпечаток на проблему конструкционной безопасности строительной продукции накладывает ее специфика. Прежде всего, к такой специфике относится факт, что здания и сооружения всегда возводятся на уникальных геологических площадках, подверженных различным факторам опасности природного, техногенного или иного характера. Кроме этого, здания (сооружения) – это изделия единичного производства, они не могут быть отбракованы. Естественно, в таких условиях влияние человеческого фактора опасности на базовое свойство качества конечной строительной продукции – конструкционную безопасность, является более ощутимым, чем для конечной промышленной продукции.

1.2. Угрозы и сценарий строительной аварии

Доктор физико-математических наук Кузьмин И.И. в своих трудах отмечал: его учитель, академик Легасов В.А., убеждал своих учеников, что каждый вид безопасности – единственный в своем роде, а опасностей (угроз) для любого вида всегда предостаточно. Угрозы существуют и для конструкционной безопасности строительного объекта. Их можно разделить на две группы. Одна из них – это человеческие ошибки, неизбежно сопровождающие создание объекта. Примерное их распределение показано на рис. 2.



Рис. 2. Примерное распределение ошибок людей

Угрозы, связанные с ошибками людей, управлению в принципе поддаются. Наиболее опасные из человеческих факторов опасности – это ошибки проектировщиков. Они формируют так называемый проектный риск аварии объекта. Пока такой риск «на бумаге», опасности он не представляет. Его опасность начинает проявляться при возведении объекта, но особенно, при его эксплуатации. По-существу, проектный риск аварии объекта – это «бомба» замедленного действия.

Вторая группа – это практически неуправляемые угрозы конструкционной безопасности объекта и. основные источники непроектных воздействий на объект. Их примерное распределение показано на рис. 3.



Рис. 3. Примерное распределение источников непроектных воздействий на строительные объекты

На этом рисунке в перечне угроз приведена угроза падения астероида. Вообще вероятность проявления космической угрозы настолько мала, что

ее можно сравнить с вероятностью события, что сейчас мы вдыхаем в себя воздух, которым когда-то дышал Юлий Цезарь. Но после 15 февраля 2013 года, когда над территорией Челябинской области взорвался метеорит, это событие убедило, что метеоритная опасность существует. Информация о тяжести последствий падения метеорита приведена в работе [87]. Известно, что материальные потери от нападения из космоса составили более одного миллиарда рублей, но человеческих жертв, к счастью, нет. Но, если бы траектории двух тел (метеорит и земля) были бы встречными, а угол вхождения метеорита в атмосферу земли был бы иной, то человеческих жертв от падения метеорита на застроенную территорию было бы не избежать. Или такой виртуальный сценарий: длина волны колебаний земли от взрыва метеорита совпала бы с длиной волны собственных колебаний строительного объекта, попавшего в зону бедствия. Что в этом случае будет? В этом случае о себе заявит Его величество Резонанс.

Строительная авария – это почти всегда есть результат пересечения как минимум двух негативных событий. Примерно в 80-ти случаях аварий из ста их сценарий продемонстрирован на рис. 4.

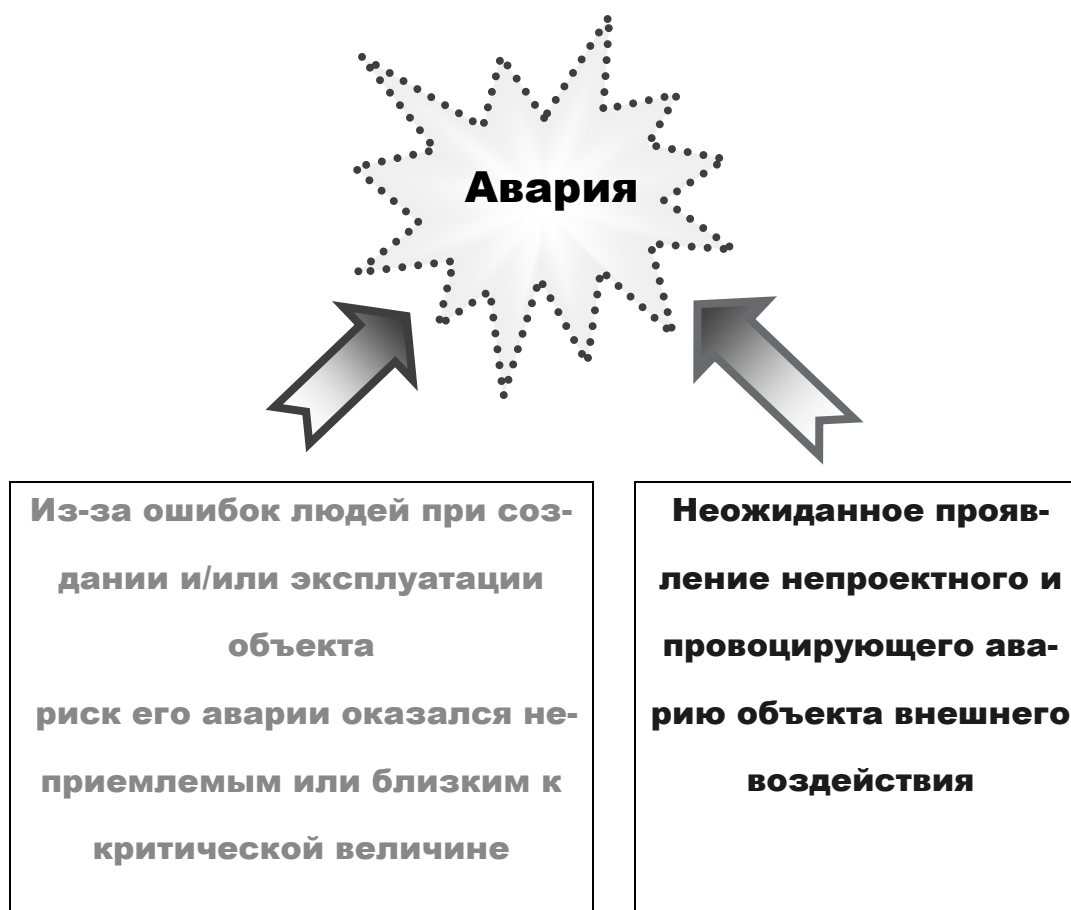


Рис. 4. Основной сценарий аварии зданий и сооружений

Непроектные воздействия на объект управлению пока не поддаются. Единственный способ обеспечить конструкционную безопасность объекта, – это свести до минимума негативное влияние на эту безопасность ошибок людей (человеческого фактора). Но в действующих сейчас строительных нормах термин «человеческий фактор» вообще не фигурирует. Он существует как бы сам по себе. Не компенсирует этот фактор и излишний запас прочности несущих конструкций, зачастую закладываемый в проектную документацию. В создавшихся условиях наиболее эффективный способ обеспечения конструкционной безопасности зданий и сооружений – это жесткий независимый контроль величины риска аварии как при создании (проектирование и возведение) строительных объектов, так и на стадии их эксплуатации. Но введение такого контроля невозможно без методики прогнозирования риска аварии и нормы на его величину.

Базовой научной дисциплиной, обосновывающей основные положения строительных норм (СНиП) при их создании, была теория надежности. В 60 – 80-е годы XX века она получила развитие благодаря трудам академика В.В.Болотина. Тогда, через его «Школу надежности больших механических систем» прошло много слушателей, в числе которых был один из авторов этого пособия (Мельчаков). Сегодня же на повестке дня уже не надежность отдельных конструкций, а конструкционная безопасность строительного объекта в целом, причем с учетом негативного влияния на нее человеческого фактора. Хотя понятия надёжность и безопасность достаточно близки, решить проблему безопасности на основе теории надежности невозможно. И все потому, что вне поля зрения этой теории остаются человеческие ошибки. Ее несостоятельность в вопросах безопасности была подтверждена в докладе академика В.А. Легасова, сделанном им вслед Чернобыльской катастрофы на сессии МАГАТЭ, посвященной анализу причин этой трагедии.

1.3. Ключевые задачи и подходы к их решению

В рассматриваемой проблеме ключевых задач несколько. Главная из них – это разработка теории, обосновывающей нормирование величины риска аварии строительных объектов с учетом влияния человеческих ошибок, неизбежно сопровождающих их проектирование, возведение и эксплуатацию. К сожалению, утвержденный Государственной думой России технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» ответа на этот вопрос не дает. Естественно, при отсутствии норм по конструкционной безопасности каждый производитель конечной строительной продукции принимает для себя ту степень дефектности, которая соответствует его представлению об этой безопасности. Основа этого представления – это минимум затрат на то, что уменьшает прибыль. Поэтому фактическая вероятность аварии построенного объекта всегда выше обусловленной

строительными нормами теоретической вероятности, закладываемой по умолчанию в объект при его проектировании.

Другая ключевая задача – это разработка методики прогноза проектного и строительного рисков аварии объекта. Сейчас для ее решения существует широкий спектр теорий [13, 14]. Но невозможность их экспериментального подтверждения и отсутствия в них представления риска аварии в виде числа, сдерживает прогресс в этой области знаний. Кроме того, он всегда является открытым для разного рода критики. Усугубляет ситуацию и существующий в среде ученых стереотип, заключающийся в том, что теория вероятностей и теория надежности остается для них единственными, на основе которых возможно спрогнозировать величину риска аварии строительного объекта.

Еще одна ключевая задача проблемы. Она состоит в необходимости создания и введения в практику механизмов управления конструкционной безопасностью в строительстве. В развитых странах такими механизмами являются менеджмент риска, процедуры его страхования и система сертификации. Ни один из этих механизмов в строительной практике России сейчас практически не задействован. Однако, вступление России в ВТО рано или поздно, заставит принять правила западных стран. Поэтому возникли важные по значимости задачи, связанные с разработкой целого ряда новых технологий: менеджмента риска, тарификации при страховании строительного объекта на случай аварии, его сертификации на соответствие требованиям конструкционной безопасности.

О подходах к решению ключевых задач проблемы. Прежде всего, следует заметить, что строительные объекты – это не совсем технические системы. Они больше социо-технические, так как проектируют их, возводят и эксплуатируют люди, которые, как известно, склонны совершать ошибки. Поэтому чисто технократический подход к решению задач о риске в рассматриваемой проблеме является тупиковым.

В нормах по расчету и конструированию строительных объектов ошибки людей не учитываются. Чтобы оценить негативное влияние человеческого фактора на безопасность объекта, необходимо привлечение специальных знаний. Известно, что ошибки людей вносят неопределённость в реакцию несущих конструкций на внешние воздействия. Поэтому применение лишь аппарата классической теории вероятности для достоверного прогноза риска аварии недостаточно. Очевидно, что здесь должен использоваться логико-вероятностный подход, базирующийся на методах нечёткой логики и теории размытых множеств. Именно он позволяет количественно оценить важнейший показатель конструкционной безопасности зданий и сооружений, каковым является величина их риска аварии. Из всей теории вероятности значение имеют лишь ее теоремы. Одна из них – это теорема гипотез, известная в теории вероятностей как формула Байеса. Она, при наличии ошибок в проекте, изготовлении и/или монтаже несущих

конструкций объекта, позволяет определить дополнительную к теоретической величине вероятность аварии, которая должна быть добавлена к теоретической вероятности аварии, что в соответствии с нормами и по умолчанию закладывается в объект при его проектировании.

Теперь об энтропийном подходе к решению задач о риске. Энтропия (информационная) – это один из важных, но редко используемый на практике показатель закона распределения плотности для вероятностей случайной величины (в нашем случае риска аварии). Информационная энтропия характеризует неопределенность физического состояния несущего каркаса строительного объекта. Поэтому энтропия может быть использована при определении пороговых значений рисков аварии, при достижении которых объект начинает переход в качественно иное физическое состояние. Энтропийный подход можно применить и для решения других задач, основой которых является риск аварии, в частности, задачи оценки конструкционного износа объекта и его безопасного остаточного ресурса. Решения этих, а также и других, выше обозначенных ключевых задач, приведены в последующих главах пособия.

Глава 2. ТЕОРИЯ РИСКА СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

2.1. Научные положения теории, ее концепция и методология

В теории риска реализованы следующие научные положения:

- Абсолютно безопасных зданий и сооружений нет. Уже при проектировании в них по умолчанию закладывается обусловленная нормами теоретическая вероятность аварии. Из-за неизбежных ошибок людей при создании объекта его фактическая вероятность аварии превышает теоретическую вероятность.
- Отношение фактической и теоретической вероятностей аварии может служить интегральным показателем конструкционной безопасности объекта. Если доказать, что от величины этого отношения зависит вероятность наступления аварии объекта и размер ущерба от нее, то это отношение будет играть «роль» риска аварии строительного объекта.
- В правильно запроектированном и построенном объекте величина риска аварии после завершения строительства не должна превышать величины естественного риска аварии на неограниченном множестве новых объектов. При этом условия безопасный ресурс построенного объекта будет не ниже нормативного срока его службы.
- Существуют такие инвариантные значения риска аварии, при достижении которых строительный объект независимо от его этажности, типа и размеров переходит в качественно иное физическое состояние: из безопасного в аварийное, из аварийного – в ветхо-аварийное состояние. Существует также и критическое значение риска аварии. При его достижении строительный объект теряет главный признак конструкционной безопасности – способность за счет заложенных в него в соответствии с нормами коэффициентов запаса сопротивляться непредусмотренным проектом воздействиям.

О концепции теории. В основу концепции теории риска аварии положены достоверные факты из строительной практики. Они позволяют принять гипотезу, что вероятность аварии строительного объекта зависит от количества и степени опасности человеческих ошибок, допущенных при проектировании, устройстве основания, изготовлении и возведении (монтаже) несущих конструкций объекта. Такая концепция включает в себя две аксиомы:

Аксиома 1. Отступления от требований СНиП при проектировании, устройстве оснований, изготовлении и монтаже несущих конструкций увеличивают вероятность аварийного обрушения объекта.

Аксиома 2. Конструкционная безопасность вновь построенного объекта считается обеспеченной, если его фактическая величина риска аварии не превышает максимально допустимого значения.

Концепция из общей проблемы конструкционной безопасности выделяет два ее главных аспекта: информационный, требующий идентификации риска аварии строительного объекта, и нормативный, связанный с необходимостью оценивания найденного риска аварии объекта с учетом неизбежности человеческих ошибок при его создании.

О методологии теории. Она базируется на утверждении, что любое строящееся или уже построенное здание (сооружение) может оказаться в аварийном состоянии, поскольку нулевая вероятность аварии достигается лишь в системах, лишенных накопленной (потенциальной) энергии. Основная задача тех, кто разрабатывал действующие ныне строительные нормы, заключалась в том, чтобы вероятность аварии в правильно запроектированном здании или сооружении была достаточно мала, но затраты на создание строительных объектов оставались бы в разумных пределах. Значение теоретической вероятности аварии никогда не определялось, но, по мнению целого ряда ученых, оно находится в интервале от 10^{-8} до 10^{-5} , что и принято за международный стандарт. Любое значение на этом интервале, в зависимости от типа здания, относится к проектной величине (P_T), реализуемой лишь при полном соответствии выполненных на объекте строительно-монтажных работ требованиям СНиП. Фактическая вероятность аварии построенных зданий и сооружений всегда выше проектного значения, главным образом, из-за человеческих ошибок, допущенных при их создании.

2.2. Математическая модель для прогноза риска аварии объекта

Фактическая вероятность аварии строительного объекта P_Φ из-за ошибок людей при его создании превышает теоретическую вероятность аварии P_T , обусловленную нормами проектирования и вносимую по умолчанию в проекты зданий и сооружений. Каким образом формируется дополнительная вероятность аварии P_D , связанная с человеческим фактором опасности, продемонстрировано на рис. 5.

Отношение вероятностей P_Φ и P_T – целочисленная величина. Если, в соответствии с современной философией риска, можно доказать, что это число отражает в себе не только возможность наступления аварии, но и объем последствий этой аварии (ущерб, убытки), то оно может быть принято за величину риска аварии объекта, который является интегральным показателем его конструкционной безопасности. Уже сейчас, опираясь лишь на логику и здравый смысл, можно отыскать зависимость ущерба при аварии от величины отношения P_Φ к P_T . Эта зависимость показана на рис. 6. Для его понимания к нему дано примечание с пояснением обозначений на нем. Рисунок демонстрирует тесную связь риска аварии в форме отношения величин P_Φ и P_T с размером ущерба, наносимого аварией. В сложившейся ситуации каждый субъект управления, строя комбинации

двух элементарных мер (возможность аварии и предполагаемый ущерб), сможет оценить уровень опасности и принять управленческое решение о необходимых действиях.

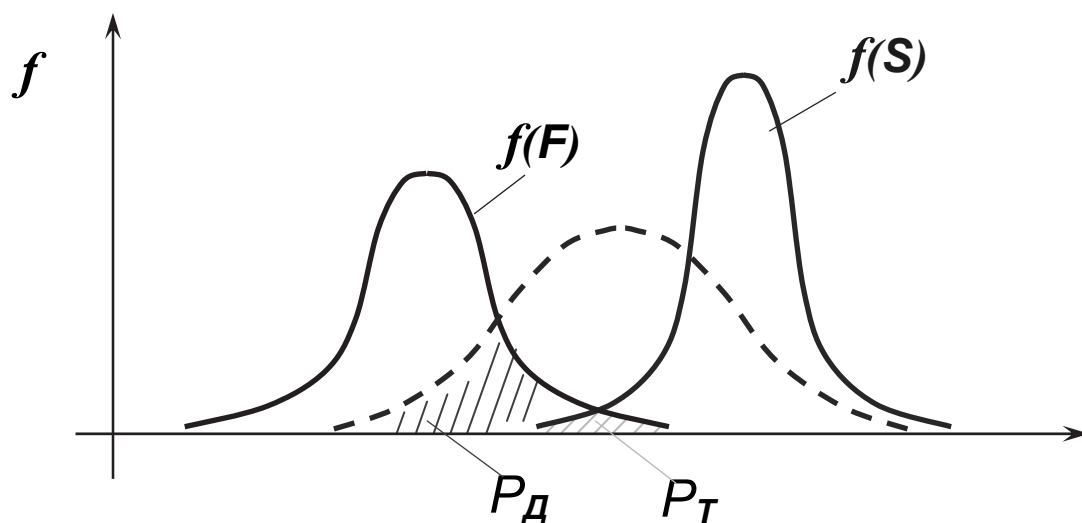


Рис. 5. Теоретические кривые распределения плотности вероятностей для внешних воздействий на объект F и сопротивления объекта S этим воздействиям. Пунктирная кривая – это тоже распределения для S , но с учетом человеческих ошибок

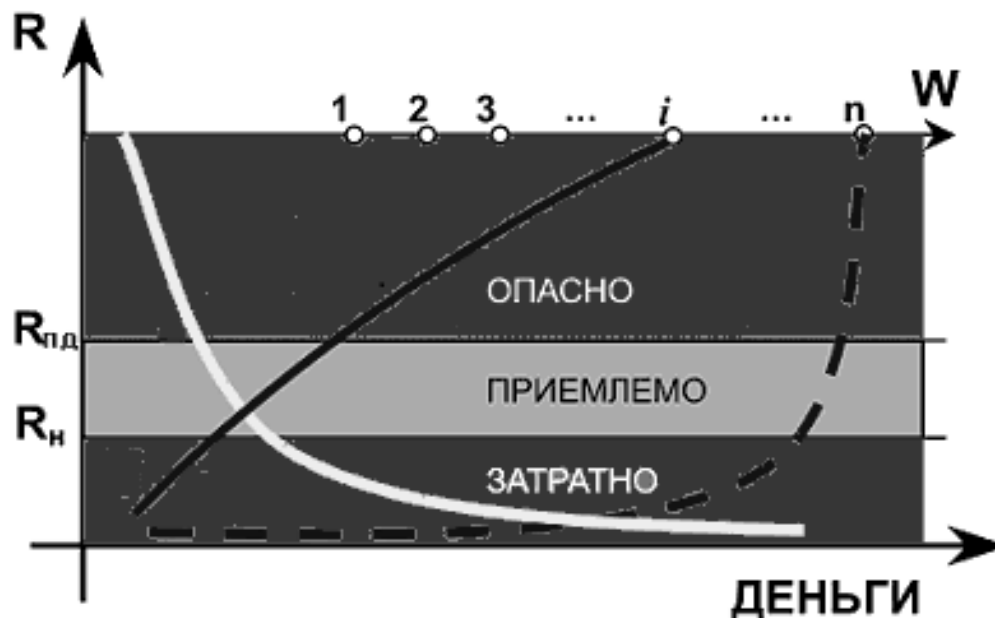


Рис. 6. Зависимость размера ущерба при аварии строительного объекта от величины его риска аварии

Примечание. На рис. 6 имеют место следующие обозначения:

- — функция «затраты на безопасность – риск аварии»;
- — функция «риск аварии – ущерб от аварии»;

R – риск аварии объекта;

R_n – нормальный или максимально допустимый риск аварии для строящихся объектов;

R_{nd} – предельно-допустимый (критический) риск аварии для находящихся в эксплуатации объектов;

W – мощность i -го непроектного воздействия на объект.

Прямое определение величин P_Φ и P_T на основе методов классической теории вероятностей и теории надежности невозможно. Действительно, аварии зданий и сооружений – это редкие события, их анализ можно выполнить только в рамках теории редких событий. Вместе с тем столь малые вероятности, каковыми являются величины P_Φ и P_T , могут быть поняты строительными специалистами лишь через свое отношение, являющееся целочисленной величиной. Здесь важно, что вероятность P_T существует и гипотетически достигается в случае, если при возведении несущего каркаса объекта не будут нарушены требования проекта. Поскольку на практике объективно такие нарушения имеют место, то отношение величин P_Φ и P_T всегда больше единицы.

Для определения дополнительной вероятности аварии P_d , используется формула Байеса из теории вероятностей [12]. Складывая P_d и P_T , получим фактическую вероятность аварии P_Φ с учетом допущенных при создании строительного объекта ошибок людей.

Вводятся две пары противоположных событий:

C – ошибки людей при возведении несущего каркаса объекта есть;

C^* – человеческие ошибки не обнаружены;

A – здание аварийное; A^* – здание неаварийное.

События A и A^* , C и C^* попарно образуют полные группы несовместных событий. События C и C^* идентифицируются в процессе строительства. До строительства множества C и C^* пустые.

Принимаются следующие обозначения:

$P(C^*) = n$ – вероятность, что в построенном здании грубых ошибок нет;

$P(C) = (1-n)$ – вероятность, что в построенном здании ошибки есть.

Априорные (до начала строительства) вероятности наступления и не наступления аварии зданий (сооружений) известны и соответственно равны P_T и $(1-P_T)$. Применение формулы Байеса дает следующее соотношение:

$$P_d = P_T n P(C/A) / [P_T n P(C/A) + (1 - P_T) P(C/A^*)],$$

где $P(C/A)$ – вероятность события C при условии, если авария произойдет; а $P(C/A^*)$ – это тоже вероятность события C , но при условии, если авария объекта не произойдет. Это так называемые условные вероятности. Они определению практически не поддаются. Однако, приемы нечеткой логики позволяют принять как гипотезу, что $P(C/A^*) = n$, а $P(C/A) = 1-n$.

Действительно, если авария объекта не произойдет, то реализуется событие C^* , в противном случае – событие C . При такой гипотезе «байесовская» основа корректна, так как справедливо равенство $P(C/A) + P(C/A^*) = 1$. После подстановки этих равенств в байесовское соотношение с учетом того, что вероятность P_T – весьма малая величина, получим, что $P_D = P_T(1-n)/n$. Из этой формулы следует: если $n = 1$ (ошибок нет), то $P_D = 0$, что соответствует логике и здравому смыслу.

Фактическая вероятность аварии объекта равна $P_\Phi = P_D + P_T$. Сложение P_D и P_T дает: $P_\Phi / P_T = 1/n$. Левая часть полученного равенства – это величина, принятая в теории за риск аварии строительного объекта r . Следовательно, математическая модель для прогноза риска аварии без привязки к конкретному объекту, то есть на их неограниченном множестве, имеет вид:

$$r(\text{risk}) = 1/n.$$

Остается лишь выяснить физический смысл параметра n и найти способ его определения.

На рис. 7 показано неограниченное множество законченных строительством зданий (сооружений), из которых A^* – подмножество неаварийных зданий, а ничтожно малая часть A этого множества – здания аварийные. Здесь же, пунктиром выделено подмножество C^* неаварийных зданий, но из-за ошибок людей имеющих дефекты.

В соответствии с принятой концепцией можно принять как аксиому, что $A \ll C^*$, или, другими словами, подмножество A является частью подмножества C^* . Из этой аксиомы следуют равенства:

$$P(C/A) = P(C) \text{ и } P(C/A^*) = P(C^*).$$

Вместе с тем из рис. 7, с учетом, что $A \ll C^*$, следует:

$$P(C/A^*) = P(C^*) - P(A) = P(C).$$

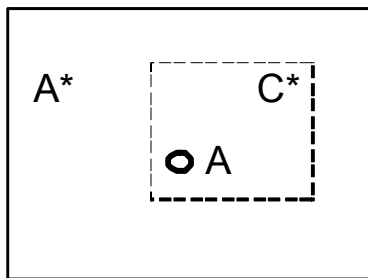


Рис. 7. Неограниченное множество законченных строительством зданий

Неопределенность полученных вероятностных соотношений позволяет сделать вывод о том, что эти равенства справедливы при значениях вероятностей $P(C)$ и $P(C^*)$, равных 0,5, при которых "байесовская" основа становится корректной, так как справедливо равенство $P(C/A^*) + P(C/A) = 1$.

Комментарий математической модели для прогноза риска аварии:

- В полученной модели четко выделена та часть риска аварии объекта, которая непосредственно связана с человеческими ошибками, и этот факт является главным ее преимуществом перед другими подходами к решению задач о риске.

- В качестве параметра n модели предполагается использовать экспертные оценки. Их отождествление с понятием "вероятность" возможно в тех случаях, когда эти оценки формируются на основе достаточно большо-

го числа опытов с учетом возможных погрешностей приборов и измерений; то есть в случаях, когда работают основные гипотезы, обеспечивающие применимость теорем теории вероятностей (например, аксиома аддитивности). Вместе с тем в теории «нечетких» множеств широко используется понятие «степень принадлежности», которое задается действительным числом на интервале от 0 до 1 и характеризует степень уверенности эксперта в том, что некоторое событие удовлетворяет заданным требованиям. Следуя сложившейся в теории экспертных систем практике, можно принять экспертные оценки за «образцы» параметра n , обозначив его уже заявленным в разделе 2.1. термином «степень бездефектности».

- Эту математическую модель можно было бы ввести и «волевым» путем, как отвечающую логике и здравому смыслу. Однако, вывод ее на основе исследований, выполненных на неограниченном множестве зданий (сооружений), позволил выявить, что вероятность аварии строительного объекта в естественных условиях в 2 раза превышает теоретическую вероятность P_T . Это значение получено подстановкой в модель значения n , равного в естественных условиях 0,5. Другими словами найдено математическое ожидание (среднее значение) для риска аварии здания, которое в инженерной практике можно отыскать, лишь располагая представительным статистическим рядом случайной величине $r (risk) = P_\phi / P_T$, но в природе такой ряд не существует.

- Очевидно, для конкретного сооружения на конкретной строительной площадке средний риск аварии будет отличаться от естественного риска, но, тем не менее, следует признать, что наиболее достоверные результаты для риска математическая модель $r = 1 / n$ обеспечивает при значениях n близких к величине 0,5.

"Образцом" параметра n этой модели может служить и показатель надежности строительного объекта, так как приемы теории нечеткой логики позволяют отождествлять понятия «вероятность» и «надежность», варьируемые в одном диапазоне (от 1 до 0). Если несущий каркас исследуемого здания (сооружения) представить как систему, состоящую из « n » иерархически последовательно соединенных (возведенных) групп однотипных несущих конструкций каркаса (основание, фундамент, стены, конструкции перекрытия и т.д.), то для определения параметра n можно применить методы системной теории надежности [8]. Согласно им, имеем: $n = \prod n_i$, где $\prod n_i$ – произведение показателей надежности всех групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта. После подстановки полученного выражения в формулу $r = 1 / n$, математическая модель для прогноза величины риска аварии объекта приобретает окончательный вид: $r = 1 / \prod n_i$, а задача измерения риска аварии объекта свелась к задаче определения показателей надежности групп однотипных конструкций его несущего каркаса.

Примечания.

1. Применение методов системной теории надежности возможно в случае, если принять гипотезу, что человеческие ошибки, допущенные в одной из групп, не зависят от ошибок, допущенных в других группах. Эта гипотеза близка к истине, поскольку строят объект разные специалисты, а в каждой группе – свои ошибки.

2. Фактический риск аварии объекта всегда ниже величины риска аварии, вычисленной по полученной математической модели. Это действительно так, поскольку надежность несущего каркаса объекта всегда резервируется системой связей конструкций. По-существу, расчетный риск аварии – это верхняя граница фактического риска аварии объекта.

Параметр n_i в формуле $r = 1 / \prod n_i$ определяется на множестве $\{n_{ij}\}$ показателей надежности возведенных однотипных конструкций в i -й группе конструкций несущего каркаса объекта. Показателем надежности возведенной конструкции может служить либо вероятность безотказного ее функционирования, либо степень принадлежности конструкции к множеству аналогичных конструкций, для которых все требованиям проекта выполнены (термин теории множеств). В рамках классической теории надежности задача определения показателей $\{n_{ij}\}$ требует значительных затрат времени. Поэтому в «on-line» технологиях прямые методы теории надежности практически не находят применения. Для решения таких задач следует использовать методы теории нечетких (размытых) множеств.

Принадлежность элементов к тому или иному множеству в классической теории множеств оценивается в соответствии с четким условием – элемент либо принадлежит, либо не принадлежит множеству. Теория нечетких множеств разрешает градуированную оценку принадлежности элементов множеству. Такая оценка описывается при помощи функции принадлежности, которая количественно градуирует принадлежность элементов нечеткому множеству. Значение 0 означает, что элемент не включен в нечеткое множество, 1 – описывает полностью включенный элемент. Значения между 0 и 1 характеризуют нечетко включенные элементы. Для этого в теории нечетких множеств используется лингвистическая переменная. Она отличается от числовой переменной тем, что ее значениями являются не числа, а слова – модификаторы (очень, вполне).

В экспертной практике надежность поврежденной конструкции почти всегда оценивается через соответствие ее параметров требованиям нормативных документов (проекта). Приемы нечеткой логики позволяют отождествлять понятия надежность, степень принадлежности и соответствие, но степень соответствия при этом изменяется в пределах не от 1 до 0, а от 1 до 0,5. Доказательством служит человеческий опыт, измеряющий соответствие голосованием (выборы, суды присяжных и т.д.), где мерой предельного соответствия является величина 0,5.

Для назначения показателей надежности конструкций построено прави-

ло (табл. 1), в основу которого положена лингвистическая переменная «очень» [23, 34]. Введено понятие ранг опасности конструкции и к каждому рангу назначен лингвистический терм в виде отношения конструкции к требованиям проекта в части обеспечения ее прочности, жесткости и устойчивости. Правило содержит девять рангов опасности конструкции, различающихся по показателю степени переменной «очень». При построении этого правила использован прием нечеткой логики, состоящий в отождествлении понятий «надежность» и «соответствие». Поскольку мера соответствия в отличие от меры надежности изменяется от 1 до 0,5, показатели надежности в табл. 1 разделены на две части, одна из которых содержит степени соответствия, другая – несоответствия. Границей между частями является шестой уровень опасности. Лингвистической переменной этого уровня (очень) 1,10 присвоена мера предельного соответствия, равная 0,5. Такой прием позволил получить числовую оценку лингвистической переменной «очень» и вычислить числовую меру надежности для остальных 9-ти рангов опасности, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Правило назначения показателя надежности возведенной конструкции

Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг опасности	Переменная «очень»	Показатель надежности
Соответствие требованиям проекта <i>практически полное</i>	1.1	<i>(очень)^{0,01}</i>	0,994
	1.2	<i>(очень)^{0,02}</i>	0,987
	1.3	<i>(очень)^{0,03}</i>	0,981
Отклонения от требований проекта <i>незначительные</i>	2.1	<i>(очень)^{0,05}</i>	0,969
	2.2	<i>(очень)^{0,10}</i>	0,939
	2.3	<i>(очень)^{0,15}</i>	0,910
Отклонения от требований проекта <i>значительные</i>	3.1	<i>(очень)^{0,20}</i>	0,882
	3.2	<i>(очень)^{0,30}</i>	0,828
	3.3	<i>(очень)^{0,40}</i>	0,777
Соответствие требованиям проекта <i>низкое</i>	4.1	<i>(очень)^{0,50}</i>	0,730
	4.2	<i>(очень)^{0,60}</i>	0,686
	4.3	<i>(очень)^{0,70}</i>	0,644
Соответствия требованиям проекта <i>практически нет</i>	5.1	<i>(очень)^{0,80}</i>	0,604
	5.2	<i>(очень)^{0,90}</i>	0,568
	5.3	<i>(очень)^{1,00}</i>	0,533
Соответствия <i>нет</i>	6	<i>(очень)^{1,10}</i>	0,500
Конструкция содержит <i>опасный</i> дефект	7.1	<i>(очень)^{1,20}</i>	0,470
	7.2	<i>(очень)^{1,30}</i>	0,441
	7.3	<i>(очень)^{1,40}</i>	0,414

Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг опасности	Переменная «очень»	Показатель надежности
Конструкция содержит <i>несколько опасных</i> дефектов	8.1	<i>(очень)</i> ^{1,50}	0,389
	8.2	<i>(очень)</i> ^{1,60}	0,365
	8.3	<i>(очень)</i> ^{1,70}	0,343
Конструкция содержит <i>угрожающие аварией</i> дефекты	9.1	<i>(очень)</i> ^{1,80}	0,322
	9.2	<i>(очень)</i> ^{1,90}	0,303
	9.3	<i>(очень)</i> ^{2,00}	0,284

Оценка показателей надежности дефектных конструкций по информации об их физическом состоянии, предоставляемой экспертами в виде размерных чисел, является процедурой формализации этой информации, а по сути – переводом ее в безразмерный вид.

2.3. Приемлемый риск аварии для строящихся объектов

Следует различать величину максимально допустимого риска аварии для строящихся и для эксплуатируемых зданий и сооружений. Для вновь возводимых объектов величина максимально допустимого риска аварии не должна быть выше естественной величины риска аварии, а также, значения, при котором ожидаемый безопасный ресурс построенного объекта будет меньше его нормативной долговечности (срока службы). Для зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, риск аварии не может быть выше некоторого критического значения, при достижении которого объект уже не способен сопротивляться непроектным воздействиям и, следовательно, в нем отсутствует главный признак конструкционной безопасности.

Основное требование по обеспечению конструкционной безопасности строительного объекта при его создании – не превышать максимально допустимый риск аварии. Обосновать его величину можно лишь на основе закона, характеризующего распределение плотности вероятностей для риска аварии на неограниченном множестве новых зданий (сооружений). Теоретически, кривая распределения существует, но построить её обычными в инженерной практике методами теории вероятностей и математической статистики не представляется возможным из-за полного отсутствия статистических данных о возможных значениях риска аварии. Однако, исходя из физических соображений и используя приемы и правила теории нечеткой логики, можно ввести две аксиомы относительно распределения случайной величины $r = P_{\Phi} / P_T$:

1. Вероятности значений $r \leq 1$ равны нулю, поскольку обеспечить в процессе строительства теоретическую вероятность аварии P_T не удастся по целому ряду объективных причин.

2. Кривая распределения случайной величины r является асимметричной, так как из-за естественного стремления общества обеспечить безопасность среды своего обитания, значение r с максимальной плотностью вероятности (мода случайной величины) сдвинуто влево от среднего значения.

В работе [8] для описания случайных величин, принимающих лишь положительные значения, рекомендованы законы, основанные на распределениях Пирсона. Из них принятым выше аксиомам отвечает однопараметрическое распределение Рэлея. Этот закон имеет вид:

$$f(r) = (r-1) / \sigma^2 \cdot \exp [-(r-1)^2 / 2\sigma^2].$$

Известно [8], что параметр σ в законе – это среднеквадратичное отклонение риска аварии от его среднего значения R . Оно (σ) связано с R и модой $\langle r \rangle$ соотношениями: $R = 1 + 1,25 \sigma$; $\langle r \rangle = \sigma + 1$. Этот факт означает, что для полного описания закона распределения случайной величины r достаточно знать значение одной из величин: R или $\langle r \rangle$ (см. рис. 8).

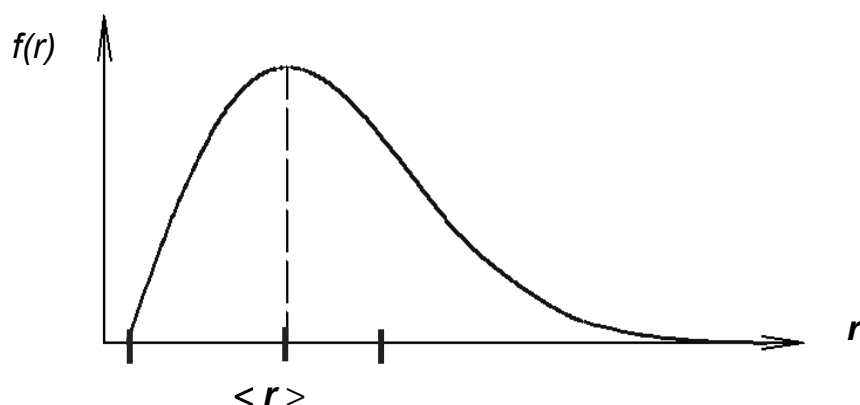


Рис. 8. Кривая распределения случайной величины r

Среднее значение риска аварии R на неограниченном множестве новых зданий и сооружений уже найдено. В разделе 2.2 доказано, что вероятность аварии строительного объекта в естественных условиях в 2 раза превышает теоретическую вероятность P_T . Следовательно, среднее значение риска аварии R в естественных условиях (естественный риск аварии объекта), вокруг которого группируются возможные значения случайной величины r , для новых зданий равно числу 2. По логике, допустимая величина риска аварии вновь построенного объекта не может быть выше риска аварии в естественных условиях, на который у людей спокойная реакция. Исходя из этой позиции, максимально допустимый риск аварии построенного здания (сооружения) не должен быть выше значения $R = 2$.

2.4. Пороговые риски и критический риск аварии объекта

Среднее значение риска аварии при эксплуатации объекта из-за износа и старения его несущих конструкций постепенно увеличивается. Вместе с ним растет неопределенность физического состояния несущего каркаса объекта. Неопределенность можно оценить по величине информационной энтропии объекта, как одного из показателей закона распределения его риска аварии.

Пороговые риски аварии – это инварианты. Они не зависят от этажности, типа и размеров объекта. При их достижении объект начинает переход в качественно иное физическое состояние. Выявляются они по изменению интенсивности скорости роста информационной энтропии [58]. Сама же энтропия вычисляется по формуле Шеннона [9]:

$$H = - \sum P(A_i) \cdot \log_2 P(A_i),$$

где $P(A_i)$ – вероятность события A , заключающее в том, что риск аварии объекта находится в i -м диапазоне значений. Измеряется она в битах. Ее свойства: неотрицательность, ограниченность, выпуклость кривой ее роста вверх.

На рис. 9 приведен график функции $H(R)$, показывающий зависимость информационной энтропии H от величины математического ожидания R . Его построил инженер В.Г. Косоголов.

При построении графика предполагалось, что приведенный выше Рэле-евский закон распределения риска аварии для новых зданий в процессе эксплуатации объекта не претерпевает изменений.

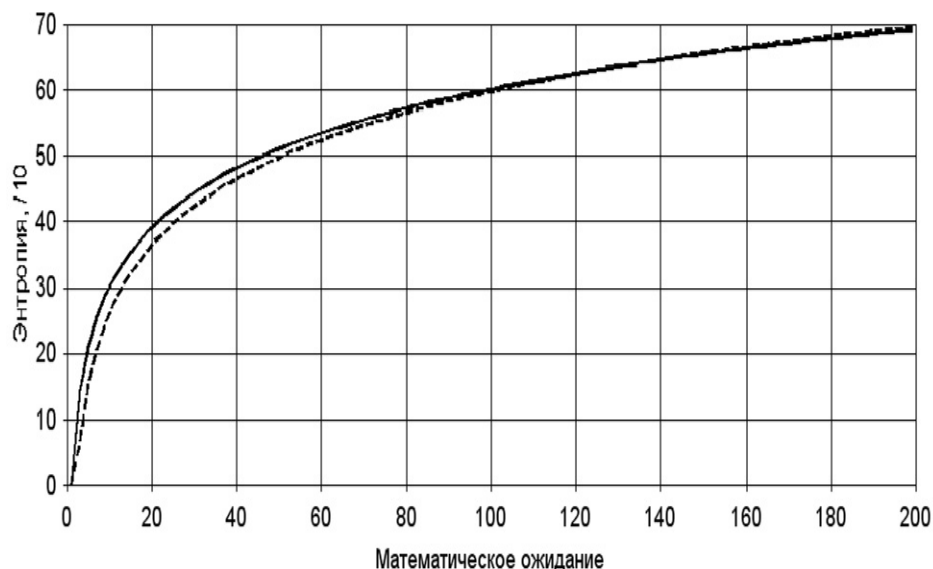


Рис. 9. Зависимость информационной энтропии от величины математического ожидания риска аварии строительного объекта

Кривая на рис. 9 по существу является законом деградации несущего каркаса строительного объекта. Известно [58], что всякое изменение ин-

тенсивности роста скорости энтропии информирует об изменении вида его физического состояния. Графики зависимости скорости и интенсивности скорости роста энтропии показаны на рис. 10. Перед их построением кривая на рис. 10 аппроксимирована уравнением $H(R) = \log_{2,15} R$ (пунктир на рис. 9).

Из рис. 10 следует, что после значения среднего риска аварии $R=15$ интенсивность скорости роста энтропии начинает снижаться. Этот факт означает, что объект постепенно переходит из безопасного состояния в состояние аварийное.

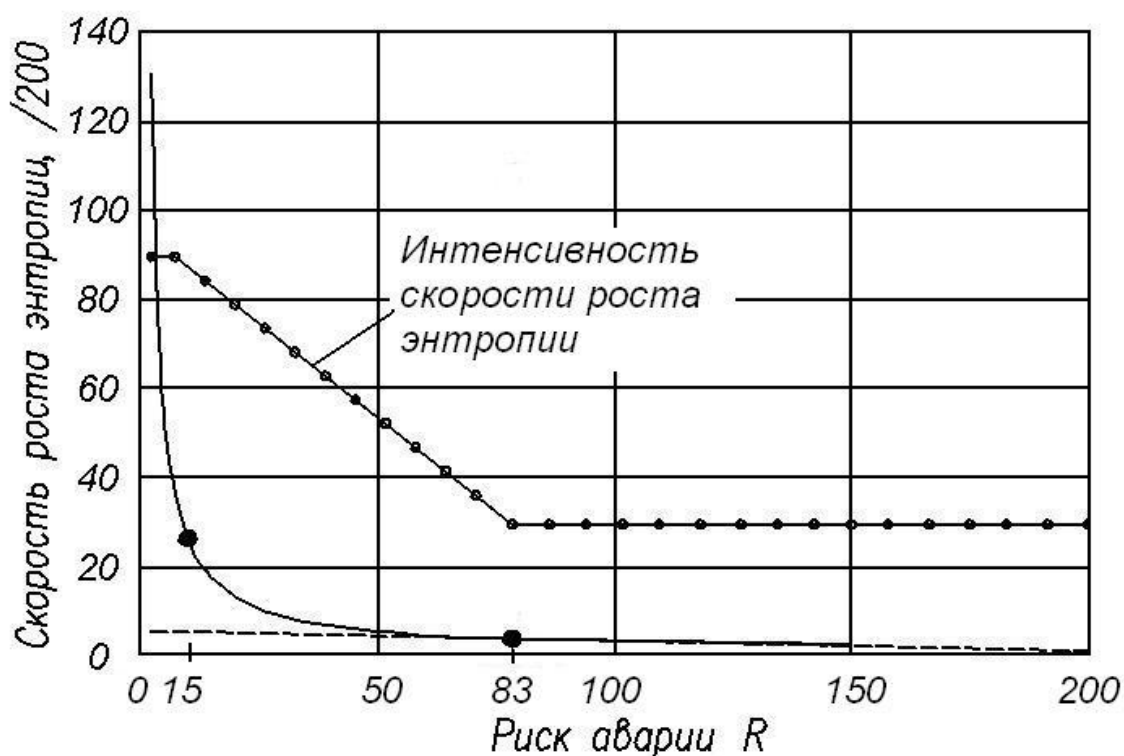


Рис. 10. Зависимость скорости и интенсивности скорости роста энтропии от среднего значения риска аварии объекта

Интенсивность скорости роста энтропии вновь претерпевает изменение при значении среднего риска, равного 83. Далее, с ростом риска аварии интенсивность скорости роста энтропии вновь становится постоянной. При превышении средним значением риска аварии величины риска, равного 83, объекта начинает переход в ветхо-аварийное состояние. В ветхо-аварийном состоянии равновесие несущего каркаса объекта становится неустойчивым, при котором даже слабые воздействия на объект могут привести к его обрушению. Именно этим подтверждается бытующее в среде строительных экспертов мнение, что дата наступления аварии ветхо-аварийного здания (сооружения) открыта.

Рис. 10 показывает, что существуют пороговые инвариантные значения риска аварии, при достижении которых строительный объект начинает переход в качественно иное физическое состояние. Их инвариантность вытекает из способа доказательства их существования. Пороговых инвариантов два (рис. 10) Один из них – это значение риска, равное 15, когда объект начинает переход из безопасного состояния в аварийное. Второй пороговый инвариант – это значение риска 83, когда объект начинает переход из аварийного состояния в ветхо-аварийное.

Есть смысл искусственно ввести еще один порог для риска аварии. В интервале между естественными порогами риска аварии, показанными на рис. 10, интенсивность скорости роста энтропии, а, следовательно, и износа, изменяется по линейному закону. В пределах этого интервала физическое состояние объекта считается аварийным, но в зависимости от величины риска аварии имеет различную степень опасности; приемлемую в начале интервала и высокую перед переходом объекта в ветхо-аварийное состояние. Целесообразно интервал между естественными порогами риска аварии разделить на два участка; в одном из них физическое состояние объекта обозначить как предаварийное, а в другом – как аварийное. Стыковая точка этих участков найдена в работе [69] и ее положение соответствует накопленному опыту эксплуатации строительных объектов. В частности, как следует из [51], капитальный ремонт здания (сооружения) производится, как правило, при величине износа примерно 60–70%, при котором они (здания) признаются находящимися в аварийном состоянии. С этой же целью в [69] выполнен анализ результатов, полученных при исследованиях конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий. Часть из них была оценена экспертами как находящаяся в аварийном состоянии. Она выявлена по наличию и характеру трещин в конструкциях несущего каркаса объекта. При анализе объект считался ограниченно работоспособным и находящийся в предаварийном состоянии, если в его несущих конструкциях имели место волосяные хаотично направленные трещины. При заметной ширине раскрытия трещин и их ориентированной направленности вид физического состояния объекта признавался аварийным. Результатом выполненного анализа [60] явилось утверждение, что для зданий и сооружений, находящихся на стыке двух состояний – предаварийного и аварийного – значения среднего риска аварии группируются вокруг величины, равной 32. Эту величину также следует считать пороговым инвариантом, не зависящим от конструктивного типа объекта, его этажности и размеров. Для строительных объектов такой риск является критическим. Он принимается за максимально допустимый риск аварии для объектов, находящихся в эксплуатации.

2.5. Риск аварии и конструкционный износ объекта

Для большинства потенциальных пользователей теории риска аварии информационная энтропия, как показатель физической деградации объекта (см. рис. 9) может показаться сложным для вычисления и практического применения. Вместе с тем существует аналог показателя деградации. Это конструкционный износ объекта. Информационная энтропия и износ объекта – тесно связанные величины. Поэтому целесообразно закон деградации строительного объекта отыскивать в виде диаграммы, показывающей связь конструкционного износа объекта и его фактического среднего риска аварии.

Попытки построения кумулятивных (необратимых в течение жизни) моделей оценки конструкционного износа несущего каркаса объекта неизбежно приводят к сложным зависимостям с большим числом параметров. Использовать их весьма сложно, поскольку кумулятивные повреждения связаны с поведением материалов на атомном или молекулярном уровне. В такой ситуации следует обратиться к феноменологическим вероятностным моделям, основанным на логико-вероятностном подходе. К требованиям, предъявляемым к построению математической модели, относятся простота с сохранением достаточной достоверности, а также удобство численной реализации. Ниже приводятся две гипотезы, позволяющие удовлетворить вышеназванным требованиям.

Первая из них: – предполагается, что формой математической модели роста конструкционного износа объекта в процессе его эксплуатации является экспонента, а ее представительным параметром служит величина среднего риска аварии объекта. Вторая гипотеза: – в момент перехода объекта в ветхо-аварийное состояние ресурс его несущего каркаса по конструкционному износу составляет 5%. Обоснованием первой гипотезы может служить форма кривой роста энтропии в зависимости от величины среднего риска аварии. Вторая гипотеза подтверждается исследованиями ресурса конструкций в теории надежности [9].

Принятым гипотезам и условию нулевого конструкционного износа на момент начала строительства (возведения) объекта, когда его риск аварии еще теоретический ($R=1$), отвечает следующая математическая модель:

$$J(R) = 1 - \exp [-k (R - 1)].$$

Коэффициент k определяется подстановкой порогового значения риска аварии, соответствующего переходу здания в ветхо-аварийное состояние и величины износа, равной 95%. Найденный таким образом коэффициент составил величину 0,0365 и закрепил окончательный вид математической модели оценки конструкционного износа строительного объекта.

Модель деградации несущего каркаса объекта. При наличии пороговых значений (инвариантов) риска аварии для ее построения достаточно по уравнению $J(R) = 1 - \exp [-0,0365 (R - 1)]$ изобразить кривую, нанести на

нее точки, соответствующие инвариантам риска аварии, и соединить их отрезками прямых линий. В окончательном виде модель деградации в форме диаграммы «конструкционный износ – риск аварии» показана на рис. 11.

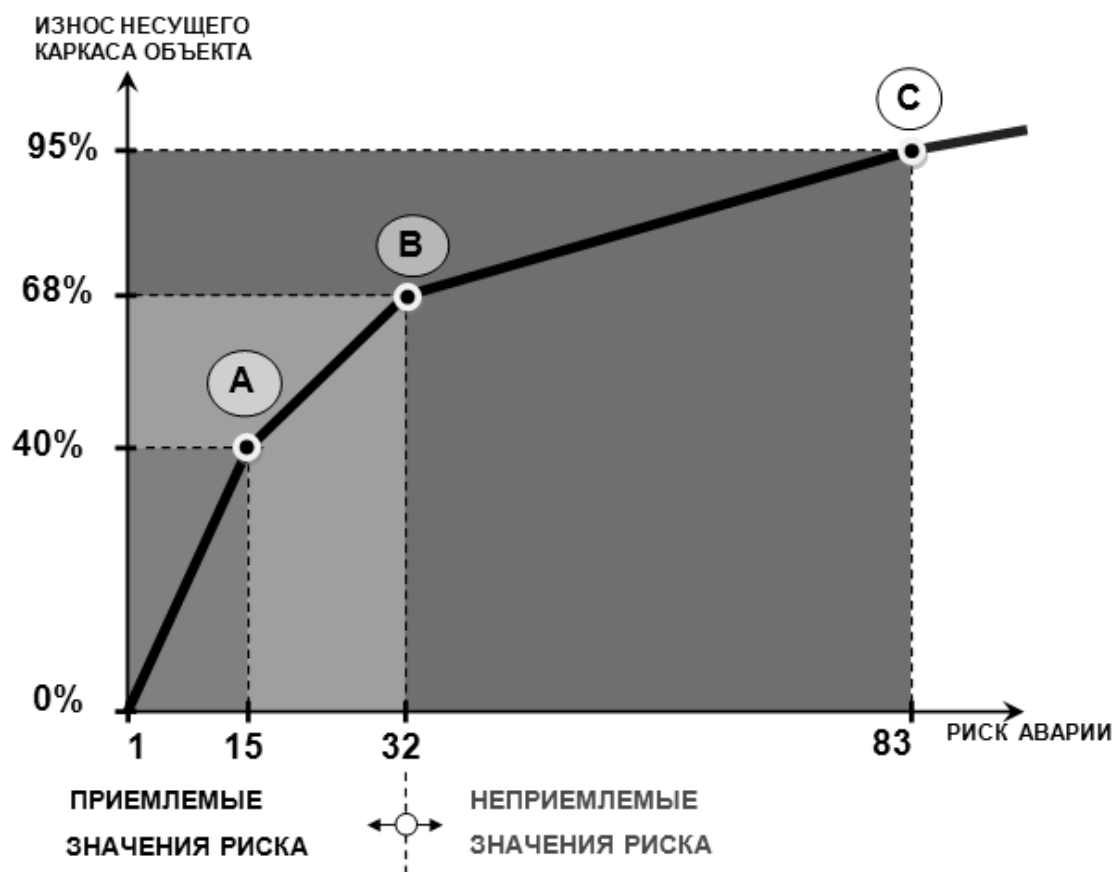


Рис. 11. Модель деградации строительного объекта

В такой форме модель деградации объекта утверждает:

- с момента окончания строительства и до достижения объектом первого порогового значения риска аварии ($R=15$) трещины в конструкциях несущего каркаса отсутствуют вообще. В этот период объект способен сопротивляться не только проектным воздействиям, но за счет проектного запаса прочности и большинству неучтенных в проекте нагрузкам, возникающим в тех или иных чрезвычайных ситуациях. Физическое состояние объекта на этом промежутке времени следует трактовать как безопасное, а сам объект отнести к категории новых зданий (сооружений).

- время эксплуатации объекта с момента окончания его строительства до достижения им значения риска аварии $R=32$ (стыковая точка B на рис. 10) определяет безопасный ресурс объекта. Физическое состояние объекта на этом промежутке времени также можно трактовать как безопасное, а величину риска аварии, равную 32, следует принять за критический риск аварии, так как после его достижения способность объекта сопротивляться

непроектным воздействиям практически исчерпывается. Пока фактический средний риск аварии меньше критической величины, конструкционную безопасность объекта следует считать обеспеченной. При превышении критического риска исследуемый объект следует отнести к категории «поддержанных» зданий (сооружений).

– при достижении объектом критического риска аварии нужно планировать ремонтно-восстановительные мероприятия. Если их не провести, то риск аварии объекта будет продолжать расти, и к моменту достижения объектом второго порогового значения риска аварии, равного 83, его способность сопротивляться нагрузкам теоретически исчерпывается, а дата наступления аварии объекта становится открытой.

Модель деградации объекта – это своеобразный норматив для оценки его конструкционной безопасности. Если для вновь возводимых зданий и сооружений величина риска аварии, равная 2, является максимально допустимым значением риска, то при достижении объектом критического значения риска, равного 32, заканчивается его безопасный ресурс.

2.6. Риск аварии и безопасный ресурс объекта

Критерием для оценки безопасного остаточного ресурса эксплуатируемого объекта является инвариантное значение его критического риска. Оценка безопасного ресурса строительного объекта основывается на гипотезе, что конструкционный износ $J(T)$ здания (сооружения) является медленно текущим процессом. Из нее следует, что $J(T)$ – это непрерывная функция времени T и, естественно, имеет производную:

$$dJ(T)/dT = -i J(T),$$

где i – интенсивность конструкционного износа объекта при его эксплуатации. После интегрирование этого дифференциального уравнения и определения постоянной интеграла из условия $J(0) = 0$ имеем:

$$J(T) = 1 - \exp(-i \cdot T).$$

Интенсивность износа определяется из равенства $J(T) = J(R)$, где $J(R)$ – износ, зависящий от величины риска аварии объекта на момент времени эксплуатации T . Приравняв правые части формул $J(T)$ и $J(R)$, получим:

$$i = [0,0365 (R - 1)] / T.$$

При известной интенсивности износа безопасный ресурс T_B объекта определится из формулы: $J(T) = 1 - \exp(-i \cdot T)$, если в нее подставить $T = T_B$, а $J(T_B) = 0,68$.

Безопасный остаточный ресурс T_{BO} объекта представляет собой время достижения им критической величины риска аварии, когда он начинает переход в аварийное состояние. Это время определится как разность между T_B и фактическим сроком его эксплуатации $T_\phi < T_B$.

Несложно по полученным выше зависимостям построить компактную формулу для определения безопасного остаточного ресурса T_{BO} . При из-

вестной величине фактического риска аварии R_ϕ на момент времени T_ϕ , $T_{BO} = T_\phi \cdot (32 - R_\phi) / (R_\phi - 1)$, а справедлива эта формула при условии, что фактический риск аварии объекта находится в пределах $2 < R_\phi < 32$. При $R_\phi > 32$ объект находится в аварийном состоянии и его безопасный ресурс уже исчерпан. Показатели безопасного ресурса объекта (T_B и T_{BO}) и их отношение к критической величине риска аварии ($R=32$) демонстрируется на рис. 12. Из него, что безопасный ресурс объекта существенным образом зависит от величины фактического риска аварии на момент сдачи его в эксплуатацию. Действительно, пусть после окончания строительства фактический риск аварии объекта нормативный ($R_\phi = 2$), а срок строительства $T_\phi = 2$ года. Из формулы $T_{BO} = T_\phi \cdot (32 - R_\phi) / (R_\phi - 1)$ следует, что безопасный ресурс объекта $T_{BO} = 60$ лет. Теперь предположим, что фактический риск аварии объекта после окончания его строительства превысил максимально допустимое значение в два раза, т.е. $R_\phi = 4$. В этом случае T_B по той же формуле равен 18,6 лет. Следовательно, превышение максимально допустимого значения риска аварии к окончанию строительства объекта в 2 раза повлекло за собой снижение безопасного ресурса объекта в 3,2 раза. Такова плата за превышение нормы на величину риска аварии здания (сооружения) к моменту окончания его строительства. Этот факт отражен на рис. 12.

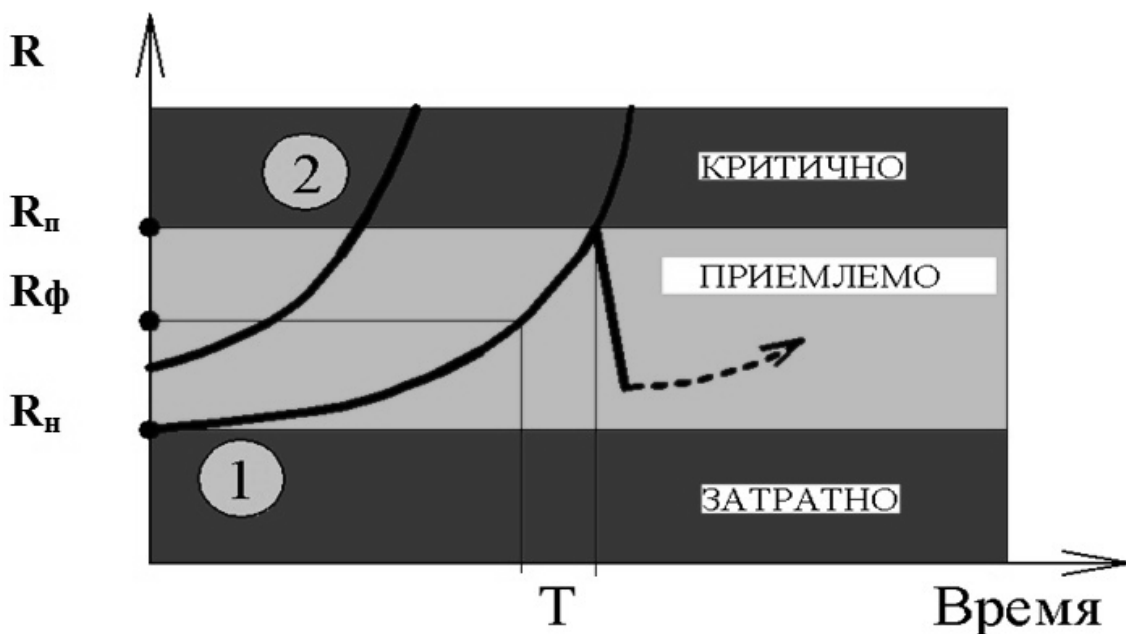


Рис. 12. Зависимость ресурса объекта от величины риска аварии после окончания его строительства

Примечание. На рис. 12 имеют место следующие обозначения:

R — риск аварии объекта;

R_H — нормальный или максимально допустимый риск аварии для строящихся объектов;

R_Π — предельно-допустимый (критический) риск аварии

для находящихся в эксплуатации объектов;
 R_{ϕ} – фактический риск аварии для здания 1;
 T – безопасный остаточный ресурс здания 1.

Этот рисунок дает возможность сравнить сданные в эксплуатацию два здания (1 и 2) одного конструктивного типа и этажности. Здание 1 построено правильно, так как к моменту сдачи его в активную фазу эксплуатации величина его риска аварии не превысила максимально допустимого значения для новых объектов. В здании 2 интенсивность конструкционного износа в процессе эксплуатации из-за ошибок людей при его создании значительно выше, чем здания 1. Следствием этого факта явилось различие в величине безопасного ресурса этих зданий. При одинаковом времени их эксплуатации здание 2 может находиться уже в аварийном состоянии, а здание 1 еще в безопасном.

На размер безопасного ресурса объекта влияет и продолжительность строительства. Например, при продолжительности строительства здания (сооружения) 5 и более лет обеспечить максимально допустимый риск аварии без специальных мер консервации объекта практически невозможно. Как показывает практика «долгостроя» при неактивной эксплуатации объекта и при отсутствии соответствующего ухода за ним, интенсивность конструкционного износа здания в этот период резко возрастает, что негативно сказывается на величине риска аварии и безопасного ресурса.

В заключение раздела следует отметить, что в мире существует достаточно большое число зданий – «долгожителей» (Версаль, Колизей и др.). Очевидно, что срок их безопасной службы продлевается именно за счет цикличности восстановительных мероприятий. Следует отметить, что, если по истечению безопасного ресурса объекта восстановительные мероприятия на произведены не будут, то использовать в качестве ресурса объекта время его «дожития» (разница между предельным и безопасным ресурсами) небезопасно. В период «дожития» объект уже не сопротивляется внешним непроектным воздействиям, что может привести к аварии, а значит, и к убыткам, которые в десятки – сотни раз могут превысить затраты на ремонтно-восстановительные мероприятия.

И последнее. Полученные в этой главе результаты по нормированию риска аварии строительного объекта дают возможность осуществлять контроль риска при его проектировании, возведении и эксплуатации, или, другими словами, ввести процедуры менеджмента риска.

Глава 3. ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Безопасность – это если знаешь, как увер-
нуться от опасности (Из романа Эрнеста Хе-
мингуэя «По ком звонит колокол»)*

3.1. Подход к обеспечению конструкционной безопасности объекта

В декабре 2008 года Минрегион России утвердил документ, содержащий более 800 видов работ в строительстве, которые, по мнению разработчиков документа, потенциально опасны. Его корни в Градостроительном кодексе РФ (с. 55). Но, во-первых, нет уверенности в полноте перечня таких работ, а, во-вторых, в этом документе, как впрочем, и в других ему подобных, забыт главный источник всех неприятностей и опасностей в строительстве – человек.

В строительстве нет ничего второстепенного, все влияет на безопасность. Даже, кажущийся на первый взгляд, неопасным вид работы, при его небрежном исполнении человеком становится опасным, и примеров этому предостаточно. Поэтому любой документ или закон, посвященный качеству и безопасности строительства, должен быть обращен к человеку. Именно в этом и состоит главный принцип обеспечения безопасности в строительстве.

Одним, а может быть и единственным подходом к обеспечению требуемого уровня конструкционной безопасности строительного объекта является применение при его создании и эксплуатации дополнительных работ, сверх обязательных, обусловленных СНИП и Федеральным Законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Надлежащее исполнение таких работ обеспечивает конструкционной безопасности объекта. Ниже приведены стадии строительства и виды дополнительных работ:

- Предстроительная стадия:
 - Конкурсный отбор проектной фирмы для проектирования сооружения по новой методике, изложенной в разделе 3.2;
 - Априорное гарантирование конструкционной безопасности уникальных, ответственных и сложных в инженерном отношении зданий и сооружений по методике, изложенной в разделе 4.3.
- Предпроектная деятельность:
 - Разработка формата документа «Паспорт объекта», где должны быть отражены пороговые значения безопасности: для фундаментов (осадки, крены), для несущих конструкций (деформации, напряжения, для ж/б несущих конструкций еще и раскрытие трещин);

- Геофизическая оценка геологической и гидрогеологической обстановки на участке строительства (наличие карстовых образований, оползней, высокого уровня грунтовых вод, разломов);
- Организация наблюдений за осадками и кренами близлежащих зданий, за состоянием пролегающих в непосредственной близости от участка строительства инженерных коммуникаций;
- Выявление близко расположенных опасных производств, источников шума и вибраций, сейсмических воздействий, смерчей, торнадо и других, возможных природно-климатических опасностей.
- Проектирование:
 - Контроль проектного риска аварии объекта, иначе менеджмент риска, закладываемого в проект, по методике, изложенной в разделе 3.2.
 - Параллельный расчет прочности, жесткости и устойчивости несущего каркаса объекта сторонней организацией с использованием программного комплекса, не примененного авторами проекта, причем с учетом физической и геометрической нелинейности материалов и конструкций;
 - Доказательство живучести строительной системы здания (сооружения) и исключение его лавинообразного обрушения.
- Строительство:
 - Контроль строительного риска аварии и его регулирование по методике, изложенной в разделе 3.3.
 - Инструментальное слежение за осадками грунта основания объекта и деформациями конструкций его несущего каркаса;
 - Выборочные испытания используемых строительных материалов и образцов сложных конструктивных схем узлов несущего каркаса объекта.

3.2. Прогноз и оценка проектного риска аварии объекта

Контроль проектного риска аварии – важная составляющая менеджмента риска, но и весьма затратная процедура. Вместе с тем, ее применение, особенно для ответственных и сложных в инженерном отношении зданий и сооружений, не только экономически оправдано, но и, самое главное, социально выдержано.

Проектирование – по существу, «виртуальное» строительство объекта. Контроль проектного риска аварии нужно осуществлять тогда, когда проект объекта уже завершен, но еще не запущен в производство. Проект объектом сложности проверяется не только в конце проектной работы. Для них обязательными являются проверки концептуального проекта и рабочего проекта (дважды: на стадии 60%-ной готовности и в конце проектирования, перед передачей проекта заказчику).

Технология менеджмента включает в себя прогноз и оценку риска аварии, заложенного в проект. Для прогноза проектного риска аварии объекта можно воспользоваться полученной в разделе 2.2 математической моделью

$R = 1 / n$, в которой под параметром n следует понимать степень принадлежности исследуемого проекта, множеству проектов, отвечающих требованиям норм проектирования. Для определения параметра n экспертом должны быть проанализированы основные этапы проекта. Таких этапов девять. Вот они:

1. Организация проектирования
2. Исходные данные для проектирования
3. Нагрузки и воздействия на объект
4. Расчет конструкций несущего каркаса объекта
5. Проектирование фундамента
6. Проектирование несущего каркаса
7. Проектирование связевых конструкций
8. Выбор материалов
9. Решение узловых соединений

Основная задача эксперта при оценке проектного риска заключается в том, чтобы на каждом этапе готового проекта выявить проектные решения, которые содержат отклонения (ошибки) от норм проектирования, представляющие опасность построенному по этому проекту зданию (сооружению). Примерный перечень таких проектных ошибок и опасностей приведен в табл. 2. Она сформирована после многочисленных консультаций автора монографии и его добровольных помощников со специалистами проектных фирм и организаций.

Таблица 2

Примерный перечень ошибок и опасностей проекта

Этапы	Номер и описание ошибки (опасности)
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нет личностных (персональных) лицензий на право проектировать сложные объекты 2. Регулярная внутренняя проверка качества проектов отсутствует
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Физико-механические характеристики грунтов основания не соответствуют действительному состоянию основания; лабораторные испытания образцов грунта отсутствуют 2. При проведении инженерно-геологических изысканий не выявлены и не учтены характерные зависимости деформирования грунта под нагрузкой. 3. Нет оценки гидрогеологической ситуации на участке до начала работ, нет ее прогноза после завершения работ, решений по водотоку нет 4. Не организовано наблюдения за осадками и кренами близлежащих зданий, состоянием пролегающих в непосредственной близости от участка строительства инженерных коммуникаций
3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Распределение снеговой нагрузки по покрытию необоснованно 2. Не учтена пульсационная составляющая ветровой нагрузки 3. Не выполнен расчет на температурные воздействия

Этапы	Номер и описание ошибки (опасности)
4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчетная схема несущего каркаса объекта не соответствует его действительной работе под нагрузкой 2. При вводе исходных данных в программу компьютера допущены ошибки в размерностях, величине нагрузок, жесткостях 3. Не выполнен динамический расчет здания (сооружения) 4. В расчетах не учтена физическая и геометрическая нелинейность 5. Не учтена такая возможность, как потеря местной устойчивости в элементах несущего каркаса объекта 6. Не учтен коэффициент ответственности объекта 7. Напряжения в материале перекрытия и покрытия выше допустимых значений 8. Не исследована стойкость несущего каркаса здания прогрессирующему обрушению.
5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивает равномерность осадок 2. При расчете фундаментной плиты не учтена ползучесть бетона 3. Влияние на осадки фундамента разноэтажных частей здания не учтено, осадки рассчитаны неверно 4. Гидрологическая обстановка на участке неблагоприятная, решения по водорегулированию в проекте нет 5. Предусмотрена малая глубина заложения фундаментов 6. В проекте не указаны параметры уплотнения насыпного грунта
6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственная устойчивость сооружения не обеспечена 2. Конструкции, обеспечивающие устойчивость сооружения, запроектированы с дефектами
7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Связевые конструкции не обеспечивают жесткость каркаса 2. Кинематический анализ расчетной схемы не выполнен. Несущий каркас представляет систему близкую к мгновенно изменяемым системам
8	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расход материалов на покрытие превышает статистический уровень 2. Не обоснован выбор конструкционного материала для основных несущих конструкций
9	<ol style="list-style-type: none"> 1. Запроектированные узловые соединения элементов каркаса не соответствуют принятой в расчетной схеме жесткости узлов 2. Ответственные узлы элементов каркаса сконструированы так, что при эксплуатации объекта процедуру их визуального обследования делает невозможным

Когда проектные решения с ошибками на всех этапах проекта экспертом выявлены, он должен произвести оценку показателя их надежности. Для этого он может воспользоваться приведенной ниже табл. 3, являющейся-

ся модификацией табл. 1. Естественно, назначаемые экспертами по этой таблице ранги опасности проектных решений с ошибками будут носить субъективный характер. Однако, чем выше квалификация эксперта, тем ближе ранги опасности к истинной оценке проектной ошибки. В результате применения таблицы для каждой стадии готового проекта формируется множество $\{n_{ij}\}$. Возникает вопрос, как по этому множеству назначить показатель надежности i -го этапа проекта? Чтобы ответить на этот вопрос, вначале необходимо ответить на другой – какой должна быть оценка проектного риска аварии: жесткой, усредненной или статистической. Логика подсказывает, что при контроле проектного риска аварии объекта оценка риска должна быть жесткой, при контроле риска аварии при возведении объекта – усредненной, а при его эксплуатации – статистической. Жесткость оценки проектного риска обусловлена высокой его опасностью. «Запуск» проекта в производство с чрезмерно высоким риском аварии – это, по-существу, преступление.

Таблица 3

Правило назначения показателя надежности проектного решения

Отношение проектного решения к требованиям норм проектирования	Ранг опасности	Степень переменной «очень»	Показатель надежности решения
Соответствие требованиям норм <i>практически полное</i>	1.1	<i>(очень)^{0,01}</i>	0,994
	1.2	<i>(очень)^{0,02}</i>	0,987
	1.3	<i>(очень)^{0,03}</i>	0,981
Отклонения от требований норм <i>незначительные</i>	2.1	<i>(очень)^{0,05}</i>	0,969
	2.2	<i>(очень)^{0,10}</i>	0,939
	2.3	<i>(очень)^{0,15}</i>	0,910
Отклонения от требований норм <i>значительные</i>	3.1	<i>(очень)^{0,20}</i>	0,882
	3.2	<i>(очень)^{0,30}</i>	0,828
	3.3	<i>(очень)^{0,40}</i>	0,777
Соответствие требованиям норм <i>низкое</i>	4.1	<i>(очень)^{0,50}</i>	0,730
	4.2	<i>(очень)^{0,60}</i>	0,686
	4.3	<i>(очень)^{0,70}</i>	0,644
Соответствия требованиям норм <i>практически нет</i>	5.1	<i>(очень)^{0,80}</i>	0,604
	5.2	<i>(очень)^{0,90}</i>	0,568
	5.3	<i>(очень)^{1,00}</i>	0,533
Соответствие <i>нормам предельно-низкое</i>	6	<i>(очень)^{1,10}</i>	0,500
Решение содержит <i>грубую</i> ошибку	7.1	<i>(очень)^{1,20}</i>	0,470
	7.2	<i>(очень)^{1,30}</i>	0,441
	7.3	<i>(очень)^{1,40}</i>	0,414

Отношение проектного решения к требованиям норм проектирования	Ранг опасности	Степень переменной «очень»	Показатель надежности решения
Решение содержит <i>несколько грубых</i> ошибок	8.1	<i>(очень)</i> ^{1,50}	0,389
	8.2	<i>(очень)</i> ^{1,60}	0,365
	8.3	<i>(очень)</i> ^{1,70}	0,343
Решение содержит <i>угрожающей аварией</i> ошибки	9.1	<i>(очень)</i> ^{1,80}	0,322
	9.2	<i>(очень)</i> ^{1,90}	0,303
	9.3	<i>(очень)</i> ^{2,00}	0,284

Жесткость оценки проектного риска аварии достигается в случае, если для назначения показателя надежности i -го этапа проекта воспользоваться принципом «слабого звена» и определять его по формуле алгебры теории множеств, как пересечение элементов множества $\{n_{ij}\}$, а именно:

$$n_i = \min \{n_{ij}\}.$$

После выполнения всех этих операций величина проектного риска аварии объекта определится по формуле:

$$R_{II} = 1/II n_i,$$

где $II n_i$ – произведение показателей надежностей всех стадий проекта.

Для оценки проектного риска необходимо располагать максимально допустимым его значением. В разделе 2.3 доказано, что величина максимально допустимого риска аварии строительного объекта при его возведении не должна превышать величины естественного риска аварии, равного $R = 2$. Для сложных и ответственных строительных объектов, исходя из требования жесткой оценки проектного риска аварии, максимально допустимая величина проектного риска аварии может быть уменьшена на величину среднеквадратичного отклонения $\sigma = 0,8$ (см. раздел 2.3). К таким объектам относятся объекты с массовым скоплением в них людей (высотные здания, театры, стадионы и т.д.) и объекты критически важных инфраструктур (аэродромные сооружения, плотины ГЭС, мосты и т.д.).

Условие, при котором проект можно запускать в производство, имеет вид:

$$R_{II} \leq 2.$$

Ошибки, особенно те, которые влияют на конструкционную безопасность здания, нельзя оставлять в проекте перед запуском его в производство. Авторы проекта должны их исправить. Проектирование – это виртуальное строительство. По сути, оно мало, чем отличается от самого строительства. Разница лишь в том, что проект ещё можно поправить, а построенное здание практически нет. Проектирование всегда возвратно-

поступательный процесс, поэтому исправить ошибки может и должен сам проектировщик.

Существует семь важных принципов конструирования, отступать от которых при проектировании ответственных зданий и сооружений опасно. Они сформулированы в работе [49] и приведены ниже.

Первый. Наименьшими затратами материала, труда и, следовательно, денег добиваться наибольших архитектурных результатов.

Второй. Чем меньше элементов в конструктивной системе, тем меньше вероятность отказа одного из них, тем больше надежность сооружения.

Третий. Излишний материал в конструкции не добавляет ей надежности, более того, он влечёт за собой множество новых деталей, креплений, затрат на монтаже и прочее, повышая вероятность отказов и, конечно, стоимость.

Четвертый. Каждому диапазону пролетов или площади перекрываемого пространства соответствует свой класс рациональных большепролетных конструкций. При пролетах более 150 м оправдано применение висячих покрытий.

Пятый. Каждый этап «взросления» конструкции должен быть проверен расчетом, потому что внутренние усилия в элементах структуры при монтаже могут сильно отличаться от тех, что являются следствием полной расчетной нагрузки.

Шестой. Форму покрытия определяет характерное сочетание нагрузок, при этом ошибочный выбор формы невозможно «вылечить» повышенным расходом материала. Неправильно выбранный и распределенный в пространстве, он во многом провоцирует будущие «болезни» здания в целом.

Седьмой. Общая пространственная устойчивость здания (сооружения) – одна из важнейших задач для проектировщика. Существуют такие конструктивные схемы, устойчивость которых невозможно установить лишь статическими расчетами. Необходимо расчетным способом выявить их динамические характеристики. Кинематический анализ конструктивной схемы – обязательная проверка ее неизменяемости.

Важным этапом в обеспечении безопасности ответственных зданий и сооружений является конкурсный отбор фирм для их проектирования. Сейчас процедура сопоставления конкурсных предложений при подрядных торгах выполняется по бальной системе, которая, будучи субъективной и односторонней, математически бездоказательна. В ней профессиональная значимость проектной фирмы хотя и оценивается по сумме баллов, однако пороговое ее значение остается неопределенным, что повышает риск отобрать для конкурсных работ неподготовленного подрядчика.

В инженерной практике часто употребляются выражения – «надёжная фирма» или, напротив, «ненадёжная». Смысл этого словосочетания размыт, но если речь идет о конкурсе, то экспертам необходимо количественно оценить готовность участников подрядных торгов качественно выполнить выставленные на конкурс работы, поставив при этом соискателей

подряда в одинаковые условия. Переход к количественным характеристикам оценки конкурсных предложений возможен, если применить методы и приемы теории размытых (нечетких) множеств [2].

Смысл работы с нечеткими множествами состоит в математической формализации размытой информации. В основе лежит представление, что элементы размытого (нечеткого) множества, обладают общим свойством в различной степени, поэтому каждый элемент требует количественного определения «насколько близко» он принадлежит своему «семейству». «Близость» можно оценить действительным числом в пределах от 0 до 1, которое в теории размытых множеств называется степенью принадлежности.

Предположим, существует размытое множество «надёжная проектная фирма». Для определения «степени принадлежности» конкретной проектной фирмы к этому множеству можно воспользоваться идеей, заложенной в работе [2], и ввести лингвистическую переменную (*очень*)ⁿ, как виртуального мостика между словами и числами. Здесь число *n* характеризует уже не «близость», а «отдаленность» конкретной фирмы от множества «надёжная проектная фирма». Использование приемов нечеткой логики позволяют связать переменную (*очень*)ⁿ со степенью принадлежности, приняв эту степень за показатель соответствия проектной фирмы требованиям тендера.

Множество требований тендерной комиссии можно представить в виде двух подмножеств. Элементы одного из них связаны с требованиями эффективности функционирования системы качества фирмы (подмножество *A*), элементы другого – с требованиями к производственным возможностям фирмы на строительном рынке с учетом ее финансового состояния (подмножество *B*). Эффективность функционирования системы качества участвующей в конкурсе проектной фирмы можно оценить через соответствие элементов системы стандарту ISO 9001. Элементы подмножества *A* приведены в табл. 4.

Таблица 4

Требования тендерной комиссии к системе качества фирмы

№	Элементы подмножества «Система качества» (подмножество А)
1	Наличие политики в области качества и системы мотивации качества
2	Соответствие ИТР и других профессий профилю работ по лоту
3	Наличие программ для повышения квалификации работников фирмы
4	Наличие и соответствие механизмов и оборудования требованиям технологических операций
5	Наличие системы документирования нормативной и технической информации
6	Наличие регулярной внутренней проверки эффективности системы качества
7	Наличие методик и процедур идентификации качества конечной продукции

Подмножество «Производственные возможности» фирмы содержит элементы, характеризующие известность фирмы на строительном рынке, в также элементы, отражающие ее финансовое состояние. Элементы подмножества *Б* приведены в табл. 5.

Таблица 5

Требования тендерной комиссии к
производственным возможностям фирмы

№	Элементы подмножества Б
1	Устойчивость финансового состояния фирмы (по показателям финансового баланса)
2	Рентабельность фирмы на протяжении последних 3-х лет (по балансовым отчётам)
3	Наличие опыта подрядной деятельности по теме тендере
4	Наличие положительных отзывов служб заказчика о ранее выполненных подрядах по заявленному виду работ
5	Соответствие материально-технического обеспечения фирмы объёму и содержанию конкурсных работ

Основной задачей эксперта является определение показателей надежности элементов подмножеств *А* и *Б*. Для решения этой задачи разработано специальное правило. Оно приведено в табл. 6 и является модификацией правил, приведенных в таблицах 1 и 3.

Таблица 6

Правило назначения надежности элементов подмножества

№	«Близость» элемента подмножества к требованию тендерной комиссии (ТК)	Ранг близости	Переменная (очень) ⁿ	Надежности элемента
1	Соответствие элемента требованию ТК <i>практически полное</i>	1.1	(очень) ^{0,01}	0,994
		1.2	(очень) ^{0,02}	0,987
		1.3	(очень) ^{0,03}	0,981
2	Отклонение элемента от требований ТК <i>ощутимое</i>	2.1	(очень) ^{0,05}	0,969
		2.2	(очень) ^{0,10}	0,939
		2.3	(очень) ^{0,15}	0,910
3	Отклонение элемента от требований ТК <i>незначительное</i>	3.1	(очень) ^{0,20}	0,882
		3.2	(очень) ^{0,30}	0,828
		3.3	(очень) ^{0,40}	0,777
4	Отклонение элемента от требований ТК <i>значительное</i>	4.1	(очень) ^{0,50}	0,730
		4.2	(очень) ^{0,60}	0,686
		4.3	(очень) ^{0,70}	0,644

5	Соответствия элемента требованиям ТК <i>практически нет</i>	5.1	<i>(очень)^{0,80}</i>	0,604
		5.2	<i>(очень)^{0,90}</i>	0,568
		5.3	<i>(очень)^{1,00}</i>	0,533
6	Соответствие требованиям ТК <i>предельно-низкое</i>	6	<i>(очень)^{1,10}</i>	0,500

Для оценки надежности фирмы в соответствии с теорией размытых множеств применяется операция пересечения подмножеств A и B . При этом можно отказаться от процедуры выравнивания показателей надежности элементов подмножеств, так как эту операцию эксперт выполнил при назначении рангов «близости». В результате формула для оценки показателя надежности проектной фирмы имеет следующий вид:

$$\mu = \min \{v, p\},$$

где v – числовое значение надежности функционирования системы качества проектной фирмы, а p – показатель ее производственных возможностей. В свою очередь значения v и p – результат пересечения соответственно элементов подмножеств A и B и определяются по формулам:

$$v = \min \{(v)_i\} \text{ и } p = \min \{(p)_i\},$$

где $(v)_i$ и $(p)_i$ – показатели соответственно надежности элементов подмножеств A и B , назначаемые экспертом по правилу, приведенному в табл. 6.

Процедура конкурсного отбора фирм в рамках предложенной методики состоит из нескольких этапов. На начальном этапе соискатели подряда предоставляют в секретариат конкурсной комиссии документацию, содержащую кроме прочих сведений подробное резюме на элементы подмножеств A и B . Независимый эксперт-исследователь производит тщательный анализ полноты и достоверности представленного соискателем резюме, оценивает и документирует фактическое состояние фирмы и предоставляет в комиссию заключение о профессиональных возможностях конкурсанта, закрепляя свое заключение числом, характеризующим надежность фирмы.

На заключительном этапе конкурсная комиссия принимает решения о победителе конкурса. Однако для принятия решения одного лишь заключения эксперта недостаточно. Необходимо располагать еще и пороговым значением надежности передачи подряда организации – участника торгов. Введение такого значения надежности продиктовано тем, что при надежности фирмы ниже порогового значения возрастает риск передачи подряда неподготовленной проектной организации. Пороговым значением надежности, при котором фирма теряет право участвовать в конкурсе, является значение, равное 0,5. Доказательством служит человеческий опыт, например, когда соответствие измеряется голосованием на различных выборах

или в судах, где мерой предельного соответствия является число 0,5 (50% голосов).

Таким образом, если надежность фирмы ниже 0,5, она теряет право участвовать в конкурсе, а если 0,5 и выше – остается в числе соискателей. Для оставшихся фирм по значению их надежности конкурсная комиссия определяет победителя – организацию, имеющую наибольшую надежность выполнения проектных работ. При этом в итоговом документе конкурса обязательно отмечаются организации, имеющие надежность ниже, чем у победителя, но выше порогового значения, рекомендуя этим победившей фирме потенциальных партнеров–субподрядчиков.

Заканчивая раздел «Менеджмент проектного риска аварии» следует отметить, что для особо ответственных зданий и сооружений целесообразно дополнительно выполнить и априорное гарантирование их конструкционной безопасности, методика которой приведена в разделе 4.3.

3.3. Контроль риска аварии при возведении объекта

При возведении объекта процедуре менеджмента риска аварии объекта в обязательном порядке подлежат сложные в инженерном отношении здания и сооружения, особенно, если они предназначены к эксплуатации в условиях массового скопления людей. Наибольшая эффективность контроля риска аварии строительного объекта достигается, если он осуществляется в режиме мониторинга конструкционной безопасности «промежуточных» зданий. Руководить мониторингом при контроле риска аварии должен ведущий эксперт. На подготовительном этапе именно он формирует «команду» мониторинга, с включением в ее состав, как узких специалистов, так и представителей проектных и научно-исследовательских институтов. К его функциям относятся:

- формирование требований на риск аварии «промежуточных» зданий;
- определение значений риска аварии «промежуточных» зданий;
- выдача рекомендаций по снижению риска аварии «промежуточного» здания в случае, если его риск превышает требуемую величину.

Под «промежуточном» зданием строительного объекта понимается его конкретная уже возведенная часть. Для вертикально ориентированных м-этажных строительных объектов «промежуточными» зданиями являются отдельно нулевой цикл объекта («0» – этаж) и возведенные части объекта, содержащие «0»-й этаж и $k = 1, 2, \dots, m$ его этажей (рис. 13). За «промежуточные» здания у горизонтально ориентированного строительного объекта принимаются возведенные пролеты объекта или части этих пролетов между осадочными и/или температурными швами.

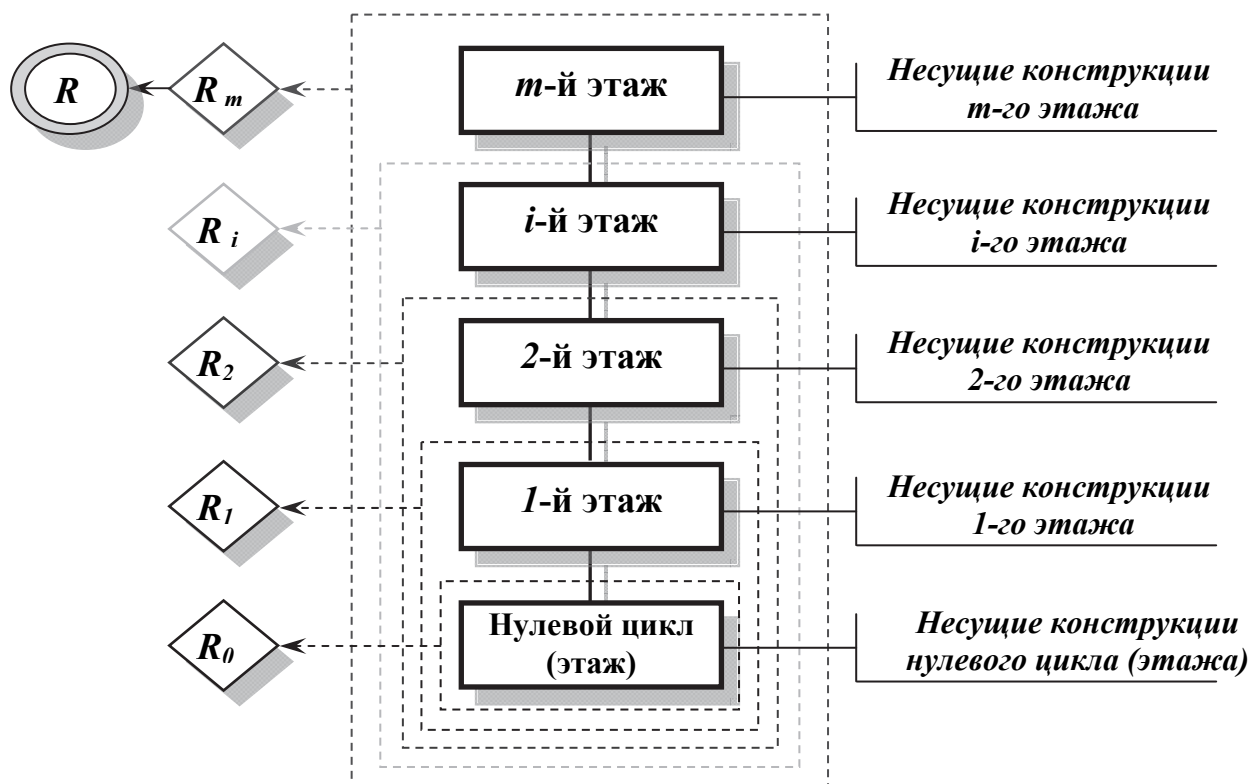


Рис. 13. «Дерево» состояний и «промежуточные» здания вертикально ориентированного объекта

Формирование требований на риск аварии «промежуточных» зданий базируется на знании максимально допустимого риска аварии объекта в целом R_D . При этом риск аварии «промежуточного» здания не должен превышать величины $R^* = 1/(v_n)^{n^*}$, где n^* – число групп однотипных конструкций несущего каркаса «промежуточного» здания объекта, а v_n – виртуальная надежность группы, при которой риск аварии объекта не будет ниже максимально допустимого значения R_D . Этот показатель определяется по формуле $v_n = (R_D)^{-1/n}$, где n – число групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта в целом. Ниже приводится пример формирования требований к величине риска аварии «промежуточных» зданий 4-этажного строящегося объекта. Пусть несущий каркас объекта на нулевом цикле имеет 4-е группы однотипных конструкций и по 3-и группы на каждом этаже. Согласно раздела 2.3 за величину максимально допустимого риска аварии объекта в целом примем $R_D = 2$. Вначале определяется значение величины $v_n = 2^{-1/(4+3+3+3+3)} = 0,9576$; затем, начиная с «0»-го цикла объекта, рассчитывается величина максимально-допустимого риска аварии для каждого «промежуточного» здания объекта по формуле: $R^* = 1/(0,9576)^{n^*}$, где n^* – число групп однотипных конструкций несущего каркаса «промежуточного» здания объекта. Итак:

– нулевой цикл объекта («0» – этаж):

$$R_0^* = 1/(0,9576^4) = 1,189;$$

–1-е «промежуточное» здание («0» + 1-й этаж):

$$R_1^* = 1 / [0,9576^{(4+3)}] = 1,354;$$

–2-е «промежуточное» здание («0» + 1 + 2-й этаж):

$$R_2^* = 1 / [0,9576^{(4+3+3)}] = 1,542;$$

–3-е «промежуточное» здание («0» + 1 + 2 + 3-й этаж):

$$R_3^* = 1 / [0,9576^{(4+3+3+3)}] = 1,756;$$

–4-е «промежуточное» здание («0» + 1 + 2 + 3 + 4-й этаж):

$$R_4^* = 1 / [0,9576^{(4+3+3+3+3)}] = 2,000.$$

Максимально допустимые значения риска аварии приведена на рис. 14.

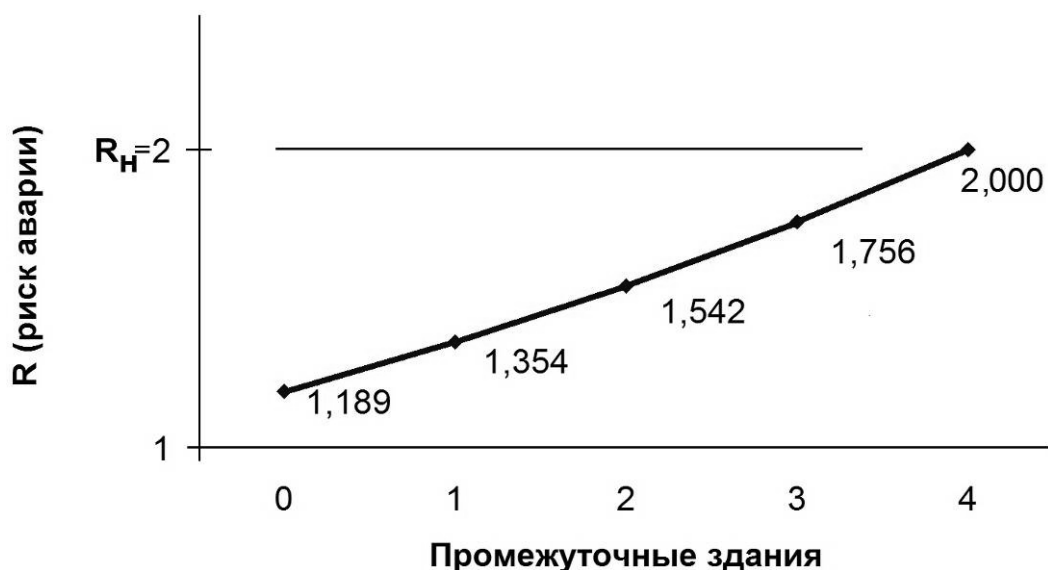


Рис. 14. Карта риска для 4-х этажного объекта

Регламентом мониторинга «промежуточного» здания является «дерево» его несущего каркаса – иерархическая последовательность возведения n^* групп однотипных несущих конструкций. Оно должно содержать сведения о технических характеристиках групп и может использоваться как формат для показателей надежности этих групп. Формат «дерева» показан в табл. 7.

Таблица 7

Формат «дерева» несущего каркаса «промежуточного» здания объекта

№	Название группы однотипных конструкций	Техническая характеристика группы	Показатель надежности группы
1	V_1
...
n^*	V_{In^*}

Мониторинг уже возведенного «промежуточного» здания объекта включает в себя диагностику физического состояния групп однотипных конструкций. По ее результатам эксперт составляет ведомость дефектных

конструкций (табл. 8). В нее от каждой группы включаются наиболее дефектные конструкции с подробным описанием их физического состояния, оцененного экспертами, как по внешним признакам, так и с использованием методов неразрушающего контроля. Для каждой включенной в ведомость дефектной конструкции эксперт устанавливает ранг ее опасности, а затем по правилу, приведенному в табл. 1, показатель ее надежности.

Таблица 8

Ведомость дефектных конструкций

№	Название групп однотипных конструкций	Дефектные конструкции и описание их физического состояния	Показатели надежности конструкций
1	$\{v_{1lj}\}$
...
i	$\{v_{lij}\}$
...
n*	$\{v_{inj}\}$

Назначение ранга опасности дефектной конструкции – ответственная операция. Ранг опасности должен назначаться ведущим экспертом после тщательного анализа приведенной в табл. 8 информации о физическом состоянии дефектных конструкций. При назначении ранга эксперт обязан учесть и значимость этой конструкции в составе несущего каркаса объекта. В особых случаях принятое решение о ранге опасности конструкции следует подтвердить специальными расчетами и/или испытаниями на моделях и натуральных образцах. При назначении ранга эксперт может воспользоваться информацией табл. 9, где приведена база о возможных ошибках строителей. Использование этой информации не освобождает эксперта от определения соответствия упущений строителей действительной их цене. Когда ранги опасности дефектных конструкций экспертом выявлены и показатели их надежности установлены, они заносятся в табл. 8.

Таблица 9

База данных. Примерный перечень ошибок строителей

1. Основания зданий и сооружений
1.1. Осадки и крены основания превышают норму на их величину
1.2. Здание посажено на склон, расчета устойчивости склона нет, склон по оценке эксперта неустойчив
1.3. Полное замачивание грунта основания на глубину более 0,5 м.
1.4. Замачивание просадочных, набухающих и элювиальных неводонасыщенных грунтов основания до степени влажности >50%
1.5. Промораживание водонасыщенных грунтов

1.6. Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания и переход основания в зиму без утепления
1.7. Изменение гидрогеологической обстановки на участке, вода в подвалах и в технических подпольях, гидроизоляция нарушена
1.8. Отсутствие зазора под подошвой ростверка свайного основания при пучинистом грунте
1.9. Свайное основание. Сквозные вертикальные трещины в ростверке
2. Фундаменты зданий и сооружений
2.1. Сквозные вертикальные трещины в цоколе здания
2.2. Повреждения и разрушения фундаментных блоков
2.3. Трещины в фундаментной плите
2.4. Класс бетона в фундаментной плите не соответствует классу, принятому в проекте
3. Несущий каркас
3.1. Узлы сопряжения смежных конструкций выполнены не в соответствии с проектным решением, обнаружена несоосность в узлах
3.2. Целостность связевых конструкций нарушена
3.3. Отклонение колонн от вертикали выше нормативного допуска
3.4. Неправильное размещение связей и жестких диафрагм
3.5. Повреждены наружные стены, есть трещины в облицовке и в стенах
3.6. Коррозионные разрушения закладных деталей
3.7. Трещины в перекрытии
3.8. Выявлены несоответствия класса бетона и стали требованиям проекта
3.9. Дефекты сварных швов
3.10. Оголение и сильная коррозия арматуры, местами разрывы арматуры
3.11. Низкая прочность бетона в сжатой зоне конструкции, крупные выбоины и сколы бетона в сжатой зоне конструкции
3.12. Коррозия металла в несущих металлических конструкциях
3.13. Видимые простым глазом деформации конструкции
3.14. Несоответствие класса стали требованию проекта
4. Большепролётные покрытия
4.1. Прогиб конструкции превышают расчётный, следовательно, конструкция содержит опасный дефект, грозящий аварией
4.2. Коэффициент неоднородности бетона в ж/б оболочке не учтен
4.3. Армирование опорного контура выполнено в нарушение нормативных указаний
4.4. Нарушен регламент бетонирования железобетонной оболочки
4.5. Квалификация сварщиков не соответствует требованиям монтажа сборки полотен мембраны
4.6. Ванты, как несущий элемент висячего покрытия, не прошли операцию преднапряжения для снятия релаксации
4.7. Оконечные детали крепления тросов не прошли прочностной контроль

5. Контроль материалов, изделий и сборных конструкций
5.1. Нет проверки паспортов, сертификатов, технических свидетельств. Контроль поставляемой продукции проекта не организован.
5.2. Выборочные испытания материалов наиболее сложных конструктивных узлов не выполнялись
5.3. Проверка монтажных устройств для укрупнительной сборки металлических конструкций не проводилась

Когда показатели надежности дефектных конструкций, относящихся к i -й группе однотипных конструкций каркаса «промежуточного» здания объекта, определены, производится оценка надежности i -й группы. При этом предполагается, что закон распределения для показателей надежности в группе равномерный, что соответствует действительности. Поэтому, при среднестатистической оценке риска аварии «промежуточного» здания, формула для определения показателя надежности группы приобретает вид:

$$v_i = [1 + \min \{v_{ij}\}] / 2.$$

При известных значениях показателя надежностей (v_i) всех групп однотипных конструкций «промежуточного» здания риск его аварии рассчитывается по формуле:

$$R_c^* = 1 / \prod v_{ij},$$

где $\prod v_{ij}$ – произведение показателей надежностей всех групп однотипных конструкций несущего каркаса «промежуточного» здания, а индекс $i = 1, 2, 3 \dots n^*$.

Полученное значение риска аварии «промежуточного» здания объекта считается приемлемым, если справедливо неравенство: $R < R^*$, где R^* – максимально допустимая величина для риска аварии исследуемого «промежуточного» здания. В случае, если фактический риск аварии «промежуточного» здания превысил требуемую из условия его конструкционной безопасности величину риска аварии R^* , то в режиме реального времени производится регулирование риска аварии. При этом информация о величине риска аварии «промежуточного» здания объекта позволяет принять управленческое решение и в режиме «on-line» осуществить регулирование риска, что существенным образом меняет ситуацию при возведении следующего «промежуточного» здания объекта.

Регулирование риска аварии – это неотъемлемая часть мониторинга конструкционной безопасности «промежуточного» здания. Ее главный принцип: расследование причин недостаточного уровня конструкционной безопасности «промежуточного» здания объекта и построение на основе этого расследования оптимальной тактики и стратегии производства работ по снижению риска аварии. Основным способом снижения риска аварии – ликвидация опасных дефектов в реально существующих конструкциях.

Если ликвидировать дефекты в конструкции не удастся по техническим или каким-либо другим причинам, то следует применить дублирующую конструкцию (монолитные пояса жесткости, шпренгельные системы и др.), заменяющую и исполняющую функции дефектной конструкции в составе несущего каркаса и прошедшую в обязательном порядке две стадии:– расчетную и проектную.

В процедуре регулирования риска аварии объекта можно использовать способ адаптивного управления параметрами фундаментов и оснований при возведении объекта. Суть этого способа заключается в том, что основание и фундамент объекта рассматривается как система, адаптирующаяся к меняющимся при его строительстве обстоятельствам, связанные с текущим состоянием фундамента и грунтового основания. Именно они вносят наибольший «вклад» в риск аварии системы «основание – несущий каркас» объекта. В практике проектирования психология построена таким образом, что любые сомнения в несущей способности оснований и фундаментов трактуется в сторону создания дополнительных запасов, т.е. в предположении «наихудшего сценария», даже если вероятность его мала, а это значительно увеличивает стоимость объекта

Аналог и прототип способа адаптации оснований и фундаментов объекта – это корневая система дерева. Действительно, корни дерева вырастают «по мере необходимости» в зависимости от тех грунтов и тех ветровых воздействий в местности, где дерево растет. При увеличении ветровых воздействий (например, если дерево попадает на прорубленную просеку), корни его увеличиваются до необходимого размера.

Применение этого способа в процедуре мониторинга позволяет в случае необходимости «достроить» фундамент или упрочнить грунты до необходимого уровня надежности. При этом возникновение «запредельной ситуации» можно предсказать задолго до завершения строительства, например, по результатам наблюдений при возведении первых этажей здания. Поэтому строительство можно продолжать, но одновременно, в случае необходимости, вести работы по упрочнению грунтов или усилению фундаментов по заранее подготовленному проекту, который получил название «отложенного решения». В арсенале строителей имеется множество способов, которые могут рассматриваться как «отложенное решение» – инъекционное упрочнение грунтов, подведение вдавливаемых свай, свай «РИТ» и др.; эти способы широко применяются для усиления фундаментов при реконструкции объекта. При необходимости может быть изменена последовательность возведения здания. Отдельные результаты применения этих способов при строительстве зданий и сооружений опубликованы в статьях и сборниках научных трудов [81–85].

На заключительном этапе мониторинга ведущий эксперт оформляет отчет, включающий в себя информацию о фактически достигнутых значениях риска аварии всех «промежуточных» зданий исследуемого объекта.

При этом значение риска аварии последнего «промежуточного» здания – это и есть фактический риск аварии для объекта в целом, который заносится в его паспорт – документ, подтверждающий или не подтверждающий факт его соответствия требованиям норм конструкционной безопасности.

Примечание. В приложении 2 книги приведен пример на изложенную в этом разделе тему: «Менеджмент риска аварии строящегося объекта».

3.4. Контроль риска аварии объекта при его эксплуатации

Технология менеджмента риска аварии для объектов, находящихся в эксплуатации, имеет свои особенности, как при идентификации риска аварии, так и при его оценке. Так, закон, который характеризует распределение плотности вероятностей для показателей надежности конструкций в группах, для эксплуатируемых зданий и сооружений принципиально отличен от закона для строящихся объектов. Его параметрами являются уже две величины: одна из них p_1 – это надежность наиболее дефектной в группе конструкции, другая – это число k в пределах от 0 до 1, которое характеризует различие в плотности вероятности надежностей крайних конструкций в группе. Вид закона показан на рис. 15.

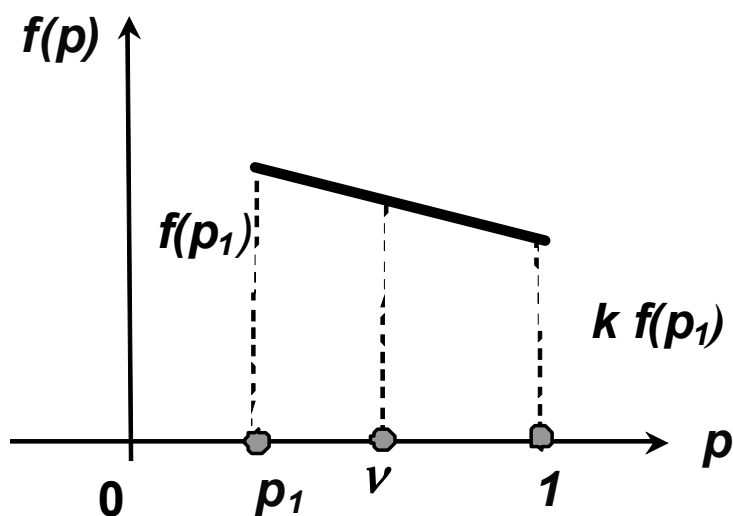


Рис. 15. Закон распределения плотности вероятности для показателей надежности конструкций в группах эксплуатируемых зданий и сооружений

Исходя из теории квалиметрии, можно утверждать, что параметры p_1 и k – это «единичные» показатели конструкционной безопасности объекта. Для назначения параметра p_1 экспертом в группах отыскиваются наиболее дефектные конструкции и оценивается их соответствия тем требованиям норм (проекта), которые отвечают за прочность, жесткость и устойчивость конструкции. Степень этого соответствия принимается за показатель надежности конструкции. Определяется p_1 по правилу табл. 1.

Значение же параметра k зависит в основном от «возраста» объекта и от ошибок, которые были допущены при его эксплуатации. Для его определения, например, можно воспользоваться формулой:

$$k = 1 - s^*/S,$$

где S – общая площадь, занимаемая группой однотипных конструкций, а s^* – та ее часть, которая была подвержена негативному воздействию (действие агрессивной среды, затопление, промораживание и др.). В общем же случае, назначение коэффициента k – это одна из сложных функций эксперта-исследователя.

О процедуре диагностики. Обследование объекта начинается с осмотра фасада здания и определения с помощью специальных приборов пространственного положения его угловых точек. Такой осмотр преследует цель выявления возможных подвижек грунтового основания и дефектов фундамента, открытый доступ к которым, как правило, затруднен. При осмотре экспертами фиксируются все видимые трещины наружных стен, их направление, а также ширину их раскрытия. При сплошном визуальном-инструментальном осмотре технического состояния надземных конструкций применяются простые инструменты и приборы (отвес, прибор для измерения прочности бетона, прибор для измерения глубины и ширины раскрытия трещин, линейка и др.). При осмотре фиксируются оголение арматуры, сколы бетона, повреждения защитного слоя, коррозия арматуры, закладных деталей, сварных швов, нарушения опорных устройств конструкций, их прогибы.

Оценка состояния грунта основания и фундаментов – это ответственный этап обследования. При затрудненном доступе к ним используются косвенные признаки снижения их несущей способности. Например, наличие трещин наружных стен на всю высоту здания. Или смещение колонн, связей, опорных устройств перекрытий, отрыв внутренних стен от наружных, неравномерные осадки фундамента и др. В случае, если доступ к основанию и фундаменту возможен, то при наличии проб грунта оценивается соответствие грунта основания данным проекта. При разуплотнении грунта устанавливаются причины разуплотнения (замачивание, суффозия и др.) и замеряется мощность нарушенного слоя. При набухающих, просадочных и пучинистых элювиальных грунтах проверяется уровень грунтовых вод, устанавливаются зоны замачивания, и замеряется глубина увлажнения. При необходимости берут пробы грунта для испытаний в лаборатории с целью получения исходных данных для расчета осадок основания; при этом испытанию подлежат параметры, входящие в формулы для определения осадок – плотность грунта ($\text{тс}/\text{м}^3$), модуль деформации (МПа), угол внутреннего трения (град.) и удельное сцепление (КПа).

В специальной литературе и нормах изменение природных свойств грунта рекомендуется оценивать по изменению его влажности, плотности и коэффициенту пористости. Выявляются они соответствующими испыта-

ниями проб нарушенного грунта. При нарушениях естественной структуры грунта, вызванных, например, замачиванием, разуплотнением, промораживанием-оттаиванием, снижаются механические свойства и характеристики грунтов, и как следствие, увеличивается деформативность грунта основания. Повышение деформативности основания ведет к увеличению осадок фундамента и, главное, к неравномерности этих осадок (крену), что отражается на конструкционной безопасности исследуемого объекта.

При оценке физического состояния металлических колонн проверяют их соответствие узлов сопряжения со смежными конструкциями проектного решению и вертикальность колонн, а также наличие и целостность связевых конструкций. При осмотре железобетонных колонн проверяют зоны крепления к ним балок, вертикальность колонн и их взаимное расположение на опорах.

Признаками повреждения наружных стен является наличие трещин в элементах облицовки и в самой стене, увлажнение стены, рыхлость структуры материала стены, отклонение от вертикали, коррозионные разрушения материала стены и закладных деталей. Дефекты внутренних стен и перегородок аналогичны дефектам наружных стен. Для них наиболее опасным дефектом является выпучивание, крены и трещины в местах сопряжения с наружными стенами и перекрытием.

При осмотре перекрытий фиксируются: длина и ширина раскрытия трещин в несущих элементах и в их сопряжениях, фактическая нагрузка, несоответствие класса бетона и стали требованиям проекта. Кроме этого фиксируется наличие увлажнений на поверхности перекрытий и, как следствие, пятна ржавчины, появившихся из-за коррозии металла в конструкции, дефекты сварных швов и не санкционированные проектом отверстия в плитах перекрытия. Существуют и скрытые, наиболее сложно выявляемые дефекты несущих конструкций перекрытий. Для выявления таких дефектов используются методы неразрушающего контроля.

На этапе диагностики к функциям эксперта относится не только обнаружение и фиксация дефектов в конструкциях несущего каркаса, но и принятие мер корректирующего воздействия для снижения степени опасности этих дефектов. Если на этом этапе дефекты устранить не удастся, то эксперт производит описание дефектов конструкций, приводит информацию об отклонениях ее параметров от требований проекта и по формату, показанному в табл. 10, составляет ведомость наиболее дефектных конструкций.

Таблица 10

Ведомость дефектных конструкций в группах

Название группы	Привязка наиболее дефектной конструкции	Описание физического состояния конструкции	Эскиз (фото) дефекта
-----------------	---	--	----------------------

Для каждой включенной в ведомость дефектной или поврежденной конструкции по правилу табл. 1 эксперт-исследователь устанавливает ранг опасности, а затем и показатель ее надежности. Как уже отмечалось ранее, назначение ранга опасности дефектной конструкции – весьма ответственная операция. Он назначается ведущим экспертом после анализа информации о физическом состоянии дефектных (поврежденных) конструкций. В ряде случаев принятое решение о ранге опасности конструкции следует подтвердить расчетами и/или испытаниями на моделях.

Существуют дефекты, опасность которых растет с изменением их количественных характеристик: раскрытие трещин в железобетонных и бетонных конструкциях, величины прогибов балок, ригелей, плит, оболочек, отклонений от вертикали колонн, свай, диафрагм и т.п. Более того, нарушения в одних элементах могут вызвать увеличение отступлений от норм в других. Накладываясь друг на друга, они нелинейно способствуют росту аварийных угроз. И эксперт должен это понимать, и, отталкиваясь от установленных в таблицах категорий и рангов, корректировать их.

Для облегчения процедуры по назначению ранга опасности в табл. 11 приведены дефекты конструкций, ранг опасности которых по градации табл. 1, приблизительно равен 6.0. Для формирования таблицы было опрошено достаточное число узких строительных специалистов. Полученная от них информация была проанализирована группой профессиональных экспертов, систематизирована и внесена в табл. 11.

Таблица 11

Перечень опасных дефектов несущих конструкций объекта

ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Полное замачивание грунта основания на глубину более 0,5 м. 2. Замачивание просадочных, набухающих и элювиальных неводонасыщенных грунтов основания до степени влажности >50%. 3. Промораживание водонасыщенных грунтов под подошвой фундамента на глубину более 3 см. 4. Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания 5. Отсутствие зазора между основанием и подошвой ростверка при пучинистых грунтах
СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Повреждения и разрушения блоков фундамента 2. Сквозные вертикальные трещины в ростверке и/или цоколе 3. Диагональные трещины по углам ж/б стеновых панелей. 4. Вертикальные трещины в стыках, местах установки балконных плит. 5. Ненормативные смещения колонн от вертикали 6. Смещения ж/б панелей, трещины в панелях, разрушение крепления. 7. Глубокие поперечные трещины в плитах перекрытия с оголением арматуры, заметный прогиб плит 8. Трещины на опорных участках плит перекрытия

КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И МОНОЛИТНОГО Ж/Б	
1.	Вертикальные трещины в колоннах, простенках, разрушение и расслоение кладки.
2.	Нарушение связи отдельных участков кладки, следы увлажнения стен.
3.	Трещины в различных направлениях в растянутой зоне конструкции.
4.	Следы постоянного увлажнения бетона.
5.	Оголение и сильная коррозия арматуры.
КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА	
1.	Наличие пятен язвенной коррозии металла
2.	Наличие трещин усталостного характера

Как уже отмечалось ранее (в разделе 3.2), прогноз риска аварии объекта, находящегося в эксплуатации, должен быть на статистической основе. Поэтому для решения задачи прогноза риска аварии использован метод виртуальных статистических испытаний, известный в литературе как метод Монте-Карло. Виртуальные испытания осуществляются на математической модели $r = 1/Pr_i$, связывающей случайную величину риска аварии исследуемого объекта r с показателями надежности групп однотипных конструкций p его несущего каркаса. В методе исходными данными для построения статистического ряда распределения являются случайные наборы представителей p от групп однотипных конструкций. При этом каждый набор значений p моделирует одну из возможных аварийных ситуаций объекта. В итоге задача по построению статистического распределения риска аварии объекта сводится к разыгрыванию в каждой группе конструкций случайной величины p на основе закона ее распределения (рис. 14), полученного на конкретный момент времени эксплуатации исследуемого объекта.

Разыгрывание случайной величины p базируется на ее связи с другой случайной величиной, для которой в компьютере имеется устройство для ее генерации. Это – равномерно распределенная в интервале $[0; 1]$ случайная величин q . Общая формула для разыгрывания случайной величины p отыскивается из решения интеграла $\int f(p) dp = q$ в пределах от p_1 до p . Вид функции $f(p)$ известен, он приведен в разделе 2.5. После подстановки в нее значений «единичных» показателей p_1 и k для конкретной группы конструкций объекта и последующего интегрирования получает формулу для разыгрывания. Она имеет следующий вид:

$$p = p_1 + [q(1+k)(1-p_1)^2]/(1-kp_1).$$

Алгоритм одного испытания риска аварии исследуемого объекта состоит из следующих трех шагов:

1. Генерируется случайная величина q ;

2. По формуле для разыгрывания формируется массив представителей значений надежностей p от каждой группы конструкций объекта и по формуле $r = 1/Pr$, определяется одно значение его риска аварии r .

3. Из N повторов позиций 1 и 2 алгоритма, формируется статистический ряд случайной величины риска аварии r . При этом число испытаний не должно быть менее $N=10^5$.

При наличии статистического ряда случайной величины $r = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ математическое ожидание Mr случайной величины r (среднее значение о риска аварии R_ϕ определится по формуле:

$$R_\phi = Mr = (r_1 + r_2 + \dots + r_N)/N,$$

где N – число испытаний риска аварии. Среднеквадратичное отклонение риска аварии σ от его среднего значения R_ϕ определяется по формуле:

$$\sigma^2 = Mr^2 - (Mr)^2,$$

где (Mr^2) – математическое ожидание случайной величины r^2 .

Конструкционная безопасность эксплуатируемого строительного объекта считается обеспеченной, если справедливо следующее неравенство:

$$(R_\phi - \sigma) < R_{KP} = 32,$$

где $R_{KP} = 32$ – критическое значение риска аварии. Если это неравенство справедливо, то необходимо произвести оценку (в годах) безопасного остаточного ресурса T_{BO} объекта, который необходим для определения срока эксплуатации объекта до начала капитального ремонта. Если это неравенство не удовлетворяется, то рекомендуется построить столбчатую диаграмму показателей надежностей всех n групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта, которая позволяет оценить «вклад» каждой группы конструкций в величину риска аварии эксплуатируемого объекта и принять управленческое решение. Для этой цели на ней проводится прямая линия с ординатой, равной виртуальному значению надежности $v_{KP} = (R_{KP}) - 1/n$, при котором еще обеспечивается выполнение вышеприведенного неравенства.

На основе анализа результатов исследования конструкционной безопасности находящегося в эксплуатации здания (сооружения) ведущий эксперт готовит заключение, в котором приводит рекомендации о возможном характере ремонта (текущий или капитальный) и сроке его проведения. При этом эксперт должен определить оптимальную тактику и стратегию производства ремонтно-восстановительных работ по снижению риска аварии исследуемого объекта. При высоких значениях риска аварии объекта, когда производство ремонтно-восстановительных работ по снижению риска аварии экономически не оправдано, эксперт может рекомендовать здание к ликвидации (сносу). При этом эксперт должен дать рекомендации относительно порядка его разборки, чтобы избежать неожиданного и несанкционированного обрушения конструкций этого объекта.

Примечание. В приложении 2 книги приведено два примера на тему «Менеджмент риска аварии эксплуатируемого строительного объекта».

Наличие статистического ряда случайной величины $r = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ позволяет построить интегральный или дифференциальный закон распределения риска аварии объекта. Однако на практике, учитывая, что закон распределения риска аварии для эксплуатируемых объектов имеет ограниченное время действия, целесообразно оперировать не с законами, а со статистическим распределением риска аварии в форме гистограммы. Она показана на рис. 16.

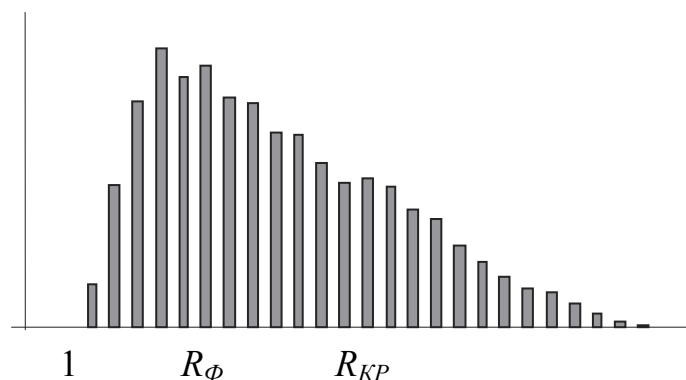


Рис. 16. Гистограмма распределения риска аварии

По гистограмме можно определить характеристики распределения, более того, простой подсчет площадей под гистограммой дает оценку вероятности того или иного события. Например, площадь под гистограммой в пределах от 1 до R_{KP} дает оценку вероятности события, что здание отвечает требованиям конструкционной безопасности. Если полученную таким образом площадь вычесть из единицы, получим вероятность, что здание находится в аварийном состоянии. Такие значения вероятностей представляют интерес, например, в технологиях назначения тарифа при страховании объекта на случай аварии. Возможны и другие практические приложения гистограммы. При наличии статистического ряда случайной величины $r = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ среднее значение фактического риска аварии R_ϕ (математическое ожидание Mr случайной величины r) определится по формуле:

$$R_\phi = Mr = (r_1 + r_2 + \dots + r_N) / N,$$

где N – число испытаний риска аварии здания. Среднеквадратичное отклонение риска аварии σ^2 от среднего значения можно найти по формуле:

$$\sigma^2 = Mr^2 - (Mr)^2,$$

где $(Mr)^2$ – математическое ожидание случайной величины r^2 .

Если неравенство $(R_\phi - \sigma) < R_{KP} = 32$ справедливо, то необходимо произвести оценку (в годах) безопасного остаточного ресурса T_{BO} объекта, который необходим для определения срока эксплуатации объекта до начала

капитального ремонта. Остаточный ресурс рассчитывается по формуле (см. раздел 2.5):

$$T_{BO} = [T_{\phi} \cdot (32 - R_{\phi})] / (R_{\phi} - 1),$$

где T_{ϕ} – фактический срок эксплуатации объекта, а R_{ϕ} – его текущий риска аварии. Если $R_{\phi} > 32$, то безопасный ресурс объекта уже исчерпан, объект начинает терять свои первоначальные функции и постепенно переходит в аварийное состояние.

Закачивая тему менеджмента риска аварии, следует отметить роль модели деградации (рис. 10) в ее процедурах. Модель дает возможность определить вид физического состояния объекта и принять меры по снижению его риска аварии. В табл. 12 эти меры систематизированы.

Таблица 12

Вид состояния объекта

Риск аварии	Износ несущего каркаса, %	Состояние объекта	Меры по снижению риска аварии объекта
до 15	0 – 40	Безопасное	Не требуются
до 32	41– 68	Предаварийное	Текущий ремонт
до 83	69 – 95	Аварийное	Капитальный ремонт
после 83	96 –100	Ветхо-аварийное	Вывод из эксплуатации

И последнее. В технологиях менеджмента риска аварии целесообразно использовать так называемую экспертную систему – человеко-машинный комплекс, сочетающий в себе математические методы, законы физики, информационные технологии с опытом, инженерной интуицией и смекалкой людей, освоивших профессию «эксперт».

3.5. Экспертная система для контроля риска аварии объекта

Экспертная система (expert system) – компьютерная программа, способная частично заменить эксперта-исследователя в решении задач контроля и управления риском аварии объекта. В теории информатики экспертные системы рассматриваются совместно с базами знаний как модели поведения экспертов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений. Под базой знаний понимается совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности.

Наиболее развиты экспертные системы в области медицины (они способны ставить редкие диагнозы больным с большой точностью) и оценки экологических последствий техногенных и геосферных влияний на окружающую среду. Основам применения, принципам работы и устройству экспертных систем посвящена глава в руководстве по оценке экологиче-

ских последствий для развивающихся стран (EIA for Developing countries) [76], где подробно описан принцип работы системы.

В настоящее время активно разрабатываются экспертные системы в строительстве. Видимо, это связано с оживлением в области объектно-ориентированного программирования и введения механизма обратной связи, состоящего из трех шагов: приобретение опыта, применение опыта и управление данными [77]. В области конструирования разработана экспертная система "HI-RISE", которая оптимизирует проектные решения зданий на ранних стадиях проектирования, обеспечивает выбор основных планировочных решений зданий и сооружений (конфигурацию, сетку колонн, конструктивные решения).

Для исследования строительных материалов разработана экспертная система "WADI", которая на основе динамических нагрузок, качества и свойств подпорных стен исследует возможные виды повреждений и дает рекомендации по их устранению [77]. Интерес представляет и экспертная система "SPERIL", предназначенная для оценки разрушений и повреждений зданий от различного вида нагрузок и их сочетаний [78].

В этом разделе рассматривается структура экспертной системы по обеспечению конструкционной безопасности зданий и сооружений. Она – основной рабочий инструмент эксперта при контроле величины риска аварии строительного объекта на разных стадиях его жизненного цикла. Принципиальная схема экспертной системы приведена на рис. 17.

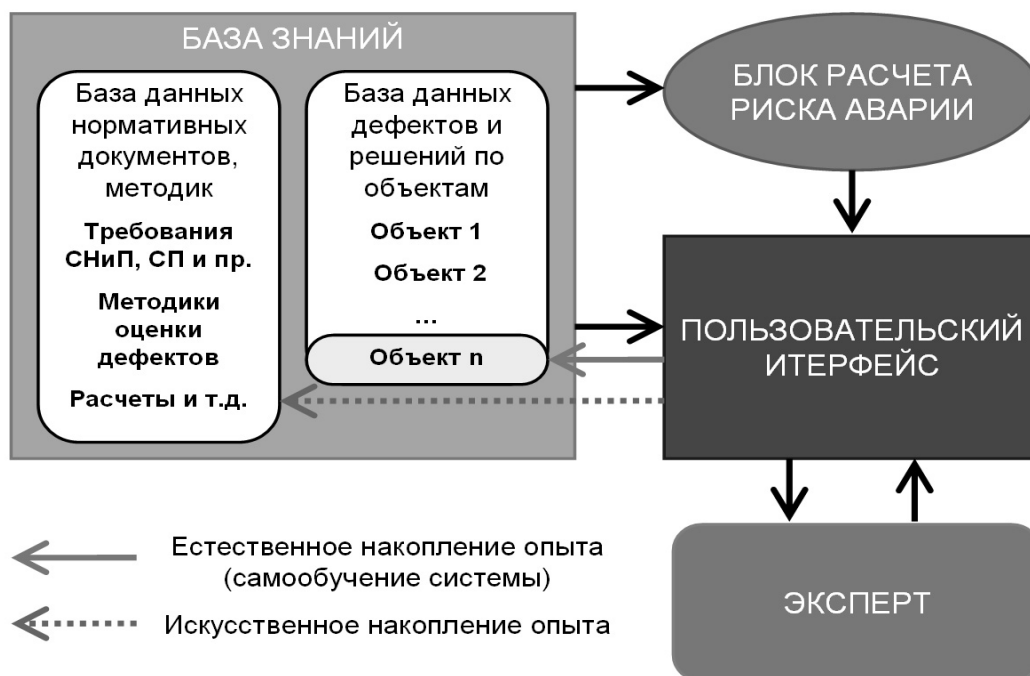


Рис. 17. Структура экспертной системы для контроля риска аварии

Разработчик экспертной системы, автор работ [5, 6], так определил основные задачи созданной им экспертной системы:

- накопление в базе знаний данных о проектных решениях, нормативах, типовых дефектах и соответствующих им уровней опасности;
- корректировка оценок эксперта с учетом его квалификации, знаний и опыта, накопленного экспертной системой;
- применение встроенного математического аппарата для расчета риска аварии в процессе создания и эксплуатации зданий и сооружений.

Ключевым элементом экспертной системы является сам эксперт. Он одновременно является «учителем» и «глазами» экспертной системы. Задача эксперта сводится к оценке проектных решений, отклонений и дефектов с последующим присвоением им уровней опасности. Он, опираясь на собственный опыт, результаты инструментального, визуального обследования, результаты испытаний и расчетов и руководствуясь правилами табл. 1 и 3 оценивает проектные решения или конструкции здания в процессе строительства и эксплуатации. Таким образом, формируется база данных по отдельному объекту. Предоставляемые данные об объекте формализуются и заносятся в базу знаний, происходит “самообучение системы” через естественное накопление опыта. Кроме того, эксперт может оценить влияние на конструкционную безопасность отклонений и дефектов, изложенных в нормативной и научной литературе (таких как схемы операционного контроля качества строительных, ремонтно-строительных и монтажных работ [30], рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам [18]). При такой оценке целесообразно привлекать узких специалистов, имеющих большой опыт в оценке и понимании работы определенных типов конструкций. Так происходит искусственное накопление опыта. Все данные, предоставленные экспертом, попадают в базу знаний. База знаний представляет собой n-мерный массив систематизированных данных, где каждому отдельному решению (дефекту, отклонению) присвоен ранг опасности. Версия базы знаний экспертной системы приведена ниже.

Базы данных по объектам – это базы, составляемые в процессе проведения экспертизы отдельных зданий, сооружений или проектов. Они включают в себя данные об обнаруженных дефектах, отклонениях от норм, административные данные (назначение, адрес строительной площадки, срок строительства или эксплуатации); сведения об участниках строительства (заказчик-инвестор, генподрядчик, проектная организация, ответчик за инженерно-геологические изыскания, поставщики материалов и изделий); сведения конструктивного характера (тип здания, число этажей, тип фундамента и основных несущих конструкций); сведения о грунтовой обстановке (вид грунта основания, особые свойства грунта, характеристика грунтовых вод); сведения о примененных материалах и изделиях (тип, марка, прочностные характеристики) и сведения о нагрузках (полезная, временная, постоянная на фундамент, на несущие стены и перекрытия).

В основу расчетного блока положен свод правил по регулированию риска аварии, базирующийся на принципах квалиметрии [1]. Блок расчета – “черный ящик”, в котором содержатся математический и логический аппараты обработки данных и расчета риска аварии с учетом мнения эксперта и накопленных в базе знаний данных.

В результате обучения системы в базе знаний по каждому отдельному дефекту формируется статистический ряд оценок (мнений экспертов). При расчете риска аварии для отдельного объекта, накопленная база знаний экспертной системы повлияет на результат, а данные о дефектах и решениях пополнят базу знаний. В случае если эксперт примет ошибочное решение о назначении ранга опасности, экспертная система, прошедшая обучение, отбросит его оценку и оценит дефект, руководствуясь собственным опытом. Кроме того, экспертная система должна иметь пользовательский интерфейс, интуитивно понятный любому, даже малоопытному, пользователю персонального компьютера.

В общем случае для формализации информации применима база данных – это организованная в соответствии с определёнными правилами и поддерживаемая в памяти компьютера совокупность данных, характеризующая актуальное состояние некоторой предметной области и используемая для удовлетворения информационных потребностей пользователей [27]. База знаний представляет собой иерархическую базу данных, в которой верхний уровень занимают род конструкций (металлические, железобетонные), второй – тип конструкции и т. д. (на каждом следующем уровне количество элементов увеличивается).

Для правильного накопления информации в базе знаний необходимо четко формализовать и классифицировать проектные решения, дефекты и отклонения конструкций. Предлагаемый порядок формализации данных представляет собой пополняемый n -мерный массив данных, в котором каждому дефекту (отклонению, решению), соответствует статистический ряд рангов опасности, назначенных экспертами в результате обследований, измерений, расчетов или исходя из личного опыта. Чтобы повысить обоснованность величины риска аварии зданий и сооружений и учесть многочисленные факторы, оказывающие влияние на результат, необходим разносторонний анализ, основанный как на расчетах, так и на аргументированных суждениях специалистов по конкретным типам конструкций. Важно понимать, что ни один эксперт не может обладать знаниями и опытом, позволяющим безошибочно определить ранг опасности для любого проектного решения или конструкции. При пополнении статистического ряда рангов опасности проектных решений и дефектов осуществляется обработка результатов методом обобщения экспертных оценок [22]. Для учета квалификации эксперта предлагается ввести коэффициенты веса, представляющие собой коэффициент уверенности k_c в назначенном ранге опасности и коэффициенты знаний эксперта k_a , полученные в результате

аттестации эксперта по типам конструкций на типовом аттестационном задании, утвержденном специалистами по различным типам конструкций. Необходимо отметить, что коэффициенты k_c и k_a являются вероятностными и их значение варьируются от 0 (полная неуверенность) до 1 (полная уверенность) и не имеют ничего общего с коэффициентами уверенности, предложенными Бухананом и Шортлиффом в 1975г. и являющимися известной альтернативой байесовскому рассуждению.

Однако, в процессе совершенствования экспертной системы, возможно применение методов теории коэффициентов уверенности при не вероятностном подходе. При расчете риска аварии ранги опасности предлагается переводить в соответствующие им показатели надежности по табл. 1 и 3, а окончательный результат получать по следующей формуле:

$$v_s = \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{n} \right) \cdot (1 - k_a \cdot k_c) + v_e \cdot k_a \cdot k_c,$$

где v_s – показатель надежности, присвоенный экспертной системой с учетом накопленного опыта; v_i – i -й показатель надежности в статистическом ряду базы знаний; v_e – показатель надежности, назначенный экспертом; k_c – коэффициент уверенности; k_a – коэффициенты знаний эксперта; n – количество элементов в статистическом ряду.

Для учета влияния квалификации эксперта в различных типах конструкций каждый эксперт должен пройти процедуру аттестации, конечными показателями которой будут являться коэффициенты знаний в данных областях строительства.

Процесс аттестации эксперта представляет собой выполнение типового виртуального обследования зданий, в процессе которого эксперт по правилу табл.1 или 3 проставляет дефектам и проектным решениям ранги опасности, основываясь на описание этих дефектов (решениям) исходя из собственного опыта. Типовое задание должно содержать в себе описание дефектов металлических, железобетонных и каменных конструкций и их фотографии, и проектные решения, содержащие различные ошибки.

При формировании типового задания для каждого вида конструкций (решений) задействуются специалисты узкого профиля, имеющие более полное представление о работе конкретных конструкций, опыт работы при оценке дефектов и решений. Их суждения о ранге опасности, в виду их компетентности в данном вопросе, считаются эталонными. Для получения коэффициентов знаний используется сравнение оценок назначенных экспертом, проходящим аттестацию, с эталонными оценками и процент их соответствия заносится в аттестат эксперта. Описанный здесь метод аттестации позволяет быстро оценить знания эксперта и может использоваться как критерий отбора при наборе экспертов в группу для проведения исследований величины риска аварии. Логичным будет обучение экспертов основам риск менеджмента для повышения их квалификации в оценке зда-

ний и сооружений различных типов и повышения скорости принятия решений о регулировании риска аварии. Хорошо обученные эксперты, пользуясь экспертной системой, смогут точно и оперативно определить риск аварии и в режиме «on-line» принять управленческое решение.

В заключение к 3-й главы пособия нужно отметить следующее:

1. Действительно, применение технологий менеджмента риска аварии при проектировании, возведении и эксплуатации ответственных зданий и сооружений, особенно, если они предназначены к эксплуатации при массовом скоплении людей, позволяет снизить негативное влияние человеческого фактора опасности (ошибок и небрежностей людей), и, следовательно, обеспечивать требуемый уровень их конструкционной безопасности.
2. Для потребителей конечной строительной продукции (собственников, балансодержателей) и ее потенциальным покупателям важно доказать, что конструкционную безопасность приобретаемого ими строительного объекта обеспечена, другими словами, гарантировать ее.
3. Гарантией конструкционной безопасности строительного объекта может служить либо сертификат соответствия, удостоверяющий, что риск аварии объекта приемлемый, или страховой полис, означающий, что объект застрахован на случай его аварии.

Проблеме гарантирования посвящена последняя глава монографии. Она содержит в себе описание информационных систем, в рамках которых подтверждается факт, что конкретное здание (сооружение) отвечает требованиям конструкционной безопасности. В системе сертификации таким подтверждением сертификат соответствия, который удостоверяет, что фактический риск аварии объекта не превышает максимально допустимой величины. В системе страхования на случай аварии такую гарантию дает страховой полис. По существу, он также гарантирует, что строительный объект, застрахованный на случай его аварии, при определенных условиях защищен от аварии. Возможно и априорно гарантировать конструкционную безопасность объекта. Осуществляется такая гарантия на предпроектной стадии, когда выявляются и закрепляются необходимые условия, при которых конструкционная безопасность объекта будет обеспечена.

Глава 4. ТЕХНОЛОГИИ ГАРАНТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. Гарантирование в системе сертификации

Основная задача эксперта при сертификации строящихся зданий – это идентификация и оценивание риска аварии «промежуточных» зданий объекта. При сертификационных испытаниях процедура идентификации риска аварии объекта осуществляется по приведенной в разделе 3.2 технологии контроля риска аварии строящихся объектов. Каждое «промежуточное здание» объекта должно при положительном результате сертификационных испытаний удовлетворять условию: $(R_{\phi} - \sigma) < R^*$, а с учетом, что среднеквадратичное отклонение σ для новых зданий составляет величину $\sigma = (R_{\phi} - 1) / 1,25$ (см. раздел 2.3.), это условие принимает следующий вид:

$$(0,25R_{\phi} + 1) / 1,25 < R^*.$$

Конструкционная безопасность объекта считается обеспеченной, если доказано, что фактический риск аварии R_{ϕ} его последнего «промежуточного» здания удовлетворяет выше приведенному условию. Конечные результаты сертификационных испытаний можно показать на карте риска (рис. 13), например, указав на ней фактические значения величин риска аварии «промежуточных зданий» объекта.

Сертификационным испытаниям на соответствие норме на величину риска аварии (требование конструкционной безопасности) могут подвергаться не только строящиеся, но и находящиеся в эксплуатации здания и сооружения. Для них подтверждением их конструкционной безопасности служит факт, что фактический средний риск аварии эксплуатируемого объекта не превышает критического значения риска $R_{KP} = 32$. Процедура идентификации риска аварии объекта при сертификационных испытаниях подержанных зданий и сооружений осуществляется по приведенной в разделе 3.3 технологии контроля риска аварии эксплуатируемых объектов.

Если при сертификационных испытаниях эксплуатируемого объекта будет доказана справедливость неравенства:

$$(R_{\phi} - \sigma) < R_{KP} = 32,$$

где $R_{KP} = 32$ – критическое значения риска аварии, то его конструкционная безопасность еще сохраняется на период времени, равного безопасному остаточному ресурсу объекта.

Таким образом, разработанные технологии идентификации фактического риска аварии и наличие ограничений на его величину (максимально допустимый риск аварии для новых зданий и критический – для эксплуатируемых объектов) дают возможность для подтверждения конструкционной безопасности строительных объектов применить процедуру сертификации соответствия. Сертификат гарантирует, что объект соответствует требованиям конструкционной безопасности. Срок действия сертификата

соответствия определяет эксперт-исследователь. При этом для эксплуатируемого здания (сооружения) этот срок не должен превышать размера его безопасного остаточного ресурса.

Набор правил для сертификационных испытаний на соответствие требованиям конструкционной безопасности следующий:

1. Правила сертификации строящихся зданий и сооружений.

1.1. Подтверждением соответствия требованию конструкционной безопасности построенных зданий служит доказательство, что фактическое значение среднего риска аварии (R_ϕ) законченного строительством исследуемого объекта не превышает максимально допустимое значение риска аварии

1.2. Сертификационным испытаниям фактического риска аварии подвергается каждое «промежуточное» здание исследуемого объекта, под которым понимается часть m -этажного объекта, содержащая нулевой цикл и $k = 1, 2, \dots, m$ его этажей (см. прил. 1, ДМ 13).

1.3. Для каждого «промежуточного» здания исследуемого объекта формируются требования к их конструкционной безопасности в виде максимально допустимых значений риска аварии. Требуемая величина риска аварии R^* для каждого «промежуточного» здания определяется по методике, приведенной в разделе 3.2.

1.4. Для каждого «промежуточного» здания исследуемого объекта производится идентификация фактического среднего значения риска аварии по методике, приведенной в разделе 3.2.

1.5. Построенный объект в соответствии с требованием конструкционной безопасности, если фактическая величина риска аварии R_ϕ последнего «промежуточного» здания удовлетворяет условию:

$$(0,25R_\phi + 1) / 1,25 < R^* = 2.$$

1.6. Срок действия сертификата соответствия составляет 22 года.

2. Правила сертификации эксплуатируемых зданий и сооружений

2.1. Подтверждением соответствия эксплуатируемого объекта требованию конструкционной безопасности служит доказательство, что фактическое значение среднего риска аварии (R_ϕ) исследуемого здания или сооружения не превышает критического значения риска аварии $R_{KP} = 32$.

2.2. Для исследуемого объекта определяются среднее значение фактического риска аварии R_ϕ и среднеквадратичное отклонение σ , по методике, приведенной в разделе 3.3.

2.3. Конструкционная безопасность эксплуатируемого объекта считается еще достаточной, если справедливо неравенство:

$$(R_\phi - \sigma) < R_{KP} = 32.$$

2.4. Срок действия сертификата соответствия не должен превышать безопасного остаточного ресурса эксплуатируемого объекта

Гарантию конструкционной безопасности строительного объекта можно получить и в системе страхования, но не во всех ее схемах, а лишь в схеме «страхование строительного объекта на случай аварии».

4.2. Гарантии при страховании объекта на случай аварии

Строительное страхование в России, начавшись одновременно с первыми социально-экономическими реформами постсоветского периода, до сих пор, по разным причинам, а в основном, из-за общей слабости экономики, не может похвастаться своими достижениями. Вместе с тем без страхования сейчас уже не обойтись. И не только потому, что в России инженерные сооружения, промышленные объекты, транспортные и энергетические коммуникации сильно изношены, и эксплуатируются с нарушениями технологических требований, но еще и потому, что устойчивость техносферы заметно снизилась. Поэтому даже слабые воздействия на нее могут создать неуправляемые ситуации с возникновением кажущихся беспричинными аварий и катастроф. Заметно изменились природные условия и техногенные факторы воздействия на среду обитания человека. Повсеместно наблюдается повышение балльности сейсмических воздействий, потепление климата, исчерпание и удорожание природных ресурсов, сокращение удобных под городскую застройку свободных территорий.

В крупных промышленных зонах России сосредоточены тысячи опасных производств, усложнилась экологическая ситуация: растет проявление радиационных, радоновых и химических воздействий; городские территории засоряются вредными выбросами транспорта, техногенными и бытовыми отходами. Россия, как и многие страны в переходный период стала уязвима для природных и техногенных катастроф, а ее бюджет уже не в состоянии справиться с чрезмерной нагрузкой по выплатам, связанных с ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций. Рост ущерба от чрезвычайных ситуаций различного характера – это и есть главная причина повышения интереса к страхованию.

Поскольку размер ущерба зависит от степени разрушения зданий и сооружений, попавших в зону бедствия, казалось бы, что страхование в строительстве должно было получить своё отражение в законодательных директивах, посвящённых безопасности, но не получило. Большинство наших строителей и страховщиков считают, что основная проблема в страховании заключается в отсутствии законодательных актов, которые бы регулировали взаимоотношения между ними. Пока еще не существует полноценных нормативов, которые бы гасили эти опасения, у страховых компаний возникают трудности при классификации страхового случая, а это отражается на урегулировании убытков. Ниже приводится состояние существующей в строительном страховании законодательной базы и перспективы ее развития на ближайшие годы.

По изменениям, внесенным в Градостроительный кодекс РФ Федеральным законом № 337-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» можно констатировать, что участники строительного рынка (изыскатели, проектировщики, строители) становятся юридическими лицами, обязанными возместить ущерб, нанесенный здоровью и/или имуществу пострадавшим в результате обрушения здания. В соответствии с Градостроительным кодексом до 1 июля 2013 года будет действовать правило: если по предъявлению третьим лицом требований выплат по страховому полису собственных средств виновника происшествия не хватает, то выплаты производятся из компенсационного фонда СРО или Национального объединения. Если и этих средств недостаточно, то применяется субсидиарная ответственность.

С 1 июля 2013 года приведенное выше правило в соответствии с Законом №337-ФЗ будет изменено. В частности, центр тяжести по возмещению вреда потерпевшим при аварии будет смещен в сторону собственника, застройщика и технического заказчика. Все они будут нести солидарную ответственность.

С 1 января 2012 года вступил в силу Федеральный Закон №225 – ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте». В Российской Федерации опасных строительных объектов приблизительно около 45 тысяч. Закон определяет условия страхования гражданской ответственности, понятие страхового случая, принципы определения размера страховой суммы, исчисления страховой премии и утверждения страховых тарифов. Однако, используемые сейчас схемы страхования в строительстве нарушают принцип неотвратимости наказания за аварии, создавая этим социальную напряжённость в обществе.

Вместе с тем, наличие норм, жёстко регламентирующих величину риска аварии сооружений, и принципиальная возможность количественной оценки на любой стадии жизненного цикла строительного объекта риска его аварии позволяют ввести в строительную практику России страхование строительного объекта на случай аварии. Лишь такая схема страхования способна определять истинных виновников аварий. Кроме того, знание риска аварии объекта позволяет обеспечить баланс интересов сторон страховых отношений за счет назначения адекватного величине фактического риска аварии страхового тарифа.

Страхование сооружений на случай его аварии – это нечто более существенное, чем имущественное страхование или страхование гражданской ответственности. Действительно, весь жизненный цикл создания объекта, от замысла до осуществления – чрезвычайно сложен. На каждой стадии возможны ошибки исполнителей, каждое упущение, каждый дефект может привести к нежелательным негативным последствиям. Поэтому оценка

конструкционной безопасности, как ёмкого показателя жизнеспособности здания или сооружения – наиболее верный путь к страхованию. На конструкционную безопасность объекта влияют:

- организация и проведение различных инженерных изысканий;
- организация проектирования по строгому регламенту;
- научно-экономическое сопровождение инвестиционного проекта;
- организация инженерного мониторинга фазы строительства объекта;
- форма технической экспертизы на протяжении жизненного цикла объекта;
- проведение текущих и капитальных ремонтов.

И каждой из этих позиций могут сопутствовать человеческие ошибки, каждая из них, допущенная на одном этапе, должна исправляться на последующем. Сумма пропущенных ошибок снизит и конструкционную безопасность, и жизненный ресурс сооружения. Поэтому, перед заключением генерального страхового договора количественная страховая оценка всего инвестиционного проекта с учётом авторских разработок становится не только возможной, но и обязательной. Следовательно, страхованию подлежат не только риски строительно-монтажных работ. Страховать надо объект на случай его аварии и на весь срок службы.

В представлении экономистов страхование делится на 4 основных вида:

1. Страхование рисков для жизни и здоровья.
2. Страхование рисков утери или порчи имущества
3. Страхование финансовых и предпринимательских рисков.
4. Страхование технических рисков.

Все они имеют разную основу и разные методики определения величины риска. Когда кто-то в России употребляет термин страхование строительных рисков, то он делает это либо от святого незнания, либо, преследуя какие-то свои цели, о которых не хочется и догадываться. Ведь на строительной площадке всегда сосуществуют частные случаи перечисленных 4-х видов страхования, например:

- страхование от несчастных случаев при производстве работ (1-й вид – жизнь и здоровье);
- страхование от кражи или порчи строительных материалов (2-й вид – имущество);
- страхование от кражи и/или порчи машин, механизмов (2-й вид – имущество);
- страхование от падения башенного крана (2-й вид – ответственность перед третьими лицами);
- страхование от нанесения вреда инженерным сетям при производстве работ (2-й вид);
- страхование от не возврата кредита под строительство (3-й вид – финансовые риски);

– страхование от не реализации квадратных метров (3-й вид – предпринимательские риски)

Рачительный хозяин, заботящийся о сохранности и процветании своего бизнеса (то есть о своей экономической безопасности), может тщательно выявить и застраховать ещё много всевозможных страховых случаев, имеющих ненулевую вероятность события во время относительно короткого строительного-инвестиционного цикла. Например, если он пришёл в строительный бизнес всерьёз и надолго, то он обязательно будет заботиться о трудоспособности своих рабочих и обеспечит им также страхование от пагубного воздействия агрессивных сред, шума и вибрации (1-й вид – жизнь и здоровье).

Особняком же от всех этих видов стоит страхование строительного объекта на случай аварии (это 4-й вид – технические риски). Принципиальным его отличием является то, что он определяет обязательства совокупности частных лиц перед всем обществом за произведённую ими продукцию. Так как этот вид страхования призван обеспечивать безопасность жизни и деятельности граждан, использующих построенный строительный объект в дальнейшем, то он продлевается на весь срок его службы и жёстко привязан к результатам технической экспертизы этого объекта, осуществляемой периодически во время всего жизненного цикла строительного объекта от замысла до ликвидации.

При наступлении страхового случая виновные в аварии объекта устанавливаются специальными техническими комиссиями, доклад которым должен готовить эксперт-инспектор или исследователь (можно назвать его одним английским словом – surveyor), или объединённая единой службой мониторинга группа экспертов. Наличие в архиве документов, таких как: результаты профессиональной аттестации работников, допуски к работам, сертификаты, журналы производства работ, результаты экспертиз и отчёты службы мониторинга, общий и детальный анализ последствий аварии дадут комиссии возможность выявить её причины. В дальнейшем, суд уже своей, судебной экспертизой, принимая во внимание заключение технической комиссии, определит виновника аварии и размер денежной компенсации в пользу пострадавших. И вот только теперь страховая компания может подключиться и компенсировать ущерб, однако, только в том случае, если ранее там была застрахована гражданская ответственность виновного лица. Отдельно страхования "гражданской" ответственности строителей вообще, без привязки к страхованию риска аварии построенных конкретно ими объектов – в мировой практике не существует. Тем более, что кроме ошибок строителей, причиной аварии могут быть ошибки и изыскателей, и архитекторов, и проектировщиков, и эксплуатационщиков, и даже владельцев-собственников. Без страхования риска аварии объекта, на базе методик количественной оценки всех составляющих общего риска, вносимых каждой из групп-участников, нет механизма определения конкретного винов-

ного. При его отсутствии "ответственность", с точки зрения юристов, не выявляется и, следовательно, потерпевшие никогда не смогут добиться через суд компенсаций своего ущерба. Поэтому, действующая на сегодня в России система "добровольно-обязательных" платежей, взимаемых с участников строительных СРО в некий компенсационный фонд, вместе со страхованием ими так называемой "гражданской" ответственности – это нечто, неподдающееся логическому осмыслению и пониманию.

Главная проблема коммерческого страхования объектов от аварии – это, прежде всего, ее стоимость. Страховые компании, конечно, понимают, что стоимость страхования должна зависеть от величины риска аварии объекта, но сегодня в действительности дифференциация тарифов основывается всего на двух простейших показателях: – возрасте и конструктивном типе здания. Практика показывает, что даже только что сданные в эксплуатацию объекты с высокой потенциальной надежностью и устойчивостью (например, здания из монолитного железобетона) могут обладать характеристиками риска аварии, как и деревянный дом после 30–40 лет интенсивной эксплуатации. Зарубежные страховые технологии способны, в той или иной мере, отслеживать подобные нюансы, но попытки их переноса на российскую строительную практику сталкиваются с рядом проблем, например, экономико-правового характера. Использовать «западные» технологии тарификации нельзя из-за исключительной специфики «наших» ситуаций риска, в частности, отсутствием соответствующих статистик. Более того, применение тарификационных моделей, неадаптированных к Российским условиям, нарушает баланс интересов сторон страховых отношений и сдерживает развитие строительного страхования в нашей стране, поскольку приводит к необоснованному росту стоимости полисов, а также к недостаточной концентрации средств в страховом фонде. (Прим. Страховые термины и понятия даны, например, в [15]).

Предложенную здесь схему страхования строительных объектов на случай аварии можно реализовать и в рамках Общества Взаимного Страхования (ОВС). Членами ОВС могут быть не только отдельные владельцы недвижимости, но и в полном составе саморегулируемые организации (СРО) в строительстве. По сути, ОВС – это те же саморегулируемые организации, так как они могут самостоятельно тарифицировать возникающие по тем или иным причинам риски. Условия же страхования в ОВС всегда более выгодны, чем у акционерных страховых компаний. В отличие от последних, ОВС способны при тех же выплатах пострадавшим в результате аварии либо значительно понижать страховые тарифы, либо употреблять часть собранных средств на профилактику страховых случаев. Осуществлять страхование строительных объектов на случай аварии в рамках ОВС даже выгодно, поскольку становится возможным реализовать накопительную схему страхования, предусматривающую возврат страховых взносов, если авария застрахованного объекта не наступила. Главные отличия ОВС

от коммерческих страховщиков акционерных организаций (АО) приведены в табл. 13.

Таблица 13

Сравнение условий страхования в ОВС и АО

ОВС	АО
Некоммерческая организация ставит своей целью обеспечение реальной страховой защиты своих членов и развития Общества в целом	Цель коммерческой организации – реальная страховая защита своих клиентов, но главное это максимальная прибыль
Каждый член ОВС является и страхователем и страховщиком одновременно, при этом отсутствует столкновение их интересов	Интересы страховщика и страхователя не совпадают в силу разных целей
ОВС присуща гибкая ценовая политика. Цена страховой услуги в ОВС может быть ниже среднерыночного уровня. Это возможно в силу единства целей членов ОВС, низких административных расходов	Ведется жесткая тарифная политика в силу приоритета интересов страховщиков и акционеров (прибыль от операций по страхованию), а не клиентов компании
ОВС обеспечивает прозрачность финансовой деятельности перед равноправными членами Общества	Финансовая прозрачность компании маловероятна, она противоречит интересам акционеров
Членом ОВС может стать как физическое, так и юридическое лицо. Согласно политике ОВС каждый член Общества имеет возможность инвестировать свои денежные средства в страховые программы ОВС, предлагать свои проекты	Клиентами страховых компаний могут быть физические и юридические лица, но в деятельности компании, разработке совместных проектов они не участвуют
Общее Собрание членов Общества является его высшим органом управления. Все члены ОВС входят в его состав и имеют право голоса	Высший орган управления — Собрание Акционеров. Клиенты компании не могут повлиять на ее решение
ОВС не обязано лицензировать свою деятельность и страховые программы. Это позволяет в каждом конкретном случае проявлять максимальную гибкость для удовлетворения интересов общества	Коммерческая страховая организация обязана получить лицензию на ведение деятельности и каждую страховую программу
ОВС нельзя купить, продать, раздробить; политика Общества зависит от всех его членов	Акционерную компанию можно купить и продать; при смене собственника политика компании меняется

Теперь, когда читатель ознакомился с условиями страхования в ОВС, он вправе задать такой вопрос. Почему действующая сегодня в рамках СРО схема страхования так называемой "гражданской" ответственности не

может быть заменена на нужную для страны схему, каковой является страхование строящихся и построенных зданий и сооружений на случай аварии? Ведь такая схема страхования в полной мере содержит в себе "гражданскую" ответственность. Ответа на этот вопрос, к сожалению, найти не удалось.

Общие правила страхования объекта на случай аварии следующие:

- Страхование строительных объектов на случай аварии производится: на стадии возведения – подрядчиком, а после приемки объекта в эксплуатацию – заказчиком (собственником, балансодержателем).

- Страхованию на случай аварии подлежат только те строительные объекты, риск аварии которых ниже критического значения, равного 32.

- Перед заключением договора страхования независимая экспертная организация (третья сторона) на основании договора с заявителем производит оценку фактического риска аварии и безопасного остаточного ресурса планируемого к страхованию объекта.

- В случае, если фактическое значение риска аварии планируемого к страхованию объекта превышает критическое значение риска, равного 32, то прежде чем заключить договор страхования заявителю предлагается осуществить процедуру регулирования риска аварии этого объекта.

- Правила страхования являются обязательными для сторон страховых отношений, если они утверждены страховщиком и приложены к договору страхования

Страхование объекта на случай аварии, как и любая другая схема, требует определения нетто-ставки (нетто-тарифа). Нетто-ставка – основа назначения страховой премии в виде аванса за оказание услуг по возмещению ущерба в случае наступления страхового случая (аварии). Для определения нетто-ставки N можно воспользоваться традиционным подходом, то есть по вероятности гипотетической аварии с учетом возможности проявления природных или техногенных опасностей. Например, для определения нетто-ставки N можно воспользоваться гистограммой распределения фактического риска аварии страхуемого объекта, показанной на рис.15, алгоритм построения которой приведен в разделе 3.3. По гистограмме определяется условная вероятность аварии P_A , равная площади гистограммы, расположенной справа от критического значения риска аварии $R_{KP} = 32$. На величину нетто-ставки существенное влияние оказывает подверженность территории расположения объекта внешним непроектным воздействиям природно-климатического или техногенного характера. Если вероятности непроектных воздействий на объект известны, то нетто-ставка определится по формуле: $N = P_A (P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 + P_1P_2P_3)$, записанной для случая подверженности территории расположения объекта трем независимым и несовместным внешним непроектным воздействиям. Однако, эта формула практически нереализуема. Во-первых, из-за отсутствия достоверной статистики относительно вероятностей P_i , а во-вторых,

из-за необходимости при корректировке страхового платежа через определенный промежуток времени вновь строить гистограмму риска аварии (рис. 15) для определения значения условной вероятности P_A на текущий момент времени эксплуатации объекта.

При страховании строительных объектов на случай аварии для назначения тарифа целесообразно воспользоваться приведенной в разделе 2.5 формулой, связывающей конструкционный износ объекта с риском аварии:

$$N = \{1 - \exp[-0,0365 (R_\phi - 1)]\} \cdot (1 / 0,9^\beta).$$

В нее введен коэффициент β , учитывающий подверженность территории расположения застрахованного объекта возможным непроектным воздействиям природно-климатического или техногенного характера. Коэффициент β определяется по следующей методике:

1. По специальному правилу, приведенному в табл. 15, эксперт-исследователь устанавливает значения индексов (g), характеризующих подверженность территории расположения объекта каждому из внешних техногенных и/или природно-климатических факторов опасности, показанных в табл.15. Индексы (g) сопоставляются со стандартными индексами (g^*), приведенными в табл. 16.

2. Коэффициент β определяется по следующему правилу: – принимается то значение β , для которого сумма квадратов разности стандартных (g^*) и назначенных экспертов (фактических) индексов (g) подверженности имеет минимальное значение. Это условие может быть записано в следующем виде:

$$S(g^* - g)^2 \rightarrow \min.$$

Решение отыскивается в формате табл. 17.

Таблица 14

Правило экспертного назначения индексов подверженности

Подверженность территории фактору опасности в форме высказывания	Индекс подверженности (g)
Территория не подвержена фактору риска	1
Вероятность, что территория не подвержена фактору риска, больше, чем подвержена	2
Вероятность, что территория подвержена фактору риска, больше, чем не подвержена	3
Территория подвержена фактору риска	4

Таблица 15

Внешние факторы опасности техногенного
и природно-климатического характера

1. Близко расположены опасные производства
2. Близко расположены магистральные нефте-газо-проводы
3. Близко расположены аэродромы, склады боеприпасов
4. Близко расположены ж/д станции и линии метрополитена
5. Подтопление территории, близость водоемов
6. Подработанность и (или) закарстованность территории
7. Частые бури, сели, оползни, наводнения
8. Возможность проявления опасных геопроцессов

Примечание. Назначение индексов подверженности территории факторам опасности – ответственная операция. Наиболее сложными для экспертной оценки из приведенных в табл. 14 факторов опасности являются факторы с №№ 6 и 8. Для их выявления требуются не только специальные знания, но и специальные измерительные приборы (аппаратура).

Таблица 16

К определению коэффициента β

№ фак- то-ра	Индекс (g) подвержен- ности	Стандартные наборы индексов (g^*)			
		для $\beta = 0$	для $\beta = 1$	для $\beta = 2$	для $\beta = 3$
1	•	1	2	3	4
2	•	1	2	3	4
3	•	1	2	3	4
4	•	1	2	3	4
5	•	1	2	3	4
6	•	1	2	3	4
7	•	1	2	3	4
8	•	1	2	3	4
		$\Sigma(g^* - g)^2$	$\Sigma(g^* - g)^2$	$\Sigma(g^* - g)^2$	$\Sigma(g^* - g)^2$

Процедуру страхования зданий и сооружений на случай аварии целесообразно осуществлять на специально разработанной для этой цели экспертной системы. Ее структура показана на рис. 18.

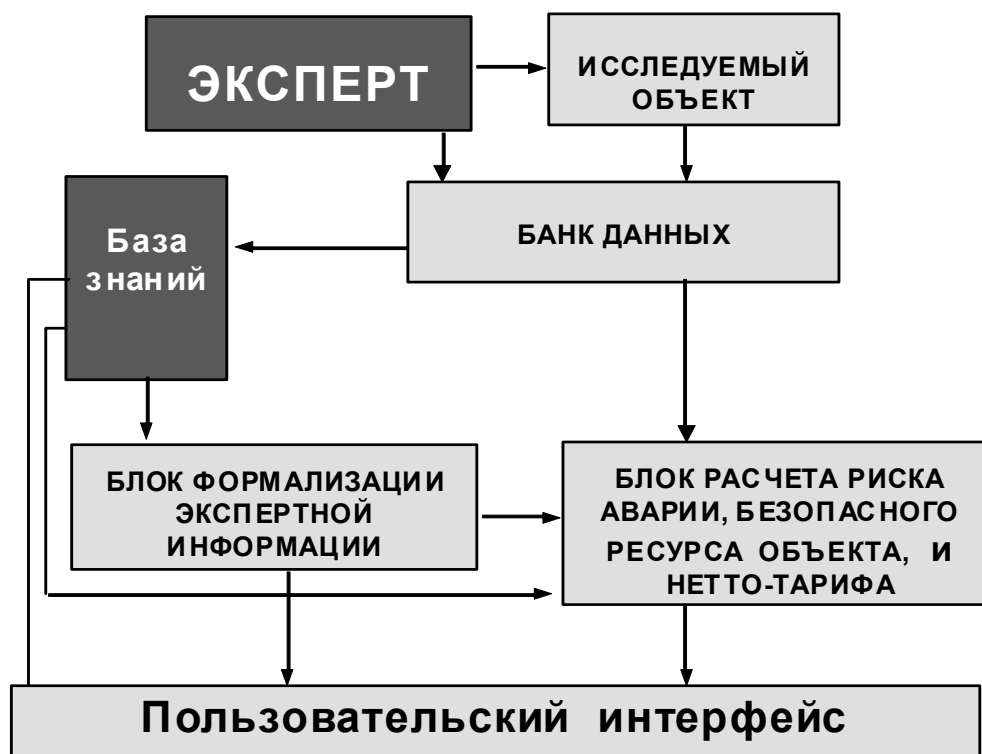


Рис. 18. Структура экспертной системы при страховании объекта на случай аварии

База знаний экспертной системы содержит алгоритм расчета нетто-тарифа, включающего в себя определение коэффициента β , и структурирована в два независимых блока. Один из них – это блок формализации экспертной информации, предназначенный для приведения экспертной информации к формализованному виду. Блок формализации содержит набор правил, позволяющих сгладить неопределенность экспертной информации о техническом состоянии объекта, сведя ее в ранг показателей, необходимых для построения гистограммы распределения фактического риска аварии. Второй блок предназначен для расчета риска аварии, безопасного ресурса и тарифа. Механизмом для передачи ответов пользователю, представления различных комментариев к заключению и объяснения его мотивов является пользовательский интерфейс. В компьютерной версии экспертной системы в основу «оконного» интерфейса положено «дерево» несущего каркаса объекта, которое одновременно служит управляющим механизмом при диагностике и оценке физического состояния строительного объекта. На этом «дереве» предоставляется возможность вывода любой интересующей пользователя информации, связанной с качеством исполнения отдельных видов строительного-монтажных работ с указанием исполнителя, даты исполнения и уровнем (требуемым и достигнутым) безопасности конечного строительного продукта. Такая информация позволяет идентифицировать «виновников» ненормативного риска аварии и дает

возможность ввести основанные на юридических и финансово-правовых принципах их персональную ответственность.

Пример. В качестве примера схемы страхования на случай аварии рассматривается научно-техническое сопровождение при страховании взлетно-посадочной полосы. В 1994 году правительством Челябинской области было решено создать в Челябинске международный аэропорт и зарабатывать на транзите из Японии в Европу деньги. Авиакомпания JAL, прежде чем заключить договор на обслуживание, поставила условие: – для обеспечения безопасности взлетно-посадочной полосы ее строительство необходимо застраховать.

Основные строительные работы по сооружению искусственной взлетно-посадочной полосы (ВПП) были закончены в конце 1996 г. В период её строительства не произошло ни одной чрезвычайной ситуации, которая могла бы явиться причиной существенных убытков. Однако, известно немало случаев, когда в результате случайных событий и фатальных человеческих ошибок строительные площадки превращались в груды развалин, принося значительный материальный ущерб. Без страховой защиты такое событие явилось бы для местного бюджета катастрофой. Для предотвращения столь нежелательных последствий впервые на территории Южного Урала крупное строительство сопровождалось страховой защитой инвестируемых финансовых и материальных ресурсов. Ответственным исполнителем работ по ВПП являлась югославская строительная фирма «UNION ENGINEERING» – мировой лидер по строительству взлётно-посадочных полос. Полис страхования ВПП был оформлен на общепринятых за рубежом условиях CAR (Contractor's all risks), а перестраховщиком согласилось выступить Мюнхенское общество Munich Re (Германия).

Практика страховой защиты ВПП вскрыла целый ряд важных проблем, главным образом касающихся вопросов тарификации. В частности, из-за отсутствия достоверной и доступной отраслевой статистики по убыткам на территории России сложилась ситуация, когда достоверный расчет тарифа по строительно-монтажному страхованию вообще не может быть произведен. Страховые компании, работающие на территории России по этому виду страхования, как правило, полагаются на тарификацию компании Munich Re, предусматривающую значительный повышающий коэффициент для стран, где отсутствует статистика по убыткам. Обоснованное назначение нетто-ставок позволяет обеспечить финансовую устойчивость страховых операций и достаточную концентрацию средств страхового фонда. Только тогда становится возможной территориальная и временная раскладка ущерба (в чем одинаково заинтересованы и страхователи, и страховщики). Поэтому потребовалось специальное страховое сопровождение проекта ВПП в форме мониторинга ее конструкционной безопасности.

Мониторинг осуществили специалисты Южно-Уральского университета. Сопровождение проекта, включая и расчет риска аварии, было проведено по собственным, изложенным в разделе 3.2, методическим наработкам, которые были обсуждены в Москве с экспертами фирмы Munich Re. Когда немецкие специалисты убедились в полной прозрачности и прозрачности методики, Munich Re согласилась перестраховать ВПП по нормативному для них тарифу.

Задача мониторинга заключалась в оценке подверженности ВПП оговоренным в полисе опасностям через контроль риска аварии возведенных пикетов полосы. Знание динамики изменения риска аварии позволило производить корректировку (уменьшение или увеличение) страховых взносов. В качестве базы при исчислении нетто-ставки при предварительной тарификации использовалась величина допустимого значения риска аварии как для ответственного строительного объекта.

При мониторинге прослеживались этапы строительства всех частей и зон ВПП (собственно ВПП, боковые полосы безопасности, рулевые дорожки, разворотное кольцо, система водоотвода). Главное внимание было уделено конструкционной безопасности собственно ВПП, разделенной на 32 пикета (расстояние между пикетами – 100 м). Нормативными документами мониторинга являлись: проект ВПП, СНиП 3.06.06-88 (Аэродромы); СНиП 3.02.001-87 (Земляные сооружения, основания и фундаменты). На предварительном этапе разработан регламент мониторинга, содержащий виды строительно-монтажных работ (СМР), ответственных за конструкционную безопасность, и определен перечень параметров, подлежащих обязательному контролю (табл. 17).

Первичная экспертная информация от экспертов требовала обработки. Была разработана компьютерная экспертная система, представляющая собой комплексный программный продукт, способной без участия людей выполнить процедуры формализации первичной экспертной информации с завершённых пикетов ВПП и спрогнозировать фактический риск аварии.

Экспертная система спроектирована с учетом возможности решения задач типа “А что, если...?”. Например, к каким финансовым последствиям (изменение страхового платежа или отказ в выплате возмещения при возникновении какого-либо убытка) может привести снижение расчетного сопротивления бетона при устройстве стабилизированного основания на 25-м пикете ВПП до значения на 30% меньше, чем требуется по проекту? Или, в какой степени повлияет на безопасность эксплуатации полосы снижение до значения 0,96 коэффициента уплотнения 4-го слоя грунтовой насыпи на 11-м пикете ВПП? Или, кто виноват в том, что через 3 года правильной эксплуатации ВПП на ее 5-м пикете обнаружены трещины бетонного покрытия с недопустимой величиной раскрытия? И т.д.

Таблица 17

Перечень параметров ВПП, подлежащих обязательному контролю

Виды завершенных на пикете ВПП строительно-монтажных работ	Параметры, влияющие на конструкци- онную безопасность ВПП
Устройство естественного основания	Коэффициент соответствия Коэффици- ент уплотнения
Устройство грунтовой насыпи (по сло- ям)	Коэффициент уплотнения (слой № 1, 2, 3, и т.д.)
Щебеночная подготовка	Модуль упругости E (МПа)
Устройство полос безопасности	Коэфф. соответствия
Устройство стабилизированного бетон- ного основания	Прочность бетона (МПа) Модуль упру- гости E (МПа) Коэффициент соответствия
Устройство арматурных каркасов	Коэф. соответствия
Устройство конструкционного бетонно- го покрытия	Прочность бетона (МПа) Модуль упругости E (МПа) Морозо- стойкость Швы (коэффициент соответствия) Тре- щины (коэффициент соответствия)
Монтаж дренажной системы	Уклон (%) Высота засыпки щебнем (h)

Технология мониторинга ВПП практически не отличалась от изложенной в разделе 4.2 процедуры сертификационных испытаний возводимых зданий и сооружений на соответствие требованиям конструкционной безопасности. В ней присутствовали все необходимые составляющие сертификационных испытаний:– нормативная база, независимость экспертов, объективность результатов, обеспеченные применением автоматизированной системы обработки экспертной информации. Завершенная строительством ВПП может претендовать на предоставление ей сертификата, удостоверяющего ее соответствие требованиям конструкционной безопасности. Причем финансовые затраты на сертификацию ВПП (собственно сертификационные испытания стоят достаточно дорого) уже произведены страхователем. Совмещение страхового экспертного сопровождения проекта с сертификационными испытаниями строящегося объекта на соответствие требованиям конструкционной безопасности позволяет с меньшими затратами решать целый ряд важнейших задач строительства, таких как:

- предоставление инвесторам надежных гарантий защиты от финансовых рисков на конкретной территории;
- эффективное управление проектными, строительно-монтажными и эксплуатационными рисками, предотвращение и минимизация убытков;
- адекватную защиту прав потребителей от недоброкачественной конечной строительной продукции.

В заключение к этому разделу следует отметить, что гарантирование конструкционной безопасности объекта страхованием – возможный и наименее затратный способ деньгами содействовать качеству и безопасности строительства. Вместе с тем, следует сказать следующее:

1. Время страхования строительных объектов на случай аварии ещё не наступило. Понятие «риск аварии» является сегодня для строительной отрасли России термином новым и мало непонятным большинству ее работников, сформировавшихся как специалисты в эпоху командно-административной системы.

2. Без тотального просвещения в сложных вопросах страхования риска аварии строительного объекта не обойтись, так как никто, ни нынешние страхователи, ни нынешние страховщики не имеют практического опыта функционирования систем менеджмента риска. Сегодня их надо готовить, стажировать за рубежом и обеспечивать в России высокооплачиваемой работой.

4.3. Априорное гарантирование конструкционной безопасности

Априорной гарантии конструкционной безопасности могут и должны подвергаться планируемые к возведению особо ответственные, сложные в инженерном отношении и уникальные здания и сооружения. Исполняется такая гарантия на предпроектной стадии, когда проект уже готов, но не запущен в производство. Осуществляется она через прогноз риска аварии объекта еще до его физической реализации [35,71]. Прогноз риска аварии выполняется по информации об эффективности функционирования систем качества, привитых в организациях – предполагаемых участников строительства объекта.

Практика доказала, что эффективность системы качества организаций проектировщиков, поставщиков и строителей существенным образом влияет на качественные свойства построенного объекта. При этом прогноз риска аварии можно осуществить по формуле:

$$R = 1/Pp_i,$$

где p – средние уровни надежности групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта, определяемые по результатам экспертизы систем качества организаций – участников строительства.

Средний уровень надежности p_i группы несущих конструкций можно оценить по вероятности $P(B)$ ее соответствия требованиям нормативных

документов в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости. Действительно, из формулы полной вероятности [9] следует следующее выражение:

$$p = P(B) = \sum P(B/q_i) \cdot P(q_i),$$

где $q = \{q_i\} = \{MCP, M^*CP, MC^*P, MCP^*, M^*C^*P, M^*CP^*, MC^*P^*, M^*C^*P^*\}$ – полная группа событий. Она включает в себя следующие независимые события: M – нет ошибок поставщиков материалов (изделий); C – нет ошибок строителей; P – нет ошибок проектировщиков; M^* , C^* и P^* – события, противоположные событиям M , C и P .

Входящие в эту формулу условные вероятности $P(B/q_i)$ – инварианты. Их, используя приемы нечеткой логики, можно обозначить так:

- 1) Если ошибок участников строительства нет, то $P(B/q_1) = 1$;
- 2) Если есть ошибки только поставщиков, то $P(B/q_2) = a$;
- 3) Если есть ошибки только строителей, то $P(B/q_3) = b$;
- 4) Если есть ошибки только проектировщиков, то $P(B/q_4) = c$;
- 5) Если нет ошибок только проектировщиков, то $P(B/q_5) \cong ab$;
- 6) Если нет ошибок только строителей, то $P(B/q_6) \cong ac$;
- 7) Если нет ошибок только поставщиков, то $P(B/q_7) \cong bc$;
- 8) Если есть ошибки всех участников строительства, то $P(B/q_8) \cong abc$.

Условные вероятности имеют смысл вероятности события, что та или иная группа несущих конструкций объекта соответствует требованиям конструкционной безопасности. В совокупности они представляют собой априорную информацию, которая может быть сформирована из анализа причин случившихся аварий. В Российской Федерации примерно 80% аварий происходит из-за ошибок участников строительного процесса. Из них ~ 20% – по вине поставщиков, ~ 50% – по вине строителей и ~ 10% – по вине проектировщиков (см. рис. 2). Следовательно, $a = 0,8$, $b = 0,5$, $c = 0,9$. Если обозначить вероятности независимых событий M , C и P как $P(M) = \mu_m$, $P(C) = \mu_c$, $P(P) = \mu_n$, то из формулы полной вероятности следует следующая математическая модель:

$$p = \mu_m \mu_c \mu_n + 0,8(1-\mu_m) \cdot \mu_c \mu_n + 0,5\mu_m(1-\mu_c) \cdot \mu_n + 0,9\mu_m \mu_c(1-\mu_n) + 0,4(1-\mu_m)(1-\mu_c) \cdot \mu_n + 0,72(1-\mu_m)\mu_c(1-\mu_n) + 0,45\mu_m(1-\mu_c)(1-\mu_n) + 0,36(1-\mu_m)(1-\mu_c)(1-\mu_n).$$

В ней величины μ_m , μ_c и μ_n имеют смысл степеней соответствия несущих конструкций требованиям нормативных документов.

Примечание. Степень вины (в %) участников строительства в аварийных обрушениях зданий и сооружений соответствуют статистическим данным по авариям 20-ти летней давности, но если из новой статистики, она будет другой, то по аналогии несложно получить новую формулу для p .

Вновь обратимся к нечеткой логике. Будем отождествлять показатели μ_m , μ_c и μ_n с показателями эффективности функционирования систем каче-

ства организаций – участников строительства. Выбор подрядных, а также и субподрядных организаций должен зависеть от величины прогнозного риска аварии на стадии замысла объекта. Очевидно, что в свою очередь риск аварии зависит от эффективности функционирования системы качества, «привитой» в этих организациях. Здесь под эффективностью системы качества понимается соответствие ее элементов требованиям стандарта ИСО 9001. Технология гарантирования конструкционной безопасности строительного объекта состоит из 4-х операций, каждая из которых призвана подтвердить требования, приведенные в табл. 18.

Таблица 18

Требования стандарта ИСО 9001 к элементам системы качества

№	Элементы систем качества и требования стандарта ИСО 9001
1	Наличие политики в области качества и системы мотивации качественного труда
2	Соответствие ИТР и рабочих профессий профилю выпускаемой продукции
3	Наличие актуализированных программ по повышению квалификации различных категорий работников
4	Соответствие механизмов и оборудования требованиям качества технологических операций
5	Наличие системы технического обслуживания и системы документирования процедур выполнения технологических операций
6	Регулярная внутренняя проверка для оценки эффективности функционирования системы качества
7	Наличие программ, методик, экспертов с определением их ответственности, форм документирования и регистрации входного и производственного контроля качества продукции
8	Наличие оборудования, метрологического и лабораторного по обеспечению процедур идентификации качества продукции

1. Формируется «дерево» состояний объекта и для всех элементов системы качества (табл. 18) назначаются показатели надежности μ_m , μ_c и μ_n . Для их оценки можно воспользоваться табл.19, которая является модификацией табл. 1.

2. По аналогии с технологией контроля строительного риска аварии (см. раздел 2.2) окончательная оценка надежности функционирования систем качества организаций-поставщиков, подрядных организаций и проект-

ной фирмы определяются по формуле: $\mu_i = [1 + \min\{\mu_{ij}\}] / 2$, обеспечивающей среднюю оценку эффективности функционирования системы качества.

3. На математической модели определяются показатели надежности p всех групп конструкций несущего каркаса объекта, а по формуле: $R = 1/Pr$, можно определить ожидаемый после возведения объекта фактический риск аварии и этот риск сравнивается с максимально-допустимым значением риска аварии R_{max} .

4. Если $R > R_{max}$, то определяются участники строительства, которые потенциально внесут в объект наибольший риск аварии, и на основе этой информации принимается управленческое решение.

Таблица 19

Правило назначения показателя надежности элементов системы качества

Отношение элемента к требованиям стандарта ИСО – 9001	Ранг опасности	Степень переменной «очень»	Показатель надежности элемента
Соответствие требованиям стандарта <i>практически полное</i>	1.1	<i>(очень)</i> ^{0,01}	0,994
	1.2	<i>(очень)</i> ^{0,02}	0,987
	1.3	<i>(очень)</i> ^{0,03}	0,981
Отклонения от требований стандарта <i>незначительные</i>	2.1	<i>(очень)</i> ^{0,05}	0,969
	2.2	<i>(очень)</i> ^{0,10}	0,939
	2.3	<i>(очень)</i> ^{0,15}	0,910
Отклонения от требований стандарта <i>значительные</i>	3.1	<i>(очень)</i> ^{0,20}	0,882
	3.2	<i>(очень)</i> ^{0,30}	0,828
	3.3	<i>(очень)</i> ^{0,40}	0,777
Соответствие требованиям стандарта <i>низкое</i>	4.1	<i>(очень)</i> ^{0,50}	0,730
	4.2	<i>(очень)</i> ^{0,60}	0,686
	4.3	<i>(очень)</i> ^{0,70}	0,644
Соответствия требованиям стандарта <i>практически нет</i>	5.1	<i>(очень)</i> ^{0,80}	0,604
	5.2	<i>(очень)</i> ^{0,90}	0,568
	5.3	<i>(очень)</i> ^{1,00}	0,533
Соответствие требованиям стандарта <i>предельно-низкое</i>	6	<i>(очень)</i> ^{1,10}	0,500

Когда показатель надежности проекта уже найден, производится формирование минимальных требований к организациям-участникам строительного процесса (проектировщикам, поставщикам материалов и конструкций, строителям), призванных обеспечить допустимый риск аварии планируемого к возведению объекта. Требование обеспечения допустимой

величины риска аварии может быть записано в виде ограничения на средний уровень надежности групп однотипных конструкций:

$$p \geq p_n,$$

где p_n – требуемый (нормальный) для обеспечения конструкционной безопасности объекта уровень надежности группы.

Чтобы найти p_n , рассмотрим гипотетическое состояние объекта, когда во всех n его группах средние уровни надежности одинаковы и равны p_n . В этом случае средний риск аварии здания R по определению будет равен максимально-допустимому значению $R = 2$, а формула $R = 1/Pr$ принимает вид: $R = 1/p_n^n = 2$. Из нее следует, что $p_n = (2)^{-1/n}$.

При известных значениях p_n и μ_n удастся сформировать множество q_n комбинаций значений входящих в математическую модель параметров (μ_c и μ_m), обеспечивающих выполнение условий $R \leq R_{max}$, и $p \geq p_n$. В графической форме процесс формирования множества q_n проиллюстрирован рис. 19.

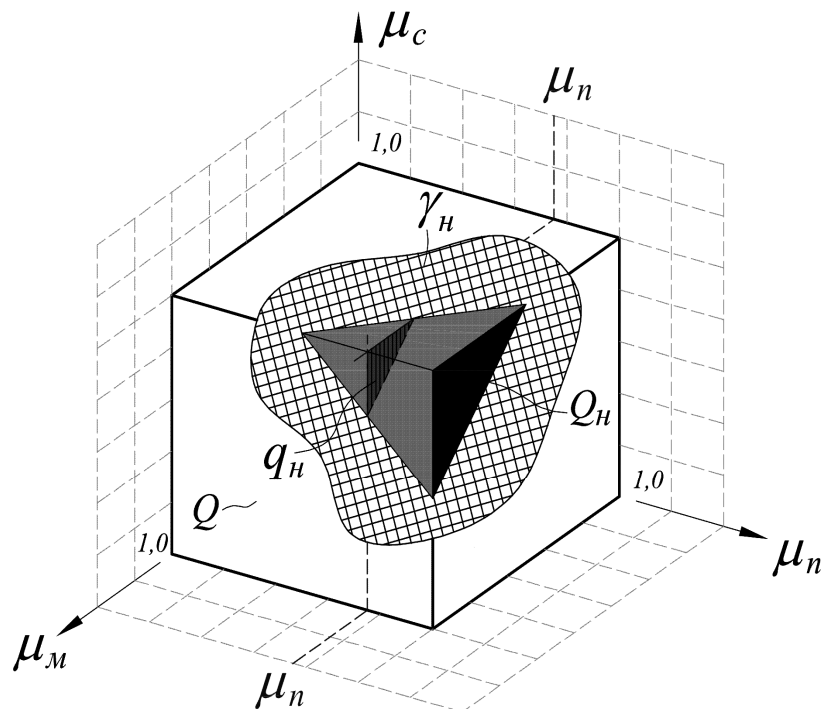


Рис. 19. Область комбинаций значений μ_c и μ_m , при которых обеспечивается допустимый риск аварии объекта при фиксированном значении μ_n

В сформированной области Q_n комбинаций значений μ_n , μ_c и μ_m , обеспечивающих допустимый риск аварии планируемого к возведению объекта, фиксируется параметр, отвечающий за проектное решение, на уровне фактической оценки проекта μ_n . При этом формируется область q_n , где комбинации значений μ_c и μ_m удовлетворяют условию $p \geq p_n$.

Сформированное множество q_n представляет собой минимальные требования к организациям-участникам строительного процесса в части соот-

ветствия систем менеджмента качества требованиям международных стандартов серии ISO 9000, выполнение которых обеспечит для планируемого к возведению объекта риск аварии, не превышающий максимально-допустимого значения. При отклонении фактической комбинации μ_c и μ_m от требований принадлежности к множеству q_n принимается управленческое решение, которое зависит от величины дополнительного риска. К таким решениям, например, относится корректировка проектного решения, страхование дополнительного риска, изменение состава участников и др.

Алгоритм процедуры гарантирования конструкционной безопасности зданий и сооружений до их физической реализации содержит следующие этапы:

- формирование «дерева» состояний объекта;
- определение допустимого для новых зданий («нормального») показателя надежности групп несущих конструкций;
- фактическая оценка надежности проекта;
- формирование минимальных требований к организациям-участникам строительного процесса, их подбор и декларирование конструкционной безопасности будущего объекта

Пример. В примере реализуется выше изложенный алгоритм гарантирования конструкционной безопасности планируемого к возведению строительного объекта. В примере рассматривается находящийся на стадии подготовки к строительству комплекс зданий завода по производству керамических пропантов ООО «Карбо-Керамикс» (Евразия). Априорной оценке риска аварии подвергается здание подготовки пропантов, как одно из наиболее сложных в комплексе, состоящем из 13-ти зданий. На момент проведения работ выполнены инженерно-геологические изыскания и разработан проект комплекса институтом «Челябинский Промстройпроект» (Шифр 1346, 2004–2005 гг.). Формирование «дерева» состояний объекта и определение минимально допустимого уровня надежности групп несущих конструкций. На этом этапе осуществляется декомпозиция объекта для построения иерархической последовательности по возведению групп однотипных конструкций его несущего каркаса. «Дерево» состояний объекта показано на рис. 20.

Общее число групп однотипных несущих конструкций каркаса $n = 20$. Нормальный уровень надежности, обеспечивающий конструкционную безопасность здания подготовки пропантов, равен:

$$p_n = (R_n)^{-1/n} = (2)^{-1/20} = 0,966.$$

Ниже по результатам экспертизы приводятся основные отклонения проекта от требований норм проектирования.

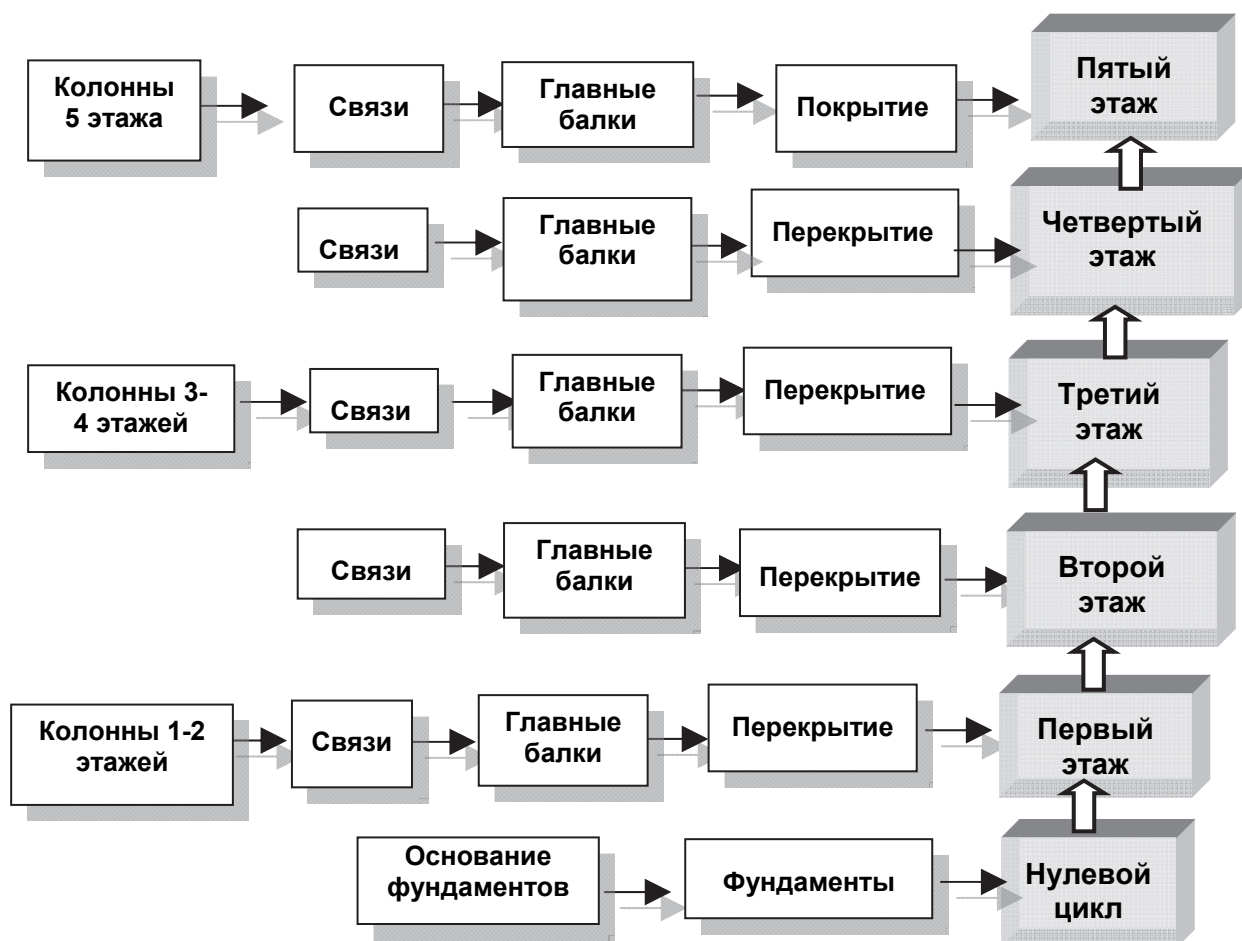


Рис. 20. Дерево состояний здания подготовки пропантов

1. При определении физико-механических свойств грунтов основания не были выполнены обязательные для зданий и сооружений II категории ответственности сопоставительные полевые испытания. Модули деформаций, полученные на основании результатов лабораторных испытаний, имеют завышенные значения – на величину от 22 до 32%. Не определялись характеристики просадочности и набухаемости грунта основания.

2. Проверочный расчет основания с учетом неполных данных инженерно-геологических изысканий (недостаточное количество горных выработок, приблизительных деформационных характеристик грунтов), показал соответствие принятых проектных решений требованиям действующих строительных норм и правил (в части ограничения давления под подошвой фундаментов и возможных осадок).

3. Дополнительное влияние на повышение работоспособности основания фундаментов оказывает предусмотренная в проекте 400 миллиметровая подготовка под его подошвой. Данная подготовка не учитывалась при проведении проверочных расчетов.

Показатели надежности стадий приведены в табл. 20, а итоговая оценка надежности проекта отыскивается по формуле : $\mu_n = \min\{(\mu_n)_i\}$; $\mu_n = 0,939$.

Показатели надежности стадий проекта

№	Стадия проекта	Надежность
1	Организация процесса проектирования	0,994
2	Исходные данные для проектирования объекта	0,939
3	Сбор нагрузок на объект	0,939
4	Расчет конструкций несущего каркаса объекта	0,987
5	Проектирование фундамента	0,994
6	Проектирование несущего каркаса объекта	0,994
7	Проектирование связевых конструкции	0,987
8	Выбор материалов	0,987
9	Решение узловых соединений	0,987

Формирование минимальных требований к системам качества организаций – поставщиков материалов, конструкций и подрядных строительных организаций производится на модели прогноза:

$$p = f(\mu_m, \mu_c, \mu_n),$$

при следующих условиях: $p \geq p_n = 0,966$ и $\mu_n = 0,939$. Решение обратной задачи позволяет сформировать множество q_n комбинаций значений параметров (μ_c и μ_m), показанных в табл. 21 и обеспечивающих допустимый для объекта риск аварии. В таблице дополнительно приведены значения риска (R), соответствующего каждой из приведенных комбинаций μ_c и μ_m .

Таблица 21

Возможные комбинации параметров μ_c и μ_m

№ комбинации	μ_n	μ_c	μ_m	R
1	0,939	0,939	1,00	2,00
2	0,939	0,987	0,939	1,66
3	0,939	0,987	0,987	1,35
4	0,939	0,987	1,000	1,28
5	0,939	1,000	0,939	1,44
6	0,939	1,000	0,987	1,19
7	0,939	1,000	1,000	1,13

Комбинации значений параметров (μ_c и μ_m), показанных в табл. 21, представляют собой минимальные требования к организациям-участникам инвестиционно-строительного проекта. Эти требования проявляются к системе менеджмента качества по соответствию ее главных элементов международным стандартам серии ISO 9000. Выполнение этих требований обеспечивает для планируемого к возведению объекта допустимую после окончания его строительства величину риска аварии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Выводы по результатам исследования проблемы оценки и обеспечения конструкционной безопасности в строительстве.

1. Обеспечить конструкционную безопасность строительных объектов на основе Федерального закона «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» практически не представляется возможным. В нем отсутствуют барьеры для опасности, и, самое главное, не учтен основной источник всех бед и неприятностей в строительном деле – человеческий фактор. В итоге, и как следствие, в строительной отрасли образовалась чрезвычайно опасная нормативная «брешь».

2. Заполнить нормативную «брешь» и этим выйти из нормативно-правового вакуума позволяют научно обоснованные в пособии модель деградации строительного объекта и методика прогнозирования его риска аварии. Модель деградации, связывающая между собой риск аварии объекта и износ его несущего каркаса, и является той нормативной базой, которая способна обеспечить конструкционную безопасность сооружений.

3. Нормативная база предоставляет возможность ввести в действующие строительные нормы такие эффективные механизмы противодействия человеческому фактору опасности, как менеджмент риска и страхование объекта на случай аварии. Их введение в строительную практику – это, по сути, залог конструкционной безопасности строящихся и находящихся в эксплуатации зданий и сооружений.

4. В монографии неоспоримо доказано, что в случае, если конструкционная безопасность строительного объекта обеспечена, то он, кроме проектных нагрузок, может противостоять еще и многим опасным воздействиям, возникающим, как правило, в чрезвычайных ситуациях. Напротив, если на момент сдачи объекта в эксплуатацию риск аварии превысит максимально допустимое значение, то это неизбежно приведет к преждевременному исчерпанию его безопасного ресурса.

Выводы позволяют сформулировать ряд рекомендаций по качественной модернизации строительной отрасли. Вот основные из них:

- Нужна новая версия технического регламента «О безопасности зданий и сооружений». Она должна быть разработана в строгом соответствии с концепцией приемлемого риска, закрепленной в Федеральном Законе «О техническом регулировании». Причем на базе СНиП, в кратком, ёмком, технически и юридически совершенном виде и, главное, после широкого обсуждения с научной и строительной общественностью нашей страны. А взаимодействие участников строительного рынка должно быть описано в Федеральном законе «О безопасности строительства». Главной фигурой в этих законах должен быть человек, поскольку он единственный носитель мировоззренческой категории «безопасность».

- Существующая сегодня в строительной практике нашей страны схема страхования «гражданской» ответственности не способствует решению проблемы безопасности в строительстве. Совершенно очевидно, что вместо нее необходимо ввести схему страхования объектов на случай аварии. Страховой тариф в этой схеме напрямую зависит от фактической величины риска аварии. Поэтому снижение риска у застрахованных строительных объектов становится выгодным не только собственникам недвижимости, но и страховщикам, так как вероятность аварийного обрушения объекта становится меньше, а баланс интересов между ними при этом сохраняется.

- Гарантирование конструкционной безопасности новых и находящихся в эксплуатации зданий и сооружений должно получить статус обязательной процедуры. По результатам гарантирования в будущем можно создать банк данных о физическом состоянии расположенных на территории России зданий и сооружений. Такой банк позволит: а) прогнозировать реакцию объекта, попавшего в чрезвычайную ситуацию; б) устанавливать на рынке недвижимости реальное соотношение между ценой и качеством; в) в разы снижать расходы государства на поддержание конструкционной безопасности зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации.

ПОСЛЕСЛОВИЕ К ПОСОБИЮ

Пособие на заявленную тему, в принципе, завершено. Но, есть еще многое другое, о чем можно и нужно писать и говорить. Например, о качественной модернизации, или системной трансформации строительного комплекса России, а также о Федеральной Школе конструкционной безопасности. Лишь планомерно изменяя сознание многомиллионной армии строителей, можно разрушить существующие сегодня стереотипы еще советского времени и настроить слушателей Школы на позитивное восприятие новаций, связанных с качеством модернизации строительной отрасли.

Строительство медленно реформируется, но не так, как надо, а так, как представляют воспитанные советским временем её нынешние руководители. Утруждать себя, например, изучением основ менеджмента риска они считают делом излишним, и как каким конкретно способом строительный комплекс, в котором занято свыше 5 миллионов человек, можно перевести из «текущего» в требуемое состояние.

В последнее время о безопасности в строительстве написано много. Более того, ей, и только ей, посвящены Федеральные законы «О техническом регулировании», «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений». Забота о безопасности строительства присутствует и в других директивных документах, например, в печально «знаменитом» законе №94 «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд». Однако написать, что эти важные государственные акты сделали безопасность неотъемлемой частью строительства, рука не поднимается. Известный ученый, академик В.А. Легасов, в статье «Из сегодня в завтра», посвященной насущным проблемам безопасности, в ряду наиболее тревожных ее проблем выделял «избыточное воздействие технократических тенденций, забвение лучших традиций и общечеловеческих ценностей». Выход в свет названных законов показал, что его тревога не была напрасной.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

База знаний экспертной системы

База знаний – это основной помощник эксперта при назначении рангов опасности, как проектных решений, так и возведенных конструкций. Составлена она на основе результатов анализа причин случившихся на территории России строительных аварий и консультаций со строительными специалистами.

Таблица П1.1

Виртуальные оценки ошибок проекта и подготовительной стадии

Характеристика ошибок проекта и подготовительной стадии строительства	Ранг опасности
Конструктивные решения и расчеты	
Кинематический анализ расчетной схемы не выполнен, сооружение представляет систему, близкую к мгновенно изменяемой	9.3
Расчеты на потерю устойчивости железобетонной оболочки (местной и общей) не выполнены	7.2
Напряжения в материале покрытия выше допускаемых значений	7.1
Не выполнен динамический расчет сооружения	5.3
Перемещения контура и прогибы оболочки превышают допустимые, жесткость контура недостаточна.	5.3
Расчетная схема несущего каркаса или его отдельных элементов не соответствует действительной работе под нагрузкой	5.2
При вводе исходных данных допущены ошибки в величинах нагрузок, жесткостях или размерностях этих величин	5.2
В расчетах не учтена физическая и геометрическая нелинейность материалов и конструкций, а также не учтен коэффициент по ответственности здания	4.2
Основания и фундаменты	
Не учтено влияние на осадки фундамента разноэтажности частей здания, осадки рассчитаны неверно	5.3
Расчет фундаментной плиты выполнен без учета ползучести бетона	5.2
В проекте не указаны параметры уплотнения насыпного грунта	5.2
Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивает равномерность осадок	5.1

Характеристика ошибок проекта и подготовительной стадии строительства	Ранг опасности
Гидрологическая обстановка на участке неблагоприятная, решения по водорегулированию в проекте нет	5.1
Глубина заложения фундаментов недостаточна	3.3
Несущие конструкции	
Пространственная устойчивость сооружения не обеспечена	9.3
Опорные конструкции, обеспечивающие общую устойчивость сооружения, запроектированы с дефектами, проект содержит несколько опасных дефектов, ранг опасности назначен неверно	8.2
Связевые конструкции не обеспечивают требуемой жесткости каркаса	6
Выбранная форма выпуклой оболочки не соответствует характеру основного сочетания нагрузок	4.2
В опорном контуре обнаружены ошибки в армировании	3.3
В железобетонной оболочке не учтен коэффициент неоднородности бетона	3.2
Материалы	
Необоснованный выбор конструкционного материала для основных несущих конструкций	3.3
Расход материалов на покрытие превышает сложившийся к моменту анализа статистический уровень	3.2
Применение разнородных стеновых материалов	2.2
Проектная организация	
Отсутствует лицензия на проектирование уникальных объектов	4.3
В организации отсутствует система контроля качества	3.3
Отсутствует регулярная внутренняя проверка проектов	3.3
Нет методик, программ, форм документирования производственного контроля	2.3
Нет программы повышения квалификации специалистов	2.3
Документация	
Полнота не соблюдена, в проект не включены разделы «Паспорт объекта» и «Требования к эксплуатации»	3.3
«Паспорт объекта» и «Требования к эксплуатации» не дают достоверной информации об объекте	3.1

Виртуальные оценки дефектов и повреждений
различных типов конструкций

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Железобетонные конструкции	
Имеются волосяные трещины (до 0,1 мм)	1.1 – 1.3
Имеются небольшие отдельные раковины (выбоины)	1.1 – 1.3
Имеются трещины в растянутой зоне бетона толщиной не более 0,3 мм	2.1 – 3.3
На отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры (хомутов). На поверхности бетона мокрые или масляные пятна. Шелушение ребер конструкций	2.1 – 2.3
Трещины в растянутой зоне бетона толщиной до 0,5 мм	4.1 – 4.3
Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней	4.1 – 5.3
Коррозия арматуры до 10 % площади стержней	3.1 – 4.3
Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры крошится	4.1 – 5.3
Снижение прочности бетона до 20 %	4.1 – 4.3
Ширина раскрытия нормальных трещин в балках толщиной не более 1 мм и протяженностью трещин до 3/4 высоты балки	5.1 – 5.3
Ширина раскрытия нормальных трещин в балках более 1 мм при протяженности трещин более 3/4 их высоты	7.1 – 9.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета	5.1 – 5.3
Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры	4.1 – 5.3
Коррозия арматуры до 15 %.	5.1 – 5.3
Снижение прочности бетона до 30 %	5.1 – 6.0
Косые трещины, пересекающие опорную зону и зону анкеровки растянутой арматуры балок	8.1 – 9.3
Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах	8.1 – 9.3
“Хлопающие” трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия	8.1 – 9.3
Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн и балок	8.1 – 9.3
Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне, разрыв хомутов в зоне наклонной трещины	9.1 – 9.3

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Раздробление бетона в сжатой зоне	9.1 – 9.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне более 0,5 мм	9.1 – 9.3
Оголение всего диаметра арматуры	7.1 – 8.3
Коррозия арматуры более 15 % сечения	6.0 – 8.3
Снижение прочности бетона более 30 %	6.0 – 9.3
Каменные и армокаменные конструкции	
Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы	1.1–1.3
Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки	2.1– 2.3
Волосные трещины, пересекающие не более четырех рядов кладки при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка	4.1 – 5.3
Вертикальные и косые трещины (независимо от величины раскрытия), пересекающие не более двух рядов кладки	3.1 – 4.3
Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 15 % толщины	3.1 – 4.3
Вертикальные и косые трещины в несущих стенах на высоту не более четырех рядов кладки	4.1 – 5.3
Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами, разрывы и/или выдергивание отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям	5.1 – 5.3
Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин; вертикальные трещины по концам опор, пересекающие не более двух рядов кладки	5.1 – 6.0
Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки за глубину до 25 % толщины	5.1 – 5.3
Наклоны и выпучивание стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины	5.1 – 5.3
Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см	5.1 – 5.3

Продолжение табл. П1.2

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Вертикальные и косые трещины в несущих стенах и столбах на высоту более четырех рядов кладки	6.0 – 9.3
Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивания стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям	9.1 – 9.3
Повреждение кладки под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин, раздробления камня или смещения рядов кладки по горизонтальным швам на глубину более 2 см; образование вертикальных или косых трещин, пересекающих более двух рядов кладки	8.1 – 9.3
Размораживание и выветривание кладки на глубину до 40 % толщины	7.1 – 9.3
Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам	9.1 – 9.3
Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене	8.1 – 8.3
Металлические конструкции	
Местное разрушение антикоррозионного покрытия.	1.1 – 1.3
На отдельных участках коррозия пятнами с поражением до 5 % сечения	2.1 – 2.3
Относительные прогибы изгибаемых элементов более 1/200	3.1 – 4.3
Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения элементов до 10 % из-за коррозии	5.1 – 5.3
Местные погнутости от ударов транспортных средств.	2.1 – 4.3
Потеря местной устойчивости отдельных конструкций (выпучивание стенок и поясов)	7.1 – 9.3
Трещины в сварных швах	6.0 – 9.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета	8.1 – 9.3
Коррозия элементов с уменьшением расчетного сечения до 25 %	7.1 – 9.3
Щелевая коррозия связей с разрывом сварных швов	7.1 – 9.3
Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм	7.1 – 8.3
Потеря общей устойчивости балок и сжатых элементов колонн и ферм	9.1 – 9.3

Продолжение табл. П1.2

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Разрыв отдельных растянутых элементов ферм	9.1 – 9.3
Наличие трещин в основном материале элементов	8.1 – 9.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета	9.1 – 9.3
Крен опор превышает 0,05	9.1 – 9.3
Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25 %	8.1 – 9.3
Расстройство стыков опирания пролетных строений	8.1 – 9.3
Деревянные конструкции	
Волосяные усадочные трещины в конструкциях	1.1 – 1.3
Ослабление креплений отдельных болтов, хомутов, скоб	2.1 – 3.3
Большие щели между досками наката и балками перекрытия	2.1 – 3.3
Продольные трещины в конструкциях	4.1 – 5.3
Сдвиги и отслоения в швах и в узлах конструкций заметные на глаз и частичные зазоры в сплоченных дощатых пакетах, между отдельными рабочими сдвигающимися поверхностями более 2 мм	4.1 – 5.3
Прогибы изгибаемых элементов превышают предельные значения СНиП II-26-80	4.1 – 5.3
Глубокие трещины в элементах	6.0 – 7.3
Трещины в работающих на скалывание торцах по ширине более 25 % от толщины элемента	6.0 – 7.3
Обмятие и зазоры более 3 мм в рабочих поверхностях врубок	6.0 – 7.3
Смятие древесины вдоль волокон по линии болтов и нагелей на 1/2 их диаметра	7.1 – 7.3
Потеря местной устойчивости элементов конструкций	7.1 – 8.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета	7.1 – 7.3
Гниль в местах заделки балок в наружные стены	8.1 – 8.3
Гниль в мауэрлате, стропилах, обрешетке, накате, снижающая прочность до 25 %	8.1 – 8.3
Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета	8.1 – 9.3
Быстроразвивающиеся деформации	9.3
Сквозные трещины в накладках стыков по линии болтов ферм	8.1 – 9.3

Продолжение табл. П1.2

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Надломы и разрушения отдельных конструкций	9.1 – 9.3
Скалывание врубок	8.1 – 9.3
Потеря устойчивости конструкций (поясов ферм, арок, колонн)	9.3
Поражение гнилью и жучком строительных конструкций, приводящих к снижению их прочности более 25 %	6.0 – 9.3
Кирпичные трубы	
Трещины, пересекающие не более двух рядов кладки	2.1 – 3.3
Антикоррозионное покрытие стальных конструкций и деталей разрушено	2.1 – 2.3
Вертикальные трещины в кладке с шириной раскрытия до 1 мм	3.1 – 5.3
Крен трубы превышает 0,004	3.1 – 3.3
Коррозия стальных колец и металлоконструкций (лестницы, площадки) до 15 %	3.1 – 4.3
Сквозные вертикальные трещины в кладке с шириной раскрытия до 5 мм	6.0 – 8.3
Горизонтальные трещины в кладке длиной менее 1/3 периметра ствола трубы	5.1 – 8.3
Разрушение оголовка и выпадения отдельных его звеньев и кирпичей.	5.1 – 7.3
Кирпичная кладка выпучилась и покрыта трещинами. Связь кирпича с раствором нарушена	6.0 – 9.3
Коррозия металлоконструкций более 25 %	7.1 – 8.3
Железобетонные трубы	
Трещины не превышают 0,3 мм	2.1 – 3.3
Шелушение защитного слоя бетона, местное разрушение защитного слоя бетона	2.1 – 3.3
Антикоррозионное покрытие стальных конструкций разрушено	2.1 – 2.3
Образование вертикальных трещин с шириной раскрытия до 0,5 мм	3.1 – 4.3
Крен трубы превышает 0,005	3.1 – 3.3
Образование вертикальных трещин над арматурой вследствие ее коррозии	5.1 – 5.3

Продолжение табл. П1.2

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Коррозия стальных конструкций до 15 %	3.1 – 4.3
Увлажнение бетона ствола с образованием потеков конденсата, с выщелачиванием бетона	4.1 – 5.1
Коррозия арматуры до 10 % площади стержней	5.1 – 5.3
Коррозия футеровки на глубину более 5 мм, раствора более 15 мм	4.1 – 5.3
Наличие крупнопористого бетона или бетона с недостаточным количеством цементного камня по толщине ствола более 50 мм и от 1/8 до 1/6 окружности трубы	4.1 – 5.3
Вертикальные трещины в газоходах	4.1 – 5.3
Разрушение отмотки вокруг трубы	3.1 – 3.3
Отслаивание защитного слоя из-за перегрузок в нижней зоне трубы	7.1 – 7.3
Крен трубы превышает 0,005	7.1 – 7.3
Образование вертикальных трещин с шириной раскрытия до 2 мм	6.0 – 7.2
Разрушение, отслаивание защитного слоя бетона и оголение арматуры на длине окружности более 1 м	7.1 – 7.3
Разрушение бетона шва бетонирования в одном месте до 1/4 длины окружности	7.1 – 7.3
Коррозия арматуры до 15 % сечения	6.0 – 7.1
Коррозия стальных конструкций до 25 % сечения	5.1 – 6.0
Местное выпучивание футеровки	5.1 – 6.0
Выпучивание вертикальных арматурных стержней ствола	8.1 – 9.3
Раздробление бетона сжатой зоны	8.1 – 9.3
Прогибы трубы более 1/100 высоты	9.1 – 9.3
Трещины в стволе более 2 мм	7.1 – 7.3
Расслоение бетона по толщине стенки ствола	8.1 – 8.3
Разрушение шва бетонирования в одном месте более 1/4 длины окружности	7.1 – 9.3
Обвал футеровки	7.1 – 7.3
Коррозия арматуры более 15 % сечения	8.1 – 8.3

Окончание табл. П1.2

Характеристика дефектов различных типов конструкций	Ранг опасности
Снижение прочности бетона более 30 %.	7.1 – 8.3
Коррозия стальных конструкций более 25 % сечения	7.1 – 8.3
Сквозные разрушения ствола	8.1 – 9.3
Расслоение и выпучивание футеровки по всей поверхности	8.1 – 8.3

Примеры менеджмента риска аварии

По определению, менеджмент риска – это скоординированные действия по управлению риском аварии строительного объекта и регулированию его конструкционной безопасности. Менеджмент включает идентификацию риска аварии и его оценку, а для строящихся объектов еще и мониторинг конструкционной безопасности. Желательно мониторинг производить с применением экспертной системы. Она – наилучший инструмент для контроля риска аварии строительных объектов. Но самое главное, она позволяет выявить конкретных физических и юридических лиц – кто, когда и какой «вклад» «внес» в величину риска аварии объекта.

Пример 1. Менеджмент проектного риска аварии объекта

В этом примере исследуется проектный риск аварии уже возведенного в Челябинске комплекса зданий областного историко-краеведческого музея. Музей расположен в прибрежной полосе водоохраной зоны реки Миасс. Конструктивный тип здания – неполный каркас с несущими продольными и поперечными стенами, состоящий из 3-х взаимосвязанных и разновысоких блоков, объединенных общим композиционным решением. Фундамент – буронабивные сваи-стойки диаметром 520 мм и глубиной 4...8 м. Опираются они должны на скальный грунт средней прочности. Проектом предусмотрено кустовое расположение свай с различным количеством их в кусте. По сваям выполнены ж/б ростверки в виде балок под наружные стены и в виде плит под внутренние пилоны и под стальные фундаменты ж/б колонн каркаса. Под отдельные участки наружных стен предусмотрены сборные ж/б фундаментные прогоны. Наружные стены – из эффективного силикатного кирпича с маркой по прочности М100, внутренние стены – из обыкновенного керамического кирпича, тоже марки М100. Колонны (наружные и внутренние) и ригели – сборные ж/б, перекрытия междуэтажные – из многопустотных плит ПТК. Водоотводы с кровли в зданиях комплекса – внутренние. Через площадку застройки проходят три самотечных коллектора; один – бытовой канализации, а два других – дождевой и дренажной канализации. Грунтовые воды встречены на глубине 2,8...3,5 м с возможным сезонным поднятием на 1,0 м.

Для каждой стадии проекта установлены ошибки проектных решений. Наиболее опасные из них, с комментарием (курсив), приведены ниже.

Ошибки проектных решений на стадии «Исходные данные для проектирования объекта»

1. Смещение осей зданий относительно пятен изысканий.

Две скважины размещены за пределом площади застройки на удалении 45...50 м от здания и имеют формальное значение. Другие скважины отражают геологические условия лишь на отдельных участках здания Не-

которые участок с точки зрения геологических условий не освещены вообще; ближайшая скважина находится от них на расстоянии 100...120 м.

2. Принятые в проекте физико-механические характеристики грунтов не соответствуют действительному состоянию основания

Скальный грунт представлен двумя видами: гранодиориты низкой прочности (рухляк) с параметром $R_c = 2$ МПа и гранодиориты средней прочности, $R_c = 42,9$ МПа. В случае опирания свай на рухляк может возникнуть ее осадка.

3. Нет оценки гидрогеологической ситуации на участке до начала работ, нет ее прогноза и после их завершения.

По проекту горизонт грунтовых вод (Г.Г.В) принят на отметке на 1,5 м ниже отметки низа ростверка, на 2,00 и 2,40 м ниже верха плит и балок ростверка и, на 2,90 м ниже отметки пола цокольного этажа. Однако в отдельные периоды Г.Г.В. поднимался до отметки выше проектного примерно на 2,00 м.

Ошибки проектного решения на стадии «Расчет конструкций несущего каркаса объекта»:

1. Расчетная схема отдельных элементов несущего каркаса не соответствует действительной их работе под нагрузкой.

2. Фактически часть свай-стоек опирается на сжимаемый слой грунта

Ошибки на стадии «Проектирование фундамента»:

1. Не учтено влияние разноэтажности частей здания на осадку фундамента.

2. Не предусмотрены мероприятия для предотвращения подтопления поверхностными и ливневыми водами.

3. В проекте не указаны параметры уплотнения насыпного грунта (плотность сухого грунта), мощность которого составляет до 1,5 м.

Ошибка на стадии «Проектирование связевых конструкции»:

Отсутствуют горизонтальные связи на высоту двух этажей, в том числе и в покрытии, а также в каркасе между колоннами.

По табл. 3 определены показатели надежности проектных решений. Результаты расчета показателей надежностей стадий проекта сведены в табл. П2.1

Таблица П2.1

Показатели надежности стадий проекта

№	Стадии проекта	Показатели надежности
1	Организация процесса проектирования	0,933
2	Исходные данные для проектирования	0,406
3	Сбор нагрузок на объект	0,966
4	Расчет конструкций несущего каркаса	0,574
5	Проектирование фундамента	0,574
6	Проектирование несущего каркаса	0,993

№	Стадии проекта	Показатели надежности
7	Проектирование связевых конструкции	0,500
8	Выбор материалов	0,953
9	Решение узловых соединений	0,871

По данным из этой таблицы по формуле $R_{II} = 1 / \prod n_i$, произведен расчет величины проектного риска аварии здания геологического музея. Он равен: $R_{II} = 1/0,933 \cdot 0,406 \cdot 0,966 \cdot 0,574 \cdot 0,574 \cdot 0,993 \cdot 0,500 \cdot 0,953 \cdot 0,871 = 20,6$.

Вывод: Фактический проектный риск аварии здания геологического музея на порядок превысил максимально допустимое значение. Проектирование – это виртуальное строительство, оно мало чем отличается от строительства. Проектирование – всегда возвратно-поступательный процесс, а исправлять ошибки проекта должен сам проектировщик.

Примечание. Исследование проектного риска аварии комплекса выполнила инженер Пузанова Е.В.

Ошибки проекта здания геологического музея на предстроительной стадии не отслеживались, и проект был запущен в производство без исправления. Что из этого получилось, свидетельствуют следующие фотодокументы.



Рис. П2.1. Трещина в наружной стене первого этажа от нижнего угла оконного проема



Рис. П2.2. Деформационно-осадочная трещина в сопряжении перегородок цокольного этажа

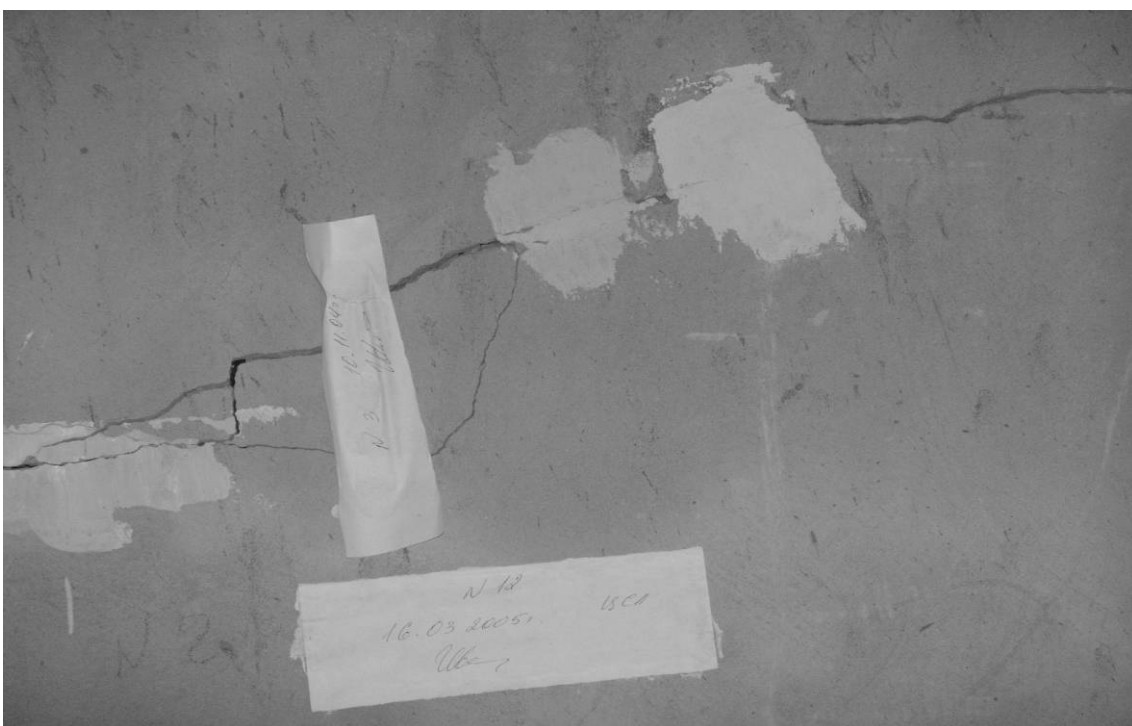


Рис. П2.3. Наклонная трещина в перегородке цокольного этажа

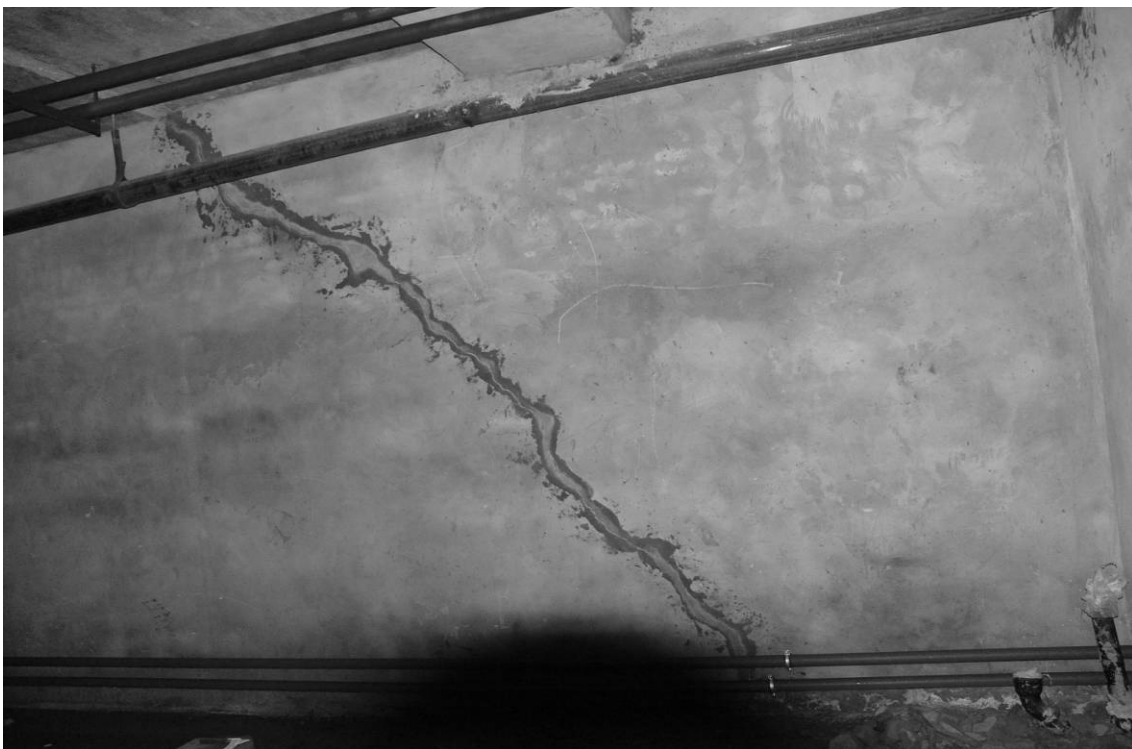


Рис. П2.4. Наклонная осадочная трещина в перегородке цокольного этажа



Рис. П2.5. Осадочная трещина со стороны набережной р. Миасс



Рис. П2.6. Просадка отмостки здания

Пример 2. Менеджмент риска аварии возводимого объекта

В примере предметом исследования является величина риска аварии строящегося в г. Миассе (Челябинская обл.) 10-этажного жилого дома. Он представляет собой здание размерами в плане 55х20 м, выполненное в сборно-монолитном каркасе с плоскими дисками перекрытий по разработанной в БелНИИС серии Б1.020.1-7. Каркас – рамно-связевый. Все вертикальные и горизонтальные приложенные к зданию нагрузки каркас воспринимает в сочетании с вертикальными диафрагмами жесткости. Каждая ячейка здания замкнута горизонтальной железобетонной рамой, образованной монолитными ригелями, опертymi на колонны и выполненными сквозными на всю ширину и длину здания. Диски перекрытий состоят из сборных железобетонных и предварительно напряженных многопустотных плит толщиной 220 мм с открытыми пустотами и арматурными выпусками в торцах, объединенные в пределах толщины перекрытий монолитными несущими и связевыми ригелями. Плит опираются на монолитные несущие ригели посредством бетонных шпонок, образованных в полостях плит у их торцов при бетонировании ригелей. Колонны – на три этажа. На уровне дисков перекрытий выполнены со сквозными проемами, в пределах которых их рабочая арматура обнажена и возможен пропуск через них сквозной арматуры взаимно-перекрестных монолитных ригелей. Фундамент выполнен в виде монолитной опирающейся на свайное основание плиты. Наружные стены здания поэтажно опираются на кромки дисков пе-

рекрытий. При этом колонны наружного ряда расположены в толще стены, выполненной в виде кладки из ячеистобетонных блоков.

Экспертам заказчиком предоставлены следующие материалы:

1. Рабочий проект 06.05-1-АС 10-и этажного жилого дома, разработанный ООО «Уралстройком».
2. Исполнительная документация на забивку свай.
3. Исполнительные схемы по законченным видам общестроительных работ.
4. Акты на скрытые работы.

В примере приведены результаты мониторинга лишь последнего «промежуточного» здания объекта, включающего в себя однотипные группы конструкций несущего каркаса нулевого цикла и всех его 10-ти этажей. В ходе мониторинга проводились исследования прочности бетона несущих конструкций каркаса здания: колонн, монолитных ригелей, плит перекрытия, диафрагм жесткости. Прочность бетона определялась измерителем прочности бетона ИПС-МГ4. По проекту класс бетона для колонн В30, ригелей – В25, диафрагм – В25, плит перекрытия – В15. По результатам исследования фактическая прочность бетона конструкций соответствовала проектным значениям.

Ниже приведены фотодокументы наиболее опасных дефектов несущих конструкций дома.



Рис. П2.7. Рубленные отверстия в плите перекрытия с нарушением целостности ребра и оголением арматуры



Рис. П2.8. Рубленое отверстие в плите рядом с монолитным ригелем с обрезкой арматуры в ребре



Рис. П2.9. Непровибрированные монолитный ригель с оголением и коррозией рабочей арматуры

Ведомость дефектных конструкций с описанием отклонений их параметров от требований норм, приведена в табл. 25. По информации этой таблицы, по правилу в табл. 1, были определены показатели надежности всех групп однотипных конструкций объекта и по формуле $R = 1 / \Pi n_i$ рассчитан риск аварии объекта.

Таблица П2.2

Ведомость дефектов конструкций несущего каркаса объекта

Этаж, номер и наименование групп	Отклонения параметров конструкции от требований норм
0.1. Основание	Дефекты не обнаружены
0.2. Свайные фундаменты	Примерно 50% забитых свай отклонены в плане от проектного положения
0.3. Фундаментная плита	На 50% площади плиты местные неровности поверхности бетона (max 10 мм) больше допустимых на 5 мм.
0.4. Колонны ж/б	Дефекты не обнаружены
0.5. Диафрагмы жесткости	Дефекты не обнаружены
0.6. Ригели связевые	Дефекты не обнаружены
0.7. Ригели несущие	Непровибрированные участки ригелей с оголением и коррозией рабочей арматуры, замачивание ригеля с выходом кальция из бетона
0.8. Плиты перекрытия	Наличие воды в пустотах плит перекрытий, наличие строительного мусора в швах между плитами, плохое замоноличивание швов с оголением и коррозией арматуры
1.1 – 10.1. Колонны ж/б	Дефекты не обнаружены
1.2–10.2. Диафрагмы жесткости	Дефекты не обнаружены
1.3 – 10.3. Ригели ж/б связевые	Непровибрированные участки ригелей с оголением и коррозией рабочей арматуры
1.4 – 10.4. Ригели ж/б несущие	Непровибрированные участки ригелей с оголением и коррозией рабочей арматуры
1.5–10.5. Плиты перекрытия	Отверстия в плите пробиты с нарушением целостности ребер и перерезкой рабочей арматуры

Риск аварии составил величину, равную 8,26.

Выводы:

1. Фактический риск аварии после возведения здания превысил максимально допустимую величину более, чем в 4 раза. Здание не удовлетво-

ряет требованиям безопасности, предъявляемым к новым объектам, и следовательно, имеет заниженный безопасный ресурс.

2. Наибольший «вклад» в риск аварии объекта внесли следующие группы однотипных несущих конструкций: ригели и плиты перекрытия всех этажей здания.

Рекомендации:

1. Восстановить защитный слой арматуры ригелей перекрытия.
2. Восстановить разрушенный защитный слой арматуры плит перекрытий.
3. Выполнить усиление плит перекрытий с пробитыми отверстиями.

После реализации строительной фирмой рекомендаций экспертов по устранению дефектов и усилению несущих конструкций был произведен перерасчет величины риска аварии. Перерасчет величины риска аварии производится на основе откорректированной информации о физическом состоянии групп однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого жилого дома. Такая информация представлена в табл. П2.3.

Таблица П2.3

Экспертная информация для перерасчета риска аварии

№№ этажа и группы однотипных конструкций несущего каркаса объекта. Наименование групп	Ранг опасности и показатель надежности наиболее дефектной конструкции в группе (p_i) по табл. 1	Средний показатель надежности группы $n = (1+p_i) / 2$
0.1 Основание	1.2, 0,987	0,99
0.2 Свайные фундаменты	2.2, 0,939	0,97
0.3 Фундаментная плита	1.2, 0,987	0,99
0.4 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
0.5 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
0.6 Ригели ж/б связевые	1.2, 0,987	0,99
0.7 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
0.8 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
1.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
1.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
1.3 Ригели ж/б связевые	2.2, 0,939	0,97
1.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
1.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99

Продолжение табл. П2.3

№№ этажа и группы однотипных конструкций несущего каркаса объекта. Наименование групп	Ранг опасности и показатель надежности наиболее дефектной конструкции в группе (p_l) по табл. 1	Средний показатель надежности группы $n = (1+p_l) / 2$
2.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
2.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
2.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
2.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
2.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
3.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
3.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
3.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
3.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
3.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
4.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
4.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
4.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
4.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
4.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
5.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
5.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
5.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
5.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
5.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
6.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
6.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
6.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
6.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99

№№ этажа и группы однотипных конструкций несущего каркаса объекта. Наименование групп	Ранг опасности и показатель надежности наиболее дефектной конструкции в группе (p_i) по табл. 1	Средний показатель надежности группы $n = (1+p_i) / 2$
6.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
7.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
7.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
7.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
7.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
7.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
8.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
8.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
8.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
8.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
8.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
9.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
9.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
9.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
9.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
9.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99
10.1 Колонны ж/б	1.2, 0,987	0,99
10.2 Диафрагмы ж/б	1.2, 0,987	0,99
10.3 Ригели ж/б связевые	1.1, 0,994	0,99
10.4 Ригели ж/б несущие	1.1, 0,994	0,99
10.5 Плиты перекрытия	1.1, 0,994	0,99

При известных значениях показателей надежностей всех групп однотипных конструкций объекта по формуле $R = 1 / \prod n_i$ вновь была рассчитана величина риска аварии жилого дома. Перерасчет риска аварии показал, что после регулирования риска аварии он составил величину, равную 1,87.

Заключение: После предъявления доказательств, что риск аварии системы «основание – несущий каркас» дома после реализации рекомендаций экспертов превышает максимально допустимого значения, жилой дом можно вводить в эксплуатацию.

Примечание. Менеджмент риска аварии построенного 10-этажного жилого дома в г. Миассе (Челябинская обл.) выполнила группа экспертов в составе: Косогоров В.Г., Никольский И.С., Чебоксаров Д.В., Казакова Е.А. и Мельчаков А.П. (руководитель группы).

Пример 3. Менеджмент риска аварии эксплуатируемого объекта

В качестве примера менеджмента риска аварии для объекта, находящегося в эксплуатации, исследовалось здание учебно-спортивного комплекса (УСК) Южно-Уральского госуниверситета (ЮУрГУ). В состав комплекса входит плавательный бассейн. После резонансной аварии – обрушения перекрытия бассейна «Дельфин» в г. Чусовой (Пермский край) с летальными исходами, практически все бассейны страны по распоряжению МЧС прошли проверку их конструкционной безопасности. Не избежали этой участи и бассейны, эксплуатируемые в г. Челябинска.

Здание УСК – это каркасная система с самонесущими стенами, состоящая из двух частей. Основная ее часть – бассейн с чашей размерами 50x25 м, два спортзала по краям главного пролета и легкоатлетический манеж над перекрытием бассейна. Длина главного пролета 108 м, ширина 30 м, высота 24,2 м. Вторая часть здания – трехэтажная, высотой 12,3 м, со служебными помещениями на 1-м этаже, бытовыми помещениями на 2-м и специальными кабинетами на 3-м этаже. Цокольный этаж общий. Фундаменты под каркас здания свайные с монолитным ростверком. Ограждающие конструкции – стены толщиной 640 мм из красного кирпича по фундаментным балкам. Внутренние стены толщиной 380 – 510 мм покоятся на ленточных фундаментах из сборных ж/б элементов. Начало строительства – 1985г., окончание – 1995г.

Проект здания УСК – это привязка типового проекта, реализованного в ряде городов Российской Федерации. К числу значимых его погрешностей относится недостаточная проработки вопроса об устойчивости несущих конструкций каркаса здания по отношению к динамическим воздействиям, возникающим при проведении спортивных мероприятий на расположенном над бассейном легкоатлетическом манеже, и, как следствие, принятие не совсем обоснованных конструктивных решений. К ним относятся:

1. Отношение высоты фермы перекрытия бассейна ($h = 2280$ мм) к ее пролету ($L = 30$ м) составляет $1/13$, что ниже рекомендуемой нормами значения, равного ($1/8 \dots 1/10$).

2. В конструкциях перекрытия не предусмотрены пространственные жесткие блоки, которые должны воспринимать горизонтальные нагрузки от бегающих и прыгающих на легкоатлетическом манеже спортсменов.

При обследовании физического состояния несущих конструкций здания УСК были использованы следующие основные приборы:

1. Для определения прогибов ферм – лазерный дальномер фирмы Leica DISTO classic A и оптический теодолит УОМЗ ЗТ2КП

2. Для определения прочности бетона каменных и ж/б конструкций – молоток ПМ – 2, а для определения толщины и направленности трещин в них – тепловизор ThermoCAM P25

3. Для обследования металлоконструкций – электромагнитный толщиномер Константа К5, динамический ультразвуковой твердомер для металла МЕТ-УД, шаблоны для измерения катета шва и акустическо-эмиссионный прибор

4. Для динамических испытаний ферм перекрытия – многоканальный синхронный регистратор – анализатор вибросигналов Атлант-8.

По данным изысканий, в геологическом отношении строительная площадка здания УСК сложена скальными грунтами, продуктами их выветривания (элювиальные образования), на которых делювиальные отложения и насыпной грунт. В основании ростверков залегают делювиальные глины полутвердой консистенции, непросадочные, ненабухающие, средне и сильно пучинистые мощностью до 3 м. Ниже залегают элювиальные суглинки с включением дресвы, полутвердой консистенции, непросадочные и ненабухающие, мощностью от 1,5 до 5 м, подстилаемые дресвяными отложениями и щебнем. Грунтовые воды залегают на глубинах 3 – 3,5 м., агрессивными свойствами не обладают. Скальные породы низкой и средней прочности отмечены на глубине 8 м.

По проекту фундаменты всего каркаса здания и стен – свайные с монолитным низким ростверком. Часть стен на фундаментных балках с опорой на ростверки. Для исследования фактического состояния грунта внутри здания отрыт шурф и установлено: грунт в основании ростверка – влажная глина. Состояние ростверка, примыкающих к нему блоков и балок – удовлетворительное. Для определения свойств грунта отобраны образцы. Их испытания выполнены в лаборатории механики грунтов по ГОСТ методикам. По результатам испытаний определены основные характеристики грунта: плотность, влажность, коэффициент пористости, предел текучести, предел пластичности, угол внутреннего трения, удельное сцепление, модули деформации: компрессионный и штамповый. Характеристики соответствуют проектным данным: грунт основания – глина, полутвердой консистенции, непросадочный и ненабухающий.

О несущей способности свай. Соппротивление сваи точно оценить было невозможно, так как в актах нет сведений об упругой части отказа (не замерялась) и о методике определения отказа. Глубина забивки свай на площадке составляла 2,5 – 6,6 м. Она согласуется с геологическим строением площадки: на этих глубинах залегают суглинок с включением щебня и дресвяно-щебенистые отложения; в основании свай находятся малосжи-

маемые породы, которые из-за недостаточной энергии удара являются непроходимыми для свай, забиваемых молотом С-330. Расчет показал, что допустимая нагрузка на сваю в рассматриваемых грунтовых условиях не ниже 600 кН.

Для получения информации о прочностных характеристиках конструкций фундаментов были произведены замеры прочности бетона подколенника и фундамента под наружную стену непосредственно в откопанном шурфе. Для определения прочности бетона на сжатие использовался метод неразрушающего контроля посредством молотка ПМ-2. Статистический анализ показал: класс прочности бетона $V_{\text{факт}} = 14$ МПа, марка бетона $M_{\text{факт}} = 184$ кг/см².

В ходе обследования каменных и железобетонных конструкций здания УСК проверено их соответствие проекту, строительным нормам, стандартам и другим действующим нормативным документам. Кроме этого, в рамках обследования каменных и ж/б конструкций здания УСК проведены следующие мероприятия:

- установка гипсовых маяков для оценки динамики раскрытия обнаруженных трещин;
- оценка качества кровли (уклоны кровли, качество приклейки гидроизоляции)
- обследование технического состояния чаши бассейна (несущих конструкций чаши, гидроизоляции) ;
- тепловизионная съемка для выявления трещин и теплопотерь.

Результаты обследования каменных и железобетонных конструкций здания УСК и результаты тепловизионной съемки сведены в ведомость дефектов конструкций и элементов частей здания (см. табл. П2.4).

Таблица П2.4

Ведомость дефектов конструкций и элементов здания УСК

Часть здания	Конструкция, элемент	Описание дефекта
Бассейн, плиты основания ванны	Ж/б ребристые плиты	“Сухое” опирание плит на ригели
	Монолитный ж/б	Недоуплотнение бетона и его коррозия в заделках между плитами
	Ж/б ребристые плиты	Трещины в углах и посередине торцевых поперечных ребер плит
	Монолитный бетон	Протечки и образование сталактитов из продуктов выщелачивания бетона
	Ж/б плиты, монолитный ж/б	Обнажение арматуры в сколах торцевых ребер, в монолитных заделках
	Ж/б ригель	Замачивание от протечек в швах между торцами плит

Часть здания	Конструкция, элемент	Описание дефекта
Бассейн, плиты основания ванны	Ж/б плиты	В ребре трещина, L=12 м, a=0,5 мм, обнажение арматуры, в опорной части выкалывание бетона
Цокольный этаж	Кирпичная кладка внутренней стены	Замачивание кладки, биокоррозия кладки, ее деструкция
Наружные стены УСК	Кирпичная кладка	Кирпич и камни не оштукатурены, его F<25 циклов, кладка выполнена без заполнения раствором поперечных вертикальных швов
Наружные стены УСК	Кирпичная кладка, шлакобетонные блоки	Стены имеют пониженное тепловое сопротивление, вдоль оконных рам – трещина по штукатурке изнутри
Лестничная клетка	Кирпичная кладка	Замачивание стен конденсатом, замораживание, физическая и биокоррозия кирпича
Лестничная клетка	Плиты покрытия, кровля	Замачивание плит покрытия, протечки ковра, конденсат изнутри
Наружные стены манежа	Кирпичная кладка	В стыках между колоннами и наружными стенами с внутренней стороны имеются трещины по всей высоте стыков
Наружные стены пристроя	Кирпичная кладка, шлакобетонные блоки	
Наружные стены пристроя	Кирпичная кладка, плиты перекрытия	В стыках между плитой перекрытия и кладкой стены – трещина, a=2...2.5 мм
Наружные стены манежа	Кирпичная кладка	Местное разрушение кладки из-за миграции воды и пара через ее толщу
Перекрытие бассейна	ж/б плиты	Опорные участки плит смещены от проектного положения
Л/а манеж	ж/б плиты покрытия	При монтаже не соблюдена ширина зазора
Л/а манеж	Ковер кровли	В ковре – поперечные разрывы, из-за чего в утеплитель попала вода
Пристрой к бассейну	Кирпичные стены	Замачивание стены, грибок на стенах
	Плиты перекрытия цокольного этажа	Замачивание и коррозия плит перекрытия
	Кирпичные стены	Замачивание стены 1-го этажа, грибок на стенах

Часть здания	Конструкция, элемент	Описание дефекта
Пристрой к бассейну	Плиты перекрытия 1-го этажа	замачивание и коррозия плит перекрытия
Кровля к пристрою	Плиты перекрытия и ковер кровли	Ковер не сплошной, пропускает воду в утеплитель, нарушен уклон ковра
Л/а манеж	Покрытие беговой дорожки	По мозаичному полу вдоль беговой дорожки многочисленные трещины, а = 0,5 мм

Обследование металлоконструкций здания. Несущие конструкции перекрытия бассейна – фермы с параллельными поясами высотой 2280 мм. Фермы покрытия манежа выполнены в виде “рыбки” с высотой на опоре 400 мм и 3100 мм в коньке. Устойчивость конструкций покрытия и перекрытия (по проекту) обеспечивается системой связей и сборными железобетонными плитами, которые привариваются к верхним поясам ферм.

Геометрическая неизменяемость каркаса здания УСК в поперечном направлении обеспечивается жестким креплением колонн каркаса к фундаментам, а также вертикальными связями между колоннами в торце здания; в продольном направлении – вертикальными связями между колоннами и горизонтальными связями между фермами. Фермы перекрытия и покрытия изготовлены из прокатных горячекатаных уголков и листовых фасонки. Соединения элементов ферм сварные. Заводские швы выполнены механизированной сваркой в среде CO₂ сварочной проволокой Св-08Г2С. Монтажные швы выполнены ручной дуговой сваркой электродами типа Э46 и Э50А (ГОСТ9467-75).

Условия эксплуатации. Металлические конструкции покрытия над манежем эксплуатируются в условиях нормального температурно-влажностного режима, окружающая их среда – неагрессивная. Металлические конструкции перекрытия бассейна эксплуатируются в условиях мокрого температурно-влажностного режима. Агрессивность их окружающей среды зависит от концентрации хлора в воздухе, но не превышает согласно СНиП 2.03.11-85 среднего показателя агрессивности.

Несущие конструкции каркаса здания УСК подвергаются воздействию как статических, так и динамических нагрузок. Динамические воздействия на каркас возникают от работы технологического оборудования и занятия спортсменами в манеже; они создают физически ощутимую вибрацию. Цель обследования металлоконструкций здания УСК – оценка их технического состояния и установление причин повышенной вибрации элементов каркаса. Обследование проводилось в три этапа. На первом этапе осуществлялась подготовка к проведению обследования, которая включала в себя:

- анализ проектно-технической документации;

- изучение материалов ранее проводившихся обследований;
- геодезические исследования ферм для выявления наиболее податливых из них.

На втором этапе проводился сплошной визуальный контроль несущих металлоконструкций каркаса с выявлением по внешним признакам дефектов и повреждений.

На третьем этапе проводился выборочный инструментальный контроль с целью уточнения фактических геометрических параметров металлических конструкций, определения их соответствия проекту или отклонения от него. По результатам визуального контроля и геодезических измерений были определены конструкции, вызывающие «подозрение», у них определяли их фактические пролеты, отметки характерных узлов, размеры поперечных сечений колонн и элементов ферм. Здесь же акустико-эмиссионным методом приводилась оценка риска возникновения трещин в сварных соединениях, а также определялись толщины противокоррозионного покрытия и твердость металла.

В ходе обследования металлоконструкций здания УСК были произведены работы по измерению прогибов ферм покрытия и перекрытия для выявления наиболее податливых из них. Фермы с наибольшими прогибами в дальнейшем проверялись на наличие возможных дефектов.

По результатам выборочного инструментального контроля несущих конструкций здания УСК установлено:

- максимальные прогибы в фермах не превышают установленных СНиП величин;
- геометрические размеры и конструктивные решения каркаса здания в основном соответствуют требованиям проектной документации.

Отдельные элементы каркаса имели отступления от проектных решений. Для таких элементов отдельно составлена дефектная ведомость (табл. П2.5). В ней приведено не только описание обнаруженных дефектов и повреждений конструкций, но и мероприятия по их устранению.

Таблица П2.5

Ведомость дефектов металлоконструкций здания УСК

Узел или элемент	Описание дефекта	Рекомендации по устранению дефектов
Оголовок колонны на отметке +9500 мм	Отсутствует защитный слой бетона с частичным оголением и коррозией арматуры и закладных деталей	Удалить продукты коррозии, нанести антикоррозионное покрытие и восстановить защитный слой бетона
Узел опирания верхнего пояса фермы на колонну	Отступление от проектного решения. Узел не омоноличен	Разобрать кирпичную кладку, удалить продукты коррозии металла и замонолитить стык

Узел или элемент	Описание дефекта	Рекомендации по устранению дефектов
Узел опирания верхнего пояса фермы на колонну	Отступление от проектного решения. Узел не омоноличен	Разобрать кирпичную кладку, удалить продукты коррозии металла и замонолитить стык
Пояса ферм	Отсутствует антикоррозионное покрытие на внутренних поверхностях полок	Нанести антикоррозионное покрытие в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11-85
Стойка и раскос решетки	Местный погиб полков уголков	Оставить без исправления, так как погиб элементов в пределах фасонки
Раскос фермы	Местная погиб полки уголка	Усилить раскос
Связь между колоннами	Обрезана связь	Восстановить отсутствующие элементы связи
Связь по верхнему поясу ферм	Обрезаны элементы связи	Восстановить отсутствующие элементы связи
Плита перекрытия. Ряд «К» ось «11»	Разрушение защитного слоя бетона с частичным оголением арматуры	Удалить продукты коррозии, нанести антикоррозионное покрытие и восстановить защитный слой бетона
Узел опирания балки на ферму	Срезана полка швеллера. Частично восстановлена приваркой накладок.	Установить опорное ребро

Акустико-эмиссионный контроль. При воздействии на несущий каркас здания УСК переменных во времени нагрузок существует риск образования усталостных трещин в элементах металлоконструкций. С целью выявления микроповреждений (микротрещин) были проведены специальные акустико-эмиссионные испытания с использованием диагностической системы СЦАД-16.09Р. В качестве объекта исследования были выбраны узлы опирания ферм перекрытия в осях “7”....“11” на колонны по ряду “К” и монтажный стык верхнего пояса фермы по оси “7”. Испытания проводили специалисты – разработчики диагностической системы СЦАД-16.09Р из Сибирского научно-исследовательского института авиации им. С.А. Чаплыгина. Эксперимент был осуществлен в условиях штатного режима эксплуатации легкоатлетического манежа. Локальное динамическое воздействие на ферму моделировалось группой бегающих по манежу студентов в количестве 25 чел. В результате испытаний установлено:

1. При контроле узлов опирания фермы на колонну и монтажного стыка верхнего пояса фермы зарегистрировано от 4 до 45 сигналов АЭ с низким уровнем для диагностирования микроповреждений.

2. Форма и характеристики зарегистрированных сигналов говорят о том, что в окрестности зоны контроля ($\pm 1 \dots 1,5$ м) нет источников активной акустической эмиссии, свидетельствующих об образовании и продвижении трещины.

Полученные результаты дают основание утверждать, что в условиях штатного режима эксплуатации манежа трещинообразования в узлах ферм перекрытия над плавательным бассейном еще нет.

Контроль противокоррозионного покрытия. Металлоконструкции перекрытия над бассейном эксплуатируются в условиях воздействия агрессивной среды. Поэтому все металлоконструкции должны иметь противокоррозионное покрытие. Оценка состояния лакокрасочных покрытий металлоконструкций производилась с учетом рекомендаций СНиП 2.03.11-85 и ГОСТ 23118-99. При этом фиксировали все виды повреждений: растрескивания и отслоения, которые характеризуются глубиной разрушения верхнего слоя (до грунтовки), пузыри и коррозионные очаги, характеризующиеся размером очага (диаметром). Площадь отдельных видов повреждений покрытия определяется (ориентировочно) в процентах по отношению ко всей окрашенной поверхности конструкции (элемента).

Для определения толщины противокоррозионного покрытия использовался толщиномер «Константа К-5», позволяющий контролировать лакокрасочные покрытия толщиной до 2 мм. Точность измерения прибора составляет от 0,001 до 0,015 мм $\pm 0,001$ мм. Толщина покрытия элементов ферм над бассейном измерялась в 3–5 точках, что соответствует требованиям ГОСТ 23118-99. В результате выполненной работы установлено, что противокоррозионное покрытие стальных ферм находится в удовлетворительном состоянии и составляет 185...520 мкм. Выявлено частичное отсутствие противокоррозионной защиты:

- на внутренней стороне уголков верхнего и нижнего поясов ферм;
- в узлах опирания верхнего пояса фермы на колонну.

Максимальная величина коррозионного износа отмечается в узлах опирания ферм на колонны, где она достигает 0,8...1,0 мм. На незащищенных участках элементов конструкций коррозия имеет равномерный характер и образует плотный пассивирующий слой.

Определение твердости металла. Для оценки прочности металла элементов ферм и подтверждения соответствия используемых марок требованиям проектной документации были проведены замеры твердости металла в нижнем поясе, опорном раскосе и элементах шпренгельной решетки ферм перекрытия. Твердость металла определялась по методу Бринелля с использованием портативного ультразвукового твердомера «МЕТ-УД». Величина твердости для каждого элемента определялась как среднеариф-

метическое значение по результатам трех измерений. Результаты замеров твердости стали и расчета временного сопротивления показали, что используемый металлопрокат по твердости и прочности соответствует маркам сталей, принятых в проекте КМД.

Вывод по результатам инструментального контроля: Несущие конструкции здания в основном соответствуют требованиям проектной документации. Вместе с тем, для полной оценки конструкционной безопасности здания необходим поверочный расчет несущего каркаса на прочность, жесткость и устойчивость, а также вибродиагностика его основных конструкций.

Поверочный расчет поперечника несущего каркаса здания УСК произведен методом конечных элементов с помощью вычислительного комплекса «ЛИРА». Выполнен расчет спектра частот собственных колебаний поперечника и натурные динамические испытания ферм перекрытия бассейна. Результаты исследований позволяют утверждать:

1. Превышения допустимых значений усилий в элементах поперечника практически нет. В ходе обследования металлических конструкций здания УСК по техническим причинам не был достоверно выявлен факт приварки плит перекрытия и покрытия к верхним поясам ферм. Если он будет подтвержден, то расчеты показывают, что может произойти потеря устойчивости сжатого пояса фермы из ее плоскости.

2. Максимальная продольная сила, действующая в колонне основного пролета, равна 283 т. и воспринимается фундаментом из 9 свай. На одну сваю приходится около 30 т. Это меньше, чем несущая способность свай, равная 58 т.

3. Расчеты показали, что ни одна из вынужденных частот не совпадает с частотами из спектра частот собственных колебаний поперечника. Однако результаты натурных динамических испытаний ферм и плит перекрытия бассейна (вибродиагностики) показывают: на кратных гармониках некоторых основных частот (кроме частоты основного тона) явление резонанса имеет место. При этом коэффициент динамичности достигает величины 2,6. Этим объясняется наблюдаемый при эксплуатации манежа ярко выраженный эффект «зыбки», следствием которого являются многочисленные трещины покрытия пола манежа.

Оценка конструкционной безопасности здания УСК. В табл. 28. по результатам обследования приведены показатели надежности наиболее дефектных конструкций. Примеры некоторых дефектов приведены ниже.

Предварительный расчет риска аварии здания УСК показал, что его величина не должна превысит значения 15. Поэтому окончательный расчет риска аварии его частей выполнен как для новых зданий по риск-модели $R = 1 / \prod n_i$, приняв за закон распределения надежностей конструкций в группах равномерным: $f(p) = 1 / (1 - p_1)$, при котором показатель надежности группы определится по формуле $n_i = (1 + p_1) / 2$.



Рис. П2.10. Узел опирания верхнего пояса фермы на колонну.
Занижен проектный размер катета углового шва

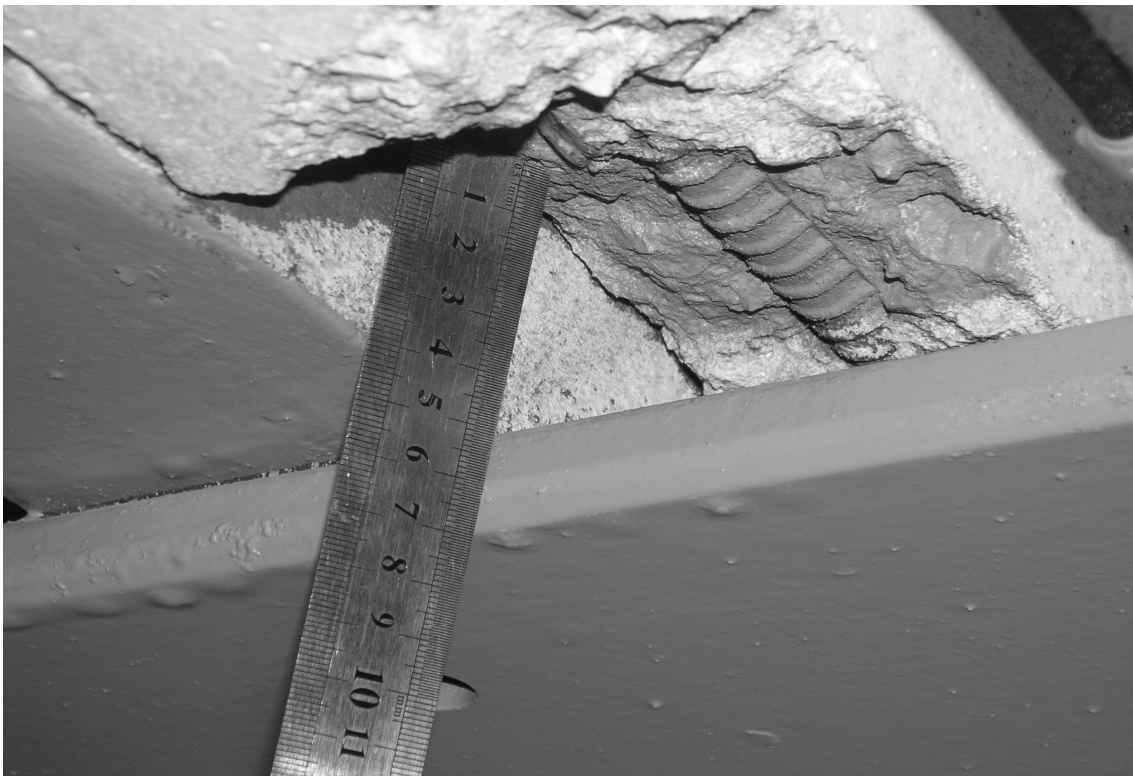


Рис. П2.11. Ж/б плита перекрытия. Разрушение защитного
слоя бетона с частичным оголением арматуры

Рассмотрены следующие части объекта: цокольный этаж, трехэтажный пристрой к зданию (бытовки), трехэтажный пристрой в торцевой части главного пролета бассейна и главный пролет здания (помещения ванны бассейна и манежа). Исходные данные для расчета риска аварии частей здания УСК показаны в табл. П2.6.

Таблица П2.6

«Дерево» несущего каркаса здания УСК и показатели надежности групп его однотипных конструкций

№ и наименование групп конструкций несущего каркаса здания	Показатели надежности наиболее дефектных в группах конструкций p_1	Показатель надежности группы $n_i = (1 + p_1) / 2$
1. Грунтовое основание под фундаменты	0,969	0,984
2. Фундамент под стены	0,987	0,993
3. Фундаменты под колонны и стойки	0,939	0,969
4. Ж/б колонны и стойки цокольного этажа	0,939	0,969
5. Ж/б ригели и балки цокольного этажа	0,910	0,948
6. Ж/Б плиты перекрытия цокольного этажа	0,828	0,907
7. Самонесущие стены цокольного этажа	0,882	0,934
8. Ж/б колонны 4-этажного пристроя помещений	0,939	0,963
9. Ж/б ригели 4-этажного пристроя для бытовых помещений	0,910	0,948
10. Ж/Б плиты перекрытия 4-этажного пристроя для бытовых помещений	0,828	0,907
11. Самонесущие стены 4-этажного пристроя для бытовых помещений	0,882	0,934
12. Ж/б колонны 3-этажного пристроя в торцевой части главного пролета здания	0,939	0,963
13. Ж/б ригели 3-этажного пристроя в торцевой части главного пролета здания	0,910	0,948

№ и наименование групп конструкций несущего каркаса здания	Показатели надежности наиболее дефектных в группах конструкций p_1	Показатель надежности группы $n_i = (1 + p_i) / 2$
14. Ж/Б плиты перекрытия 3-этажного пристроя в торцевой части главного пролета	0,928	0,957
15. Ж/б колонны каркаса главного пролета здания и связи по колоннам	0,928	0,957
16. Металлические фермы перекрытия главного пролета здания и связи по фермам	0,533	0,609
17. Ж/б плиты перекрытия главного пролета здания	0,686	0,827
18. Самонесущие стены главного пролета здания	0,882	0,925
19. Ж/б колонны каркаса манежа и связи по колоннам	0,969	0,978
20. Металлические фермы перекрытия манежа и связи по фермам	0,882	0,910
21. Ж/б плиты покрытия манежа	0,828	0,898
22. Самонесущие стены манежа	0,777	0,843

При расчете риска аварии различных частей учтено, что цокольный этаж относится ко всем рассмотренным частям здания УСК. Результаты расчета риска аварии для основных частей здания приведены в табл. П2.7.

Таблица П2.7

Значения риска аварии частей здания УСК

Части здания	Риск аварии
Цокольный этаж	1,374
3-этажный пристрой к зданию (бытовки)	2,970
Пристрой в торцевой части главного пролета	2,060
Главный пролет здания (бассейн и манеж)	4,239

Из этой таблицы следует, что риск аварии здания УСК в целом составляет величину, равную 4,239.

При расчете риска аварии учтена только та его часть, которая связана с возведением здания УСК. Очевидно, риск аварии, заложенный в здание его

проектом, тоже должен быть выявлен и учтен при определении безопасного остаточного ресурса здания УСК.

Для расчета величины проектного риска аварии объекта приведем еще раз недостатки проектных решений, установим ранг их опасности, а по рангу и табл.6 определим показатели надежности этих решений:

– отношение высоты фермы перекрытия бассейна ($h=2280$ мм) к ее пролету ($L=30$ м) составляет около $1/13$, что ниже рекомендуемых нормами значений ($1/8...1/10$) и делает ферму чувствительной к динамическим нагрузкам; ранг опасности – 9.2, показатель надежности – $n_6 = 0,303$

– в конструкциях перекрытия и покрытия главного пролета здания УСК не предусмотрены жесткие связи в виде пространственных блоков, которые бы воспринимали горизонтальные нагрузки от бегающих и прыгающих на легкоатлетическом манеже людей; ранг опасности – 9.1, показатель надежности – $n_7 = 0,322$.

Проектный риск аварии здания УСК определим по формуле $R_{II} = 1 / \prod n_i$, где $\prod n_i$ – произведение показателей надежностей всех девяти стадий проекта. Из них учтем лишь две: стадию 6 – «Проектирование несущего каркаса объекта» ($n_6 = 0,303$) и стадию 7 – «Проектирование связевых конструкции» ($n_7 = 0,322$). Оценить показатели надежности остальных стадий проекта не представляется возможным. Для них совокупно назначен щадящий ранг опасности 2.3 (Отклонения от требований норм незначительные) с показателем надежности $n = 0,910$. Подстановка показателей надежности в формулу $R_{II} = 1 / \prod n_i$, дает $R_{II} = 11,27$. Вот такая цена проектных ошибок.

Итак, полный риск аварии здания УСК с учетом проектной угрозы обрушения перекрытия бассейна от бегающих и прыгающих на манеже людей по состоянию на 2006 год составил величину, равную $R = 15,51$. До обследования здание УСК эксплуатировалось 11 лет, т.е. $T_\phi = 11$. При таких данных безопасный остаточный ресурс здания УСК равен:

$$T_{BO} = [T_\phi \cdot (R_{KP} - R_\phi)] / (R_\phi - 1) = [11 \cdot (32 - 15,51)] / (15,51 - 1) = 12,5 \text{ лет}$$

В итоге определены два базовых показателя конструкционной безопасности здания УСК по состоянию на 2006 год.

Заключение по результатам обследования здания УСК:

1. Испытания проб грунта из открытого шурфа показали, что основные механические характеристики грунтового основания соответствуют проектным значениям. Расчет несущей способности свай и определение фактической прочности бетона фундаментов не выявили значительных отклонений от проектных решений. В целом грунтовое основание и фундаменты здания УСК находятся в работоспособном состоянии.

2. В каменных и ж/б конструкциях угрожающие аварии дефекты отсутствуют. Наиболее опасные дефекты обнаружены в колоннах (в местах примыкания ферм) и плитах перекрытия и покрытия (в местах опирания на

пояса ферм). Зафиксированы повышенная влажность стен, высолы и значительные потери тепла.

3. При обследовании металлических конструкций (ферм перекрытия и покрытия, связевые конструкции) произведено экспериментальное измерение прогибов ферм с целью выявления наиболее податливых из них для последующей проверки наличия в них дефектов. Установлено, что максимальные прогибы ферм от статической нагрузки не превышают нормативного значения, равного $1/400$ длины пролета. Выполнен акустико-эмиссионный контроль узлов наиболее нагруженных ферм перекрытия по методике научно-исследовательского института авиации им. С.А. Чаплыгина. Контроль показал, что в условиях штатного режима эксплуатации манежа трещинообразования в обследованных опорных узлах и монтажном стыке фермы нет.

4. Произведена вибродиагностика перекрытия бассейна и получены среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения в фиксированных точках пола манежа. Результаты обследования позволяют утверждать, что на большинстве частотных диапазонов показатели динамической нагруженности перекрытия превышают санитарные нормы. Экспериментально выявлен спектр частот свободных колебаний перекрытия и определены частоты динамического воздействия от легкоатлетического манежа. Анализ полученных результатов показал, что резонанса на основных частотах не наблюдается, однако на кратных гармониках некоторых основных частот явление резонанса имеет место. Коэффициент динамики при этом достигает величины 2.6. Зафиксированы превышающие нормативные значения амплитуды колебания пола манежа в горизонтальной плоскости, что объясняет наблюдаемый при эксплуатации манежа эффект «зыбки». Следствием «зыбкости» перекрытия являются многочисленные трещины покрытия пола манежа.

5. Выявлен недокомплект проектных металлических связей по фермам перекрытия бассейна и между колоннами главного пролета. Установлено, что металлические конструкции несущего каркаса в основном соответствуют требованиям проектной документации. Вместе с этим экспертам не удалось по объективным причинам зафиксировать наличие сварных соединений плит перекрытия бассейна с верхним поясом ферм. Отсутствие таких связей создает угрозу потери устойчивости верхнего пояса фермы в горизонтальной плоскости.

6. Выполнен расчет поперечной рамы несущего каркаса здания на статические и динамические воздействия с помощью вычислительного комплекса «ЛИРА». Результаты расчета свидетельствуют о достаточной корреляции расчетных и экспериментальных данных по перемещениям и спектру частот свободных колебаний, а величины напряжений не превышают допустимых значений.

7. Произведена оценка уровня конструкционной безопасности здания УСК, которая показала, что несущий каркас здания УСК находится в области приемлемых рисков. При этом наибольший «вклад» в риск аварии здания внесли группы несущих конструкций перекрытия бассейна. Фактический риск аварии здания УСК с учетом проектных недоработок составил величину $R_{\phi} = 15,51$ (без учета проектных ошибок этот риск равен 4,24). При таком риске безопасный остаточный ресурс здания УСК на момент времени его обследования (по состоянию на 2006 год) составил 12,5 лет.

Выводы и рекомендации:

1. При имеющихся в конструкциях несущего каркаса здания УСК дефектах фактический риск его аварии приемлемый, а безопасный остаточный ресурс 12,5 года. Формально это означает, что здание УСК будет находиться еще в работоспособном состоянии примерно до 2018 года. 73% от фактического риска аварии связано с проектными недоработками несущего каркаса главного пролета здания УСК, где расположены бассейн и легкоатлетический манеж. Поэтому, если уже сейчас не исполнить рекомендации экспертов, может произойти внезапное обрушение здания УСК. Дата наступления аварии, связанной с проектными ошибками, непредсказуемая. Достаточно вспомнить аварию аквапарка «Трансвааль» в Москве, произошедшую из-за чрезмерного проектного риска.

2. Существуют конструктивные схемы зданий, устойчивость которых невозможно исследовать в условиях квазистатического нагружения. Здание УСК именно такое. Доказано, что динамическое воздействие на несущий каркас здания от бегущих и прыгающих на манеже людей не только превышает санитарные нормы, но и приводит к резонансу на гармониках, сопутствующих основным частотам свободных колебаний перекрытия бассейна.

3. Из-за проектных недоработок легкоатлетический манеж здания УСК не пригоден к исполнению предусмотренных проектом функций, поскольку в процессе эксплуатации манежа наблюдается повышенная «зыбкость» перекрытия, которая является следствием не только резонансных явлений, но и недостаточной жесткости конструкций перекрытия бассейны в горизонтальной плоскости. Эффект «зыбки» при эксплуатации манежа по проектному назначению может привести к появлению усталостных повреждений в наиболее нагруженных элементах ферм перекрытия бассейна.

Рекомендации. Для поддержания здания УСК в безопасном состоянии и продления его безопасного ресурса необходимо:

1. Устранить динамическое воздействие на конструкции перекрытия бассейна. Наилучший способ устранения – это изменить функциональное назначение помещения легкоатлетического манежа. Другие способы для повышения динамической устойчивости каркаса здания УСК являются или весьма затратными, либо практически нереализуемыми.

2. Организовать мониторинг физического состояния элементов перекрытия бассейна, предварительно устранив выявленные при обследовании здания дефекты конструкций несущего каркаса здания УСК.

Примечание. Исследование физического состояния эксплуатируемого здания УСК и менеджмент риска его аварии выполнила группа экспертов в составе: Толмачев Э.Л., Малютин В.С., Тиньгаев А.К., Захезин А.М. Руководитель группы – Мельчаков А.П.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г.Г. Азгальдов – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
2. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании. Пер. с англ. / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.
3. Акимов, В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов, В.А. Пучков, В.И. Томаков, М.И. Фалеев – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.
4. Байбурин, А.Х. Оценка риска аварий конструкций зданий и сооружений / А.Х. Байбурин // Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия: сб. матер. первой Всероссийской научно-практической конференции – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 125 с.
5. Байбурин, Д.А. Автоматизированная экспертная система контроля риска аварий зданий и сооружений в процессе их создания / Д.А. Байбурин // 63-я научная конференция. Секции технических наук – Челябинск: ЮУрГУ, 2011.
6. Байбурин, Д.А. Разработка экспертной системы оценки риска аварий в строительных системах на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации / Д.А. Байбурин, Е.В. Фабрика // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции и XIV школы молодых ученых. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 86.
7. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
8. Болотин, В.В. Статистические методы в строительной механике / В.В. Болотин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1965. – 279 с.
9. Болотин, В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
10. Бондаренко, В.М. Адаптационные конструктивные решения. Принципы и расчеты / В.М. Бондаренко // Промышленное и гражданское строительство. – 1993. – №4.
11. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
12. Воробьев, Ю.Л. Теория риска и технологии обеспечения безопасности. Подход с позиций нелинейной динамики. Часть I / Ю.Л. Воробьев, Г.Г. Малинецкий, Н.А. Махутов // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 1998. – №11. С. 5–21.
13. Владимиров, В.А. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьев и др. – М.: Наука, 2000. – 431 с.

14. Габрин, К.Э. Страхование строительно-монтажных рисков: учебное пособие для студентов экономических и строительных специальностей / К.Э. Габрин, В.В. Воложанин, А.П. Мельчаков – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 115 с.

15. Габрин, К.Э. Априорная оценка риска аварии возводимого объекта строительства / К.Э. Габрин, А.П. Мельчаков, И.Б. Шлейков // Безопасность жизнедеятельности на пороге третьего тысячелетия: сб. матер. первой Всероссийской научно-практической конференции – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 125 с.

16. Гарагаш, Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение–основание» при неравномерных деформациях основания / Б.А. Гарагаш. – Сочи: Изд-во «Кубанькино», 2004. – 908 с.

17. Гранев, В.В. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам / В.В. Гранев, А.Н. Добромыслов, В.Т. Ильин, А.М. Туголуков. – М.: Стройиздат, 1989. – 44 с.

18. Гроздов, В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений / В.Т. Гроздов. – СПб., 2004. – 144 с.

19. Гусаков, А.А. Экспертные системы в проектировании и управлении строительством / А.А. Гусаков, Н.И. Ильин, Х. Эдели. – М.: Стройиздат, 1995. – 296 с.

20. Еремеев, П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений / П.Г. Еремеев // Современное промышленное и гражданское строительство – М., 2006. – Т.2, №1., С. 5–15.

21. Евланов, Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении / Л.Г. Евланов, В.А. Кутузов – М.: Экономика, 1978. – 133 с.

22. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 153 с.

23. Землянский, А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений: учебное пособие / А.А. Землянский. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 240 с.

24. Кузнецов, О.П. Дискретная математика для инженера / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 237 с.

25. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений: учебное пособие / А.А. Калинин. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 160 с.

26. Когаловский, М.Р. Энциклопедия технологий баз данных / М.Р. Когаловский – М.: Финансы и статистика, 2002. – 800 с.

27. Легасов, В.А. Проблемы безопасного развития техносферы / В.А. Легасов // Журнал Коммунист – М.: Изд-во ЦК КПСС «Правда», 1987. – №86. С. 92–102.

28. Легасов, В.А. Нужно ли знать меру в обеспечении безопасности / В.А. Легасов, В.Ф. Демин, Я.В. Шевелев // Энергия: экономика, техника, экология – М.: Изд-во «Наука», 1984. – №8.

29. Летчфорд, А.Н. Схемы операционного контроля качества строительных, ремонтно-строительных и монтажных работ / А.Н. Летчфорд, В.А. Шинкевич, С.А. Платонов и др. – изд. 6-е. – СПб.: ООО «Центр качества строительства», 2008. – 234 с.

30. Малинецкий, Г.Г. Теория риска и безопасности с точки зрения нелинейной динамики и системного анализа / Г.Г. Малинецкий // Глобальные проблемы как источник чрезвычайных ситуаций. – М.: УРСС, 1998. С. 216–241.

31. Международный стандарт ИСО 9001. Системы менеджмента качества. Требования. Второе издание, 2000-12-15. – М.: 2001.

32. Мельчаков, А.П. Управление безопасностью в строительстве. Прогнозирование и страхование риска аварии зданий и сооружений / А.П. Мельчаков, К.Э. Габрин, Е.А. Мельчаков – Челябинск, 1996. – 198с.

33. Мельчаков, А.П. Оценка надежности возведенных строительных конструкций на основе методов теории размытых множеств / А.П. Мельчаков // 7-е Уральские академические чтения: сб. матер. – Екатеринбург: Изд-во УралНИИпроект, 2002.

34. Мельчаков, А.П. К теории прогнозирования риска аварии объектов строительства / А.П. Мельчаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2001. – Вып. 1.

35. Мельчаков, А.П. Автоматизированная система контроля и обеспечения конструкционной безопасности жилых зданий на стадии возведения / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова // Строительство и образование: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – №12. – С. 5-6.

36. Мельчаков, А.П. Независимый контроль риска аварии зданий и сооружений – реальный путь к снижению аварийности в строительстве / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова, Д.В. Чебоксаров // Электронный журнал ramag.ru: Предотвращение аварий зданий и сооружений. – <http://www.ramag.ru/pressa/nk-razis>.

37. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.

38. Пат. 2308698 Российская Федерация, МПК G01N3/32. Способ оценки технического состояния несущего каркаса строительного объекта / А.П. Мельчаков. – заявл. 13.03.2006 опубл. 20.10.2007.

39. Мельчаков, А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. Теория, методики и инженерные приложения: уч. пос. / А.П. Мельчаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.

40. Мельчаков, А.П. О проектировании строительных конструкций с учетом человеческого фактора риска / А.П. Мельчаков, И.Б. Шлейков // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и рекон-

струкции НАСКР-99: Материалы II Всероссийской конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 1999. – С.29.

41. Мельчаков, А.П. Математическая модель и компьютерная технология прогнозирования риска аварии зданий и сооружений / А.П. Мельчаков, И.Б. Шлейков, И.С. Никольский // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции НАСКР-2001: Материалы III Всероссийской конференции. – Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2001. – С. 264.

42. Мельчаков, А.П. Риск-менеджмент как наука о безопасности / А.П. Мельчаков // Технадзор. Серия «Промышленная безопасность». – 2011. – № 3 (52). – С.72 – 76.

43. Мельчаков, А.П. Город – место надежных и безопасных сооружений / А.П. Мельчаков, Н.Н. Никонов, В.Н. Рудин // Градостроительство. – 2011. – № 5(15) С.104–113, № 6(16) С. 80–88.

44. Металлические конструкции. Элементы стальных конструкций: уч. пос. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; под ред. В.В. Горева. – вып. 3, Т. 1. – М.: Высш. шк., 1997. – 527 с.

45. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. МЧС России. Федеральный центр науки и высоких технологий «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций». – М.: 2003.

46. Мушник, Э. Методы принятия технических решений: пер. с нем. / Э. Мушник, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 204 с.

47. Никонов, Н.Н. Большепролетные покрытия. Анализ и оценка / Н.Н. Никонов – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 400 с.

48. Никонов, Н.Н. Добровольно о безопасности. Введение в специальность: учебное пособие / Н.Н. Никонов. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 216 с.

49. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

50. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.Т. Попов, Л.Я. Бурак. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 240 с.

51. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. 10. Безопасность строительства, надежность зданий и сооружений. – М.: Внешторгиздат, 2005. – 319 с.

52. Райзер, В.Д. Теория надежности сооружений. Научное издание / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 384 с.

53. Ржаницин, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницин – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

54. Ржаницин, А.Р. Экономический принцип расчета на безопасность / А.Р. Ржаницин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – №3.

55. Ройтман, А.Г. Деформации и повреждения зданий / А.Г. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1987. – 160 с.
56. Сендеров, Б.В. Аварии жилых зданий / Б.В. Сендеров. – М.: Стройиздат, 1991. – 213 с.
57. Скоробогатов, С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов / С.М. Скоробогатов. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2000. – 420 с.
58. Стрелецкий, Н.С. Основы статистического учета коэффициентов запаса прочности сооружений / Н.С. Стрелецкий. – М.: Стройиздат, 1947. – 95 с.
59. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Информационно научно-технический журнал. М.: Композит XXI век. – 2007. – № 2(97).
60. Служба спасения бетона. Каталог продукции. Материалы для восстановления, ремонта, защиты бетона и железобетона, высокоточной цементации оборудования, упрочнения бетонных полов.
61. Служба спасения бетона. Интеллектуальные решения для восстановления, ремонта, защиты бетонных и железобетонных конструкций, высокоточной цементации оборудования, упрочнения бетонных полов.
62. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
63. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя, 1986.
64. Сапотницкий, А.Я. Концепция экспертной системы оценки ресурса эксплуатации тонкостенных оболочечных конструкций / А.Я. Сапотницкий, А.С. Юдин, И.П. Мирошниченко, Р.В. Сахабудин, А.П. Еремеев // Современные проблемы механики сплошной среды: Материалы 3 Международной конференции. – Ростов: МП "Книга", 1997. – Т. 1. – С. 48-51.
65. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 15 декабря 2002 года (в ред. Федеральных законов от 23.07.2008 № 160-ФЗ).
66. Фалькович, М.А. Универсальная экспертная система «Строитель» / М.А. Фалькович, А.Я. Сапотницкий, С.М. Шаля, А.И. Михайлов, А.Я. Ционский, Л.Н. Фоменко и др. – 1994 – 2011.
67. Хенли, Э. Дж., Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото; пер. с англ. В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой; под общ. ред. В. С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
68. Чебоксаров, Д.В. Оценка конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 176 с.
69. Шлейков, И.Б. О техническом регулировании уровня конструктивной безопасности зданий и сооружений / И.Б. Шлейков, И.С. Никольский,

А.Н. Рябков / Предотвращение аварий зданий и сооружений. Сборник научных трудов. – Магнитогорск: 2006.

70. Шлейков, И.Б. Априорная оценка риска аварии планируемых к возведению зданий и сооружений и ее применение к подбору организаций – участников строительства / И.Б. Шлейков, И.С. Никольский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2003. – Вып. 2, №7(23) 2003, С. 82.

71. Шлейков, И.Б. Математическая модель прогнозирования риска аварии объектов строительства / И.Б. Шлейков, И.С. Никольский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2003. – Вып. 1, №5(05) 2001, С. 37.

72. Эндрю, А. Искусственный интеллект / А. Эндрю. – М.: Мир. 1985. – 264 с.

73. Ang, A.H.-S. Safety Factors and Probability in Structural Engineering / A.H.-S. Ang, M. Amin. – Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, Struct. Div., № ST-7.

74. Barlow, R.E. Reliability and Fault Tree Analysis / R.E. Barlow, J.B. Fussell, N.D. Singpurwalla. – Philadelphia: SIAM, 1975.

75. Lohani, B. Environmental Impact Assessment for Developing Countries in Asia / B. Lohani, J.W. Evans, H. Ludwig, R.R. Everitt, Richard A. Carpenter, S.L. Tu. – Volume 1 – Overview. 356 p.

76. Rooney, M. Artificial intelligence in engineering design / M. Rooney, S.E. Smith // Computers and Structures. – 1983. № 16, pp. 279-288.

77. Adely, H. An expert system for design of root trusses / H. Adely, M.M. Al-Rijleh // Microcomputers in Civil Engineering. – 1987. – Volume 2, № 3., p. 127.

78. Rubin, D. Turbo PROLOG: a PROLOG compiler for the PC programmer / D. Rubin // AI Expert (primer issue). – 1986. – pp. 87-97.

79. Majoweki, M. Conceptual design of long span structures a knowledge based synthetical approach / M. Majoweki – University of Bologna, Italy. Proceedings of the IASS.

Дополнительная литература

80. Национальный стандарт Российской Федерации: Менеджмент риска, принципы и руководство. ГОСТ Р ИСО 31000 – 2010.

81. Лушников, В.В. Оценка действительных характеристик деформируемости элювиальных грунтов по результатам измерений деформаций зданий / В.В. Лушников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 3. – С. 38-44.

82. Лушников, В.В. Расширение понятия «Научно-техническое сопровождение строительства» / В.В. Лушников, Ю.Р. Оржеховский, А.Я. Эпп, М.В. Сметанин // Сб. тр. научн. конф. СПбГАСУ. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2007. – С. 12–17.

83. Лушников, В.В. Анализ ведущегося научно-технического сопровождения строительства дома в сложных грунтовых условиях /

В.В. Лушников, М.В. Сметанин // Сб. тр. научн. конф. Пермского ГТУ. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. – С. 7–13.

84. Лушников, В.В. Отклонения от вертикали секции 20-этажного жилого дома: причины и последствия / В.В. Лушников // Сб. тр. научн. конф. СПбГАСУ. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2010. – С. 17–24.

85. Эпп, А.Я. Опыт реализации «отложенного решения» об усилении фундаментов многоэтажного дома / А.Я. Эпп, В.В. Лушников, В.В. Ишмурастов // Сб. тр. научн. конф. Пермского ГТУ. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. – С. 7–12.

86. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / Авторский коллектив (в т.ч. Мельчаков А.П.). – М.: Изд-во РАН, 2012. – 798 с.

87. Байбурин, А.Х. О конструкционной безопасности строительных объектов и урбанизированных территорий в связи с космическими угрозами / А.Х. Байбурин, А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, А.Е. Иванов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. – № 3(8) – С. 37–45.

88. Землянский, А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений: учебное пособие / А.А. Землянский. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 240 с.

89. Никонов, Н.Н. О безопасности сооружений / Н.Н. Никонов, А.П. Мельчаков, В.Н. Рудин // Журнал «ПГС». – 2013. – № 3 и № 4. – 36 с.

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 14.12.2013. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 7,90. Тираж 50 экз. Заказ 609/163.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.