

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет

69.05(07)
М487

А.П. Мельчаков

**РАСЧЕТ И ОЦЕНКА
РИСКА АВАРИИ И БЕЗОПАСНОГО РЕСУРСА
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**
(Теория, методики и инженерные приложения)

Учебное пособие

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2006

УДК [69.05:658.562](076.5) + 69.059(076.5)

Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. (Теория, методики и инженерные приложения): Учебное пособие. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. – 49 с.

В пособии изложены теория прогнозирования риска аварии и метод расчета безопасного остаточного ресурса строящихся и находящихся в эксплуатации зданий и сооружений. Пособие содержит сведения о стандартных значениях риска аварии, позволяющих сформировать требования конструкционной безопасности строительного объекта. Инженерные приложения пособия связаны с задачами регулирования риска аварии зданий и сооружений на различных стадиях их жизненного цикла.

Пособие предназначено для студентов строительных специальностей и аспирантов, работающих над проблемой безопасности зданий и сооружений. Оно представляет интерес для руководителей строительного комплекса и может быть использовано в курсах повышения квалификации инженерного состава. Пособие также будет полезным при освоении строительными специалистами профессии «эксперт» по диагностике и оценке технического состояния зданий и сооружений.

В подготовке пособия принимали участие: Косоголов В.Г (раздел 2.2), Шлейков И.Б. (раздел 4.1), Никольский И.С (раздел 4.2), Рябков А.Н. (приложение 1) и Малютин В.С. (приложение 2).

Автор пособия выражает благодарность Толмачеву Э.Л., Сытнику А.С., Габрину К.Э. и Мельчакову Е.А. за предоставление полезной информации по рассматриваемой проблеме.

Ил. 9, табл. 25, список лит. – 15 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией архитектурно-строительного факультета ЮУрГУ.

Рецензенты: Б.И. Шлейков, С.Б.Шматков.

ISBN 5-696-03319-9

© Профессор Мельчаков А.П.

© Издательство ЮУрГУ 2006.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие положения	
1.1. Понятия и определения теории безопасности строительства	5
1.2. Риск аварии и подход к его прогнозированию	6
1.3. Функции экспертов при оценке риска аварии	7
2. Стандартные показатели безопасности объекта	
2.1. Закон распределения риска аварии	8
2.2. Стандартные значения риска аварии	10
2.3. Стандартные уровни надежности групп несущих конструкций.....	13
3. Фактические показатели безопасности объекта	
3.1. Квалиметрия и логика при расчете риска аварии	15
3.2. Правило назначения уровня надежности конструкции	16
3.3. Методика расчета фактического риска аварии объекта	19
3.4. Теория и метод расчета показателей ресурса объекта	21
4. Инженерные приложения теории безопасности	
4.1. Регулирование риска аварии здания на стадии проекта	25
4.2. Управление риском аварии при возведении объекта.....	28
4.3. Регулирование риска аварии подержанных зданий	29
Библиографический список	32
Приложение 1. Структура экспертной системы расчета риска аварии и безопасного ресурса объекта строительства	33
Приложение 2. Примеры расчета риска аварии и безопасного ресурса зданий и сооружений	36

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль, как и любая другая отрасль промышленности, характеризуется наличием аварийных ситуаций. Статистика показывает, что в ~80% случаев строительных аварий с обрушением несущих конструкций объекта происходит в результате человеческих ошибок, допущенных при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений. Эти ошибки формируют внутренний (объектный) риск аварии, от величины которого зависит не только срок службы (ресурс) объекта, но и размер ущерба в случае его аварии.

Для строительной продукции (зданий, строений и сооружений) основным видом безопасности является конструкционная, характеризующая способность несущего каркаса объекта сопротивляться перегрузкам в чрезвычайных ситуациях и трактуемая как отсутствие в нем недопустимого риска аварии. Уровень конструкционной безопасности считается достаточным, если фактический риск аварии объекта находится в области приемлемых значений. Границами такой области служат два стандартных значения риска: нормальное, являющееся допустимым значением риска аварии для новых (строящихся) зданий (сооружений), и предельно-допустимое значение, при достижении которого на объекте, находящемся в эксплуатации, следует произвести ремонтные работы с целью снижения риска аварии и продления его безопасного ресурса. Существует и третье стандартное значение риска аварии – предельное, при достижении которого физический (конструкционный) износ объекта становится предельным, а способность несущего каркаса сопротивляться действующим нагрузкам практически исчерпывается.

Область приемлемых значений риска аварии регламентирует уровень конструкционной безопасности зданий и сооружений. Для ее практического применения необходима информация о величине фактического риска аварии, инструментом для измерения которого служит экспертная система, представляющая собой человеко-машинный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии с опытом, знаниями и интуицией людей, освоивших профессию «эксперт».

Инженерные приложения методик расчета риска аварии и безопасного остаточного ресурса зданий и сооружений тесно связаны с процедурами оценки и регулирования уровня конструкционной безопасности строящихся и подержанных зданий и сооружений. Применение этих методик позволяет:

- отнести техническое состояние исследуемого объекта к одному из трех возможных: безопасному, аварийному или ветхо-аварийному;
- определить «вклад» каждой группы конструкций несущего каркаса в величину риска аварии исследуемого объекта;
- рассчитать безопасный остаточный ресурс объекта и сделать прогноз промежутка времени эксплуатации, по истечению которого на этом объекте необходимо произвести мероприятия по снижению риска аварии.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Понятия и определения теории безопасности строительства

В теории безопасности строительных объектов используются следующие понятия и определения.

1. Объекты строительные – здания и сооружения, предназначенные для безопасного проживания и безопасной жизнедеятельности людей. Для строительных объектов базовым видом безопасности является конструкционная, характеризующая степень их защищенности от обрушения несущих конструкций при возникновении непредвиденных (запроектных) внешних воздействий.

2. Безопасность конструкционная – часть промышленной безопасности, связанная с техническим состоянием несущего каркаса строительного объекта. Трактуются, как отсутствие недопустимого риска аварии. Считается достаточной, если риск аварии строительного объекта находится в области приемлемых значений.

3. Авария строительного объекта – абсолютное предельное состояние объекта, соответствующее либо полному разрушению конструкций несущего каркаса, либо возникновению значительных деформаций или потере устойчивости вида деформации конструкций. Достижение таких состояний может привести к полной физической непригодности объекта, значительному материальному ущербу и даже к гибели людей.

4. Риск аварии – число, показывающее превышение проектного риска аварии, вносимого по умолчанию в строительный объект при его проектировании. Риск аварии является мерой ожидаемого ущерба в случае аварии объекта.

5. Стандартные риски аварии – значения риска, при достижении которых объект переходит в качественно иное состояние. Такие значения являются инвариантами, и из них формируются требования конструкционной безопасности зданий и сооружений.

6. Надежность несущей конструкции – соответствие конструкции требованиям проекта в части обеспечения ее прочности, жесткости и устойчивости.

7. Область приемлемых значений риска аварии – область, границами которой являются стандартные значения риска аварии. Пока фактический риск аварии остается внутри этой области, уровень конструкционной безопасности объекта считается достаточным.

8. Декларирование – форма подтверждения соответствия объекта требованиям конструкционной безопасности. Процедура декларирования на стадии проекта предусматривает не только выявление в проекте грубых ошибок и последующее их устранение, но и определение условий, при которых требованиям безопасности будет отвечать конечный продукт (построенный строительный объект). Применяется для особо опасных, технически сложных и уникальных зданий и сооружений.

9. Грубая ошибка – действие участника строительства (эксплуатации) объекта, заключающееся в непреднамеренном отступлении от обязательных требований безопасности при производстве работ. Следствием человеческих ошибок является снижение уровня конструкционной безопасности объекта.

10. Сертификация соответствия – процедура испытания риска аварии строящегося объекта с целью подтверждения соответствия требованиям конструкционной безопасности. При проведении испытаний производится отслеживание и устранение грубых ошибок, допущенных при возведении несущего каркаса строительного объекта.

11. Физический (конструкционный) износ объекта – число в интервале от 0 до 1, характеризующее степень деградации несущего каркаса объекта под действием системоразрушающих факторов (дефекты, перегрузка, старение, коррозия, усталость и др.).

12. Безопасный остаточный ресурс – интервал времени эксплуатации строительного объекта от текущего момента до момента достижения им предельно-допустимого значения риска аварии.

13. Энтропия (информационная) – мера неопределенности технического состояния несущего каркаса строительного объекта.

1.2. Риск аварии и подход к его прогнозированию

Риск аварии – векторная величина, регулируемой составляющей которой является объектный риск, формируемый за счет ошибок проектировщиков, поставщиков, строителей, контролеров и др. К нерегулируемым составляющим риска аварии относятся вероятности возникновения внешних запроектных воздействий на объект, различающихся по частоте проявления и мощности. Экономическими составляющими риска аварии являются затраты на обеспечение конструкционной безопасности, убытки от аварии и выгода от снижения объектного риска аварии.

В ~80% случаев аварии зданий и сооружений происходят в результате пересечения двух независимых негативных событий: события, состоящего в неожиданном появлении внешнего запроектного воздействия, провоцирующего аварию, и события, заключающегося в том, что при возведении и/или эксплуатации объекта допущена определенная совокупность человеческих ошибок, снизившая уровень его конструкционной безопасности. При аварии объекта размер ущерба зависит от величины внутреннего (объектного) риска аварии.

Прогноз риска аварии строительных объектов на основе классического вероятностного подхода невозможен по двум причинам [15]. Во-первых, аварии зданий и сооружений являются весьма редкими событиями, а во-вторых, непредсказуемые человеческие ошибки, допускаемые в процессе проектирования, возведения и эксплуатации строительного объекта, вносят существенную неопределенность в реакцию (поведение) несущего каркаса объекта на внешнее воздействие. Поскольку риск аварии и степень неопределенности технического состояния несущего каркаса объекта являются тесно связанными понятиями, оценка риска аварии должна осуществляться на

основе логико-вероятностного подхода, базирующегося на теоремах теории вероятностей (теорема гипотез, теорема полной вероятности и др.), методах теории размытых множеств, приемах нечеткой логики и методах принятия решений в условиях неопределенности.

Величины фактического риска аварии, физического (конструкционного) износа и безопасного ресурса зданий и сооружений также взаимосвязаны. Для определения этих величин должен использоваться закон распределения риска аварии, являющийся интегральным показателем уровня конструкционной безопасности строительного объекта. Если такой закон известен, то по значению его наиболее представительного показателя – информационной энтропии можно судить о степени неопределенности технического состояния несущего каркаса объекта. По изменению скорости роста этой энтропии можно отыскать такие значения риска аварии, при которых несущий каркас строительного объекта переходит в качественно иное состояние: например, из безопасного в аварийное, а из аварийного в ветхо-аварийное.

1.3. Функции экспертов при оценке риска аварии

Прогноз и оценка риска аварии строительного объекта осуществляются на основе экспертной системы, представляющей собой человеко-машинный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии с опытом, знаниями и интуицией людей, освоивших профессию «эксперт».

В рамках экспертной системы основной функцией эксперта является предоставление формализованной информации о техническом состоянии несущего каркаса исследуемого объекта. Эта функция требует от эксперта владения методами анализа предельных состояний несущих конструкций и методом принятия решений в условиях неопределенности.

Важной функцией эксперта является оценка точности и достоверности результатов прогноза риска аварии, поскольку точность принятого решения о фактическом уровне конструкционной безопасности исследуемого объекта и величине его безопасного остаточного ресурса имеет прямые экономические последствия.

В условиях рынка функцией эксперта становится еще и информационное обеспечение заказчика. Например, заказчику, прежде чем вкладывать деньги в реализацию технических решений по снижению риска аварии, необходимо знать, насколько повысится уровень безопасности и ресурс принадлежащего ему объекта в результате проведенных ремонтно-восстановительных мероприятий.

В случае же аварии объекта к функции эксперта относятся выяснение причин аварии и определение круга лиц, которым предстоит нести за нее ответственность. Эта функция требует от эксперта углубленных знаний законов юриспруденции.

2. СТАНДАРТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

2.1. Закон распределения риска аварии

Бытующий в среде строителей тезис о том, что здания и сооружения, имеющие достаточный запас прочности по отношению к внешним воздействиям, надежны и по отношению к человеческим ошибкам, практикой не подтверждается: излишний запас прочности не компенсирует ошибки людей. Более того, эти ошибки являются доминирующей причиной аварий объектов строительства.

В работе [2] утверждается, что к окончанию строительства объекта за счёт ошибок людей фактическая P_ϕ вероятность аварии по сравнению с теоретической (проектной) P_m величиной возрастает в несколько раз. Этот факт демонстрирует рис.1, на котором приведены законы распределения воздействий F на объект и его сопротивления S этим воздействиям. Человеческие ошибки размывают закон распределения сопротивления объекта внешним воздействиям (пунктир на рис.1), что приводит к увеличению вероятности аварии по сравнению с теоретической (проектной) величиной.

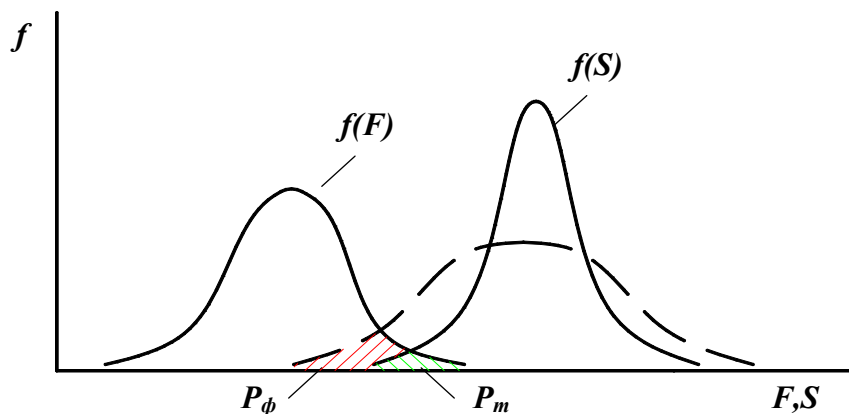


Рис. 1. Теоретическая P_m и фактическая P_ϕ вероятности аварии

Фактическая вероятность аварии объекта на неограниченном множестве новых зданий может быть представлена в виде [10] $P_\phi = P_m + P_\delta$, где P_δ — дополнительная вероятность аварии, формируемая за счет ошибок людей — участников строительства объекта (проектировщиков, поставщиков, строителей, контролеров и др.). Для определения P_δ используется теорема гипотез (формула Байеса) [6], позволяющая пересчитать априорные вероятности в свете информации о допущенных ошибках. Вводится два противоположных события: C — ошибки возведения несущих каркасов зданий есть, C^* — ошибок нет. События C и C^* образуют полную группу несовместных событий, идентифицируются в процессе строительства, а до

начала строительства множество C пустое. Принимаются следующие обозначения: $P(C^*) = \nu$ – вероятность, что в построенном здании ошибок нет, $P(C) = (1 - \nu)$ – вероятность противоположного события. Априорные (до начала строительства) вероятности наступления и не наступления аварии зданий (сооружений) известны и соответственно равны P_m и $(1 - P_m)$. Из формулы Байеса следует соотношение

$$P_\delta = P_m P(C/A) / [P_m P(C/A) + (1 - P_m)P(C/A^*)],$$

где $P(C/A)$ – вероятность события C при условии, если авария произойдет, а $P(C/A^*)$ – то же самое, но если авария объекта не произойдет. Приемы нечеткой логики позволяют принять как гипотезу, что условные вероятности $P(C/A^*) = \nu$, а $P(C/A) = 1 - \nu$. Действительно, если авария объекта не произойдет, то реализуется событие C^* , в противном случае – событие C . После подстановки этих равенств в байесовское соотношение с учетом, что вероятность P_m имеет порядок $\sim 10^{-6}$ [2], имеем, $P_\delta = P_m (1 - \nu) / \nu$. Сложение P_δ и P_m дает $P_\phi / P_m = 1 / \nu$, в котором под параметром ν следует понимать уровень конструкционной надежности несущего каркаса здания.

Столь малые вероятности, каковыми являются величины P_ϕ и P_m , могут быть поняты практиками лишь через свое отношение, являющееся целочисленной величиной. Здесь важно то, что вероятность P_m как концепт существует (см. рис. 1) и гипотетически достигается в случае, если при возведении несущего каркаса ни разу не будут нарушены требования проекта. Поскольку на практике объективно такие нарушения имеют место, то величина P_ϕ / P_m всегда больше 1. Так как эта величина показывает, во сколько раз фактический риск аварии выше проектного значения риска, вносимого по умолчанию в объект при его проектировании, она является интегральным показателем технического состояние несущего каркаса объекта, и, следовательно, может быть принята за величину риска аварии объекта строительства r

$$r = P_\phi / P_m = 1 / \nu. \quad (1)$$

Для отыскания на неограниченном множестве новых зданий закона распределения плотности вероятностей случайной величины r при отсутствии статистических данных о ее возможных значениях сформулированы исходящие из логики и строительной практики следующие аксиомы [10, 11]:

Аксиома 1. Вероятности значений $r \leq 1$ равны нулю (это действительно так, поскольку обеспечить в процессе строительства проектный риск аварии не удастся по целому ряду причин, в том числе объективных).

Аксиома 2. Кривая распределения является строго ассиметричной; мода $\langle r \rangle$ случайной величины r сдвинута влево от среднего значения (это действительно так, поскольку существует естественное стремление общества обезопасить среду своего обитания (жизнедеятельности)).

Принятым аксиомам отвечает однопараметрическое распределение Рэля [3, 6], которое имеет следующий вид:

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

Известно [6], что в распределения (2) параметр σ связан с математическим ожиданием (средним значением) риска аварии R соотношением:

$$R = 1 + 1,25\sigma. \quad (3)$$

Для определения среднего значения риска R следует воспользоваться вытекающим из формулы (1) соотношением

$$R = 1/Mv, \quad (4)$$

где Mv – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины v , численные значения которой находятся в пределах от 0 до 1.

2.2. Стандартные значения риска аварии

Стандартные риски аварии – это такие средние значения риска, при достижении которых несущий каркас объекта переходит в качественно иное состояние. По определению стандартные риски аварии являются инвариантами, так как не зависят ни от конструктивного типа, ни этажности объекта. Они используются для формирования требований к уровню конструкционной безопасности зданий (сооружений) при оценке технического состояния их несущих каркасов.

К стандартным значениям риска аварии относятся:

- нормальный (естественный) риск R_n , регламентирующий величину риска аварии объекта после окончания его строительства;
- предельно-допустимый риск R_{nd} , соответствующий переходу объекта из безопасного в аварийное состояние. При достижении такого риска на объекте должны быть произведены ремонтно-восстановительные работы по его снижению;
- предельный риск аварии R_n , соответствующий переходу объекта из аварийного в ветхо-аварийное состояние. При достижении такого риска способность объекта сопротивляться действующим на него нагрузкам практически исчерпывается.

Для отыскания стандартных значений риска аварии используется закон распределения (2). При этом нормальный риск аварии приравнивается к величине естественного риска для новых зданий (сооружений), показателем которого может служить математическое ожидание закона распределения риска аварии на неограниченном множестве новых зданий (рис. 2). На таком множестве закон распределения величины v практически является симметричным относительно значения $0,5$. Этот факт означает, что независимо от вида кривой распределения случайной величины v ее среднее значение Mv равно $0,5$. Тогда из формулы (4) следует, что естественный риск аварии строительного объекта, а следовательно, и величина нормального риска R_n равна 2 . Другими словами, фактическая вероятность аварии объекта после окончания его строительства в среднем увеличивается в два раза по сравнению с вероятностью, закладываемой по умолчанию в объект при проектировании.

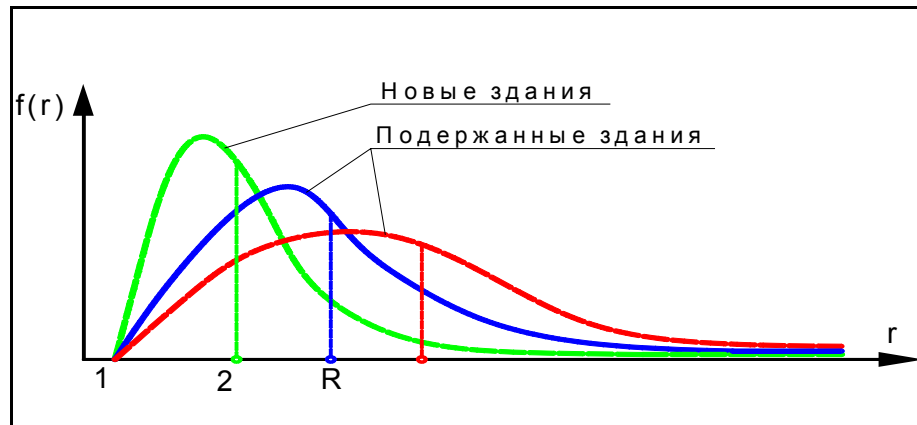


Рис. 2. Вид закон распределения риска аварии для новых зданий и его деградация в процессе эксплуатации объектов

Закон распределения риска аварии построенного объекта в процессе эксплуатации размывается (деградирует) (см. рис. 2). Причинами деградации закона являются нарушения правил эксплуатации объектов, старение и износ несущих конструкций. В результате совокупного действия этих факторов среднее значение риска аварии смещается вправо. При этом степень неопределенности технического состояния несущего каркаса объекта, показателем которой является величина информационной энтропии, увеличивается. В общем случае (при любом законе распределения) информационная энтропия закона распределения определяется по формуле [6]

$$H = - \sum P(A_i) \log_2 P(A_i), \quad (5)$$

где $P(A_i)$ –вероятность события, определяемая из закона распределения и заключающаяся в том, что риск аварии находится в i -м диапазоне значений.

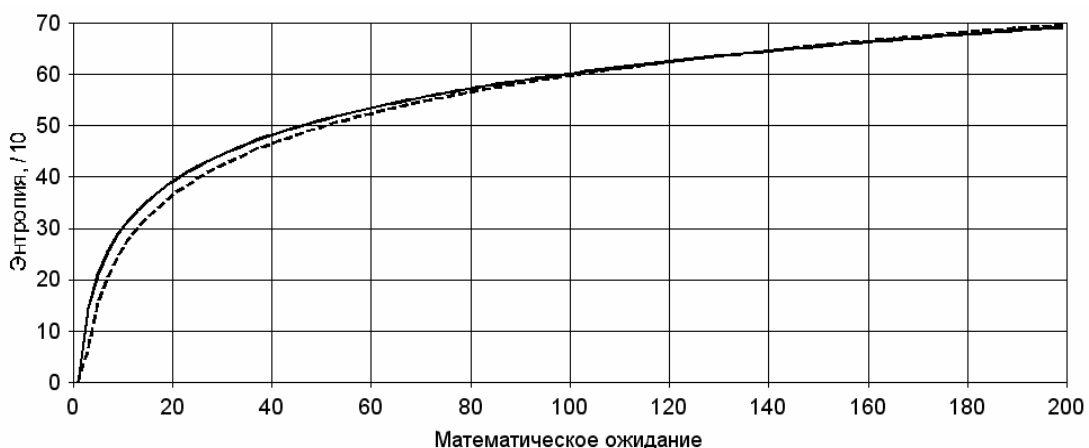


Рис. 3. Зависимость информационной энтропии от среднего значения риска аварии объекта строительства

На рис.3 приведен построенный на основе машинного эксперимента с формулами (2), (3) и (5) график функции $H(R)$ (пунктирная линия), показывающий зависимость информационной энтропии от величины

математического ожидания R закона распределения риска аварии. Полученный график аппроксимирован уравнением (сплошная линия на рис.3) вида:

$$H(R) = \log_{2,15} \cdot R. \quad (6)$$

График на рис.3 характеризует рост степени неопределенности технического состояния несущего каркаса в зависимости от величины среднего риска аварии объекта, а выражение (6) по существу является законом деградации несущего каркаса строительного объекта. Для практического применения этого закона его теоретическая кривая, показанная на рис.3, разделена на три линейных участка, на стыке которых скорость энтропии скачкообразно меняется. Известно [14], что всякое изменение скорости энтропии информирует об изменении технического состояния объекта. Исследования риска аварии новых, подержанных и аварийных строительных объектов различного срока эксплуатации и последующий анализ результатов этих исследований позволил принять решение о расположении стыковых точек (пороговых значений риска аварии), показанных на рис. 4. При этом состояние объекта считалось:

–безопасным, если в его несущих конструкциях не были зафиксированы трещины;

–аварийным, если зафиксированные трещины не представляли прямой угрозы обрушения конструкции;

–ветхо-аварийным, если имеющиеся трещины представляли собой прямую угрозу обрушения конструкции.

Примеры зданий и сооружений, несущие каркасы которых находятся в одном из трех возможных состояний (безопасное, аварийное и ветхо-аварийное) приведены в приложении 2.

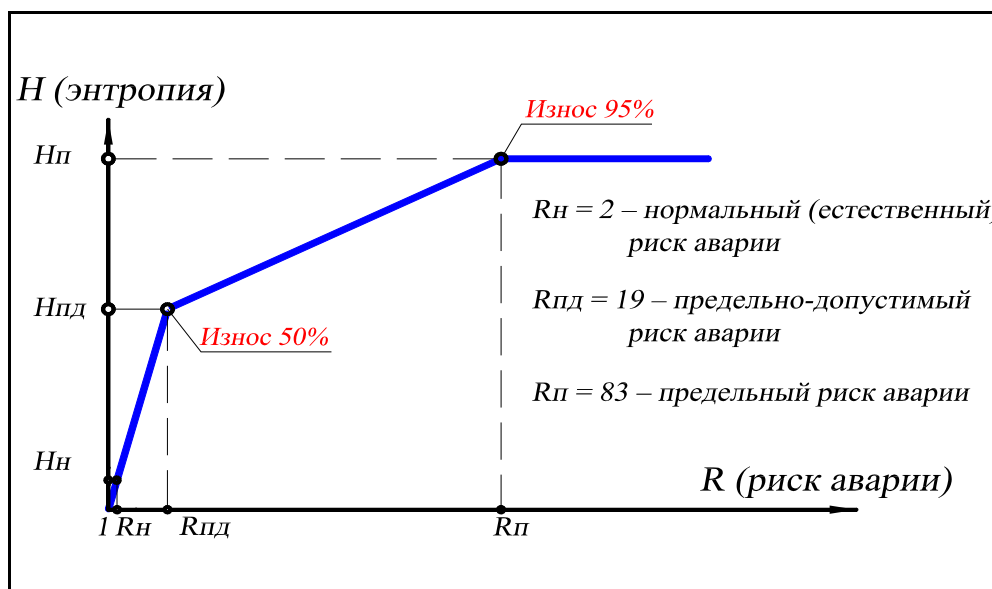


Рис. 4. Модель деградации несущего каркаса объекта и пороговые значения риска аварии

В результате приходим к идеализированной диаграмме «энтропия – риск аварии», изображенной на рис. 4 и получившей название «модель деградации несущего каркаса объекта». Эта модель позволяет утверждать следующее.

1. Время эксплуатации объекта с момента окончания его строительства до достижения риском аварии первой стыковой точки ($R=19$) определяет безопасный ресурс T_b объекта. В этот период эксплуатации объекта трещины в конструкциях его несущего каркаса отсутствуют и можно утверждать, что он (каркас) способен сопротивляться не только проектным воздействиям, но и за счет запаса прочности большинству не учтенным при проектировании нагрузкам, возникающим в чрезвычайных ситуациях (так называемые запроектные воздействия). Техническое состояние объекта на этом промежутке времени можно трактовать как безопасное, а величину риска аварии, равную 19 , следует принять за предельно-допустимый риск R_{nd} . Как будет показано ниже в разделе 3.4, при достижении объектом предельно-допустимого риска аварии величина его физического (конструкционного) износа составляет 50%. При такой величине износа требуется капитальный ремонт здания [12] с целью восстановления способности его несущего каркаса сопротивляться непроектным воздействиям. Если же восстановительные мероприятия на объекте произведены не будут, то риск аварии продолжает расти и время достижения предельного значения риска, равного $R_n=83$, определяет предельный ресурс T_n этого объекта.

2. При превышении объектом предельно-допустимого риска аварии скорость роста информационной энтропии замедляется, что означает переход объекта в иное отличное от безопасного состояние. Таким состоянием может быть только аварийное, при котором в несущих конструкциях появляются трещины, являющиеся предвестниками аварии. В аварийном состоянии способность несущего каркаса объекта сопротивляться непроектным воздействиям снижается, а с дальнейшим ростом риска аварии полностью исчерпывается.

3. При достижении объектом предельного значения риска аварии $R_n=83$ максимальной становится не только степень неопределенности технического состояния несущего каркаса, но и величина его конструкционного износа. При $R > R_n$ способность несущего каркаса объекта сопротивляться любым нагрузкам теоретически исчерпывается, а рост информационной энтропии практически прекращается. Это означает, что объект находится в ветхо-аварийном состоянии, при котором дата наступления аварии объекта становится открытой.

Стандартные риски аварии R_n , R_{nd} и R_n являются инвариантами, поскольку из способа их определения следует, что они не зависят ни от конструктивного типа здания, ни от его этажности. Два из них (R_n и R_{nd}) образуют нижнюю и верхнюю границы области (коридора) приемлемых значений риска аварии объекта. Пока фактический риск аварии остается внутри этого коридора, уровень конструкционной безопасности объекта следует считать достаточным.

2.3. Стандартные уровни надежности групп несущих конструкций

Несущий каркас объекта – это сложная (комплексная) конструкция, представляющая собой организованную совокупность n числа групп однотипных конструкций (основание, фундамент, стены, перекрытие и т.д.). Под стандартным уровнем надежности групп несущих конструкций следует

понимать такой уровень надежности, при котором риск аварии объекта при условии, что этот уровень имеют все n групп конструкций, становится стандартным: нормальным или предельно-допустимым. К нормальному уровню надежности относится уровень p_n , при котором обеспечивается нормальный (естественный) R_n риск аварии объекта, а к предельно-допустимому – уровень p_{nd} , который соответствует предельно-допустимому значению R_{nd} риска аварии.

Стандартные уровни надежности групп несущих конструкций в отличие от стандартных значений риска аварии не являются инвариантами. Они существенным образом зависят и от конструктивного типа здания и его этажности. Для определения стандартных уровней надежности каркас объекта представлен в виде системы, состоящей из иерархически последовательно соединенных (возведенных) n групп однотипных несущих конструкций. Принимается гипотеза, что человеческие ошибки, допущенные в одной из групп, не зависят от ошибок, допущенных в других группах. Такие модель и гипотеза позволяют для оценки уровня надежности ν несущего каркаса объекта применить методы системной теории надежности [3, 13]. В результате имеем

$$\nu = \Pi p, \quad (7)$$

где Πp – произведение уровней надежности всех n групп несущего каркаса объекта.

Из соотношения (4) с учетом формулы (7) следует, что средний риск аварии объекта

$$R = 1/M\nu = 1/\Pi (Mp). \quad (8)$$

Рассмотрим гипотетическое состояние объекта, когда во всех n группах конструкций несущего каркаса средние уровни надежности Mp одинаковы и равны p_n . В этом случае средний риск аварии здания R по определению будет равен нормальному значению R_n , а формула (8) принимает вид $R_n = 1/p_n^n$, из которой и определяется нормальный уровень надежности несущей конструкции. В результате имеем

$$p_n = (R_n)^{-1/n}, \text{ по аналогии } p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n}. \quad (9)$$

Табл.1 иллюстрирует зависимость p_n от конструктивного типа здания. Зависимость же p_n и p_{nd} от числа этажей объекта очевидна.

Таблица 1

Зависимость p_n от конструктивного типа здания

Конструктивный тип здания	Число этажей	n	p_n
Каркасно-связевой	16	87	0,992
Монолитный	16	53	0,987

3. ФАКТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

3.1. Квалиметрия и логика при расчете риска аварии

Формулы (7) и (8) подтверждают, что внутренний риск аварии объекта (далее просто риск аварии) зависит от технического состояния групп однотипных конструкций, образующих несущий каркас. Количество таких групп и число однотипных конструкций в группах в современных зданиях (сооружениях) велико, и обследование конструкций с целью определения фактических уровней надежности p групп сопряжено с большими затратами и времени, и денежных средств. Объем экспертных работ резко сократится, если в основу оценки технического состояния несущего каркаса объекта положить принципы квалиметрии [1]. Для этого в каждой группе отыскиваются наиболее и наименее дефектные конструкции с последующей экспертной оценкой их соответствия требованиям проекта в части обеспечения их прочности, жесткости и устойчивости. С позиции теории нечеткой логики такое соответствие дает оценку уровня надежности p_1 наиболее дефектной и p_2 наименее дефектной конструкций в группах. С позиций теории квалиметрии уровни надежности p_1 и p_2 следует считать «единичными» показателями конструкционной безопасности объекта. Использование «единичных» показателей требует ввести и такие понятия, как «комплексный» и «интегральный» показатели уровня конструкционной безопасности объекта. За «комплексный» показатель конструкционной безопасности объекта следует принять закон распределения вероятностей уровней надежности остальных в группе конструкций. Таким показателем может служить закон равномерной плотности, математическая модель которого имеет вид [6]

$$f(p) = 1/(p_2 - p_1), \quad (10)$$

где p – уровни надежности конструкций в группе ($p_1 \leq p \leq p_2$).

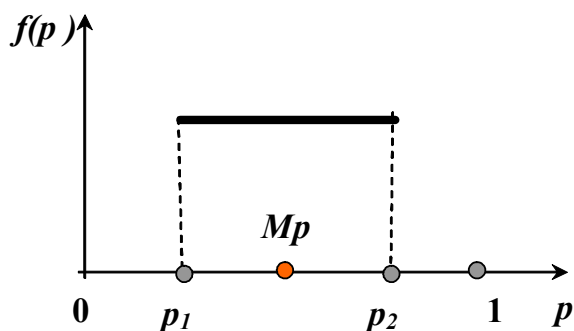


Рис. 5. Вид закона равномерной плотности

Вид закона (10) показан на рис.5. Его нижняя граница характеризует уровень надежности p_1 наиболее дефектной в группе конструкции, верхняя – уровень надежности p_2 наименее дефектной в группе конструкции. При равномерном законе распределения математическое ожидание уровня надежности несущих конструкций в группе определяется по следующей формуле [6]:

$$Mp = (p_1 + p_2)/2. \quad (11)$$

В процессе эксплуатации объекта среднее значение Mp постепенно смещается влево (уменьшается). Причиной уменьшения среднего значения являются старение и износ групп конструкций, а также ошибки людей, отвечающих за эксплуатацию объекта строительства. На конкретный момент времени показателями технического состояния несущего каркаса являются величины p_1 , p_2 и Mp , найденные для всех групп конструкций. В совокупности эти показатели образуют необходимую и достаточную информацию для определения по формуле (8) среднего значения риска аварии R , который в полном соответствии с принципами теории квалиметрии принимается за «интегральный» показатель конструкционной безопасности объекта. Нетрудно видеть, что при определении риска аварии учитывается через законы распределения (10) фактическое состояние всех конструкций, образующих несущий каркас здания (сооружения). В результате задача расчета риска аварии объекта свелась к задаче определения уровней надежности p_1 и p_2 для наиболее и наименее дефектных в группе конструкций.

3.2. Правило назначения уровня надежности конструкции

В экспертно-инженерной практике надежность строительной конструкции оценивается через соответствие параметров конструкции требованиям проекта в части обеспечения ее прочности, жесткости и устойчивости. Для определения уровня надежности конструкции по выявленным на экспертной основе отступлениям (дефектам) ее параметров от требований проекта используется правило, построенное на основе лингвистической переменной «очень» [8,9].

Правило представлено в табл. 2 и содержит 11 уровней опасности конструкции, различающихся по показателю степени переменной «очень». При составлении правила использован прием нечеткой логики, состоящий в отождествлении понятий «надежность» и «соответствие». Поскольку мера соответствия (степень) в отличие от меры надежности изменяется в пределах от 0,5 до 1, уровни надежности в табл. 2 разделены на две части, одна из которых содержит степени соответствия, другая – несоответствия. Границей между частями является шестой уровень опасности, характеризуемый предельно низкой степенью соответствия требованиям проекта. Этот факт позволил лингвистической переменной (очень)^{1,10} шестого уровня опасности присвоить меру предельного соответствия, равную 0,5, что позволило получить числовую оценку лингвистической переменной «очень» и вычислить меру надежности для всех остальных уровней опасности, представленных в табл. 2.

Уровни опасности конструкций и ранги уровней назначаются ведущим экспертом на основе информации о техническом состоянии конструкции, своего опыта, знаний и инженерной интуиции. При назначении уровней опасности дефектных конструкций эксперт может воспользоваться приведенной в табл. 3 информацией о наиболее опасных, в том числе угрожающих аварией дефектах, которые могут быть обнаружены в различных группах однотипных конструкций несущего каркаса объекта.

Принятое в условиях неопределенности решение об уровне опасности и ранге уровня эксперт при необходимости подтверждает расчетами и испытаниями дефектных конструкций.

Таблица 2

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

Уровень опасности конструкции	Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг уровня	Степень переменной «очень»	Уровень надежности конструкции
0	Дефектов <i>нет</i>	–	<i>(очень)</i> ^{0,00}	1,000
1	Соответствие требованиям проекта <i>практически полное</i>	1	<i>(очень)</i> ^{0,01}	0,994
		2	<i>(очень)</i> ^{0,02}	0,987
		3	<i>(очень)</i> ^{0,03}	0,981
2	Отклонения от требований проекта <i>незначительные</i>	1	<i>(очень)</i> ^{0,05}	0,969
		2	<i>(очень)</i> ^{0,10}	0,939
		3	<i>(очень)</i> ^{0,15}	0,910
3	Отклонения от требований проекта <i>значительные</i>	1	<i>(очень)</i> ^{0,20}	0,882
		2	<i>(очень)</i> ^{0,30}	0,828
		3	<i>(очень)</i> ^{0,40}	0,777
4	Соответствие требованиям проекта <i>низкое</i>	1	<i>(очень)</i> ^{0,50}	0,730
		2	<i>(очень)</i> ^{0,60}	0,686
		3	<i>(очень)</i> ^{0,70}	0,644
5	Соответствия требованиям проекта <i>практически нет</i>	1	<i>(очень)</i> ^{0,80}	0,604
		2	<i>(очень)</i> ^{0,90}	0,568
		3	<i>(очень)</i> ^{1,00}	0,533
6	Соответствие <i>предельно-низкое</i>	–	<i>(очень)</i> ^{1,10}	0,500
7	Конструкция содержит <i>опасный</i> дефект	1	<i>(очень)</i> ^{1,20}	0,470
		2	<i>(очень)</i> ^{1,30}	0,441
		3	<i>(очень)</i> ^{1,40}	0,414
8	Конструкция содержит <i>несколько опасных</i> дефектов	1	<i>(очень)</i> ^{1,50}	0,389
		2	<i>(очень)</i> ^{1,60}	0,365
		3	<i>(очень)</i> ^{1,70}	0,343
9	Конструкция содержит <i>угрожающие аварией</i> дефекты	1	<i>(очень)</i> ^{1,80}	0,322
		2	<i>(очень)</i> ^{1,90}	0,303
		3	<i>(очень)</i> ^{2,00}	0,284
10	Состояние конструкции <i>практически предельное</i>	–	<i>(очень)</i> ^{2,20}	0,250

Перечень опасных дефектов конструкций несущего каркаса объекта

ЕСТЕСТВЕННОЕ 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 более 50% 3. Промораживание водонасыщенных грунтов под подошвой фундамента на глубину более 3 см 4. Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания и переход основания в зиму без утепления
СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие зазора под подошвой ростверка при пучинистых грунтах 2. Сквозные вертикальные трещины в ростверке
ФУНДАМЕНТЫ И СТЕНЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ИЗ БЛОКОВ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Сквозные вертикальные трещины в цоколе 2. Повреждения и разрушения блоков
СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Диагональные трещины по углам ж/б стеновых панелей 2. Вертикальные трещины в стыках, местах установки балконных плит, перемычек 3. Ненормативные смещения колонн от вертикали 4. Смещения ж/б панелей, трещины в них, разрушения узлов крепления 5. Глубокие поперечные трещины в плитах перекрытия с оголением арматуры, заметный прогиб плит 6. Трещины на опорных участках плит перекрытия
КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И БЛОКОВ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вертикальные трещины в колоннах, простенках 2. Разрушение и расслоение кладки, нарушение связи отдельных участков кладки, следы увлажнения стен
КОНСТРУКЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
<ol style="list-style-type: none"> 1. Трещины в различных направлениях в растянутой зоне конструкции 2. Следы постоянного увлажнения бетона атмосферными и агрессивными водами 3. Оголение и сильная коррозия арматуры, разрывы арматуры 4. Крупные выбоины и сколы бетона в сжатой зоне конструкции 5. Низкая прочность бетона в сжатой зоне конструкции
КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА
<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие пятен язвенной коррозии металла 2. Заметные деформации конструкции 3. Разрушения стыков, отсутствие креплений 4. Выбоины и отбитые места со сквозными трещинами 5. Наличие трещин усталостного характера 6. Несоответствие класса стали проекту, зыбкость конструкции

По существу от эксперта при назначении уровней опасности требуется установить степень принадлежности конструкции к одному из абсолютных предельных состояний, к которым относятся следующие:

1. Местное хрупкое разрушение в ограниченном объеме или сечении конструкции.

2. Чрезмерное деформирование несущей конструкции, провоцирующее превращение ее в механизм.

3. Общая или местная потеря устойчивости вида деформации несущей конструкции.

Ответственным этапом диагностики технического состояния конструкций несущего каркаса объекта является экспертиза основания. При экспертизе основания требуется:

1. Оценить соответствие грунта основания данным проекта (по отсутствию инородных грунтов, выходов скалы и/или дресвы, заполнению выемок мало-сжимаемым образованием, растительного слоя, линз льда, снега и др.).

2. Установить при разуплотнении грунта основания причины разуплотнения (замачивание, суффозия и др.) и замерить мощность нарушенного слоя.

3. Проверить при набухающих, элювиальных, просадочных и пучинистых грунтах уровень грунтовых вод, установить зоны замачивания и замерить глубину увлажнения.

4. Произвести (при необходимости) отбор проб грунта для испытания в лаборатории с целью получения исходных данных для расчета осадок основания. При испытании определяют плотность грунта (тс/м^3), модуль деформации (МПа), угол внутреннего трения (град), удельное сцепление (КПа) и мощность слоя (м)

Способ перевода экспертной информации в уровни надежности, предложенный в табл. 2, в дальнейшем будем называть «правилом формализации экспертной информации».

3.3. Методика расчета фактического риска аварии объекта

Знание фактического риска аварии позволяет отнести техническое состояние несущего каркаса объекта к одному из трех возможных: безопасному, аварийному и ветхо-аварийному.

В методике в качестве критериев оценки технического состояния зданий и сооружений используются:

– фиксированные средние значения риска аварии, к которым относятся нормальный риск аварии $R_n = 2$, предельно-допустимый риск аварии $R_{nd} = 19$ и предельный риск аварии $R_n = 83$;

– стандартные уровни надежности групп несущих конструкций, к которым относятся нормальный уровень надежности $p_n = 2^{-1/n}$, и предельно-допустимый уровень $p_{nd} = 19^{-1/n}$, где n – число групп однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого объекта.

Для определения фактического среднего значения риска аварии R эксперты осуществляют визуально-инструментальное обследование несущего каркаса объекта. По результатам обследования эксперты в каждой входящей в несущий

каркас исследуемого объекта группе однотипных конструкций отыскивают наиболее и наименее дефектные конструкции, для которых по специальному правилу (см. табл. 2) устанавливают уровни опасности с указанием их рангов, характеризующие степень принадлежности дефектной конструкции к одному из абсолютных предельных состояний. При назначении уровней опасности эксперты используют фактическую информацию о техническом состоянии дефектных конструкций, виртуальную информацию о наиболее опасных дефектах строительных конструкций, приведенную в табл. 3, свой опыт, знания и инженерную интуицию. Принятое решение эксперты подтверждают расчетами и испытаниями дефектных конструкций; при динамических нагрузках производят расчет на резонанс; при наличии агрессивных сред устанавливают их влияние на уровень опасности конструкции.

Информацию о техническом состоянии групп однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого объекта эксперты представляют в виде следующего документа.

Номер и наименование группы однотипных конструкций несущего каркаса объекта	Описание отклонений параметров конструкции от требований проекта		Уровень опасности и ранг уровня	
	для наиболее дефектной в группе конструкции	для наименее дефектной в группе конструкции	наиболее дефектной в группе конструкции	наименее дефектной в группе конструкции

Далее по программе «Risk» компьютер выполняет следующие операции:

– для каждой группы конструкций по правилу формализации экспертной информации (см. табл. 2) переводит уровни опасности наиболее и наименее дефектных конструкций в уровни надежности p_1 и p_2 соответственно;

– для каждой группы конструкций определяет средний уровень надежности по формуле $Mp = (p_2 - p_1) / 2$;

– рассчитывает средний риск аварии объекта по формуле $R = 1 / \Pi(Mp)$, где $\Pi(Mp)$ – произведение средних уровней надежности всех n групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта;

– сопоставляет среднее значение риска аварии R с фиксированными средними значениями риска аварии и относит техническое состояние исследуемого объекта к одному из трех возможных: безопасному, если $R_n < R < R_{nd}$; аварийному, если $R_{nd} < R < R_n$; ветхо-аварийному, если $R > R_n$.

Примечание. Целесообразно среднее значение риска аварии объекта определять для каждого «промежуточного» здания, которое можно выделить из исследуемого объекта. Под «промежуточным» зданием понимается часть m -этажного объекта, содержащая нулевой цикл и $k = 1, 2, \dots, m$ его этажей.

Оценку точности и достоверности результата расчета риска аварии осуществляют через компьютерное моделирование риск-ситуаций исследуемого объекта. Необходимые статистические данные отыскивают методом статистических испытаний риска аварии (метод Монте-Карло). Испытанию подвергается математическая модель (1), связывающая риск аварии объекта с

уровнями надежности групп конструкций несущего каркаса в форме

$$r_{\phi} = 1/v_{\phi} = 1/\Pi p, \quad (12)$$

где Πp – произведение уровней надежности всех n групп несущего каркаса объекта.

Процесс верификации содержит следующие процедуры:

– по значениям p_1 и p_2 конкретизируют закон распределения вероятностей уровней надежности p конструкций в группах $f(p) = 1/(p_2 - p_1)$;

– для каждой группы N раз разыгрывают случайную величину p по формуле $p = p_1 + q(p_2 - p_1)$, где q – равномерно распределенная в интервале $[0;1]$ случайная величина;

– N раз испытывают риск аварии объекта по формуле $(r_{\phi})_i = 1/\Pi(p)_i$, где $\Pi(p)_i$ – произведение n разыгранных ранее значений p , включаемых в i -е испытание риска аварии ($i = 1, 2, \dots, N$; $N=10^4$);

– по статистическому ряду из N случайных значений риска аварии r_{ϕ} строят гистограмму распределения фактического риска аварии и по гистограмме определяют среднее значение риска аварии R^* ;

– сравнивают R^* с ранее найденной величиной риска аварии R и по проценту отклонения этих величин принимают решение о точности и достоверности результата расчета фактического риска аварии исследуемого объекта.

Примечания:

1. Формула для разыгрывания случайной величины p является следствием решения определенного интеграла $\int [1/(p_2 - p_1)] dp = q$ в пределах от p_1 до p .

2. Каждый столбец на гистограмме характеризует риск-ситуацию (частоту) определенного числа объектов из множества, содержащего N исследуемых объектов. По существу при верификации выполняется эксперимент, данные которого синтезированы с использованием компьютерной технологии.

3.4. Теория и метод расчета показателей ресурса объекта

К показателям ресурса строительных объектов относятся безопасный ресурс T_b и безопасный остаточный ресурс T_{bo} (рис. 6). Безопасный ресурс – это время с момента ввода объекта в эксплуатацию до достижения им предельно-допустимого риска аварии, а безопасный остаточный ресурс – интервал времени эксплуатации здания (сооружения) от момента, при котором осуществлена диагностика его технического состояния и определено фактическое значение риска аварии R , до момента достижения объектом предельно-допустимого риска аварии. Если при достижении объектом предельно-допустимого значения риска аварии ремонтно-восстановительные работы для снижения риска аварии произведены не будут, то объект переходит в аварийное состояние. В этом случае жизненный цикл объекта от начала его строительства до достижения предельного риска аварии определяет величину предельного ресурса (T_n) этого объекта.

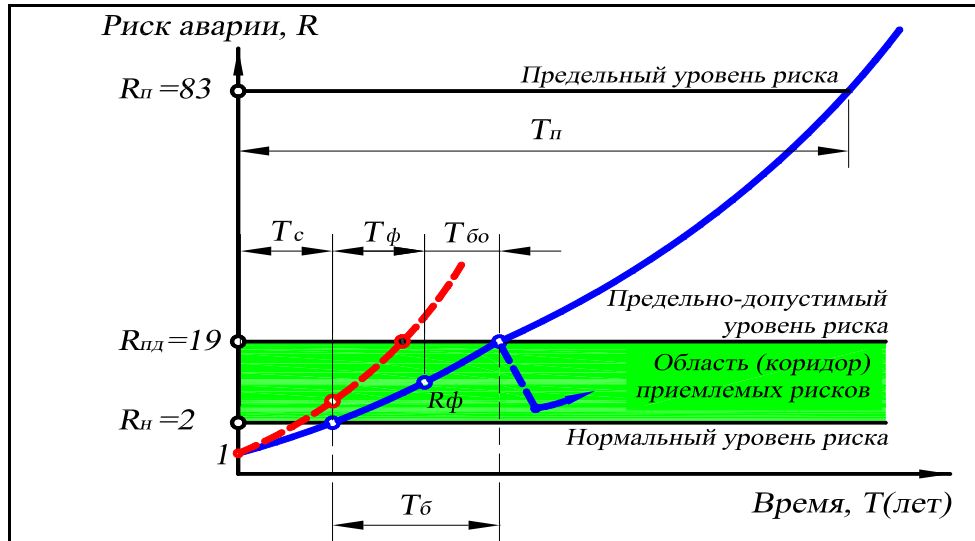


Рис. 6. Область приемлемых рисков аварии и показатели ресурса объекта

Безопасный остаточный ресурс здания, его физический (конструкционный) износ и фактический риск аварии – это тесно связанные величины. При построении математических моделей оценки физического износа и остаточного ресурса объектов строительства приняты следующие две гипотезы.

1. Формой модели роста физического износа объекта в процессе его эксплуатации является экспонента. Ее представительным параметром служит фактический риск аварии R , зафиксированный через T_f лет эксплуатации объекта.

2. С момента начала строительства физический износ объекта возрастает от нуля до значения, зависящего от величины фактического риска аварии в фиксированный момент времени его эксплуатации. При достижении риском аварии предельного значения R_n физический износ объекта становится равным **0,95 (95%)**.

Выбор формы модели физического износа объекта (1-я гипотеза) обоснован исследованиями ресурса конструкций в теории надежности [4]; вторая гипотеза введена по аналогии с «гамма» % ресурсом по износу, используемым также в теории надежности [3].

Принятым гипотезам отвечает ниже приведенная математическая модель, позволяющая определить величину физического износа J эксплуатируемого здания на момент времени T , при котором произведена диагностика технического состояния объекта и найдена величина его фактического риска аварии R :

$$J = J(T) = 1 - \exp \{-k (R - 1)\}. \quad (13)$$

Нетрудно видеть, что на момент начала строительства объекта, когда $R = 1$, формула (13) дает нулевой износ, что соответствует принятой гипотезе. Для определения коэффициента k , входящего в формулу (13), используется гипотеза, что при $R=R_n=83$ физический износ объекта равен **0,95**. При этих данных из формулы (13) следует, что $k = 0,0365$.

При найденном значении коэффициента k формула (13) позволяет определить величину конструкционного износа J_{nd} при достижении объектом предельно-допустимого риска аварии $R = R_{nd} = 19$. Из формулы (13) следует, что $J_{nd} = 0,50$ (50%). Согласно [12] при такой величине износа на объекте должны быть начаты ремонтные работы для снижения риска аварии.

В математической модели (13) фактор времени присутствует в неявном виде. Им является зафиксированный момент времени $T = T_c + T_\phi$, где T_c – время возведения (строительства) объекта, а T_ϕ – срок эксплуатации объекта, при котором произведена диагностика его технического состояния и рассчитан риск аварии, позволяющий по формуле (13) определить фактический износ объекта J на момент времени T . Для прогноза безопасного остаточного ресурса здания (сооружения) зависимость физического износа от времени в явном виде по аналогии с выражением (13) также принимается в форме экспоненты:

$$J(T) = 1 - \exp \{-i \cdot T\}, \quad (14)$$

где i – интенсивность физического износа объекта.

Интенсивность физического износа определяется из условия, что при $T = T_c + T_\phi$, величина износа известна и равна $J = J(T)$. Приравнивая правые части формул (13) и (14), получаем, что

$$i = 0,0365 (R - 1) / (T_c + T_\phi). \quad (15)$$

Безопасный остаточный ресурс $T_{\phi o}$ определится по формуле $T_{\phi o} = T_{nd} - T$, где T_{nd} – время от начала строительства объекта до достижения им предельно-допустимого риска R_{nd} . Время T_{nd} при найденном значении интенсивности найдется из уравнения (14), если принять, что $J(T = T_{nd}) = J_{nd} = 0,50$. Величину T_{nd} можно определить также из формулы, вытекающей из равенства правых частей зависимостей (13) и (14): $\{-0,0365 (R_{nd} - 1)\} = \{-i \cdot T_{nd}\}$, из которой следует, что $T_{nd} = 0,657 / i$. В результате формула для определения безопасного остаточного ресурса имеет следующий вид:

$$T_{\phi o} = 0,657 / i - T. \quad (16)$$

По формуле (16) можно спрогнозировать безопасный ресурс объекта на момент времени окончания его строительства. Для этого величину T_ϕ следует принять равной нулю. При $R_\phi > R_{nd}$ безопасный ресурс объекта полностью исчерпан.

Предельный срок службы объекта T_n можно спрогнозировать из условия, что при $T = T_n$ износ известен и равен $J_n = 0,95$. Здесь время T_n также можно определить из равенства $\{-0,0365 (R_n - 1)\} = \{-i \cdot (T_n)\}$, из которого следует, что

$$T_n = 2,993 / i. \quad (17)$$

Формула (17) справедлива, если на объекте не были произведены ремонтно-восстановительные мероприятия (капитальный ремонт) по снижению риска аварии.

Показатели ресурса $T_{\phi o}$ и T_n существенным образом зависят от величины фактического риска аварии на момент сдачи объекта в эксплуатацию.

Действительно, пусть после окончания строительства фактический риск аварии объекта равен нормальному значению ($R=R_n=2$), а срок строительства нормативный, равный $T_c = 2$ года. Из формулы (13) следует, что фактический износ объекта к моменту сдачи его в эксплуатацию составил

$$J = 1 - \exp \{-k(R - 1)\} = 1 - \exp \{-0,0365(2 - 1)\} = 0,0358 (3,58 \%).$$

Из формулы (15) находим интенсивность износа: $i=0,01825$ (1/лет). При найденной величине интенсивности время T_{nd} до достижения объектом предельно-допустимого риска R_{nd} $T_{nd} = 0,657/0,01825 = 36$ лет. Следовательно, безопасный ресурс объекта $T_6 = T_{nd} - T = 36 - 2 = 34$ года.

Теперь предположим, что фактический риск аварии объекта после окончания его строительства превысил нормальное значение в два раза, т.е. $R = 2R_n = 4$. В этом случае $J = 1 - \exp \{-0,0365(4 - 1)\} = 0,1037 (10,37 \%)$; $i = 0,05475$ (1/лет); $T_{nd} = 0,657/0,05475 = 12,0$ лет; $T_6 = 12 - 2 = 10$ лет, т.е. превышение нормального значения риска аварии к окончанию строительства объекта в 2 раза повлекло за собой снижение безопасного ресурса объекта в 3,4 раза. Такова плата за превышение нормального значения риска аварии зданий и сооружений к моменту окончания их строительства. Этот факт проиллюстрирован на рис.7.

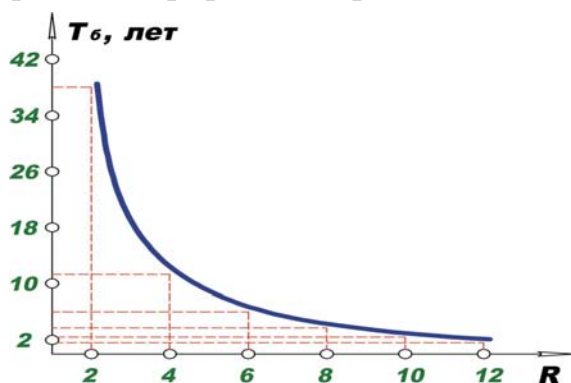


Рис. 7. Зависимость безопасного ресурса объекта от величины риска аварии на момент окончания его строительства

По аналогии можно построить математическую модель для определения физического износа (J^*) группы однотипных конструкций несущего каркаса здания на момент времени T , при котором произведена диагностика объекта и найдены средние уровни надежности Mp групп. Для этого необходимо в формуле (13) произвести замену величины R на $1/Mp$, а коэффициент k определить из условия, что при значении $Mp = 0,25$ износ группы равен 95%. В результате имеем $J^* = 1 - \exp \{-[(1-Mp)/Mp]\}$.

В заключение раздела следует отметить, что, если по истечению безопасного ресурса ремонтно-восстановительные мероприятия по снижению риска аварии на объекте произведены не будут, то величина $(T_n - T_{nd})$ является временем «дожития объекта». В этот период его сопротивляемость запроектным воздействиям снижена и использование $(T_n - T_{nd})$ ресурса может привести к аварии, а значит, и к убыткам, которые будут несоизмеримо выше стоимости предупредительных мероприятий.

4. ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. Регулирование риска аварии здания на стадии проекта

В данном разделе приводятся теоретические основы регулирования риска аварии планируемого к возведению здания (сооружения). Главная цель регулирования – увеличение безопасного ресурса построенного объекта, существенным образом зависящего от величины риска аварии на момент окончания его строительства (см. раздел 3.4). Необходимым этапом регулирования является прогноз риска аварии объекта еще на стадии его замысла. Такой прогноз можно осуществить на основе информации об уровне эффективности систем качества предполагаемых участников строительства. Практика доказала, что чем выше эффективность системы качества проектировщиков, поставщиков и строителей, тем выше уровень конструкционной безопасности построенного объекта. Осуществить прогноз риска аварии можно по формуле (8), а входящие в нее средние уровни надежности M_p групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта определяются по результатам экспертизы систем качества предполагаемых участников строительства.

Средний уровень надежности M_p группы конструкции можно оценить по вероятности $P(B)$ ее соответствия требованиям нормативных документов в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости. Действительно, из формулы полной вероятности [6] следует, что

$$M_p = P(B) = \sum P(B/q_j) P(q_j),$$

где $q = \{q_j\} = \{MCP, M^*CP, MC^*P, MCP^*, M^*C^*P, M^*CP^*, MC^*P^*, M^*C^*P^*\}$ – полная группа событий, включающая 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 $P(B/q_j)$ являются инвариантами, имеющими смысл вероятности соответствия несущих конструкций требованиям безопасности при условии:

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

Инварианты в совокупности представляют априорную информацию, которая может быть сформирована из анализа причин случившихся аварий. В Российской Федерации ~80% аварий происходит из-за ошибок участников строительного процесса, в том числе по вине поставщиков ~ 20%, по вине строителей ~ 50%, а по вине проектировщиков ~ 10%. Следовательно, $a = 0,8$, $b = 0,5$, $c = 0,9$. Если обозначить вероятности независимых событий M , C и Π как $P(M) = \mu_m$, $P(C) = \mu_c$, $P(\Pi) = \mu_n$, то из формулы полной вероятности следует следующая математическая модель:

$$\begin{aligned}
 M_p = & \mu_m \mu_c \mu_n + 0,8(1 - \mu_m) \mu_c \mu_n + 0,5 \mu_m (1 - \mu_c) \mu_n + \\
 & + 0,9 \mu_m \mu_c (1 - \mu_n) + 0,4(1 - \mu_m)(1 - \mu_c) \mu_n + 0,72(1 - \mu_m) \mu_c (1 - \mu_n) + \\
 & + 0,45 \mu_m (1 - \mu_c)(1 - \mu_n) + 0,36(1 - \mu_m)(1 - \mu_c)(1 - \mu_n).
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

В формуле (18) величины μ_n , μ_m и μ_c имеют смысл степеней соответствия несущих конструкций требованиям нормативных документов. Формула позволяет спрогнозировать средний уровень надежности M_p групп конструкций несущего каркаса как на стадии замысла здания, так и на стадии, когда уже имеется проект объекта.

Рассмотрим случай декларирования уровня конструкционной безопасности планируемого к возведению здания (сооружения), когда имеется готовый проект объекта. При определении μ_n задачами эксперта являются:

- 1) отследить наличие в проекте грубых ошибок (табл. 4);
- 2) оценить уровень опасности обнаруженных в проекте ошибок;
- 3) принять меры для ликвидации обнаруженных ошибок.

Таблица 4

Примерный перечень грубых ошибок проектировщиков

№	Описание возможных грубых ошибок проекта
1	Принятые в проекте физико-механические характеристики грунтов не соответствуют действительному состоянию основания. Отсутствуют лабораторные испытания образцов грунта с ненарушенной структурой
2	При выборе расчетной модели основания инженерно-геологическими изысканиями не выявлены и не учтены характерные зависимости деформирования грунта под нагрузкой
3	Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивают равномерность осадок
4	Расчетная схема несущего каркаса не соответствует действительной его работе под нагрузкой.
5	При вводе исходных данных в программу допущены ошибки в размерностях и величинах нагрузок, сопротивлений, жесткостей. Расчет не продублирован по другой программе
6	Несоответствие запроектированных узловых соединений элементов каркаса принятой в расчетной схеме жесткости узлов.
7	Связевые конструкции не обеспечивают требуемой жесткости несущего каркаса объекта

Оценка уровня опасности обнаруженных в проекте грубых ошибок производится по специальному правилу (табл. 5), являющемуся модификацией правила, приведенного в табл. 2.

Таблица 5

Связь степени соответствия с уровнем опасности допущенных ошибок

Уровень опасности ошибки	Степень влияние обнаруженных ошибок на безопасность в лингвистической форме	Уровень надежности проекта
1	Влияния <i>практически нет</i>	0.987
2	Влияние <i>незаметное</i>	0.939
3	Влияние <i>незначительное</i>	0.828
4	Влияние <i>значительное</i>	0.686
5	Влияние <i>очень значительное</i>	0.568
6	Влияние <i>предельно высокое</i>	0.500

Уровни опасности и степени соответствия определяются для каждой обнаруженной в проекте грубой ошибки. В совокупности они образуют нечеткое (размытое) множество оценок качества проекта. В соответствии с алгеброй нечетких множеств окончательная числовая оценка проекта определится по формуле $\mu_n = \min \{ (\mu_n)_i \}$.

Таблица 6

Требования ИСО 9001 к элементам систем качества

№	Элементы систем качества и требования к ним 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 повышения 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, проводимая с целью 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 обеспечения процедур идентификации качества продукции

Для определения μ_m и μ_c вводится гипотеза о прямой зависимости уровня конструкционной безопасности объекта от эффективности функционирования

систем качества организаций – участников инвестиционного строительного процесса. Задачей эксперта является назначение по правилу, приведенному в табл. 5, степеней соответствия $(\mu_m)_i$ и $(\mu_c)_i$ для всех элементов системы качества, показанных в табл.6. По аналогии с μ_n окончательные числовые оценки систем качества организации-поставщика и подрядной организации определяются по формулам: $\mu_m = \min \{(\mu_m)_i\}$, $\mu_c = \min \{(\mu_c)_i\}$.

Технология декларирования конструкционной безопасности объекта строительства на стадии проекта состоит из следующих операций.

1.Формируется «дерево» состояний объекта, представляющее собой иерархическую последовательность возведения групп однотипных конструкций несущего каркаса.

2. Определяется числовая оценка проекта μ_n .

3. По результатам диагностики систем качества назначаются μ_m и μ_c для всех участников строительного процесса.

4. По формуле (18) определяются значения средних уровней надежности Mp всех групп конструкций несущего каркаса объекта.

5.По формуле (8) определяется ожидаемый после возведения объекта фактический риск аварии R и этот риск сравнивается с нормальным риском аварии R_n .

6. Если $R > R_n$, то строится диаграмма средних спрогнозированных уровней надежности Mp в группах однотипных конструкций несущего каркаса объекта с указанием на диаграмме стандартного нормального p_n уровня надежности конструкций.

7.По диаграмме определяются участники строительства, которые потенциально внесут в объект наибольший риск аварии, и на основе информации п. 3 принимается управленческое решение.

4.2. Управление риском аварии при возведении объекта

Цель управления риском аварии в процессе возведения объекта – обеспечить на момент сдачи здания (сооружения) в эксплуатацию величину риска, не превышающую нормальное значение. В этом и только в этом случае достигается наибольший безопасный ресурс построенного объекта. Главной задачей управления является идентификация риска аварии для всех «промежуточных» зданий строящегося объекта. Под «промежуточным» зданием понимается часть m -этажного объекта, содержащая нулевой цикл и $k = 1, 2, \dots, m$ его этажей. Процедура идентификации риска аварии и технология его регулирования состоит из следующих операций.

1.Формируются требования конструкционной безопасности исследуемого объекта, к которым относятся нормальное значение риска аварии R_n и нормальный p_n средний уровень надежности в группах конструкций несущего каркаса здания.

2.В режиме специальным образом организованной для этой цели экспертизы устанавливаются значения p_1 и p_2 (см. раздел 3.1) закона (10) распределения

фактических уровней надежности конструкций в группах несущего каркаса каждого «промежуточного» здания.

3. По средним значениям надежности в группах для каждого «промежуточного» здания строится диаграмма, позволяющая определить группы несущих конструкций, которые вносят наибольший вклад в риск аварии объекта.

4. Принимаются меры по устранению дефектов. Окончательная информация о техническом состоянии несущего каркаса объекта фиксируется в специальном документе.

5. По информации о техническом состоянии групп конструкций несущего каркаса для каждого «промежуточного» здания объекта осуществляются статистические испытания фактического риска аварии (см. раздел 3.3).

6. По результатам статистических испытаний строятся гистограммы распределения фактических значений риска аварии, по показателям которых принимается решение о соответствии несущего каркаса объекта требованиям конструкционной безопасности.

Контроль уровня конструкционной безопасности объекта в процессе его возведения состоит в определении по гистограммам для каждого «промежуточного» здания вероятности λ события, состоящего в том, что фактический риск аварии R не превысит нормального значения $R_n=2$. Величина λ равна площади закона распределения, заключенной в интервале от 1 до 2. Если $\lambda \geq 0,5$, то «промежуточное» здание соответствует требованиям конструкционной безопасности. В целом объект соответствует требованиям конструктивной безопасности, если доказано, что фактический риск аварии R последнего «промежуточного» здания не превысил нормального значения R_n .

Приведенная процедура инженерного сопровождения проекта при определенных условиях (независимость экспертов, наличие утвержденной нормативной базы и др.) совпадает с процедурой сертификационных испытаний несущих каркасов объектов на соответствие требованиям конструкционной безопасности. В отличие от традиционных подходов в этом методе испытаниям подвергается риск аварии объекта на основе компьютерной технологии.

4.3. Регулирование риска аварии подержанных зданий

Оценка риска аварии и остаточного ресурса находящихся в эксплуатации зданий и сооружений является необходимым этапом при принятии решений о их реконструкции, реставрации и капитальном ремонте. Оценка осуществляется на специально разработанной для этих целей экспертной системе, приведенной в приложении 1 и представляющей собой человеко-машинный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии с опытом, знаниями и интуицией людей, освоивших профессию «эксперт». В экспертную систему встроены компьютерные программы, реализующие изложенные в главе 3 математические методы расчета риска аварии и остаточного ресурса объектов строительства. Ниже приводится

технология регулирования уровня конструкционной безопасности подержанных зданий и сооружений с использованием экспертной системы.

На первом этапе регулирования формируются требования конструкционной безопасности исследуемого объекта и информация о техническом состоянии конструкций его несущего каркаса. Алгоритм формирования требований конструкционной безопасности объекта включает назначение границ области приемлемых рисков и определение стандартных значений уровней надежности несущих конструкций. В компактном виде этот алгоритм представлен в табл. 7.

Таблица 7

Алгоритм формирования требований конструкционной безопасности объектов строительства

Требования конструкционной безопасности исследуемого объекта
Нормальный риск аварии: $R_n = 2$
Предельно-допустимый риск аварии: $R_{nd} = 18$
Нормальный уровень надежности конструкций: $p_n = (R_n)^{-1/n}$, где n – число групп однотипных несущих конструкций объекта
Предельно-допустимый уровень надежности конструкций: $p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n}$

На втором этапе по правилу формализации экспертной информации (табл. 2) определяются уровни надежности p_1 и p_2 соответственно наиболее дефектных и наименее дефектных конструкций в каждой группе конструкций и по формуле (11) определяются средние значения Mp надежности конструкций в группах. По значениям Mp строится диаграмма средних фактических уровней надежности в однотипных группах конструкций несущего каркаса объекта с указанием на диаграмме нормального и предельно-допустимого уровней надежности конструкций. По формуле (8) определяются фактические значения риска аварии всех «промежуточных» зданий, которые можно выделить из исследуемого объекта, и по этим значениям строится карта риска с указанием на ней области приемлемых рисков аварии. Диаграмма, карта риска и экспертный документ (см. табл. 7) позволяют извлечь полную информацию о неблагополучных группах конструкций, внесших наибольший «вклад» в риск аварии исследуемого объекта, и эта информация является основой регулирования уровня конструкционной безопасности и ресурса подержанных зданий.

На третьем этапе регулирования производится расследование причин снижения уровня конструкционной безопасности исследуемого объекта и построение на основе этого расследования оптимальной тактики и стратегии ремонтно-восстановительных работ по снижению риска аварии. Порядок проведения ремонтных работ определяет эксперт. Вначале ремонтными работами необходимо обеспечить безопасность несущих конструкций нулевого цикла, затем приступить к ликвидации критических дефектов в

неблагополучных группах конструкций несущих каркасов этажей. В случае, если фактический риск аварии находится в области неприемлемых рисков, необходимо прежде, чем начать ремонтные работы, предусмотреть специальные меры безопасности.

Основным способом снижения риска аварии является ликвидация критических дефектов в реально существующих конструкциях. Если ликвидировать дефекты в конструкции не удастся по техническим причинам или экономическим соображениям, то следует применить дублер-конструкцию, заменяющую и исполняющую функции существующей конструкции в составе несущего каркаса объекта. В этом случае речь уже идет не о снижении риска, а о его поглощении дублер-конструкцией (монолитные пояса жесткости, шпренгельные системы и др.). При этом любое техническое решение по снижению или поглощению риска аварии конкретного объекта должно в обязательном порядке пройти две стадии: расчетную и проектную. На этом этапе целесообразно использовать рекомендации, приведенные в [5, 7].

Обязательным этапом регулирования уровня конструктивной безопасности является прогноз ожидаемой ситуации риска аварии объекта и его безопасного ресурса после завершения ремонтно-восстановительных работ. Такой прогноз позволяет, во-первых, убедиться в правильности принятых технических решений, а во-вторых, информирует заказчика о возможном позитивном результате и, следовательно, стимулирует его вкладывать средства в ремонтные работы.

Таким образом, технология регулирования уровня конструкционной безопасности поддержанных зданий состоит из двух основных частей.

1. Диагностика технического состояния конструкций несущего каркаса и оценка соответствия фактического риска аварии объекта предъявляемым требованиям конструкционной безопасности.

2. Расследование причин снижения уровня конструкционной безопасности исследуемого объекта и принятие технических решений по усилению его конструкционных элементов, которые должны пройти расчетную и проектную стадии и учитывать роль усиливаемых элементов в системе «основание – несущий каркас».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1989.
2. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании/ Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988.
3. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982.
4. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990.
5. Бондаренко В.М. Адаптационные конструктивные решения. Принципы и расчеты// Промышленное и гражданское строительство.– №4.– 1993.
6. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей.– М.: Наука, 1969.
7. Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение–основание» при неравномерных деформациях основания.– Изд. «Кубанькино», 2004.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
9. Мельчаков А.П. Оценка надежности возведенных строительных конструкций на основе методов теории размытых множеств// 7-е Уральские академические чтения. Екатеринбург: Изд. УралНИИпроект, 2002.
10. Мельчаков А.П. К теории прогнозирования риска аварии объектов строительства// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». –2001. –Выпуск 1.
11. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981.
12. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки. –2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986.
13. Ржаницин А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978.
14. Скоробогатов С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. – Екатеринбург: Изд. УрГУПС, 2000.
15. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска/ Пер. с англ. В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой; Под общ. ред. В. С. Сыромятникова.– М.: Машиностроение, 1984.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Структура экспертной системы расчета риска аварии и безопасного ресурса объекта строительства

Основным элементом экспертной системы является база знаний, которая структурирована в три независимых блока.

Блок 1. База данных, предназначенная для автоматизированного определения стандартных и фактических значений риска аварии несущего каркаса исследуемого объекта строительства.

База данных содержит информацию о «дереве» состояний объекта в виде иерархической последовательности возведения групп однотипных конструкций несущего каркаса. «Дерево» состояний является управляющим механизмом регламента для сбора информации. База данных включает в себя следующее.

1. Общие сведения об объекте (назначение объекта, адрес строительной площадки, срок строительства или эксплуатации).

2. Сведения об участниках строительства (заказчик-инвестор, генподрядчик, проектная организация, ответчик за инженерно-геологические изыскания, поставщики материалов и изделий).

3. Сведения конструктивного характера (тип здания, число этажей, тип фундамента и основных несущих конструкций).

4. Сведения о грунтовой обстановке (вид грунта основания, особые свойства грунта, характеристика грунтовых вод).

5. Сведения о примененных материалах и изделиях (тип, марка, прочностные характеристики).

6. Сведения о нагрузках (полезная, временная, постоянная на фундамент, несущие стены и перекрытия).

Регламент экспертных работ определяется «деревом» состояний объекта и перечнем конструкций и их параметров, ответственных за безопасность объектов строительства (табл. П1.1).

Блок 2. Блок формализации, предназначенный для приведения экспертной информации к однозначному (формализованному) виду.

Блок формализации содержит правила, позволяющие сгладить неопределенность экспертной информации о техническом состоянии объекта и свести ее в ранг показателей, необходимых для прогноза фактического риска аварии (закон распределения надежностей в группах конструкций, уровни надежности наиболее и наименее дефектных в группах конструкций). Для назначения уровней надежности конструкций блок формализации содержит правило формализации (см. табл. 2) и банк данных о признаках опасных дефектов несущих конструкций (см. табл. 3).

Примерный перечень параметров несущих конструкций,
ответственных за безопасность зданий и сооружений

№	Группы несущих конструкций, вид и характер контролируемых параметров
1	ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ
1.1	Несущая способность основания (по нарушениям естественной структуры основания: разуплотнения грунта при суффозии (размыве), оттаивании после замораживания, замачивании, при переходе фундаментов в зиму без утепления основания с пучинистыми грунтами)
2	СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ
2.1	Несущая способность свайного поля в составе фундамента (по отклонению положения свай, отказу свай, конструкции стыка свай с ростверком, по наличию и виду грунта под подошвой ростверка)
3	ФУНДАМЕНТЫ И СТЕНЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ ИЗ БЛОКОВ
3.1	Установка подушек и блоков (по перевязке блоков, заполнению торцевых замков раствором, марке раствора, отклонению рисков разбивочных осей и отметок опорных поверхностей)
4	СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
4.1	Установка элементов (по отклонению положения после постоянного закрепления, по качеству монтажных узловых соединений, устройству платформенных стыков)
4.2	Качество сварных швов, антикоррозионного покрытия, замоноличивания стыков, водоизоляции и воздухоизоляции стыков
5	КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И БЛОКОВ
5.1	Качество кладки (по толщине швов, системе перевязки, креплению кладки (в том числе и в зимнее время), по отклонению размеров и положения кладки, по наличию пустых швов)
6	КОНСТРУКЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
6.1	Установка элементов (по количеству и качеству установки арматуры, качеству сварных швов, толщине защитного слоя, по отклонению положения и размеров завершенных конструкций)
6.2	Прочность бетона (по наличию трещин в бетоне, по возможному замораживанию бетона в процессе возведения конструкций)
7	КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА
7.1	Установка элементов (по отклонению положения после постоянного закрепления; по качеству исполнения узловых соединений)
7.2	Качество сварных швов, антикоррозионного покрытия, замоноличивания стыков, водоизоляции и воздухоизоляции стыков

Блок 3. Блок логических выводов, предназначенный для оценки уровня конструкционной безопасности и безопасного ресурса исследуемого объекта строительства.

Блок содержит набор алгоритмов, позволяющих на основании сведений базы данных и формализованной экспертной информации определить средние значения уровней надежности в каждой группе однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого объекта, найти среднее значение риска аварии для каждого «промежуточного» здания объекта и осуществить верификацию полученных результатов. По фактическому значению риска аварии определяют показатели ресурса исследуемого объекта, а через сравнение фактического риска аварии со стандартными значениями риска техническое состояние исследуемого объекта относят к одному из трех возможных: безопасному, аварийному, ветхо-аварийному.

В экспертной системе предусмотрен *пользовательский интерфейс* для передачи информации заказчику в визуализированном виде. К такой информации относится следующая.

1. Диаграмма средних фактических уровней надежности в однотипных группах конструкций несущего каркаса объекта с указанием на диаграмме нормального и предельно-допустимого уровней надежности конструкций

2. Карта риска с информацией о нормальном, предельно-допустимом и фактических значениях риска аварии. Фактические значения риска аварии приводятся для всех «промежуточных зданий» исследуемого объекта строительства

3. Значения показателей ресурса исследуемого объекта строительства, к которым относятся время до достижения объектом предельно-допустимого риска аварии (безопасный остаточный ресурс) и время до достижения объектом предельного риска аварии (долговечность).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Примеры расчета риска аварии и безопасного ресурса зданий и сооружений

Пример 1

Оценка технического состояния завершеного строительством 4-этажного каркасно-связевого здания поликлиники, построенного в г.Троицке (Челябинская обл.). Ведущий эксперт А.П.Мельчаков

Сведения об объекте

–Назначение: *Общественное здание (медицинское учреждение-поликлиника).*

–Тип сооружения: *Каркасно-связевое, наружные стены кирпичные.*

–Фактический срок эксплуатации: *0 лет.*

–Число групп однотипных конструкций несущего каркаса: *n=27.*

Наименование и нумерация групп приведены в табл. П2.1, а в табл. П2.2– требования конструкционной безопасности здания поликлиники.

Таблица П2.1

Наименование и нумерация групп однотипных конструкций

Этажи	Номера и наименование групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта
0-этаж (Нулевой цикл)	01 Основание под фундаменты наружных стен, колонн и диафрагм жесткости 02 Фундаменты под стены, колонны и диафрагмы 03 Стены подвала наружные, кирпичные 04 Колонны железобетонные (ж/б) 05 Ригели ж/б 06 Диафрагмы жесткости 07 Плиты перекрытия рядовые и связевые
1-й, 2-й 3-й и 4-й этажи	11 (21, 31, 41) Стены наружные, кирпичные 12 (22, 32, 42) Колонны ж/б 13 (23, 33, 43) Ригели ж/б 14 (24, 34, 44) Диафрагмы жесткости 15 (25, 35, 45) Плиты перекрытия рядовые и связевые

Примечание. Номера групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта содержат две цифры. Первая из них означает номер этажа здания, вторая – порядковый номер группы на этаже.

Таблица П2.2

Требования конструкционной безопасности здания поликлиники

Стандартные показатели безопасности	Значения показателей
Нормальный риск аварии объекта	$R_n = 2$
Предельно-допустимый риск аварии	$R_{nd} = 19$
Нормальный уровень надежности конструкций (по формуле (9))	$p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/27} = 0,975$
Предельно-допустимый уровень надежности конструкций (по формуле (9))	$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/27} = 0,897$

Экспертная информация о техническом состоянии групп конструкций несущего каркаса здания поликлиники дана в табл. П2.3. Для назначения уровней опасности наиболее и наименее дефектных в группах конструкций и рангов этих уровней использовано правило, приведенное в табл.2.

Таблица П2.3

Экспертная информации о техническом состоянии групп однотипных конструкций несущего каркаса здания поликлиники

Номер группы	Описание дефектов «слабой» в группе конструкции	Уровень опасности и ранг уровня конструкции в группе	
		наиболее дефектной	наименее дефектной
01	Дефекты не обнаружены	1.1	0
02	Дефекты не обнаружены	1.1	0
03	Кладка без заполнения раствором вертикальных поперечных швов; толщина горизонт. швов до 30 мм	2.3	1.1
04	Отклонение верха колонны от вертикали 30 мм	3.1	1.2
05	Зазор в стыке с колонной 30 мм. В опоре подкладка. Эл. сварка (-N), шлак не отбит	3.1	1.3
06	Диафрагма непроектная. Состоит из двух частей. Зазор (450мм) между частями забетонирован по металлическому каркасу	3.1	2.3
07	Несоосность с колонной 60 мм. Эл.сварка стыка -N ($L_{ш}=20$ мм, $K_f=3$ мм), антикорр. покрытие отсутствует	2.2	1.1

Продолжение табл. П2.3

11	Заполнение вертикальных поперечных швов 20%, толщина шва 20 мм	2.2	1.1
12	Отклонение верха колонны от вертикали 33 мм	3.2	1.1
13	Наличие подкладок на прихватках, зазор 20 мм. Антикorr. покрытия нет	3.1	1.2
14	То же, что и для группы 06	3.1	2.3
15	Несоосность с колонной 60 мм. Опираие на ригель менее 40 мм. Сварка закладной с колонной –N	2.3	1.1
21	Кладка без заполнения вертикальных поперечных швов. Захватка из разных марок кирпича (М-300 и М-100), разная толщина швов	2.3	1.1
22	Отклонение верха колонны от вертикали 40 мм	3.3	1.2
23	Зазор в опоре на колоннах до 60 мм. Стык через прокладки. Отбит защитный слой, арматура оголена и корродирует	3.2	1.3
24	То же, что и для групп 06 и 14	3.1	2.3
25	Вместо связевой плиты использована плита рядовая с подрубкой и опиранием менее 40мм. Эл.сварка (–N)	3.2	1.1
31	То же, что и для группы 11	2.2	1.1
32	Отклонение верха колонны от вертикали 60 мм	4.1	2.1
33	Несоосность с колонной 60 мм, как следствие, работа ригеля не только на изгиб, но и на кручение. Ригель подрублен, опорная пластина уничтожена, обварка отсутствует	3.3	2.1
34	То же, что и для групп 06, 14, 24	3.1	2.3
35	То же, что и для группы 15	2.3	1.1
41	То же, что и для группы 11	2.2	1.1

Окончание табл. П2.3

42	Отклонение верха колонны от вертикали 70 мм	4.2	2.2
43	То же, что и для группы 33	3.3	2.1
44	То же, что для групп 06, 14, 24, 34	3.1	2.3
45	То же, что и для группы 15	2.3	1.1

По уровням опасности и рангам уровней по табл.2 определены значения надежности p_1 и p_2 наиболее и наименее дефектных конструкций, а по формуле (11) рассчитаны средние уровни надежности Mr_i однотипных групп конструкций и результаты формализации занесены в табл. П2.4.

Таблица П2.4

Результаты формализации экспертной информации

№ группы	Значения уровней надежности		Средний уровень надежности в группе Mr
	наиболее дефектной конструкции p_1	наименее дефектной конструкции p_2	
01	0,994	1,000	0,997
02	0,994	1,000	0,997
03	0,910	0,994	0,952
04	0,882	0,987	0,935
05	0,882	0,981	0,932
06	0,882	0,910	0,896
07	0,939	0,994	0,967
11	0,939	0,994	0,967
12	0,828	0,994	0,911
13	0,882	0,987	0,935
14	0,882	0,910	0,896
15	0,910	0,994	0,952
21	0,910	0,994	0,952
22	0,777	0,987	0,882
23	0,828	0,981	0,905
24	0,882	0,910	0,896
25	0,828	0,994	0,911
31	0,939	0,994	0,967
32	0,730	0,969	0,850
33	0,777	0,969	0,873
34	0,882	0,910	0,896
35	0,910	0,994	0,952
41	0,939	0,994	0,967
42	0,644	0,939	0,792
43	0,777	0,969	0,873
44	0,882	0,910	0,896
45	0,910	0,994	0,952

По данным табл. П2.4 построена диаграмма фактических средних уровней надежности групп однотипных конструкций несущего каркаса здания, а по формуле (8) рассчитаны фактические значения риска аварии для каждого «промежуточного» здания, которые можно выделить из исследуемого объекта. Диаграмма средних уровней надежности конструкций в однотипных группах несущего каркаса здания поликлиники приведена на рис. 1П. Для сравнения на диаграмме показаны стандартные уровни надежности несущих конструкций (p_n и p_{nd}), позволяющие визуально удостовериться в том, как отличается фактическое техническое состояние объекта от состояния, предусмотренного проектом. Результаты расчета риска аварии «промежуточных» зданий приведены в табл. П2.5. По данным этой таблицы построена карта риска для здания поликлиники, показанная на рис. 2П. Все расчеты, включая визуализацию результатов, получены по программе «Риск».

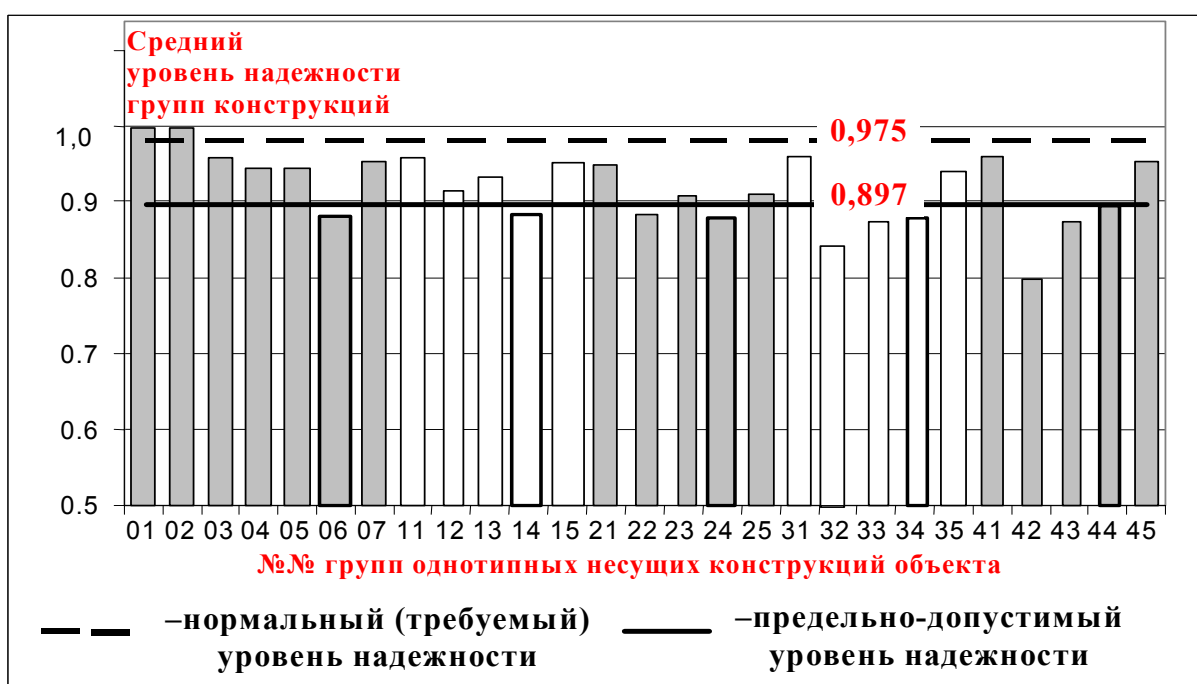
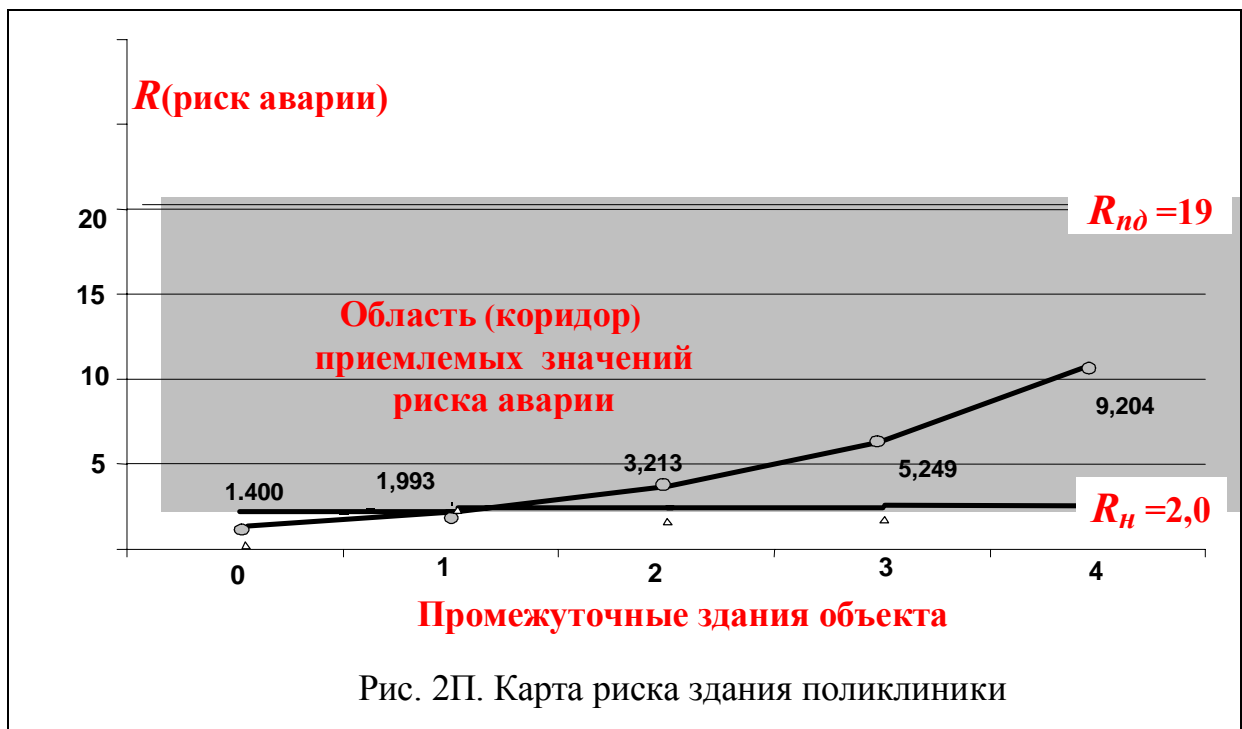


Рис. 1П. Диаграмма средних уровней надежности групп однотипных конструкций несущего каркаса здания поликлиники

Таблица П2.5
Фактические значения риска аварии для «промежуточных» зданий

«Промежуточные» здания объекта	Формула и вычисление величины риска аварии	Фактический риск аварии
0-й этаж (Нулевой цикл)	$1/\Pi(p_j)_0 = 1/(0,997 \cdot 0,997 \cdot 0,952 \cdot 0,935 \cdot 0,932 \cdot 0,896 \cdot 0,967)$	$(R)_0 = 1,400$
0-й этаж + 1-й этаж	$1/\Pi(p_j)_0 \cdot 1/\Pi(p_j)_1 = 1,400 \cdot 1/(0,967 \cdot 0,911 \cdot 0,935 \cdot 0,896 \cdot 0,952)$	$(R)_1 = 1,993$

0-й этаж + 1-й этаж + 2-й этаж	$1/\Pi(p_{i0}) \cdot 1/\Pi(p_{i1}) \cdot 1/\Pi(p_{i2}) =$ $= 1,993 \cdot 1/(0,952 \cdot 0,882 \cdot 0,905 \cdot 0,896 \cdot$ $\cdot 0,911)$	$(R)_2 = 3,213$
0-й этаж + 1-й этаж + 2-й этаж + 3-й этаж	$1/\Pi(p_{i0}) \cdot 1/\Pi(p_{i1}) \cdot 1/\Pi(p_{i2}) \cdot$ $\cdot 1/\Pi(p_{i3}) =$ $= 3,213 \cdot 1/(0,967 \cdot 0,850 \cdot 0,873 \cdot 0,896 \cdot$ $0,952)$	$(R)_3 = 5,249$
0-й этаж + 1-й этаж + 2-й этаж + 3-й этаж + 4-й этаж	$1/\Pi(p_{i0}) \cdot 1/\Pi(p_{i1}) \cdot 1/\Pi(p_{i2}) \cdot$ $1/\Pi(p_{i3}) \cdot 1/\Pi(p_{i4}) = 5,249 \cdot 1/(0,967 \cdot$ $\cdot 0,792 \cdot 0,873 \cdot 0,896 \cdot 0,952)$	$(R)_4 = 9,204$



Верификация результатов расчета риска аварии здания поликлиники выполнены по технологии, изложенной в разделе 3.3. На рис.3П показана гистограмма для здания поликлиники в целом.

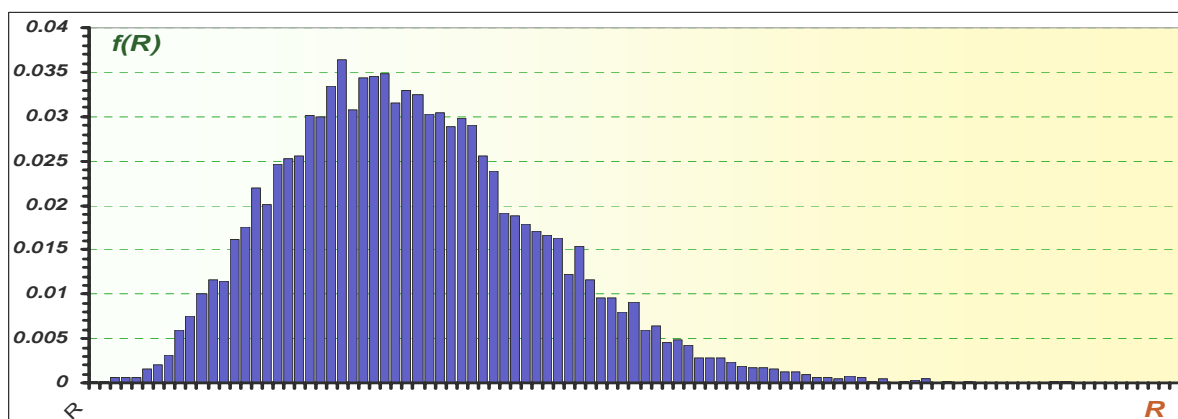


Рис.3П. Гистограмма фактического риска аварии здания поликлиники

Среднестатистический риск аварии объекта на множестве из 10^4 зданий составил $R^* = 9,695$. Риск аварии здания поликлиники, вычисленный по теоретической формуле (8), равен $R=9,204$. Сравнение результатов показывает, что теоретический средний риск аварии отличается от среднестатистического риска на **5,33 %**.

Расчет показателей ресурса здания поликлиники выполняется по технологии, изложенной в разделе 3.4. Исходной информацией для расчета является величина фактического среднего риска аварии ($R = 9,204$), зафиксированная к моменту сдачи поликлиники в эксплуатацию ($T_{\phi}=0$), и срок ее строительства (T_c), который в среднем составил **5 лет**.

Физический износ J здания поликлиники на момент времени $T = 5$ лет определяем по формуле (13):

$$J = J(5) = 1 - \exp \{-0,0365 (9,204 - 1)\} = 0,259 (25,9 \%) .$$

Интенсивность i физического износа находим из формулы (15), из которой следует, что $i = 0,0599$ (1/год).

Безопасный T_6 ресурс здания поликлиники найдем по формуле (16):

$$T_6 = T_{nd} - T = 0,657/i - 5 = 6 \text{ (лет)} .$$

Предельный срок T_n службы здания поликлиники при условии, что на нем не будут произведены ремонтно-восстановительные работы по снижению риска аварии, прогнозируем по формуле (17)

$$T_n = 2,993/i = 2,993/0,0599 = 49 \text{ лет} .$$

Заключение. Здание поликлиники находится в безопасном состоянии, но через 6 лет его эксплуатации на нем должны быть начаты работы по усилению несущих конструкций с целью снижения величины риска аварии.

Пример 2

Оценка уровня конструкционной безопасности эксплуатируемого сооружения «Водослив плотины на р.Нязя» (Челябинская обл.)

Ведущий эксперт В.С. Малютин

Сведения об объекте

–Фактический срок эксплуатации: 34 года.

–Тип сооружения: Монолитное ж/б.

–Тип фундамента: Ж/б плиты под упорные стены.

–Число групп однотипных конструкций несущего каркаса: $n = 10$.

В табл. П2.6 приведены номера и наименование групп однотипных конструкций, а в табл. П2.7 – требования конструкционной безопасности.

Таблица П2.6

Наименование и нумерация групп однотипных конструкций

Части сооружения	Номера и наименование групп однотипных конструкций несущего каркаса объекта
Подземная часть (нулевой цикл)	1. Основание под фундаменты упорных стен 2. Фундаментная плита лотка 3. Подпорные стены лотка 4. Фундаментная плита понура 5. Подпорные стены понура 6. Фундаментная плита водобоя 7. Подпорные стены водобоя 8. Стены откоса отводного канала
Надземная часть (этаж)	9. Ж/б мост 10. Галерея

Таблица П2.7

Требования конструкционной безопасности сооружения
«Водослив плотины на р. Нязя»

Стандартные показатели безопасности	Значения показателей
Нормальный риск аварии объекта	$R_n = 2$
Предельно-допустимый риск аварии	$R_{nd} = 19$
Нормальный уровень надежности конструкций (по формуле (7))	$p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/10} = 0,933$
Предельно-допустимый уровень надежности конструкций (по формуле (8))	$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/10} = 0,745$

Экспертная информация о техническом состоянии однотипных групп конструкций сооружения «Водослив плотины на р. Нязя» зафиксирована в табл. П2.8.

Таблица П2.8

Экспертная информация

Номер группы	Описание дефектов «слабой» в группе конструкции	Уровень опасности и ранг уровня конструкции в группе	
		наиболее дефектной	наименее дефектной
1	Дефекты не обнаружены	1.2	1.1
2	Дефекты не обнаружены	1.2	1.1

Окончание табл. П2.8

3	Вертикальная трещина шириной 4–5 мм, фильтрация воды через швы бетонирования	7.3	7.2
4	Смещение плиты понура	3.2	2.3
5	Вертикальная трещина шириной до 30 мм	8.1	7.3
6	Разрушение бетона фундаментной плиты	7.2	5.2
7	Разрушение бетона стен водобоя за счет прорастания растений	7.1	5.1
8	Разрыхление бетона стены откоса отводного канала	7.3	5.2
9	Разрушение межбалочных швов, отсутствие прокладок в местах опирания балок	4.2	3.1
10	Дефекты не обнаружены	1.2	1.1

Результаты формализации экспертной информации, выполненной по правилу табл. 2, показаны в табл. П2.9.

Таблица П2.9

Результаты формализации экспертной информации

№ группы конструкций плотины	Значение уровня надежности		Средний уровень надежности конструкций в группе M_p
	наиболее дефектной конструкции p_1	наименее дефектной конструкции p_2	
1	0,987	0,994	0,991
2	0,987	0,994	0,991
3	0,414	0,441	0,428
4	0,828	0,910	0,869
5	0,389	0,414	0,402
6	0,441	0,568	0,505
7	0,470	0,604	0,537
8	0,414	0,568	0,491
9	0,686	0,882	0,784
10	0,987	0,994	0,991

Результаты расчета по формуле (15) риска аварии «промежуточных» зданий сооружения «Водослив плотины на р. Нязя» приведены в табл. П2.10.

Фактические значения риска аварии для «промежуточных» зданий сооружения «Водослив плотины на р. Нязя»

«Промежуточные» здания объекта	Формула и вычисление величины риска аварии	Фактический риск аварии
Подземная часть (нулевой цикл)	$1/P(p_i)_0 = 1/(0,991 \cdot 0,991 \cdot 0,428 \cdot 0,869 \cdot 0,402 \cdot 0,505 \cdot 0,537 \cdot 0,491)$	$(R)_0 = 51,15$
Подземная часть + надземная часть	$1/P(p_i)_0 \cdot 1/P(p_i)_1 = 51,15 \cdot 1/(0,784 \cdot 0,991)$	$(R)_1 = 65,83$

Физический износ J водослива плотины на момент времени $T = 34$ года определяем по формуле (13):

$$J = J(34) = 1 - \exp \{-0,0365 (65,83 - 1)\} = 0,906 (90,6 \%) .$$

Заключение. Риск аварии объекта «Водослив плотины на реке Нязя» значительно превышает предельно-допустимое значение. Водослив плотины находится в аварийном состоянии.

Пример 3

Оценка уровня конструкционной безопасности несущей системы железнодорожного путепровода на 2104 км. ст. Челябинск-Главный ЮУЖД.
Ведущий эксперт Малютин В.С.

Сведения об объекте

–Тип сооружения: *Железобетонная неразрезная 4-х пролетная балка на бетонных опорах.*

–Фактический срок эксплуатации: *50 лет.*

–Число групп однотипных конструкций несущего каркаса: $n=5$.

Наименование и нумерация групп приведены в табл. П2.11.

Таблица П2.11

Наименование и нумерация групп однотипных конструкций путепровода

Части сооружения	Номера и наименование групп
Нулевой цикл путепровода	1. Основание фундаментов 2. Фундаменты 3. Опоры путепровода
Проезжая часть путепровода	4. Плиты подбалочные (по верху опор) 5. Пролетные балки

Требования конструкционной безопасности путепровода приведены в табл. П2.12.

Таблица П2.12

Требования конструкционной безопасности путепровода

Стандартные показатели безопасности	Значения показателей
Нормальный риск аварии объекта	$R_n = 2$
Предельно-допустимый риск аварии	$R_{nd} = 19$
Нормальный уровень надежности конструкций (по формуле (7))	$p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/5} = 0,871$
Предельно-допустимый уровень надежности конструкций (по формуле (8))	$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/5} = 0,555$
Предельный риск аварии	$R_n = 83$

Экспертная информации о техническом состоянии однотипных групп конструкций путепровода зафиксирована в табл. П2.13.

Таблица П2.13

Экспертная информация

Номер группы	Описание дефектов «слабой» в группе конструкции	Уровень опасности и ранг уровня конструкции в группе	
		наиболее дефектной	наименее дефектной
1	Замачивание грунта основания на глубину 0,4 м	7.2	6
2	Водонасыщение бетона, «пустошовка»	4.3	4.1
3	Наличие поперечной клиновидной трещины с раскрытием до 0,5 мм.; опора разделена на блоки, по высоте которых прочность изменяется от 18 МПа (низ стыка) до 6 МПа (верх стыка)	8.3	8.2
4	Бетон рыхлый, корродирует, имеются многочисленные трещины с раскрытием до 1 мм	9.2	9.1
5	Бетон балки в пролете рыхлый и крошится, арматура (нижняя) по всему пролету оголена и ржавеет. Наличие в консолях на расстоянии 0,8 м от корня балки по длине всего пролета продольных трещин с раскрытием до 2 мм	10.1	9.2

Результаты формализации экспертной информации, выполненной по правилу табл.2, показаны в табл. П2.14.

Таблица П2.14

Результаты формализации экспертной информации

№ группы конструкций путепровода	Значение уровня надежности		Средний уровень надежности конструкций в группе M_p
	наиболее дефектной конструкции p_1	наименее дефектной конструкции p_2	
1	0,441	0,500	0,471
2	0,644	0,730	0,687
3	0,343	0,365	0,354
4	0,303	0,322	0,313
5	0,267	0,303	0,285

Фактическое значение риска аварии несущего каркаса путепровода определяем по формуле (8):

$$R = 1/ \Pi(p) = 1/(0,471 \cdot 0,687 \cdot 0,354 \cdot 0,313 \cdot 0,285) = 97,86.$$

Заключение. Риск аварии путепровода превысил предельное значение риска. Этот факт означает, что путепровод находится в ветхо-аварийном состоянии, его ресурс полностью исчерпан, а время наступления аварии открыто.

Пример 4.

Расчет риска аварии нулевого цикла центрального корпуса Южно-Уральского государственного университета, выполненный в связи с реконструкцией корпуса. Ведущий эксперт Малютин В.С.

Экспертная информация о техническом состоянии однотипных групп конструкций нулевого цикла центрального корпуса Южно-Уральского госуниверситета приведена в табл. П2.15.

Таблица П2.15

Экспертная информация

Номер и название группы конструкций	Описание дефектов «слабой» в группе конструкции	Уровень опасности и ранг уровня конструкции в группе	
		наиболее дефектной	наименее дефектной
1. Основание (разборная скала)	Основание ниже уровня грунтовых и техногенных вод, боковые поверхности фундаментов – в грязевой ванне	3.3	3.1

2.Фундамент (буто-бетонный)	Фундамент имеет не-проработки бетона: – межзерновая пустотность, отсутствует (выкрошилась) битумная изоляция, бетон водонасыщенный. Прочность бетона при проектной марке М100: 9,7 МПа – наружные фундаменты, 8 МПа – внутренние	4.2	3.3
3.Колонны и пеньки колонн	Неоднородность бетона по прочности на сжатие: размах $\Delta R 39-15=24$ МПа. Бетон пеньков монолитный, рыхлый с прочностью ниже проектной на 20%	6	5.2
4.Стены кирпичные, перемычки ж/б	Кирпич наружных стен влажный, в наружной версте в зонах вблизи водосточных труб подвержен морозной агрессии, кладка разрыхлена и «бухтит». Собственно кирпич имеет «свиль», недообожжен, трещеноват, неоднороден по смеси. Перемычки оконных проемов под наружной верстой разрыхлены морозной агрессией	8.1	3.1
5.Балки-ригели (ж/б)	Трещины наклонные арочные, на концах балок с раскрытием до 0,5 мм, в стыках с монолитными пеньками междуэтажного пространства трещины вертикальные, обнажение и ржавление арматуры балок в опорах на консоли колонн, точечное опирание	8.2	3.1
6.Плиты перекрытия	Дефекты не обнаружены	1.1	0

Результаты формализации экспертной информации, выполненной по правилу табл.2, показаны в табл. П2.16.

Таблица П2.16

Результаты формализации экспертной информации

№ группы конструкций	Значение уровня надежности		Средний уровень надежности конструкций в группе Mp
	наиболее дефектной конструкции p_1	наименее дефектной конструкции p_2	
1	0,777	0,882	0,830
2	0,686	0,777	0,732
3	0,500	0,568	0,534
4	0,389	0,882	0,636
5	0,365	0,882	0,624
6	0,994	1,000	0,997

Фактическое значение риска аварии несущего каркаса нулевого цикла центрального корпуса Южно-Уральского госуниверситета определяем по формуле (8):

$$R = 1/P(p) = 1/(0,830 \cdot 0,732 \cdot 0,534 \cdot 0,636 \cdot 0,624 \cdot 0,997) = 7,790$$

Заключение. Риск аварии несущего каркаса нулевого цикла центрального корпуса Южно-Уральского госуниверситета превысил нормальное значение риска в 3,9 раза. Для снижения риска аварии необходимо произвести техническое регулирование уровня конструкционной безопасности нулевого цикла по технологии, описанной в разделе 4.3.

Техн. редактор А.В.Миних

Издательство Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 14.03.2006. Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 3,02. Уч.-изд.л. 3,13. Заказ 67.
