

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО"

*На правах рукописи*

**СОКОЛОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ**

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И  
НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ  
СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Специальность **05.23.01** – **Строительные конструкции, здания и  
сооружения**

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2015

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Введение</b> .....	6
<b>Глава 1. Актуальные проблемы диагностики технического состояния и надежности зданий старой городской застройки</b> .....	23
1.1. Диагностика и техническое обследование .....	23
1.2. Техническое обследование и его нормативная база .....	27
1.3. Методы диагностирования состояний строительных объектов .	31
1.3.1. Основные положения технической диагностики .....	31
1.3.2. Статистические методы технической диагностики .....	34
1.3.3. Техническое состояние, диагностика и надежность .....	39
1.3.4. Отказ несущих и ограждающих конструкций .....	45
1.3.5. Техническое состояние, риск и безопасность .....	48
1.3.6. Техническое состояние и методы теории нечеткой логики .....	50
Выводы по главе 1 .....	54
<b>Глава 2. Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий старой городской застройки</b> .....	55
2.1. Особенности объемно-планировочных решений зданий старой городской застройки .....	56
2.2. Конструктивные схемы зданий старой городской застройки .....	57
Выводы по главе 2 .....	72
<b>Глава 3. Характерные повреждения строительных конструкций зданий старой городской застройки</b> .....	73
3.1. Классификация дефектов и повреждений .....	73
3.2. Характерные повреждения каменных конструкций .....	75
3.3. Характерные повреждения бетонных и железобетонных конструкций .....	96

3.4. Характерные повреждения стальных конструкций .....	109
3.5. Характерные повреждения деревянных конструкций .....	116
3.6. Характерные повреждения фундаментов .....	122
Выводы по главе 3.....	125
<b>Глава 4. Теоретические аспекты технической диагностики зданий ..</b>	<b>126</b>
4.1. Методы распознавания состояний .....	126
4.1.1. Теория вероятностей и диагностика .....	126
4.1.2. Статистические методы распознавания. Метод Байеса .....	128
4.1.3. Методы статистических решений .....	135
4.2. Методы теории информации .....	142
Выводы по главе 4.....	147
<b>Глава 5. Формулирование состояний строительных систем .....</b>	<b>150</b>
5.1. Категории технического состояния .....	150
5.2. Мероприятия по устранению повреждений в зависимости от присвоенной категории состояния .....	157
5.2.1. Каменные конструкции старых зданий .....	157
5.2.2. Бетонные и железобетонные конструкции старых зданий .....	162
5.2.3. Стальные конструкции старых зданий .....	167
5.2.4. Деревянные конструкции старых зданий .....	170
5.2.5. Конструкции фундаментов старых зданий .....	174
Выводы по главе 5.....	176
<b>Глава 6. Диагностические матрицы и диагностические признаки ...</b>	<b>178</b>
6.1. Построение диагностических матриц .....	178
6.1.1. Диагностические матрицы для каменных конструкций ..	181
6.1.2. Диагностические матрицы для бетонных и железобетонных конструкций .....	188
6.1.3. Диагностические матрицы для стальных конструкций ..	199
6.1.4. Диагностические матрицы для деревянных конструкций	203
6.1.5. Диагностические матрицы для фундаментов .....	210

6.2. Диагностический вес и диагностическая ценность признаков и обследования .....	212
6.2.1. Основные положения .....	212
6.2.2. Примеры расчетов .....	215
6.3. Анализ диагностических матриц на основе метода Вальда .....	221
6.4. Информативность и устойчивость диагностических матриц на основе интервальных оценок .....	224
6.4.1. Интервальные подходы. Основные положения .....	224
6.4.2. Пример расчета .....	226
6.5. Оценка устойчивости диагностических матриц на основе методов теории нечеткой логики .....	233
6.5.1. Элементы теории нечетких множеств. Основные положения .....	233
6.5.2. Пример расчета .....	239
6.6. Пороговое значение для вероятностей состояний строительных конструкций .....	242
Выводы по главе 6.....	247
<b>Глава 7. Построение решения на основе многоуровневого вероятностного анализа .....</b>	<b>250</b>
7.1. Построение «диагностического дерева» .....	250
7.2. Построение решения на примере междуэтажных перекрытий ...	254
7.2.1. «Дерево диагнозов» для железобетонного монолитного перекрытия и алгоритм построение решения .....	254
7.2.2. Программный продукт «ВАТС» и пример расчета .....	270
7.3. Пример построения решения для диагностики состояний всего здания. Прямой ход диагностирования .....	281
7.4. Пример построения решения для диагностики состояний всего здания. Обратный ход диагностирования .....	307
Выводы по главе 7.....	309
<b>Глава 8. Статистика диагнозов и надежность. Физический износ .....</b>	<b>312</b>

8.1. Техническое состояние и надежность .....	312
8.2. Разделение и комбинирование вероятностей состояний. Примеры расчетов надежности .....	313
8.3. Физический износ. Примеры расчетов .....	326
Выводы по главе 8.....	342
<b>Глава 9. Заключение по работе и выводы .....</b>	<b>344</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>356</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием нового строительства, развернувшегося в период перехода из XX в XXI век как на свободных территориях (главным образом, на окраинах), так и в стесненных условиях городской застройки, в ряде крупных городов России наблюдается своеобразный разрыв между благоустроенными современными зданиями и существующими домами старой застройки в центральных городских кварталах, а в некоторых городах и в кварталах исторических территорий. Необходимость устранения этого разрыва, а также необходимость сохранности архитектурно-исторического наследия городов ставит проблему реконструкции старых зданий в число одной из ведущих в современной строительной отрасли.

В этих капитальных зданиях с кирпичными стенами значительной толщины планировка и благоустройство часто не отвечают современным требованиям. В то же время большинство таких домов расположено в центральных кварталах городов, где, как правило, имеются все инженерные коммуникации для повышения их благоустройства (водопровод, канализация, газ, теплоснабжение и пр.), хорошо развита транспортная сеть. Это благоприятствует решению задач по их реконструкции.

Значительный объем сохранившегося капитального фонда, особенно в крупных городах, свидетельствует о том, что дальнейшее развитие и совершенствование их застройки будет теснейшим образом связано с реконструкцией зданий старой постройки, но при условии тщательного обоснования инженерной и экономической целесообразности таких мероприятий.

Отпуск средств на реконструкцию старых зданий в России из года в год увеличивается. Эти затраты в настоящее время составляют в среднем более 70 % общих капиталовложений в строительство. Тенденция увеличения затрат на реконструкцию зданий старого фонда имеет место и в зарубежной строительной практике.

Таким образом, возникает настоятельная необходимость определения инженерно-технической целесообразности реконструкции капитальных зданий с наибольшим учетом при этом всех местных условий и конструктивно-планировочных особенностей старого жилого фонда вообще. Это, в свою очередь, требует проведения детального анализа технического состояния строительной части старых зданий.

Очевидно, что старые здания в силу их морального и физического износа требуют проведения глубоких инженерных мероприятий по приведению их конструктивных и ограждающих элементов в современное эксплуатационное работоспособное состояние. В связи с этим, именно такие здания в большей степени нуждаются в обследованиях, а также в разработке современной методологии диагностирования технического состояния и оценок надежности, предусматривающих совершенствование и упорядочение имеющейся нормативной базы в этой области деятельности, а возможно и разработку новых нормативных актов.

В данной работе в основу исследования технического состояния зданий старой городской застройки предлагается положить единый подход, основанный на вероятностных методах распознавания состояний. Предлагается использовать имеющийся разработанный теоретический математический аппарат в известной области знаний, называемой «техническая диагностика». Ее определение в соответствии с ГОСТ 20911-89 [32] дано далее, в п. 1.3. Там же отмечено, что теоретический математический аппарат технической диагностики изначально был достаточно подробно разработан при диагностировании состояний сложных технических систем в радиолокации, радиоэлектронике, связи, затем в машиностроении, самолетостроении, судостроении, в энергетических установках и при диагностировании устройств вычислительной техники.

Применение этого аппарата при диагностировании состояний строительных конструкций ранее не отмечено, т. е. *предлагается выполнить впервые.*

Для того чтобы поставить профессиональный диагноз, т. е. обеспечить все требования процедуры технической диагностики, следует с высокой степенью достоверности распознать техническое состояние исследуемого объекта. Для этого необходимо выполнить не менее важное и профессиональное техническое обследование его состояний. Все отмеченное справедливо и важно для любых строительных объектов. Для зданий старой городской застройки это особенно важно.

Известно, что обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, как основа и часть процедуры диагностирования, считается достаточно специфичным и самостоятельным направлением инженерной деятельности. В некоторых литературных источниках комплекс работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в рамках диагностической процедуры назван даже как самостоятельный вид не только инженерной, но и научной деятельности. Это тоже следует признать совершенно справедливым, так как научно-исследовательский элемент часто лежит в основе принятия окончательных решений о состоянии объекта. Выше отмечено, что объем работ в рамках ведения обследовательской деятельности в настоящее время с каждым годом увеличивается. Это вполне объяснимо и является следствием целого ряда факторов. Среди них физический и моральный износ старых зданий и их конструкций; перевооружение, перепрофилирование и реконструкция производственных зданий; реконструкция старой городской застройки в целом; изменение форм собственности; повышение цен на недвижимость и земельные участки и др.

Особенно важно проведение обследований и постановка диагноза состояний после разного рода техногенных и природных воздействий (пожары, землетрясения и т.п.). Так же важным является инженерно-техническое обследование, предшествующее реконструкции старых зданий и сооружений, что часто связано с изменением действующих нагрузок и функционального

назначения, с изменением конструктивных форм и необходимостью учета современных норм проектирования.

Необходимо признать, что многие задачи и проблемы, решаемые в рамках этого комплекса работ, сегодня еще далеки от их научного обоснования. Для такого практического и весьма специфического вида деятельности конкретные рекомендации по принятию обоснованных решений о фактическом техническом состоянии длительно эксплуатируемого строительного объекта, закрепленные в имеющихся нормативных документах, разработаны недостаточно четко. Важно подчеркнуть, что сказанное особенно актуально для специфики условий старой городской застройки архитектурно-исторических ансамблей городов России, в частности для исторического центра г. Санкт-Петербурга. Ведь именно здания старой городской застройки, их строительная часть, в первую очередь нуждаются в проведении регулярных детальных обследований технического состояния, основанных на современной нормативной базе, а также научно обоснованной организации этих работ.

Вместе с тем, стоит отметить, что в последнее десятилетие в этой области деятельности стали появляться весьма важные и полезные нормативные акты. Ниже, в главе 1, они подробно рассмотрены и проанализированы. Отмечается, что вышедшие документы важны и нужны, однако, в них есть существенные разночтения при формулировании ключевых понятий диагностической процедуры. Так, во всех имеющихся на сегодняшний день нормативных документах по-разному трактуются такие понятия, как «категории технического состояния». Разночтения для этого понятия видны и по количеству состояний, и по их названиям, и по определениям, что достаточно наглядно отражено в таблице 5.1 (глава 5, п. 5.1), где представлено пятнадцать вариантов трактовки этого понятия. Также расплывчато и весьма поверхностно выглядят рекомендации по приведению конкретных конструктивных элементов в нормальные условия эксплуатации в соответствии с присвоенной категорией технического состояния.

Важной составной частью диагностирования состояний строительных конструкций зданий является оценка их физического износа. Расчеты износа и по сей день выполняются на основе методик и данных нормативного документа, вышедшего более двадцати пяти лет назад. Очевидно, что он в настоящее время устарел, имеет множество недостатков, т. е. требует существенной переработки. Возможно в условиях рыночной экономики и меняющегося ценообразования, при определении *физического* износа целесообразно заменить существующую в нормах *стоимостную* основу долевого «участия» каждого элемента в формировании *технического (физического)* состояния строительной системы (здания или сооружения) в целом, на долевой вклад, отражающий именно *техническое (физическое)* состояние каждого элемента.

Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния, надежности и износа конструктивных элементов и здания в целом, а также для приведения в современный и согласованный вид существующую в обследовательской деятельности нормативную литературу, в данной работе предлагается использовать теоретический (математический) аппарат технической диагностики, основанный на методах теории вероятностей с включением в процедуру диагностирования элементов теории информации.

В работе представлен достаточно подробный материал по обоснованию и применению принятого вероятностно-статистического подхода для диагностирования технического состояния строительных систем и их элементов в рамках математических методов технической диагностики, что, как отмечалось, предлагается сделать впервые. Вероятностно-статистический подход, как известно, в классическом варианте лежит и в основе оценки *надежности* системы. Вместе с тем, в том виде, в каком этот подход нашел применение и развит для оценки надежности других технических систем, характеризуемых массовостью изготовления и имеющих возможность получить представительную статистику отказов не только отдельных элементов, но систем в целом, для рассматриваемых строительных систем неприемлем. Для них полноценной *статистики отказов нет* ни для элементов, ни для объекта в целом. Вместе с

тем, выполненный ретроспективный анализ результатов обследований рассматриваемых зданий показал, что накопился значительный материал по *статистике диагнозов (состояний) и статистике характерных повреждений (диагностических признаков)*, определяющих сформулированные состояния. Этот материал удалось собрать, в определенной степени упорядочить и уложить в рамки уже имеющихся, разработанных методик теоретического аппарата технической диагностики и теории информации. Полученные таким образом результаты диагностирования позволяют несколько по-иному взглянуть и на проблему надежности, и на ее решение.

Для диагностирования состояний здания, как сложной многоэлементной строительной системы, необходимы многоуровневые модели принятия решений о распознавании диагнозов отдельных элементов, групп элементов и подсистем всех уровней этой системы. В связи с этим важна разработка методологии построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики состояний, которая позволит оценивать состояние всех структур на каждом, интересующем пользователя, уровне. В основу построения модели такой иерархии диагнозов предложено положить принцип передачи информации о состоянии с низших на последующие уровни через информационный вклад вероятностных параметров состояний отдельных элементов, в вероятностные параметры состояний групп элементов и подсистем следующих уровней иерархии. Этот информационный вклад (или доля) формулируется и определяется с использованием понятий и методов теории информации, в частности, с использованием основного понятия этой теории – информационной энтропии.

Методики применения информационного аппарата в диагностировании состояний элементов рассматриваемых зданий легли в основу построения многоуровневой вероятностной модели принятия решений о состояниях конструктивных элементов, групп элементов и подсистем на любом уровне и здания в целом. Для этого построена графическая модель диагностирования в виде, так называемого, «диагностического дерева», а также разработан алгоритм и программный продукт «ВАТС», реализующий расчеты необходимых для

уровневого анализа вероятностных параметров состояний элементов, групп элементов, подсистем и системы высшего уровня иерархии – здания в целом.

Таким образом, **актуальность** темы настоящей работы определяется необходимостью решения важной проблемы сохранения зданий старой городской застройки, а так же разночтениями в имеющейся литературе по оценке их технического состояния, в том числе нормативной. Научно обоснованное присвоение той или иной категории технического состояния зданиям старой городской застройки, определение их надежности и степени физического износа позволяют вовремя и достоверно распознать состояние строительной системы, вовремя и эффективно в нее «вмешаться» без прекращения эксплуатации и обоснованно определить степень и затраты этого инженерного вмешательства. В таком случае исключаются или сводятся к минимуму *неоправданные затраты* при эксплуатации объекта (планирование текущих и капитальных ремонтов), при его реконструкции (частичной или полной), а также при проведении любых сделок с недвижимостью (покупка, продажа, аренда). Такой подход представляется как *решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение* в области создания моделей принятия решений о состояниях строительных конструкций, об их надежности и физическом износе, а также в области разработки для этого научно обоснованной нормативной базы, что в итоге имеет важное и социально-экономическое значение. В таком случае исключаются или сводятся к минимуму *неоправданные затраты* при эксплуатации объекта (планирование текущих и капитальных ремонтов), при его реконструкции (частичной или полной), а также при проведении любых сделок с недвижимостью (покупка, продажа, аренда).

**Цель исследования** – построение научно обоснованной методологии диагностики технического состояния, оценки надежности и степени физического износа для зданий старой городской застройки с использованием математического аппарата и вероятностно-статистических методов технической диагностики и методов теории информации.

**Задачи исследования:**

– разработать методики вероятностно-статистического аппарата технической диагностики на основе процедуры Байеса и элементов теории информации; сформулировать понятия «состояние» и «диагностические признаки» для конструкций рассматриваемых зданий в рамках разработанных методик; обосновать диагностирование конструкций на основе пяти состояний;

– выполнить ретроспективный анализ результатов обследований прошлых лет, сбор, обработку и обобщение информации по состояниям (диагнозам) и характерным повреждениям, упорядочить статистические данные и составить диагностические матрицы для строительных конструкций старых зданий;

– разработать конкретные предложения и мероприятия по приведению конструкций в исправное состояние в зависимости от присвоенной категории;

– выполнить анализ полноты, устойчивости и информативности диагностических матриц при использовании различных методов (аппроксимации непрерывными функциями дискретные распределения априорных вероятностей состояний; с позиций таких понятий теории информации, как диагностический вес и диагностическая ценность признаков; методов теории нечеткой логики для диагностирования *пяти* состояний; с использованием методик интервального подхода);

– определить вероятностное представление порогового значения при назначении той или иной категории технического состояния для конструкций здания на всех уровнях диагностирования;

– ввести необходимые положения теории информации, основным из которых является понятие энтропии системы, сформулировать понятие «информационный вклад» состояний при прохождении по уровням иерархии;

– разработать методологию построения многоуровневой структуры диагностики, позволяющую оценивать не только состояние, но и надежность, а также физический износ всех структур всех уровней;

– построить графическую иерархическую модель диагностирования в виде «диагностического дерева» и оценить прохождение по иерархии в прямом и обратном направлениях;

– разработать алгоритм и программу для выполнения расчетов и для реализации на их основе численных примеров.

**Объект исследования** – здания старой городской застройки.

**Предмет исследования:**

– техническое состояние, надежность и физический износ строительных конструкций зданий старой городской застройки, определяемые на основе вероятностно-статистических методов и многоуровневых моделях принятия решений об их состояниях.

**Научная новизна исследования** заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Сформулирована концепция, которая состоит в том, что разработаны методики и алгоритмы диагностирования технического состояния конструкций зданий старой городской застройки с использованием математического аппарата технической диагностики, основанного на вероятностно-статистических методах распознавания состояний и методах теории информации; предлагаемый подход для строительных конструкций применен впервые.

2. Для основных конструкций рассматриваемых зданий построены специальные вероятностные таблицы – диагностические матрицы; для этого собран значительный материал по статистике состояний (диагнозов) и характерных повреждений (диагностических признаков) конструкций, который в данной работе упорядочен и уложен в рамки имеющихся, разработанных методик теоретического аппарата технической диагностики и теории информации.

3. Доказаны полнота, информативность и устойчивость диагностических матриц для характерных конструктивных элементов зданий с использованием различных методов: методов теории информации (анализ диагностических веса и ценности обследования), методов аппроксимации дискретных вероятностных статистических распределений непрерывными функциями, методами теории интервальных оценок и методами теории нечетких множеств; указанные методы для диагностирования конструкций рассматриваемых зданий на основе рассмотрения пяти состояний применены впервые.

4. С использованием статистических методов технической диагностики и результатов проведенного численного эксперимента для конструкций рассматриваемых зданий получен минимально приемлемый пороговый уровень диагностирования, позволяющий несколько видоизменить традиционное в технической диагностике решающее правило о назначении диагнозов элементам технических систем.

5. С использованием методов теории информации для объектов исследования сформулированы понятия максимальная энтропия (абсолютная и с учетом априорной статистики), остаточная энтропия (степень определенности или количество внесенной информации) и вероятность степени определенности, позволившие поставить и решить задачу о построении процедуры принятия решений о состояниях здания, как многоэлементной технической системы.

6. Для разработки моделей принятия решений о состояниях здания в целом, создана методология построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики, которая позволяет оценивать состояние конструкций здания как структур иерархии на каждом уровне; построена графическая модель диагностирования в виде «диагностического дерева».

7. Разработан программный продукт «ВАТС», который реализует расчеты необходимых вероятностных параметров на каждом уровне на основе уровневой постановки задачи и который вполне может рассматриваться как элемент интеллектуального экспертно-вычислительного комплекса (ИЭВК); с использованием «ВАТС» выполнены расчеты и приведены их примеры для анализа диагнозов конструктивных элементов здания в рамках прямого хода диагностирования, т. е. снизу вверх по «диагностическому дереву».

8. Предложена основанная на статистике диагнозов методика расчета надежности элементов и здания в целом, в которой рассчитанная на каждом иерархическом уровне вероятность аварийного состояния трактуется, как отказ конструктивного элемента, группы элементов, подсистем и системы в целом; таким образом прохождение по «диагностическому дереву» в прямом

направлении для каждого элемента каждого уровня дает вероятность безотказной работы (безотказность), как численную меру надежности.

9. Предложенная вероятностная модель и реализованный на ее основе прямой ход диагностирования позволяют построить методику расчета физического износа на основе вероятностного подхода; такой подход создает предпосылки аргументированного обоснования необходимости разработки новой методики расчета физического износа и новых норм.

10. Предложено рассмотреть обратный ход диагностирования (сверху вниз по «диагностическому дереву»), в рамках которого стало возможным выполнить процентное распределение долей информации о состояниях между всеми конструктивными элементами вероятностной иерархической структуры, что вполне может стать основой стоимостных расчетов, например, в методиках оценки недвижимости.

**Теоретическая значимость работы заключается** в том, что доказана необходимость и возможность применения вероятностных методов распознавания состояний в рамках теоретического математического аппарата технической диагностики, теории информации и теории надежности, т. е. необходимость и возможность формализации принятия решений о состояниях строительных конструкций. Предложенный теоретический аппарат имеет высокую значимость при научном обосновании необходимости совершенствования нормативной базы в рассматриваемой области инженерной деятельности.

**Практическая значимость** диссертационного исследования состоит в реализации предлагаемого подхода в практической обследовательской деятельности, что придаст уверенность эксперту при назначении категории технического состояния, позволит обоснованно определить комплекс мероприятий, также предложенный в данной работе в зависимости от присвоенной категории состояния, и эффективно планировать эксплуатационные расходы и затраты на приведение объекта в исправное состояние. Предложенная методология диагностирования может быть использована при создании современных нормативных документов по оценке состояний, надежности и

физического износа рассматриваемых зданий на основе единого вероятностного подхода.

**Методология и методы исследования.** Состоят в использовании общенаучных методов исследования: статистических, теории вероятностей, теории информации, моделирования, формализации, анализа (в том числе ретроспективного) – при построении решения на уровне отдельных конструктивных элементов; основных принципов организации систем и системного анализа – при построении уровневой иерархической модели диагностирования в виде «диагностического дерева».

**Положения, выносимые на защиту:**

– обоснование необходимости в новом подходе к оценке технического состояния, надежности и физического износа зданий старой городской застройки на основе использования аппарата технической диагностики;

– статистический материал по состояниям (диагнозам) и характерным повреждениям (диагностическим признакам) для основных конструкций, способы его упорядочения и представления в виде специальных вероятностных таблиц – диагностических матриц;

– анализ полноты, информативности и устойчивости диагностических матриц с использованием предложенных методов;

– обоснование минимально приемлемого порогового уровня диагностирования и скорректированная формулировка решающего правила о назначении диагнозов элементам технических систем;

– постановка и решение задачи о построении процедуры диагностирования состояний здания, как многоэлементной технической системы на основе методов теории информации;

– методология построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики и пример построения графической модели диагностирования в виде «диагностического дерева» в рамках прямого хода диагностирования;

– программный продукт «ВАТС», реализующий расчеты вероятностных параметров на каждом уровне на основе уровневой постановки задачи;

– результаты обратного хода диагностирования и процентное распределение долей информации о состояниях между всеми элементами вероятностной иерархической структуры для определения вклада состояний элементов в состояние системы в целом;

– методика определения надежности элементов и здания в целом на основе расчета вероятностных диагностических параметров при прохождении по «диагностическому дереву» в прямом направлении;

– методика расчета физического износа на основе предложенной вероятностной диагностической модели, позволяющая создать предпосылки для аргументированного обоснования необходимости разработки новых норм.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения», а именно п. 4 «Развитие методов оценки надежности строительных конструкций, зданий и сооружений, прогнозирование сроков их службы, безопасности при чрезвычайных ситуациях и запроектных воздействиях», п. 8 «Методы и техника оценки и диагностики технического состояния, усиление и восстановление конструкций и элементов эксплуатируемых зданий и сооружений, прогрессивные формы обслуживания зданий, сооружений и систем их жизнеобеспечения».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Степень достоверности определяется:

– достоверностью и представительностью собранных статистических данных о состояниях (диагнозах) и характерных повреждениях (диагностических признаках) конструктивных элементов рассматриваемых зданий по результатам глубокого ретроспективного анализа материалов обследований прошлых лет;

– математической строгостью постановок задач, использованием апробированных теоретических положений технической диагностики и теории информации;

– результатами выполненного в работе подробного анализа полноты, информативности и устойчивости вероятностных статистических параметров диагностических матриц, выполненного с использованием различных математических методов;

– системной верификацией применяемых подходов и методов,

– согласием в области возможного сопоставления полученных результатов диагностирования состояний строительных конструкций с частными решениями по другим известным и ранее предложенным методикам;

– положительными экспертными оценками специалистов, полученными при обсуждении работы на профильных научно-технических конференциях и семинарах.

**Личный вклад автора** заключается в формулировании и обосновании научной концепции работы, постановке цели и задач настоящих исследований, проведении необходимых численных экспериментов, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке и разработке всех основных положений, определяющих научную новизну работы и ее практическую значимость.

Основные теоретические положения и выводы диссертационной работы подтверждены апробацией на всероссийских и международных научно-практических конференциях, симпозиумах и конгрессах:

– Всероссийской научной конференции «Задачи инженерной геологии в реставрации и сохранении памятников истории и культуры», Рязань, сентябрь 1993 г.;

– Научно-практической конференции по вопросам реставрации (памяти Г. М. Штендера), Новгород, октябрь 1993 г.;

- IV-й Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения», СПбГПУ, Санкт-Петербург, октябрь 2001 г.;
- Международной конференции в честь 300-летия СПб «Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство», Санкт-Петербург, июнь 2003 г.;
- V-й Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения», СПбГПУ, Санкт-Петербург, октябрь 2003 г.;
- Межвузовской научной конференции СПбГПУ «XXXIII Неделя науки», Санкт-Петербург, декабрь 2005 г.;
- Межвузовской научной конференции СПбГПУ. «XXXV Неделя науки», Санкт-Петербург, декабрь 2007 г.;
- Международном симпозиуме «Современные металлические и деревянные конструкции», Брест июнь 2009 г.;
- Научно-техническом семинаре «Кафедра СКИМ. 75 лет на факультете», СПбГПУ, Санкт-Петербург, октябрь 2009 г.;
- IV Международной конференции «Предотвращение аварий зданий и сооружений», Москва, декабрь 2009 г.;
- XIV научно-методической конференции «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций», Санкт-Петербург, ВИТУ, март 2010 г.;
- Международном симпозиуме «Современные строительные конструкции из металла, дерева и пластмасс», Одесса, май 2010 г.;

- Первой научно-практической конференции «Проблемы обследования зданий и сооружений и пути их решения», СПбГПУ, Санкт-Петербург, октябрь 2010 г.;
- V Международной конференции «Предотвращение аварий зданий и сооружений», Москва, декабрь 2010 г.;
- XV научно-методической конференции «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций», Санкт-Петербург, ВИТИ, март 2011 г.;
- III Национальном Конгрессе «Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации», Москва, май 2011 г.;
- Второй научно-практической конференции «Проблемы обследования зданий и сооружений и пути их решения», СПбГПУ, Санкт-Петербург, октябрь 2011 г.;
- III Международном симпозиуме «Проблемы современного бетона и железобетона», Минск, ноябрь 2011 г.;
- Научно-практической конференции с международным участием «XLI Неделя науки СПбГПУ», Санкт-Петербург, декабрь 2012 г.;
- II Международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов) «Актуальные проблемы современного строительства», СПбГАСУ, Санкт-Петербург, апрель 2013 г.;
- Техническом Совете ЦНИИПромзданий, Москва, июнь 2015 г.;
- Семинаре в СПбГАСУ, Санкт-Петербург, сентябрь 2015 г.

Результаты выполненных исследований использовались при выполнении обследований технического состояния зданий в Санкт-Петербурге, Ленинградской области, Великом Новгороде и Пскове (приложение).

Материалы диссертационной работы используются также в учебном процессе в специальных курсах по дисциплинам магистерской подготовки «Техническая эксплуатация и экспертиза зданий и сооружений», «Специальные разделы высшей математики», а также при выполнении выпускных работ по кафедре «Строительная механика и строительные конструкции» СПбГПУ.

# ГЛАВА 1

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

### 1.1. Диагностика и техническое обследование

Постановка диагноза, т. е. прохождение всех этапов процедуры технической диагностики, требует четкого распознавания технического состояния исследуемого объекта. Для этого необходимо выполнить не менее важное и профессиональное техническое обследование его состояний. Такая работа должна выполняться специалистами высокой квалификации в рассматриваемой области диагностирования. Все отмеченное особенно справедливо и важно для строительных объектов. Для зданий старой городской застройки это важно вдвойне.

По нормативным и литературным данным [28, 29, 41, 47, 59, 67, 77, 82, 96, 97, 131] техническое состояние – это совокупность свойств здания или его элементов, претерпевающая изменения в процессе строительства, ремонта или эксплуатации, характеризуемая в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на это здание или его элемент. Таким образом, это состояние, заключающееся в наличии разной степени нарушений исправности строительной конструкции или ее части вследствие влияния внешних и внутренних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на конструкцию.

Основными параметрами для контроля технического состояния здания являются: общая и местная прочность конструкций; пространственная жесткость здания, общая и местные деформации; влагонасыщение элементов конструкций; теплотехнические характеристики ограждающих конструкций; тепловой режим; коррозия металлических конструкций; воздухо- и влагопроницаемость строительных конструкций и сопряжений; режимы работы санитарно-технических, электротехнических и других систем инженерного оборудования;

загазованность и освещенность помещений и др. Именно фактические значения качественных и количественных характеристик определяют техническое состояние здания. Техническое состояние строительного объекта определяется при проведении его комплексного инженерно-технического обследования.

В литературных источниках (учебниках [67, 97], учебных пособиях [10, 15, 41, 47, 82, 96], монографиях [33, 74, 113], журнальных изданиях [50]), где рассматриваются вопросы, связанные с организацией и проведением работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, отмечено, что в строительной отрасли такой вид практической деятельности сложился давно. Это было еще очень далеко от постановки окончательного и обоснованного диагноза состояния объекта, т. к. в большей степени относилось к той его части, которая связана с испытаниями материалов и конструкций, осуществляемыми в рамках обследовательских работ. В литературе приводятся многочисленные исторические данные, свидетельствующие о том, что наряду с теоретическими исследованиями, проектной работой и строительством новых зданий и сооружений всегда осуществлялся анализ причин различных повреждений и разрушений существующих, давно эксплуатируемых объектов, а также экспериментальные исследования и на моделях, и на натуре. Примеры исторической хроники развития экспериментальных методов испытаний зданий, сооружений и их элементов подробно изложены в нескольких изданиях, причем, особенно в изданиях, вышедших в последние 5 – 15 лет, где эти данные обобщены [41, 67, 97]. Так, в [97] отмечено, что первые лаборатории для механических испытаний материалов, конструкций, сооружений и их фрагментов в Европе были созданы еще в XIII веке (1722 – 1790 г. г.). В России первые испытательные машины появились в 1823 году на петербургских заводах для испытаний мостовых конструкций, а первые лаборатории возникли при высших учебных заведениях. В 1875 году руководителем первой механической лаборатории при Петербургском институте инженеров путей сообщения стал профессор Н.А. Белелюбский, который впервые в мире в мостостроении применил литое железо. Известно, что по его инициативе и при его участии был

создан первый в России сортамент прокатных стальных профилей. Он также провел ряд испытаний железобетонных конструкций, способствовавших массовому применению железобетона в России. В 1900 году была создана механическая лаборатория в Санкт-Петербургском институте гражданских инженеров. С 1926 года эта лаборатория стала проводить испытания строительных конструкций в полевых условиях. В настоящее время лаборатория работает при кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» СПбГАСУ.

В 1918 г. был организован Научно-экспериментальный институт путей сообщения, возглавляемый Н.С. Стрелецким. В стенах института работали многие известные ученые, определившие развитие теории и практики испытаний и обследования сооружений. А.Г. Гагарин сконструировал пресс для испытания материалов. Н.Н. Максимов создал прогибомер, позволяющий измерять перемещение точек сооружений, расположенных на большой высоте. И.М. Рабинович развивал методы изучения воздействия динамических нагрузок на пролетные строения мостов. Г.А. Николаев основал школу сварки. Исследования прочности материалов и воздействий кратковременных импульсных нагрузок на сооружения проводил М.М. Филоненко-Бородач. Методику испытания плотины ДнепроГЭС разработал Ю.А. Нилендер. Своими трудами он оказал существенное влияние на развитие теории неразрушающих методов обследования.

Значительное влияние на развитие методов испытаний оказали международные конференции и конгрессы по испытаниям материалов, проводившиеся с 1884 г. по инициативе профессора И. Баушингера. На первой международной конференции от России участвовали Н.А. Белелюбский, А.Р. Шуляченко. Конгрессы и конференции ускорили принятие стандартов, способствовали апробированию новых методов испытаний.

Большой вклад в развитие экспериментальных исследований материалов, конструкций и сооружений внесли наши соотечественники, особенно в советский период. За годы существования Советского Союза работы по испытаниям сооружений получили очень большое развитие. Для их обеспечения был создан ряд научно-исследовательских институтов: Центральный научно-

исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК), Всесоюзный научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) и др.

Экспериментальные исследования постоянно совершенствуются. Для их проведения требуются все более точные и чувствительные приборы. В бывшем Советском Союзе конструирование и изготовление измерительной аппаратуры было развернуто на соответствующем индустриальном уровне. Большое количество современных измерительных средств и приборов неразрушающей дистанционной диагностики предлагают специалистам по обследованию многочисленные отечественные и зарубежные фирмы в настоящее время.

Большой вклад в обеспечение испытательными приборами внесли проф. Н.Н. Аистов, Н.Н. Давиденков, Н.Н. Максимов, Л.М. Емельянов и многие другие.

Испытания натуральных конструкций не всегда дают желаемую полноту информации. Они, как правило, очень сложны, приводят к большим затратам времени и средств. Во многих случаях, особенно при испытаниях с научными целями, применяют модели. Испытания на моделях позволяют выяснить действительное напряженно-деформированное состояние и надежность конструкций, не производя теоретических расчетов, а также уточнить принятую расчетную схему или обнаружить новые закономерности.

Значительный вклад в развитие методов и средств обследования строительных конструкций внесли Н.Н. Аистов, Р.И. Аронов, К.И. Безухов, В.В. Белов, Г.И. Белый, А.Г. Григоренко, К.А. Гтуховский, Д.Е. Долидзе, Ю.Д. Золотухин, И.Л. Корчинский, Л.И. Кривилева, Н.А. Крылова, Б.В. Лабудин, М.А. Новгородский, Г.Я. Почтовик, С.Н. Савин, В.М. Сердюкова, Г.Л. Хесин, А.И. Яковлев, и др.

Оригинальные измерительные приборы созданы Н.Н. Аистовым, И.А. Физделем, К.П. Кашкаровым, И.С. Вайнштоком, И.В. Вольфом, А.М. Емельяновым, В.Ф. Смотровым, В.А. Воробьевым, О.Ю. Саммалом, В.З. Хейфицем.

Неразрушающий контроль производства и качества железобетонных изделий получил развитие в работах А.И. Буркаса, Д.А. Коршунова, З.М.

Брейтмана, В.П. Глуховского, А.М. Полищука, Л.Г. Родэ, И.Э. Школьника, В.В. Судакова, Б.Б. Ужполявичюса.

Анализ последствий аварий и катастроф до настоящего времени не имеет строгой классификации. Тем не менее, в работах Б.И. Беляева, В.З. Власова, Ф.Д. Дмитриева, В.Г. Золотухина, В.И. Каракозовой, В.С. Корниенко, М.Н. Лашенко, Б.В. Остроумова, К.М. Сахновского, Б.В. Сендерова, А.М. Титова, А.Н. Шкинева, Ф.С. Ясинского и др. выполнены обобщение, анализ аварий, теоретические исследования, моделирование и разрабатывались практические рекомендации по их предотвращению. В последние годы этот анализ продолжен и представлен в сборниках статей «Предотвращение аварий зданий и сооружений» под редакцией профессора К.И. Еремина [78, 79].

Таким образом, видно, что та часть процесса обследования, которая связана с испытаниями конструкций, имеет достаточно глубокие исторические корни.

Вместе с тем, комплексный подход к работам по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в полном, широком, сегодняшнем его понимании, сформировался недавно. Совсем недавно (в 80-е годы прошлого века) в состав дисциплин строительных вузов был включен курс «Обследование и испытание зданий и сооружений», который знакомил будущих инженеров-строителей с особенностями ведения обследовательских работ на основе современного комплексного подхода.

## **1.2. Техническое обследование и его нормативная база**

Во многих литературных источниках [28, 29, 41, 47, 59, 67, 77, 82, 96, 97, 131] совершенно справедливо отмечено, что обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, как основа и часть диагностической процедуры, считается весьма специфичным и самостоятельным направлением инженерной деятельности. Указано, что объем работ в рамках ведения этой деятельности в настоящее время с каждым годом увеличивается. Это вполне объяснимо и является следствием целого ряда факторов: физического и морального износа зданий, сооружений и их конструкций; перевооружения и

реконструкции производственных зданий; реконструкции старой городской застройки; изменения форм собственности; повышения цен на недвижимость, земельные участки и др. Особенно важно проведение обследований и постановка диагноза состояний после разного рода техногенных и природных воздействий (пожары, землетрясения и т.п.). Важно обследование и при реконструкции старых зданий и сооружений, что часто связано с изменением действующих нагрузок и функционального назначения, с изменением конструктивных форм и необходимостью учета современных норм проектирования.

Проблемы повышения долговечности зданий и сооружений в условиях рыночной экономики являются весьма актуальными, поскольку здания изнашиваются быстрее там, где не выделяются средства на нормальную техническую эксплуатацию, и таких зданий становится все больше и больше как в промышленности, так и в коммунальном хозяйстве.

Необходимость реконструкции зданий требует решения вопросов о надежности существующих конструкций зданий, выявлении в них резервов для увеличения нагрузок или, наоборот, для уменьшения дефектов и повреждений, снижающих вероятность их безаварийной работы.

В ряде источников [41, 67, 97] комплекс работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в рамках диагностической процедуры признан даже как самостоятельный вид не только инженерной деятельности, но и научных исследований. Это очевидно, так как научно-исследовательский элемент в основе принятия окончательных решений о состоянии объекта имеет место довольно часто.

Однако многие задачи и проблемы, решаемые в рамках этого комплекса работ, сегодня еще далеки от их научного обоснования. Для такого практического и весьма специфического рода деятельности конкретные и четкие рекомендации по принятию обоснованных решений о фактическом техническом состоянии находящегося в длительной эксплуатации строительного объекта, *закрепленные в имеющихся нормативных документах, разработаны недостаточно четко.* Важно подчеркнуть, что сказанное особенно актуально для специфики условий

старой городской застройке архитектурно-исторических ансамблей городов России, в частности для исторического центра г. Санкт-Петербурга. Ведь именно здания старой городской застройки, их строительная часть, в первую очередь нуждаются в проведении регулярных обследований технического состояния и четкой организации этих работ.

Вместе с тем, необходимо отметить, что в последние десять лет в этой области деятельности стали появляться весьма важные и полезные нормативные акты. Так, в 2003 году впервые был введен в действие федеральный документ – Свод правил по проектированию и строительству СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [131]. В этом документе впервые нормативно закреплены основные термины, понятия и общие положения по ведению обследовательских работ, т. е. практически сняты существовавшие до его введения многочисленные терминологические неточности и разночтения. Для всех конструкций (бетонных и железобетонных, каменных и армокаменных, стальных и деревянных) введены понятия и даны названия *пяти* категориям технического состояния, а также в общем виде сформулированы определения по отнесению конструкций к каждой из них. В зависимости от присвоенной категории кратко изложены рекомендации по приведению конструкций в нормальное эксплуатационное состояние. Следует, однако, отметить, что формулировки по выработке рекомендаций носят достаточно общий характер и не отличаются четкостью при принятии решений о приведении каждого конкретного конструктивного элемента здания или сооружения в исправное состояние.

Важность ведения обследовательской деятельности и актуальность проводимых в ее рамках работ также подтверждается вышедшим в 2010 году и вступившем в силу с 01 января 2011 года еще одним документом федерального уровня – Национальным стандартом ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [29]. Его практически полностью продублировал еще один документ международного уровня с тем же названием – ГОСТ 31937-2011, вступивший в силу чуть позже – с

01 апреля 2012 года. Оба документа тоже вводятся впервые и, судя по ссылкам, не отменяют СП 13–102–2003 а существенно его дополняет. Однако при этом в обоих имеется принципиальное отличие – состояние зданий и сооружений предлагается оценивать на основе рассмотрения уже *четырёх* категорий.

Следует также отметить, что в Санкт-Петербурге в 1997 году вышли территориальные строительные нормы ТСН 50-302-96 «Устройство фундаментов гражданских зданий и сооружений в Санкт-Петербурге и на территориях, административно подчиненных Санкт-Петербургу», СПб, 1997 – [143]. Затем, в 2004 году появился новый нормативный документ – ТСН 50-302-2004 «Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге», С-Пб., 2004 – [144]. При этом, как указано в документе [144], он вводится взамен документа [143]. Сами по себе документы важны и очень нужны для обследовательской практики, однако в реальной практической деятельности возможно только их совместное, каким-то образом дозированное, существование, т. е. введение одного взамен другого только дезориентирует пользователей и привносит в реальную практику разночтения при принятии конкретных решений.

В ходе обследований зданий и сооружений практически всегда требуется определить физический износ, как элементов, так и объекта в целом. Методика определения физического износа и необходимые для этого данные изложены в ВСН 53-86 (р) «Правила оценки физического износа жилых зданий», М., 1987 – [23] (см. главу 8, п. 8.3). Этим документом пользуются и по сей день при решении очень многих вопросов, в том числе связанных с оценкой недвижимости. Известно, что физический износ всегда входил и входит в зависимости для определения стоимостных оценок строений. Таким образом, документ весьма важен и нужен в настоящее время, причем он должен соответствовать требованиям сегодняшнего дня, особенно в части стоимостных определений. Очевидно, что нормативный документ, введенный более 25-ти лет назад, в настоящее время устарел, имеет множество недостатков, т. е. требует существенной переработки. Эти недостатки можно сформулировать следующим образом.

1. Имеющиеся в [23] таблицы практически по каждому элементу конструкций здания следует корректировать, как в части набора признаков, по которым определяется степень износа, так и в части назначения количества и границ интервалов, по которым осуществляется отнесение конструкций к тому или иному уровню износа.

2. Требуются изменения, а может быть и замена данных, в таблицах долей восстановительной стоимости конструктивных элементов в общей восстановительной стоимости всего здания. Возможно, следует вообще изменить принцип определения долевого вклада состояний отдельных элементов в состояние здания в целом. В условиях рыночной экономики и меняющегося ценообразования, при определении *физического* износа целесообразно заменить *стоимостную* основу долевого «участия» каждого элемента в формировании *технического (физического)* состояния строительной системы (здания или сооружения) в целом на долевой вклад, отражающий именно *техническое (физическое)* состояние каждого элемента.

3. Не исключено, что необходимо изменить и саму методику расчета физического износа, увязав ее с установленными категориями состояний и положив в основу вероятностные принципы построения решения.

Существует также ряд специальных нормативных документов и пособий по обследованию, имеющих ведомственный или региональный статус [20, 21, 22, 24, 31, 59, 75, 76, 77, 86 – 95, 145].

### **1.3. Методы диагностирования состояний строительных объектов**

#### ***1.3.1. Основные положения технической диагностики***

В настоящее время в области технического диагностирования и контроля технического состояния объектов не отменен и действует Государственный стандарт, устанавливающий применяемые в этой области термины и определения основных понятий – это ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» [32]. Согласно этому документу техническая диагностика – *это*

*область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов.* Формулировка четкая, емкая, правильно построенная и охватывающая все стороны реального процесса диагностирования. В литературе более ранних лет [14] техническая диагностика определялась, как *научная дисциплина, которая занимается распознаванием состояний сложных технических систем, включая широкий круг проблем, связанных с получением и оценкой диагностической информации* и, в большей степени, представляла собой *теоретический аппарат* диагностирования, т. е. отражала только часть современного ГОСТовского определения. Никаких других определений технической диагностики на сегодняшний день нет. В принципе существенных противоречий в указанных определениях тоже нет.

В дальнейшем исследовании существующие термины, понятия и определения составных частей технической диагностики и постановки диагноза взяты за основу при формулировании целей, принципов и задач, но уже применительно к строительным объектам. При этом основополагающий принцип исследования состоит в том, что *диагностирование состояний любого объекта – это постановка грамотного, научно обоснованного, диагноза, который должен ставить только специалист высокой квалификации* и только на основе анализа многочисленных данных *обследований*, собранных к моменту постановки диагноза.

Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния и износа конструктивных элементов и здания в целом, а также для приведения в современный и согласованный вид существующую в обследовательской деятельности нормативную литературу, в данной работе предлагается использовать теоретический (математический) аппарат технической диагностики, основанный на методах теории вероятностей с включением в процедуру диагностирования элементов теории информации.

Известно, что теоретический математический аппарат технической диагностики изначально был достаточно подробно разработан при диагностировании состояний сложных технических систем в радиолокации,

радиоэлектронике, системах связи, затем в машиностроении, самолетостроении, судостроении, в энергетических установках и при диагностировании устройств вычислительной техники. Известно применение этого аппарата и в медицине, т. е. при проведении уже не технической, а медицинской диагностики [14, 107]. Применение этого аппарата при диагностировании состояний строительных конструкций ранее не отмечено, т. е. *предлагается выполнить впервые*.

Техническая диагностика решает обширный круг задач, многие из которых являются смежными с задачами других научных дисциплин. Однако основной задачей технической диагностики, как было отмечено, является распознавание состояний технической системы, причем зачастую в условиях ограниченной информации, что особенно характерно для строительных объектов, как уникальных технических систем.

Показано [14], что теоретическим фундаментом для решения задач технической диагностики следует считать общую *теорию распознавания образов* [157, 163]. Эта теория, составляющая важный раздел технической кибернетики, занимается распознаванием образов любой природы (геометрических, звуковых и т.п.), а также машинным распознаванием речи, печатного и рукописного текстов и т. п.

Техническая диагностика изучает алгоритмы распознавания применительно к задачам диагностики состояний систем, которые могут рассматриваться как задачи классификации. Алгоритмы распознавания в технической диагностике основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов (далее они будут названы признаками). И здесь очень важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений (решающие правила).

Техническую диагностику иногда называют безразборной (неразрушающей) диагностикой, т.е. диагностикой, осуществляемой без разборки конструктивной системы. Анализ состояния проводится в условиях эксплуатации, при которых получение информации бывает затруднено. Зачастую по имеющейся информации

сделать однозначное заключение вообще не представляется возможным. Тогда и приходится использовать *статистические методы*.

Дальнейшее исследование, направленное на разработку алгоритмов распознавания и алгоритмов принятия решений о техническом состоянии строительных объектов, построено на основе использования имеющейся обширной *статистической* информации. Причем речь идет не о статистике отказов, а о статистике состояний (диагнозов) и о статистике выявленных в ходе многочисленных обследований прошлых лет, повреждений и дефектов (диагностических признаков). Действительно, для зданий и сооружений, в том числе и для старых, полноценной статистики отказов нет по сравнению с другими техническими системами, для которых такая статистика накопилась в достаточном объеме при диагностировании их состояний.

*Постановка задачи* при использовании вероятностных *статистических методов* распознавания технической диагностики такова [14]. Имеется система, которая находится в одном из  $n$  случайных состояний  $S_i$ . Известна совокупность признаков (параметров)  $K^*$ , каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние системы. Требуется построить *решающее правило*, с помощью которого предъявленная (диагностируемая) совокупность признаков  $K^*$ , была бы отнесена к одному из возможных состояний (диагнозов)  $S_i$ . Желательно также оценить достоверность принятого решения и степень риска ошибочного решения.

### ***1.3.2. Статистические методы технической диагностики***

Одним из основных *статистических методов* технической диагностики является *метод Байеса*, занимающий особое место в теории распознавания благодаря своей простоте, наглядности и широкому применению в технике и медицине. В главе 4 (п. 4.1.2) этот метод рассмотрен подробно применительно к решению поставленных в работе задач. Представлен вывод формулы Байеса от простого вида до обобщенного, когда диагностирование может быть осуществлено для любого количества состояний, необходимого для получения

полной диагностической картины исследуемого объекта, и любого количества диагностических признаков и их разрядов. Все зависит от наличия, полноты и представительности имеющейся на момент диагностирования статистики.

Вообще по поводу байесовского подхода в задачах распознавания состояний системы стоит отметить следующее. Многие задачи в этой области независимо от методов их решения обладают общим свойством: до того, как получен конкретный набор данных, для изучаемой ситуации в качестве потенциально приемлемых рассматриваются только теоретико-вероятностные модели. После того, как данные получены, возникает выраженное в некотором виде знание об относительной приемлемости этих моделей. Одним из способов «пересмотра» этой относительной приемлемости теоретико-вероятностных моделей как раз и является байесовский подход. В последние десятилетия в статистическом анализе байесовские методы характеризуются чрезвычайным стремительным развитием. Причина этого состоит в том, что байесовский подход имеет ряд существенных преимуществ, которые делают его очень привлекательным для широкого применения.

Основное его отличие от других статистических подходов заключается в том, что даже до того, как получены статистические данные, эксперт, принимающий решение, рассматривает степень своего доверия к возможным моделям, представляя их просто в вероятностном виде. Как только данные получены, формула Байеса позволяет рассчитать новое множество вероятностных параметров, и те, в свою очередь, позволяют пересмотреть степень доверия к тем же возможным моделям, но уже учитывая новую информацию, поступившую благодаря полученным данным.

Статистические данные в реальных задачах анализа состояний объекта и задачах принятия решений бывают неполными и неточными, а зачастую отсутствуют в необходимом виде и объеме. Это делает использование многих традиционных статистических подходов не совсем корректным. Имеющаяся в распоряжении информация может содержать только субъективные данные в виде, допустим, экспертных оценок и суждений. Более того, ситуация, в которой

приходится принимать решение, может быть вообще новой и никогда ранее не анализируемой, что особенно характерно для сложных технических систем и, особенно, для уникальных объектов (например, строительных). Такие особенности усложняют процесс принятия решений и могут вообще поставить под сомнение какие-либо выводы и заключения. Байесовский подход в этой ситуации оказывается весьма полезным и эффективным, т. к. он позволяет использовать в своих расчетных процедурах опыт и знания эксперта практически в полной мере.

Метод Байеса для диагностики состояний строительных конструкций в отечественной практике ранее не применялся. Вместе с тем известны результаты исследований зарубежных ученых, в работах которых метод Байеса в комбинации с методами теории нечетких множеств предложено применить для оценки надежности элементов строительных конструкций [164]. В этих работах сформулирована, так называемая, нечеткая теорема Байеса и приведены примеры расчета надежности, как вероятности реализации двух состояний: вероятность отказа и вероятность безотказной работы. В терминах и определениях технической диагностики в этих работах задачи по сути дела решаются в рамках понятий, так называемой, дихотомии (дифференциальной диагностики).

Поскольку метод Байеса применим, как отмечено, при рассмотрении любого приемлемого количества состояний (в строительной практике – это может быть от двух до семи, см. главу 5, таблицу 5.1), то он сам по себе даже при ограниченной статистике дает достаточно достоверную картину состояний объекта. Кроме того, метод является внутренне корректируемым, т. е. без затруднений допускает возможность дополнять статистику по мере поступления новой информации по результатам новых обследований и гармонично согласуется с методами теории информации. В связи с этим для решения проблемы в комплексе (диагностика технического состояния, оценка надежности, расчет физического износа и процентное распределение затрат на восстановление) для конструктивных элементов рассматриваемых зданий только применение байесовского подхода позволило поставить и решить задачи настоящего исследования. Очевидно, что

диагностирование состояний здания не может основываться на простом распознавании только двух состояний (исправное и аварийное), т. е. в рамках дифференциальной диагностики (дихотомии). Слишком сложной и многоэлементной системой является здание и слишком велико разнообразие методов приведения его конструктивных элементов в исправное состояние как по объему работ, так и по затратам времени и средств. Это и есть те основные обстоятельства, которые диктуют обследовательской практике разложить состояние здания по нескольким категориям. Сколько их должно быть – это именно тот вопрос, который может быть решен на основании накопившегося опыта распознавания состояний различных технических систем, т. е. тоже на основании своеобразной статистики. Так, например, в машиностроении при байесовской диагностике двигателей внутреннего сгорания или в турбостроении рассматриваются три-четыре состояния [14]. При диагностировании погружных насосных агрегатов в нефтедобыче – два или три состояния [81], для диагностики гидropневмоагрегатов – до девяти состояний [80]. В задачах математической статистики – тоже два-три состояния [51], а в медицинской диагностике в зависимости от диагностируемого органа – от трех до шести состояний [107]. По глубокому убеждению автора, также на основании накопившегося опыта обследований, распознавание состояний строительных систем должно основываться на рассмотрении как минимум *пяти* состояний. На этом и построено все дальнейшее исследование.

Следует отметить, что в технической диагностике к *статистическим методам* также относится *метод последовательного анализа* или его называют *метод Вальда* [14]. Он является частным случаем метода Байеса, но отличается от него тем, что обследований для постановки диагноза проводится столько, сколько требуется для принятия решения с определенной степенью риска, а также и тем, что он ориентирован на распознавание только двух состояний. Метод подробно проанализирован в главе 4 (п. 4.1.2) и в главе 6 (п. 6.3). Отмечено, что для диагностирования состояний простых конструктивных элементов зданий, когда необходимо получить пусть ориентировочный, но быстрый результат, вполне

возможно построить решение и на основе дифференциальной диагностики. Все это возможно выполнить качественно тогда, когда общая процедура диагностирования строится на основе рассмотрения как минимум *пяти* состояний. Тогда построение решения для *двух* состояний, как частный случай, не вызывает сомнений.

Следует отметить, что при распознавании состояний по методу Вальда могут возникать ошибки двоякого рода. Ошибка, относящаяся к исправному диагнозу, в то время как объект находится в аварийном состоянии, называется ошибкой первого рода и является «ложной тревогой». Ошибка, относящаяся к аварийному диагнозу, в то время как принимается решение в пользу исправного диагноза, называется ошибкой второго рода и считается «пропуском дефекта».

Решение диагностической задачи в самом простом случае осуществляется также и на основе существующей в технической диагностике методологии, основанной на методах *теории статистических решений*. Они возникли в математической статистике как методы проверки статистических гипотез и нашли широкое применение в радиолокации, радиотехнике, общей теории связи и других областях техники. Они также относятся к *статистическим* методам, рассмотренным выше, однако отличаются от них правилами принятия решения. В методах статистических решений решающее правило (правило принятия решения) выбирается, исходя из некоторых условий оптимальности, например, из условия минимума риска [11, 14].

В этих методах решение тоже основывается на понятиях, связанных с риском «ложной тревоги» или «пропуском цели (дефекта)», что впервые было разработано в радиолокации, откуда эти термины и пришли. Далее, в п. 4.1.3 применение методов *теории статистических решений* позволило поставить и решить задачу о назначении порогового вероятностного значения, необходимого для принятия решения о конкретном диагнозе объекта исследования при рассмотрении *пяти* состояний.

Таким образом, техническая диагностика изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели и алгоритмы

принятия решений по определению технического состояния объекта. Ее целью в данном случае является повышение *надежности и ресурса* строительных конструкций, зданий и сооружений в целом.

### ***1.3.3. Техническое состояние, диагностика и надежность***

Техническое состояние зданий старой городской застройки, являющихся, как отмечено выше, сложными, а зачастую и уникальными техническими системами – это совокупность свойств (контролируемых параметров качества) строительных конструкций здания в целом или его конструктивных элементов, подверженная изменению, главным образом, в процессе многолетней длительной (в данном случае очень длительной) эксплуатации или многочисленных ремонтов. Эта совокупность свойств на рассматриваемом отрезке времени характеризуется признаками, установленными имеющимися на эти здания или их элементы нормативно-техническими документами. Этими признаками технического состояния могут быть качественные и (или) количественные характеристики его свойств, к которым в первую очередь относят значения показателя надежности или значения диагностических параметров. Ранее неоднократно отмечено, что распознавание технических состояний сложных строительных систем вполне укладывается в понятия и возможности математических методов теории технической диагностики. А в [14] совершенно справедливо указано, что ее конечной целью является повышение надежности и ресурса систем и что техническую диагностику вообще следует рассматривать как один из основных разделов общей теории надежности.

За годы многолетней эксплуатации старых зданий их техническое состояние изменяется, что выражается в ухудшении количественных значений характеристик надежности и работоспособности. Ухудшение технического состояния зданий в первую очередь происходит вследствие изменения физических свойств стареющих материалов, из которых были изготовлены конструктивные элементы, изменения характера сопряжений между ними, а также изменения их размеров и форм. Указанный процесс носит в большей степени

случайный характер. Интенсивность изменения технического состояния эксплуатируемых зданий старой городской постройки, а, следовательно, и значение характеристик надежности на отдельных временных интервалах их определения и использования, в значительной мере определяются конструктивными особенностями этих зданий. Влияние всего разнообразия конструктивных особенностей проявляется в их реакции, «отзывчивости» на воздействующие при эксплуатации факторы. Влияние факторов этапа возведения, качества выполняемых на этом этапе строительных работ (влияние дефектов), сказывается в рассеивании начальных значений характеристик надежности и в интенсивности изменения значений этих характеристик за период дальнейшей длительной эксплуатации здания. Степень изменений и их глубина определяются в ходе детальных инженерно-диагностических обследований технического состояния рассматриваемых зданий. Из [15, 28,29, 97, 131] известно, что под обследованием технического состояния зданий подразумевается комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность и надежность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации (ресурс) или необходимость ремонта, усиления, восстановления или реконструкции. Комплекс мероприятий включает в себя обследование строительных конструкций на предмет выявления тех самых изменений физических свойств материалов, их деградации, деформационных повреждений несущих элементов, дефектов, а также включает определение их фактической несущей способности в ходе проведения поверочных расчетов. Оценка технического состояния предполагает установление степени повреждений и категории технического состояния строительных конструкций или здания в целом на основе сопоставления фактических значений количественно оцениваемых параметров со значениями этих же параметров, установленных проектом или нормативным документом.

Таким образом, техническое состояние и его главный признак – надежность, надежность и ее важный раздел – техническая диагностика, техническая

диагностика и обследование технического состояния, все это следует считать звеньями одного процесса, обеспечивающего создание и поддержание нормальных условий функционирования старых зданий на современном уровне. Звенья этой «цепи» должны быть неразрывны, должны рассматриваться вместе, в совокупности и взаимосвязи.

Важным звеном этой «цепи» является надежность. Обобщая определения понятия «надежность», имеющиеся в нормативной, научной и учебной литературе [7, 11, 13, 16, 18, 26, 30, 34, 42, 45, 53, 54, 58, 66, 67, 73, 83 – 85, 98, 99, 100, 101, 103, 136, 141, 142, 146, 147 – 153, 155, 158, 159, 161, 162, 167, 168, 173, 175, 179, 184, 188, 195] и основываясь на опыте автора при выполнении многочисленных работ по диагностике зданий, применительно к строительным системам определение понятия «надежность» можно сформулировать следующим образом. *Под надежностью понимается свойство строительной системы выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Применительно к несущим и ограждающим конструкциям зданий старой городской застройки надежность – это свойство, обеспечивающее в заданных нормативных пределах прочность архитектурно-конструктивных элементов и их декоративных функций, а также свойство, обеспечивающее нормативный температурно-влажностный и комфортный режим помещений с сохранением при этом эксплуатационных показателей (тепло-, влажно-, воздухо- и звукозащиту) в заданных нормативных пределах. При этом предполагается обеспечение для здания в целом (точнее, для всех его помещений) свойств безотказности, долговечности и ремонтпригодности.*

Проблемы, связанные с обеспечением надежности зданий рассматриваемого типа, относятся к числу основных проблем, которые необходимо решать по результатам диагностирования их технического состояния. При этом надежность следует понимать так же, как одну из мер и качества, и безопасности зданий и их несущих конструктивных элементов.

Оценка уровня надежности – задача важная и довольно сложная. Сложность

определения надежности строительных конструкций заключается в случайном характере исходной информации, описывающей как внешние воздействия, так и свойства самого объекта, его индивидуальности и многофункциональности. В связи с этим расчеты конструкций во многом зависят от точности расчетов и изменчивости параметров, характеризующих работу конструкции.

Для оценки надежности строительных конструкций исторически наибольшее применение получили вероятностные и, далее, вероятностно-статистические методы. Впервые статистическая (случайная) природа характеристик прочности была показана в работах М. Майера и Н.Ф. Хоциалова [156]. В дальнейшем существенное развитие эта идея получила в работах Н.С. Стрелецкого [134,135], который в качестве случайных величин рассматривал не только прочностные характеристики материала, но и параметры нагрузок. Его работы сыграли важную роль как в постановке проблемы надежности строительных конструкций, так и в отношении применения вероятностно-статистических методов расчета вообще. Существенной особенностью этих методов является использование в расчетах среднестатистических характеристик свойств материалов, нагрузок и других параметров, что требует создания соответствующих баз опытных данных.

Вероятностный подход характерен тем, что все прочностные, геометрические и деформационные характеристики конструкций, а также все воздействия на нее представляются как случайные величины (процессы). Это позволяет учесть изменения состояния конструкций зданий и сооружений и воздействий на них во времени, которые обусловлены повреждениями, остаточными деформациями, изменениями и колебаниями усилий и т. д. на стадии эксплуатации. Так, при расчете надежности отдельного элемента конструкции в качестве исходных данных принимаются вероятностные характеристики свойств материалов, нагрузок и т.д., а сам расчет основывается на математических зависимостях, описывающих прочность, жесткость и другие свойства элемента. При расчете надежности системы исходными данными служат

надежности отдельных элементов системы, а расчет основывается на учете количества элементов в системе и на способах их соединений [97].

Работы многих ученых, среди которых можно отметить монографии В.В. Болотина [16, 17], А.Р. Ржаницына [99, 100], В.Д. Райзера [83– 85], А.П. Кудзиса [54], О.В. Лужина [57], Н.Н. Складнева [117], С.А. Тимашева [141,142], А.Г. Ройтмана [102 – 104], В.С. Уткина [151, 153], С.Г. Шульмана [11, 13, 45, 161, 162], С.Л.Буторина [18], Г.С.Шульмана [18, 161] и других авторов, были посвящены развитию методов теории надежности в строительстве на основе вероятностных подходов, как для обоснования метода предельных состояний, так и для нормативного обеспечения расчетов конструкций. В этих выдающихся работах основное внимание уделялось технике именно вероятностного расчета уровня безотказной работы конструкций.

Проблемам надежности и оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в последние 10 – 15 лет посвящены диссертационные работы многих авторов [5, 25, 27, 39, 42, 46, 53, 109].

Значительная роль в развитии теории надежности принадлежит также и зарубежным ученым: Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати [7], А.М. Фрейденталь [173], Г. Шпете [159] и др.

Огромный вклад в разработки вероятностных методов расчета конструкций внесли фундаментальные исследования А.Р. Ржаницына [99, 100].

Результаты выполненных многочисленных исследований в области проблем теории надежности в рамках вероятностного подхода в настоящее время нашли отражение в ряде современных нормативных документов федерального уровня. Так, в СТО 365545001-014-2008 «Надежность строительных конструкций и оснований» (введен в действие с 1 октября 2008 г.) [133], в проекте СНиП [136] с одноименным названием, а также в ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» (введен в действие с 1 сентября 2011 г.) [30] рекомендуется использовать вероятностно-статистические подходы в расчетах надежности строительных конструкций.

Вместе с тем, методы, основанные на вероятностно-статистических моделях надежности, требуют для рассматриваемых случайных величин или процессов большого объема опытных (априорных) данных о поведении систем и их элементов, позволяющих с достаточной в инженерной практике точностью строить законы распределения вероятностей этих величин. Это особенно важно для оценки показателей надежности строительных объектов, находящихся в эксплуатации, причем, если эта эксплуатация осуществляется длительное время.

Прогнозирование показателей надежности на стадии эксплуатации вообще выделено в отдельное направление общей теории надежности, и к настоящему времени для строительных систем это направление находится только на уровне постановки задачи. В литературе отсутствуют какие-либо конкретные количественные результаты расчетов показателей надежности для индивидуальных эксплуатируемых строительных объектов и даже их отдельных элементов. В [17] отмечено, что применительно к уникальным объектам приходится использовать менее популярное (а точнее читать, менее известное) понятие индивидуальной, субъективной или, говорят, байесовской вероятности как меры уверенности в истинности суждения. Понятия индивидуальных показателей надежности, в конечном счете, представляют собой в некотором роде математическую формализацию интуитивных суждений, которые использует группа экспертов при обсуждении вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации строительного объекта. Иными словами для таких объектов создаются экспертные системы, с помощью которых для каждого индивидуального объекта строятся модели принятия решений и о техническом состоянии, и о надежности объекта.

В любом случае, в любом варианте реализации расчетов показателей надежности основным ее понятием является отказ, который трактуется как случайное событие, а количественной мерой надежности является вероятность безотказной работы.

В настоящей работе представлен достаточно подробный материал по применению вероятностно-статистического подхода при диагностировании

технического состояния строительных систем и их элементов в рамках математических методов технической диагностики, что, как отмечалось, предлагается сделать впервые. Он же в классическом варианте лежит и в основе оценки надежности системы. Вместе с тем, в том виде, в каком вероятностно-статистический подход нашел применение и развит для анализа надежности других технических систем, характеризуемых массовостью изготовления и имеющих возможность получить представительную статистику отказов не только отдельных элементов, но систем в целом, для рассматриваемых строительных систем неприемлем. Для них нет полноценной статистики отказов ни для элементов, ни для объекта в целом. Однако для этих зданий накопился значительный материал по статистике диагнозов (состояний), который удалось в определенной степени упорядочить и уложить в рамки уже имеющихся, разработанных методик теоретического аппарата технической диагностики и теории информации. Полученные далее результаты диагностирования позволяют несколько по-иному посмотреть и на проблему надежности, и на ее решение.

#### ***1.3.4. Отказ несущих и ограждающих конструкций***

Согласно действующей нормативной документации отказом называется событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы. Таким образом, под отказом понимают прекращение выполнения конструктивными элементами заданных функций. При назначении нормативной надежности несущих и ограждающих конструкций под отказом понимают техническое состояние элемента, предшествующее исчерпанию несущей способности или полной потери ограждающих функций.

Отказы бывают разные, имеется их классификация в зависимости от различных факторов [41, 67, 97]. Из этой классификации для зданий старой городской застройки можно выделить наиболее значимые пункты. Это деление отказов по скорости проявления (*последовательные, постепенные и внезапные*), и деление в зависимости от уровня проявления (*отказы частичные, связанные с отклонением характерных показателей от допустимых пределов, но не*

вызывающие полной утраты работоспособности, и отказы *полные*). Задача оценки надежности рассматриваемых зданий и сводится, в конечном счете, к установлению влияния частичных и полных отказов на качество и выходной эффект функционирования объекта. Для этого система обычно разбивается на функциональные части, анализируется их работа и характеристики. Под функциональными элементами следует понимать части системы, подсистемы, группы элементов, элементы, которые в той или иной степени влияют на надежность всей системы. Однако любое членение системы является условным. Главная задача состоит в выявлении взаимосвязи и степени влияния каждой выделенной части на надежность всей системы. Показатели надежности отдельных частей, подсистем и элементов должны быть дифференцированы в зависимости от их важности. Равнонадежность частей системы не всегда технически осуществима или экономически целесообразна, что весьма характерно для старой застройки, для которой, скорее всего, она и невозможна. Невольно имеет место резервирование, которое может образоваться, например, за счет облегченных режимов работы каких-то частей и элементов. Эти части и элементы здания, имеющие запасы прочности или легкие режимы, могут рассматриваться в определенном смысле как резервные. Надежность системы зависит также от вида соединения элементов. При последовательном соединении отказ системы определяется отказом слабейшего звена (элемента). Понятие безотказности здания в целом, как сложной технической системы, шире, чем для его элементов и простых систем, способных находиться лишь в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном. Отказы отдельных ограждающих конструкций и технических устройств (элементов кровли, полов, некоторых конструкций крыши, элементов оконного или дверного заполнения и др.) обычно являются частичными отказами. Они не приводят к прекращению функционирования объекта в целом, но снижают его *качество* (уровень), а значит и выходной эффект объекта. Такая адаптация здания к комплексу внешних условий возникает благодаря наличию определенной избыточности – некоторому запасу технических характеристик, сверх минимально необходимых для

выполнения заданных функций. Это связано с тем, что обеспечение локальных требований прочности и жесткости, звуко- и теплозащиты, пожарной безопасности и т.д., сопровождается возникновением неких обратных связей, определенным «перекрытием» отдельных функций элементов и систем. В результате объективно возникают различные виды резервирования – нагрузочное, структурное, функциональное и временное.

Поэтому для расчетов надежности системы необходим глубокий структурный анализ конструктивной системы, целью которого является выявление элементов, в наибольшей степени влияющих на надежность системы, а также их взаимосвязи.

Известно, что различают системы с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов. В строительных системах, как правило, параллельное соединение (резервирование) не предусматривается. Для сложных систем, состоящих из большого количества элементов, структурному анализу предшествует разделение системы на крупные подсистемы, которые в свою очередь делятся на подсистемы следующих уровней и, далее, на группы элементов и т.д. При этом обязательно учитывается функциональная взаимосвязь отдельных частей. Отказ здания в целом, как сложной многоэлементной системы, очевидно, складывается из отказов составляющих его элементов, групп элементов и подсистем.

Как известно, наиболее важным показателем надежности является отсутствие отказов во время функционирования (работы) технической системы (объекта в целом). В теории надежности [7, 11, 13, 16, 18, 26, 30, 34, 42, 45, 53, 54, 58, 66, 67, 73, 83 – 85, 98, 99, 100, 101, 103, 136, 141, 142, 146, 147 – 153, 155, 158, 159, 161, 162, 167, 168, 173, 175, 179, 184, 188, 195] отказ трактуют как событие случайное, т. е. в основе теории надежности лежит вероятностный подход и, возможно, статистическое истолкование этой вероятности. Вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что на заданном отрезке времени отказ не возникнет, служит одним из основных показателей при расчетах надежности.

Вероятность безотказной работы объекта является количественной мерой его надежности.

Отказ отдельных элементов подземной части здания, несущих элементов перекрытий, стен или крыши здания, может привести к тяжелым последствиям. Техническая диагностика, ее аппарат и средства, благодаря раннему обнаружению дефектов, повреждений и неисправностей, позволяет, во-первых, устранить подобные отказы в процессе технического обслуживания, что повышает *надежность* и эффективность эксплуатации. Во-вторых, аппарат технической диагностики и построенная на его основе процедура многоуровневого диагностирования, предлагаемые в настоящей работе для целей оценки состояний объекта, позволяют выполнить не только анализ технического состояния, но и структурный анализ *надежности* рассматриваемой строительной системы.

### ***1.3.5. Техническое состояние, риск и безопасность***

В последние годы в области диагностирования состояний строительных объектов появились работы, связанные с методологией оценки технического состояния зданий и сооружений на основе определения риска аварий. Основные разработки в области прогнозирования, оценки и регулирования риска аварий нашли отражение в работах профессора А.П. Мельчакова [60 –64] . В этих работах вопросы анализа технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений предлагается решать с позиций теории безопасности, в рамках которой формулируются такие понятия, как конструкционная безопасность, проектная (теоретическая) вероятность риска аварии, фактическая вероятность риска аварии, стандартные значения риска (нормальное, предельно-допустимое и предельное). Конструкционная безопасность трактуется, как отсутствие недопустимого риска аварии. Считается достаточной, если риск аварии строительного объекта находится в области приемлемых значений. Отмечено, что проектная вероятность риска аварии  $P_m$  существует как концепт, т. е. задается (известен) и гипотетически достигается только в том случае, когда при

возведении здания ни разу не будут нарушены требования проекта. В работах [63, 64] ее порядок принимается равным  $\sim 10^{-6}$ . Фактическая вероятность аварии объекта на неограниченном множестве новых зданий представляется в виде суммы  $P_\phi = P_m + P_\delta$ , где  $P_\delta$  – дополнительная вероятность аварии, формируемая за счет ошибок людей – участников строительства процесса (проектировщиков, поставщиков, строителей, контролеров и др.). Для определения  $P_\delta$  в основе и этой методологии тоже предложено использовать формулу Байеса [64], в которой априорные (до начала строительства) вероятности наступления и не наступления аварии зданий (сооружений) считаются известными и, соответственно, равными  $P_m$  и  $(1 - P_m)$ . Из формулы Байеса выводится соотношение  $r = P_\phi / P_\delta$  [64], в котором величину  $r$  и предложено принять за величину риска аварии объекта строительства. Для отыскания на неограниченном множестве новых зданий закона распределения плотности вероятностей случайной величины  $r$  при отсутствии статистических данных о ее возможных значениях, для ее описания предложено принять однопараметрическое распределение Рэлея. После вывода зависимости роста степени неопределенности (энтропии) технического состояния объекта от среднего значения риска  $r$ , полученного из принятого распределения плотности вероятности Рэлея, построена, так называемая, модель деградации, а затем методология оценки технического состояния, основанная на рассмотрении трех категорий состояний:

- безопасное состояние, когда выполняется неравенство ( $R < R_{nd} < R_n$ );
- аварийное состояние, когда выполняется неравенство ( $R_{nd} < R < R_n$ );
- ветхо-аварийное состояние, когда неравенство имеет вид ( $R > R_n > R_{nd}$ ).

В этих неравенствах  $R = 2$  – нормальный (естественный) риск аварии;  $R_{nd} = 19$  – предельно допустимый риск аварии;  $R_n = 83$  – предельный риск аварии. Численные значения пороговых точек получены из анализа модели деградации [64]. На этапе построения решения для объекта в целом, как для многоэлементной строительной системы, методология содержит элементы теории нечеткой логики и принципы квалиметрии.

Предложенная методология позволяет также выполнить не только оценку технического состояния, но и оценить надежность, физический износ, а также остаточный ресурс объекта исследования. В работах [62 – 64] приводятся примеры реализации этой методологии для различных зданий и сооружений, в том числе и эксплуатируемых. Полученные результаты выглядят убедительно и вполне свидетельствуют о перспективности этой методологии, а также о возможностях ее широкого применения в инженерной практике диагностирования состояний реальных строительных объектов. Не исключено, что возможно ее применение и для зданий старой городской застройки. Об этом свидетельствуют также результаты исследований, выполненные для сложных сооружений на этой же основе под руководством профессора А.Г. Тамразяна [137]. Так, в работе [138] количественный анализ риска для сложного покрытия спортивного комплекса «Крылатское» выполнен на основании сведений, содержащихся в проекте сооружения, сценария возможной аварии, анализа «дерева событий» и логико-вероятностного подхода. Вместе с тем, такой подход и в [62 – 64], и в [137, 138], содержащий в своей основе элементы приближенных оценок и элементы волевых решений, для указанной категории зданий, о процессе проектирования и возведения которых практически нет никакой информации, приведет к необходимости в еще большей степени использовать в процедуре построения решения те же элементы приближения и элементы волевых решений.

### ***1.3.6. Техническое состояние и методы теории нечеткой логики***

В последнее время нечеткая технология завоевывает все больше сторонников среди специалистов, работающих в области принятия решений в условиях, когда цели, ограничения и последствия возможных действий, точно не известны или недостаточно информативны. Взяв старт еще в 1965 году из работ Лотфи Заде [37], нечеткая логика нашла широкое применение в различных областях техники только лишь в конце девяностых годов. Основные положения, определения и термины теории нечетких (размытых, нечетко определенных,

расплывчатых – [12]) множеств, сформулированы Л. Заде и развиты далее в работах [12, 38, 105, 106, 160].

Нечеткая логика и теория нечетких множеств [72, 105 – 107, 160, 166, 167, 169, 171, 175, 177, 180, 185 – 189, 195] представляют собой формальный математический аппарат представления и использования знаний в виде естественно-языковых высказываний. Понятие нечеткого множества – эта попытка математической формализации нечеткой информации для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью. При таком подходе высказывания типа «такой-то элемент принадлежит данному множеству» теряют смысл, поскольку необходимо указать насколько сильно или с какой степенью элемент удовлетворяет свойствам множества. Основными определениями теории нечеткой логики являются следующие.

*Нечетким множеством (fuzzy set)  $\tilde{A}$*  на универсальном множестве  $U$  называется совокупность пар  $\mu$   $[\mu_A(u), u]$ , где  $\mu_A(u)$  – степень принадлежности элемента  $u \in U_K$  к нечеткому множеству  $\tilde{A}$ . Степень принадлежности – это число из диапазона  $[0, 1]$ . Чем выше степень принадлежности, тем в большей мере элемент универсального множества соответствует свойствам нечеткого множества.

*Функцией принадлежности (membership function)* называется функция, которая позволяет *вычислить* степень принадлежности произвольного элемента универсального множества к нечеткому множеству.

*Лингвистической переменной (linguistic variable)* называется переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания некоторого естественного или искусственного языка.

*Терм-множеством (term set)* называется множество всех возможных значений лингвистической переменной.

*Термом (term)* называется любой элемент терм-множества. В теории нечетких множеств терм формализуется нечетким множеством с помощью функции принадлежности.

*Пример.* Рассматривается переменная «*состояние конструкции*», которая оценивается по шкале «*исправное*», «*работоспособное*», «*ограниченно работоспособное*», «*недопустимое*», «*аварийное*».

В этом примере лингвистической переменной является «*состояние конструкции*», терминами – лингвистические оценки «*исправное*», «*работоспособное*», «*ограниченно работоспособное*», «*недопустимое*», «*аварийное*», которые и составляют терм-множество.

*Дефаззификацией (defuzzification)* называется процедура преобразования нечеткого множества в *четкое число*. В теории нечетких множеств процедура дефаззификации аналогична нахождению характеристик положения случайных величин в теории вероятности (математического ожидания, моды, медианы). Простейшим способом выполнения процедуры дефаззификации является выбор четкого числа, соответствующего максимуму функции принадлежности. Однако пригодность этого способа ограничивается лишь одноэкстремальными функциями принадлежности.

Применение методов теории нечетких множеств известно в различных областях жизни и деятельности человека [105 – 107].

В строительной отрасли попытки применения теории нечетких множеств относятся к 80-м годам прошлого века. Это работы по прогнозированию надежности и живучести каменных зданий в сейсмических районах, оценке степени повреждений землетрясениями зданий и сооружений, оптимизации конструкций, находящихся под воздействием агрессивных сред [72] и др. Наиболее перспективным применением теории нечетких множеств в диагностике повреждений строительных конструкций является использование систем нечеткого логического вывода. Нечеткий логический вывод – это аппроксимация зависимости «вход – выход» на основе нечеткой базы знаний и операций над нечеткими множествами. Как отмечено в [72], например, для кирпичных стен

зданий, нечеткую базу знаний составляют экспертные правила типа: «ЕСЛИ трещина – *вертикальная* И проходит *через всю стену* И раскрыта *вниз* И грунты – *неоднородные*, ТО причина – *неравномерные деформации основания фундаментов и их осадка*». В соответствии с [72] идентификация зависимостей на основе нечетких баз знаний проходит в два этапа. На первом этапе выполняется структурная идентификация. Она представляет собой формирование нечеткой базы знаний, которая грубо отражает нелинейную взаимосвязь «вход – выход» с помощью лингвистических правил «Если – То». Эти правила генерируются экспертом, либо получаются в результате экстракции нечетких знаний из экспериментальных данных. На втором этапе происходит параметрическая идентификация исследуемой зависимости путем нахождения таких параметров нечеткой базы знаний, которые минимизируют отклонение результатов нечеткого моделирования от экспериментальных данных. Настраиваемыми параметрами являются веса правил и параметры функций принадлежности нечетких термов. Использование лингвистической информации в виде экспертных правил «Если – То» позволяет значительно снизить необходимый объем обучающей выборки для нечеткой идентификации. Недостатки нечетких систем связаны с трудоемкими процедурами оптимизации при настройке.

В данном исследовании методы нечеткой логики использованы для решения вспомогательной задачи. Они положены в основу процедуры диагностирования железобетонной балки перекрытия рассматриваемого здания, состояние которой уже было оценено на основе байесовского подхода (глава 6, п. 6.5). Задача ставилась с целью оценить устойчивость и информативность диагностической матрицы, построенной для этой балки с использованием байесовского подхода. Входные параметры при решении задачи обоими методами принимались одинаковыми. По результатам расчетов, выполненных на основе двух, заметно отличающихся подходов, получено удовлетворительное согласование выходных параметров (глава 6, п. 6.5.2).

Необходимо отметить, что второстепенность применения в данной работе методов нечеткой логики нисколько не снижает возможности и достоинства этого, безусловно, перспективного, аппарата диагностирования состояний строительных конструкций зданий.

#### Выводы по главе 1.

1. Дано определение технической диагностике, как области знаний, включающей также и теоретические вопросы, связанные с распознаванием состояний сложных технических систем.

2. Приведен обзор литературных источников, свидетельствующий о глубоких исторических корнях работ по испытаниям различных материалов и конструкций, представляющих собой часть обследовательской деятельности в современном ее понимании.

3. Подчеркнуто, что для такого практического и весьма специфичного рода деятельности конкретные и четкие рекомендации по принятию обоснованных решений о фактическом техническом состоянии находящегося в длительной эксплуатации строительного объекта, закрепленные в имеющихся нормативных документах, разработаны недостаточно четко.

4. Рассмотрены и проанализированы появившиеся в последние годы нормативные документы федерального уровня, регламентирующие обследовательскую деятельность в настоящее время. Отмечены, вместе с тем, имеющиеся в этой литературе разночтения, привносящие в реальную практику сложности при принятии конкретных решений.

## ГЛАВА 2

### ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

По имеющейся в архитектурно-исторической среде классификации [120], к каменным зданиям старой городской застройки относятся гражданские (жилые и общественные) и промышленные здания, возведенные до 1917 года. Удельный вес таких зданий в различных городах России различен. Так, например, в жилищном городском фонде Москвы доля каменных зданий старой застройки составляла около 15%, в Санкт-Петербурге – 43% [120]. Что касается перспективы дальнейших изменений удельного веса дореволюционной застройки, то в Санкт-Петербурге происходило и, по-видимому, будет происходить далее некоторое уменьшение ее объема, вероятнее всего за счет выхода из строя и вывода из эксплуатации малоэтажных ветхих зданий. Значительная же часть зданий этого периода постройки будет сохраняться еще долгое время. В целом старые здания характеризуются большой конструктивной насыщенностью, значительным числом поперечных стен, призванных обеспечить надежную пространственную жесткость стенового остова здания. Вертикальную нагрузку несут, как правило, наружные и внутренние продольные несущие стены, реже – металлические колонны или кирпичные столбы.

Очевидно, что эти здания в силу их морального и физического износа требуют проведения инженерных мероприятий по приведению их строительных конструкций и инженерного оборудования в современное эксплуатационное работоспособное состояние. В связи с этим, именно такие здания нуждаются в разработке современной методологии диагностирования технического состояния и оценок надежности, предусматривающих совершенствование и упорядочение имеющейся нормативной базы в этой области деятельности, а возможно и разработку новых нормативных актов.

В данной работе, как отмечено выше, предлагается положить в основу исследования единый подход, основанный на вероятностных методах распознавания состояний.

## **2.1. Особенности объемно-планировочных решений зданий старой городской застройки**

Планировочные компоновки зданий старого фонда в крупных городах характеризовались композиционными приемами, позволяющими с наибольшей отдачей площади использовать внутренне пространство строения и очень плотно застраивать участки. Разрешалось строить каменные здания вплотную, без разрывов, только с устройством стен-брандмауэров, отделяющих соседние здания друг от друга. Таким образом, в крупных кварталах городов наблюдается почти сплошная застройка с оставлением лишь небольших площадей для дворовых пространств. Значительное число старых зданий имеет достаточно сложную конфигурацию в плане, что, естественно, усложняет и ухудшает внутреннюю планировку помещений. Можно даже заметить, что для ряда старых зданий промышленного типа имеющееся планировочное решение продиктовано не особенностями и требованиями протекающего там технологического процесса, как это следует учитывать при возведении, а именно конфигурацией предоставленного для строительства пятна застройки. Можно также отметить, что многие здания рассматриваемого периода постройки имеют достаточно большой поперечный размер (большую ширину), в связи с чем создавалось много непропорционально длинных помещений, помещений неправильной в плане формы и темных коридоров. Отмеченные особенности планировочных компоновок зданий старой городской застройки создают сложности для упорядочения и классификации планировочных решений, а также значительно усложняют проведение обследований из-за труднодоступности, а подчас и недоступности некоторых конструктивных элементов. В таких случаях приходится выполнять большое количество вскрытий.

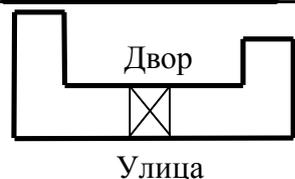
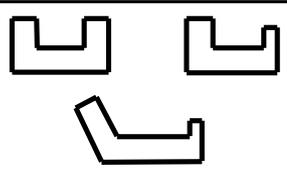
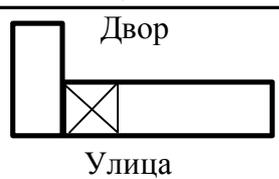
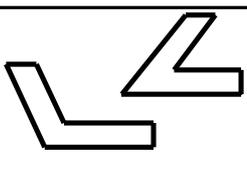
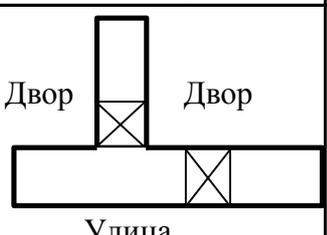
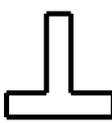
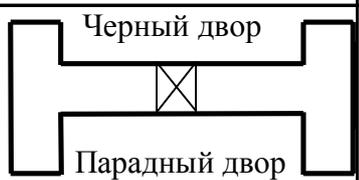
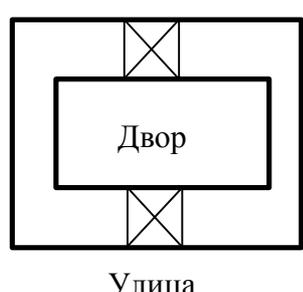
Вместе с тем, некоторое упорядочение сделать удалось, и в [120] предложены семь основных схем планировочных компоновок, которые с некоторой корректировкой автора в данной работе представлены и охарактеризованы в таблице 2.1.

## **2.2. Конструктивные схемы зданий старой городской застройки**

Развитие конструктивных решений старых зданий имело относительно узкую техническую базу. Основными материалами были камень и дерево, основными методом обработки и возведения являлся ручной труд. Перелом в развитии строительной техники наметился после середины XIX века, когда были созданы предпосылки для применения новых строительных материалов – стали и железобетона. Основными конструктивными элементами рассматриваемых зданий (конструктивными подсистемами), определяющими при обследовании уровень технического состояния, надежности и степень физического износа, являются несущие стены, перекрытия, конструкции крыши и фундаменты.

*Стены* зданий тех лет возводились, как правило, из кирпича хорошего по тем временам качества на известково-песчаном, а позже и на цементном растворах. Толщина стен даже в пределах одних и тех же этажей отличается большим разнообразием размеров и изменяется в пределах от 2,5 до 4 кирпичей (~ 750 – 1100 мм). При этом даже здания небольшой этажности (2 или 3 этажа) на каждом этажном уровне могут иметь ступенчатое изменение толщины с увеличением сверху-вниз. Жесткую связь стен друг с другом обеспечивали кладка в перевязку швов, а также в ряде случаев прокладка в массиве кладки согласно действующим тогда правилам связей из кованого железа. Связевое железо полагалось укладывать в стены здания на уровне междуэтажных перекрытий на глубине в полкирпича от их наружных граней. Если связевое железо предусматривалось во внутренних несущих стенах, то связи укладывались по продольной оси стен. Указанные особенности являются весьма важными в смысле установления их наличия (или отсутствия) в ходе обследования для оценки

Таблица 2.1 – Классификация основных схем планировочной компоновки зданий старой городской застройки

№.№ п/п	Схемы планировочных компоновок	Краткая характеристика	Повтор. в % в С-Пб	Примечание
1		1 или 2 корпуса расположены параллельно улице с разрывом	16	
2		Корпус П-образной формы	5	
3		Решение с двумя дворами (курдонерное)	12	
4		Корпус Г-образной формы	9	
5		Корпус Т-образной формы	1	
6		Корпус Н-образной формы с двумя дворами	3	
7		Замкнутое здание с застройкой по периметру участка с одним или несколькими дворами - колодцами	54	Наличие внутренних флигелей или пристроек

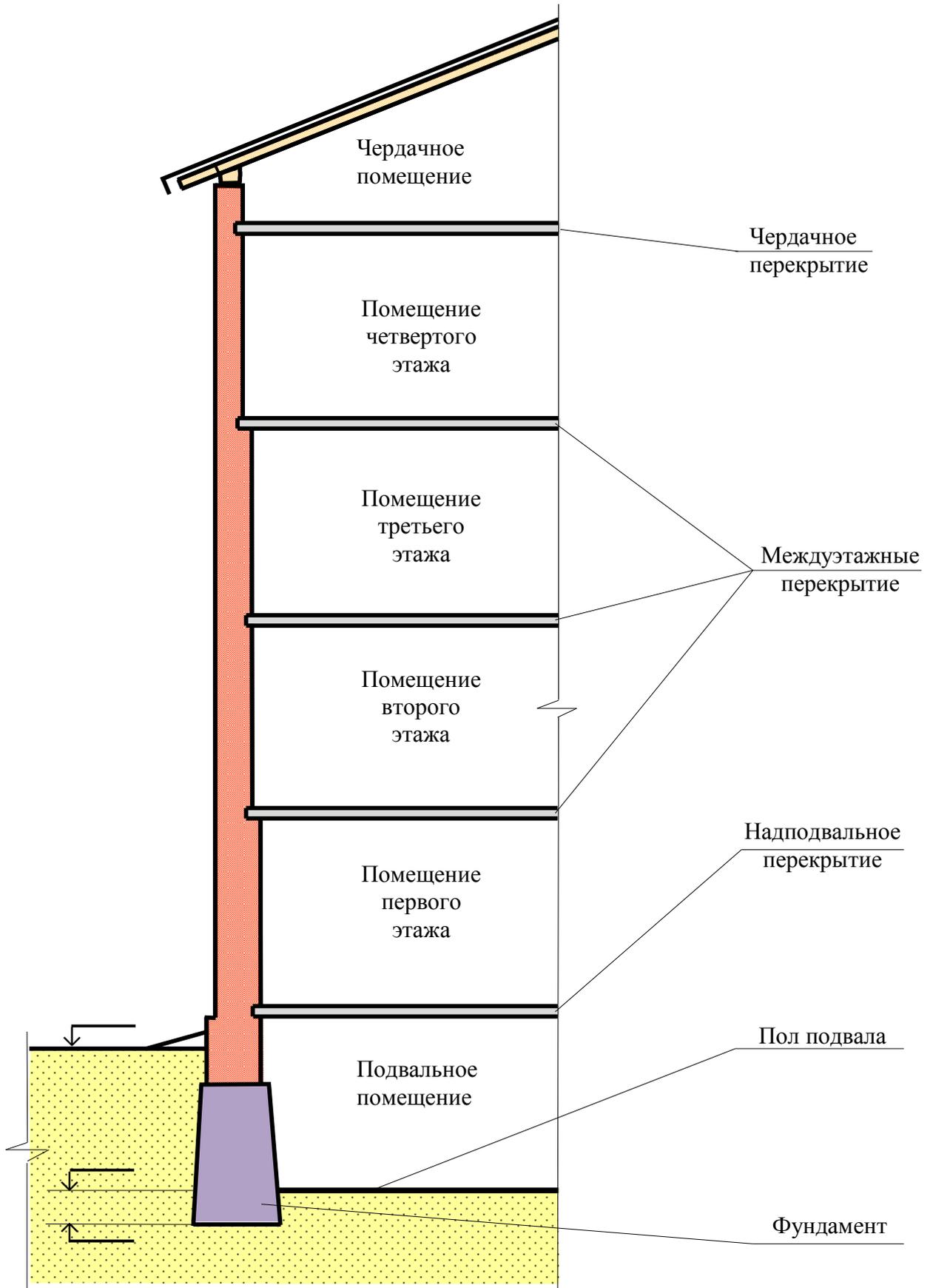


Рисунок 2.1 – Разрез по наружной стене здания с  
меняющейся по высоте толщиной. Схема

технического состояния стен. Характерный разрез по стене здания с меняющейся по высоте толщиной, а значит и нагрузками, показан на рисунке 2.1.

**Перекрытия** старых зданий по своему исполнению и назначению также богаты разнообразием конструктивных решений. Прежде всего, следует отметить, что по-разному решены надподвальные, междуэтажные и чердачные перекрытия.

*Надподвальные* перекрытия чаще всего выполнены по стальным балкам различного конструктивного исполнения (прокатные профили – двутавры или балки рельсового профиля) с бетонным или кирпичным заполнением по сводикам или бетонные плоские. Бетон применялся с заполнителем в виде крошки из кирпичного боя. Фрагменты поперечного сечения указанных надподвальных перекрытий представлены на рисунке 2.2, *а, б*. А на рисунке 2.2, *в, г* схематично показаны фрагменты надподвальных перекрытий другого, также часто встречающегося конструктивного решения, с использованием кирпичных сводов различных пролетов и очертаний.

*Междуэтажные и чердачные* перекрытия выполнялись по деревянным балкам различной конфигурации с деревянным заполнением, реже по стальным балкам также с деревянным заполнением. Основным типом перекрытия в старых зданиях является вариант по деревянным балкам с черепным брусом или черепных и подбором (накатом) в виде дощатого настила, (рисунок 2.3, *а, б*). При этом шаг деревянных балок, по дореволюционному «Урочному положению» графа де-Рошефора Н.И. [148] назначался равным 1,5 аршина (~ 1070 мм). Общая толщина перекрытия составляла около 10 вершков (~ 440 мм). Пролет балок с годами имел тенденцию к уменьшению с ранних 9,0 м до более поздних 5,5 – 6,0 м. Характерные конструктивные решения междуэтажных и чердачных перекрытий представлены на рисунке 2.3(*а, б, в*) и на рисунке 2.4, *б*. Известен также вариант устройства междуэтажных перекрытий по стальным балкам с деревянным заполнением (рисунок 2.4, *а*).

В ходе выполнения обследований конструкций перекрытий старых зданий очень важно установить в первую очередь особенности их конструктивного исполнения, что возможно только при вскрытиях или по аналогам, а затем уже

зафиксировать выявленные повреждения деревянных (или стальных) конструкций. Важно также установить и проанализировать конструктивную схему здания в целом, как главный фактор, полное использование которого в значительной мере определяет рекомендации по приведению перекрытий в нормальное эксплуатационное состояние по результатам диагностирования их состояния, а также вообще эффективность проведения инженерных мероприятий для всего здания.

Для зданий старой городской застройки введено следующее определение конструктивной схемы [120]. *Под конструктивной схемой старого здания понимается комплекс ограждающих и несущих конструкций здания (стеновой остов), объединенных в единую пространственную систему.*

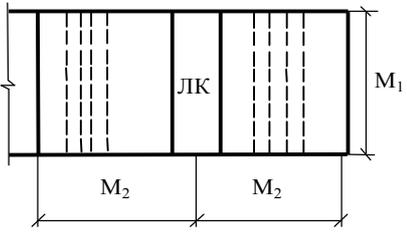
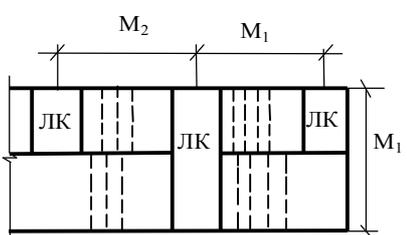
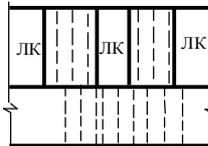
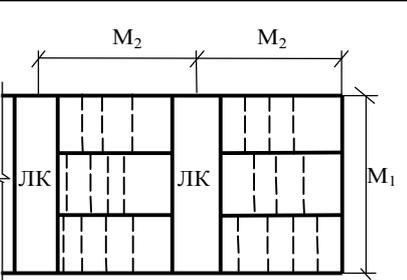
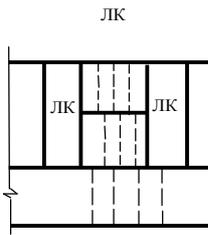
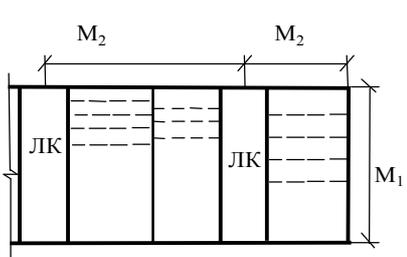
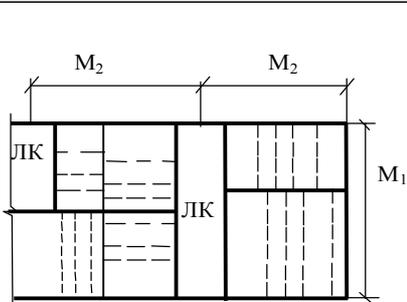
Там же предложена классификация конструктивных схем старых зданий. Эта классификация с некоторой корректировкой автора представлена в таблице 2.2. Как видно из этой таблицы, для характеристики конструктивных схем введены следующие архитектурные параметры, от которых зависит его внутренняя планировка:

$M_1$  – ширина здания, определяющая глубину внутренних помещений, а также тип планировки;

$M_2$  – шаг лестничных клеток в здании, определяющий ширину внутренних помещений, а также их количество вдоль фасада здания.

Следует отметить, что кроме параметра  $M_2$  число помещений по фасаду определяет еще и шаг оконных проемов – параметр  $M_3$ , их размеры и, что особенно важно при обследовании, размеры простенков, несущая способность которых в уровне первого этажа, как известно [125], определяет несущую способность кирпичных стен здания в целом. Для старых зданий из опыта параметр  $M_3$  лежит в пределах 2,2 – 2,5 м.

Таблица 2.2 – Классификация основных конструктивных схем зданий старой городской застройки

№ № п/п	Схема	Характери стика схемы	Параметры, м		Пов. в % в С- Пб	Примечание
			М <sub>1</sub>	М <sub>2</sub>		
1		Однопролетная с наружными несущими стенами (прод-ми)	4-14	12-22	15	
2		Двухпролетная со средней продольной несущей стеной	10-18	12-30	41	
3		Трехпролетная с двумя продольными внутренними несущими стенами	12-24	12-36	12	
4		Многопролетная с поперечными несущими стенами	4-16	12-20	19	
5		Смешанная (комбинированная) схема и с продольными, и с поперечными несущими стенами	9-18	до 25	13	

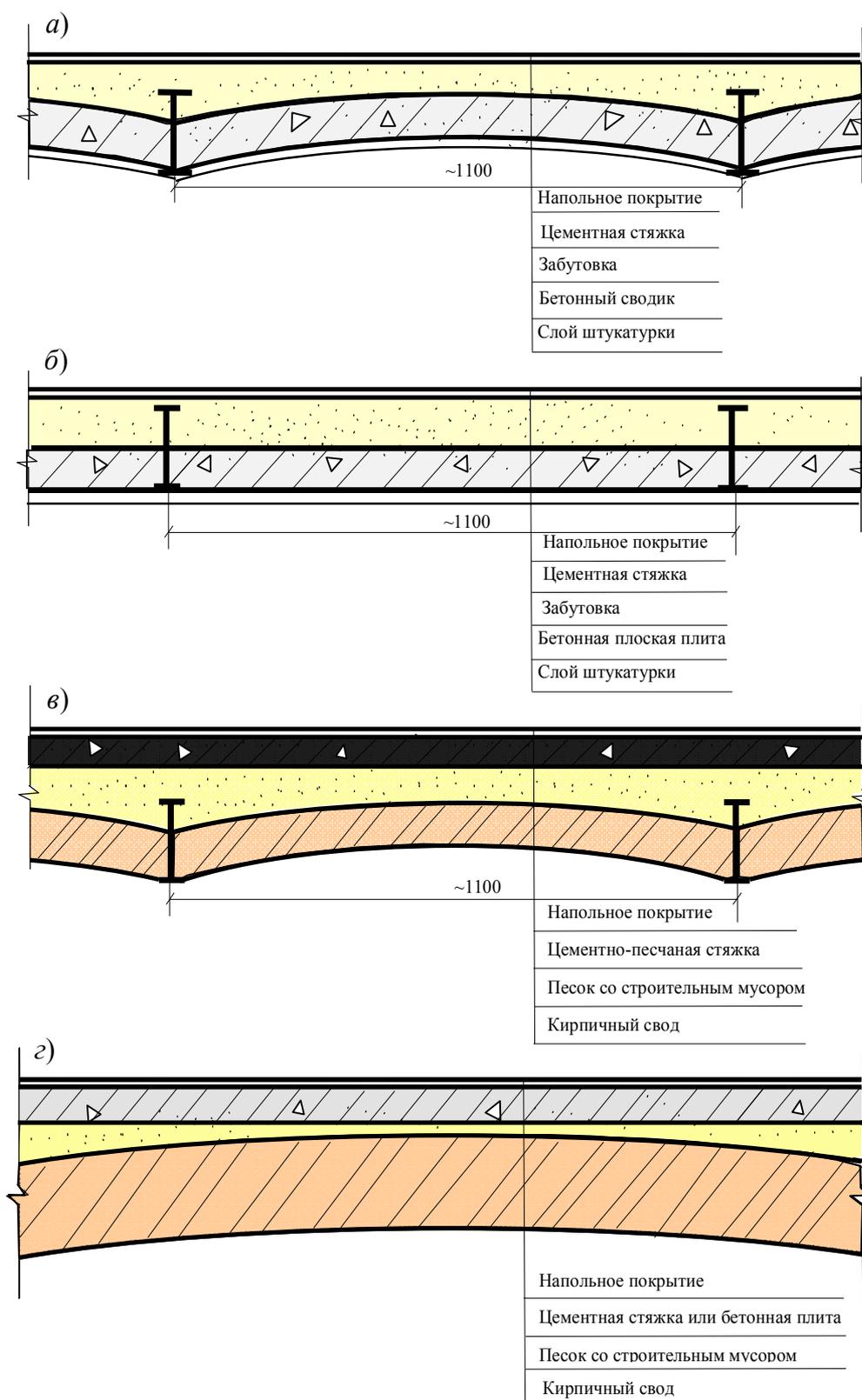


Рисунок 2.2 – Конструктивные решения надподвальных перекрытий: *a* – бетонные сводики по стальным балкам; *б* – плоские бетонные по стальным балкам; *в* – кирпичные по стальным балкам; *г* – кирпичные своды цилиндрические или крестово-купольные

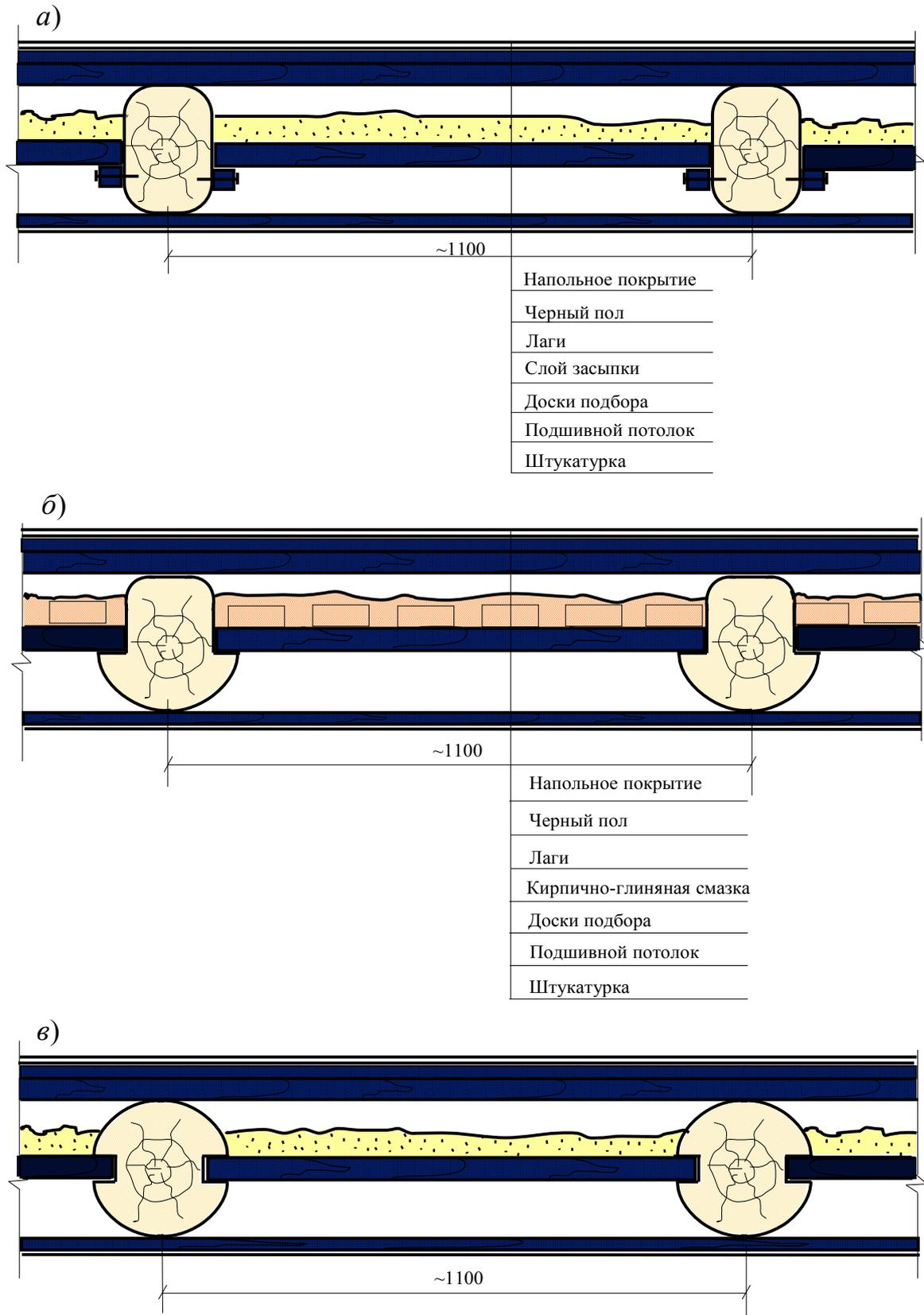


Рисунок 2.3 – Конструктивные решения междуэтажных перекрытий:  
*a* – по деревянным балкам с черепным брусом и деревянным заполнением;  
*б* – по черепным деревянным балкам (по «черепам») и с деревянным наполнением;  
*в* – по деревянным балкам с пазами и деревянным заполнением

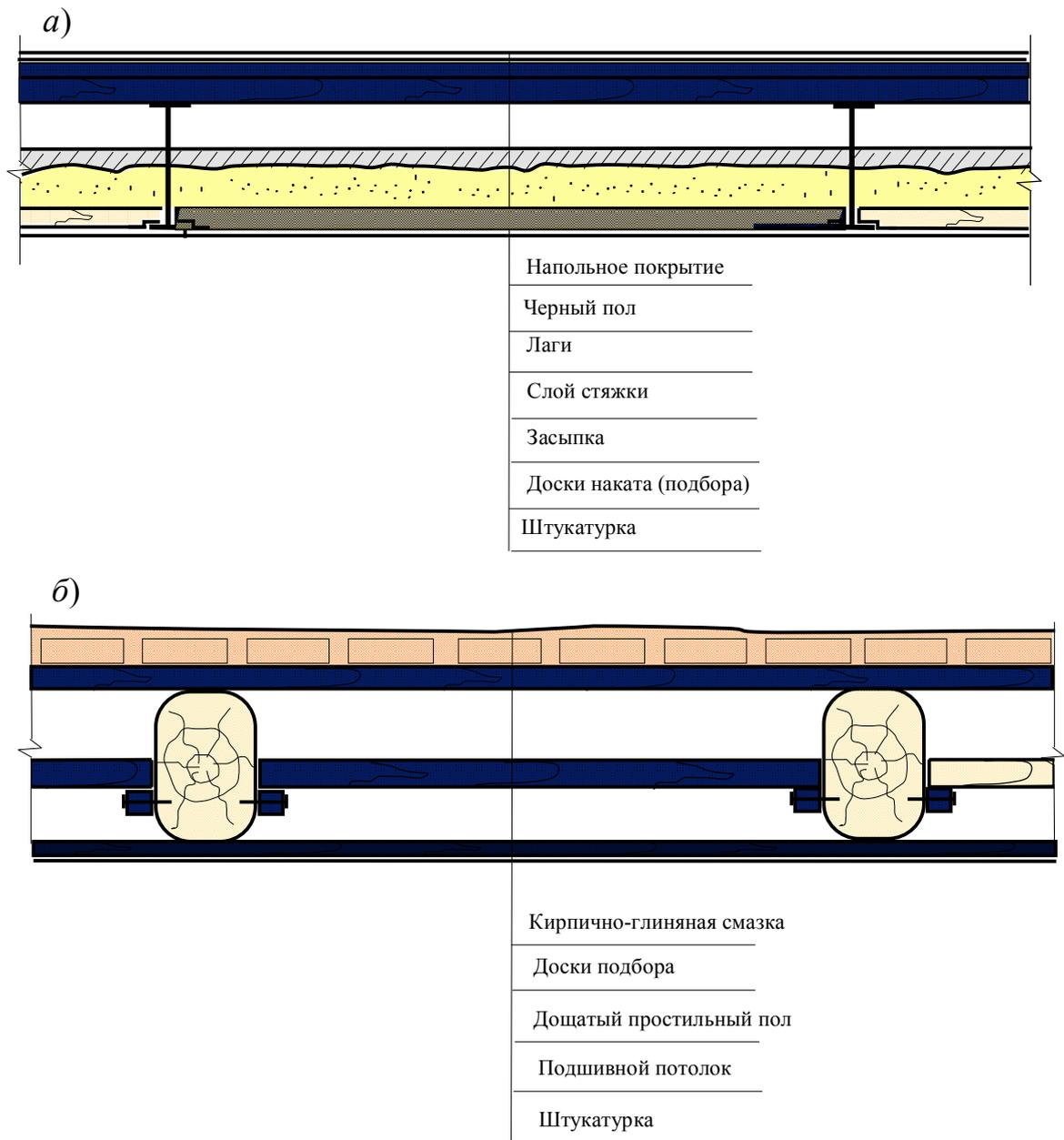


Рисунок 2.4 – Конструктивные решения перекрытий: *a* – междуэтажного по стальным балкам и с деревянным заполнением; *б* – чердачного по деревянным балкам с черепным брусом и деревянным заполнением;

**Конструкции крыши** – стропильная система и элементы кровельного покрытия.

*Элементы стропильной системы* в зданиях старой городской застройки в подавляющем большинстве случаев выполнены с использованием деревянных конструкций со всеми, присущими старому дереву, особенностями его длительной эксплуатации. Конструктивных схем стропильной системы также много в зависимости от планировочной компоновки здания, его конструктивной схемы, конфигурации крыши, основных перекрываемых размеров и состояния конструкций. Наиболее характерные варианты схематично показаны на рисунке 2.5. Детальное обследование этих элементов представляет собой многодельный и трудоемкий процесс. Первым его этапом всегда является четкое и однозначное определение конструктивной схемы, т. е. особенностей раскладки старых конструктивных элементов, и, возможно, новых, появившихся позднее. Далее устанавливается расчетная схема с учетом всех выявленных факторов.

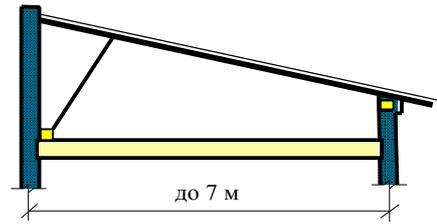
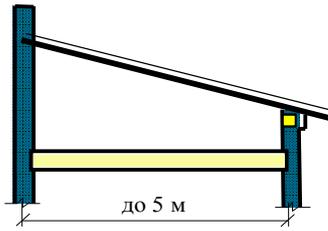
*Элементы кровельного покрытия* в старых зданиях преимущественно представлены обрешеткой определенного конструктивного исполнения с той или иной степенью разреженности настила, и покрытием, чаще всего выполненным на момент обследования с использованием листового кровельного железа.

**Фундаменты** зданий старой застройки устраивали, как правило, ленточные и выполняли чаще всего из бутового или плитнякового камня и сравнительно реже – из пережженного кирпича-железняка. Кладка, главным образом, скреплялась с применением известково-песчаного раствора. На слабых грунтах, например, для условий Санкт-Петербурга, бутовая часть фундамента укладывалась на деревянные лежни или, выполняя уже функции ростверка, дополнялась деревянными сваями.

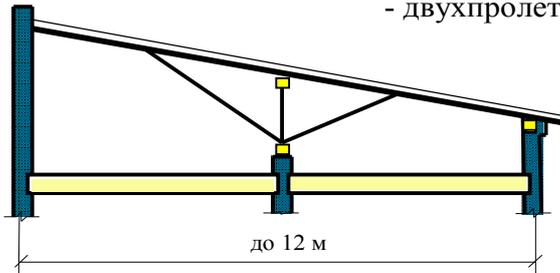
Обследование фундаментной части зданий старой городской застройки также представляет собой очень трудоемкую задачу. Конструктивные

Односкатные:

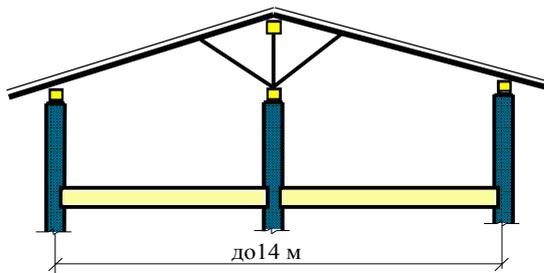
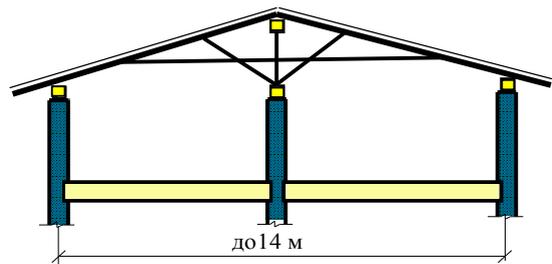
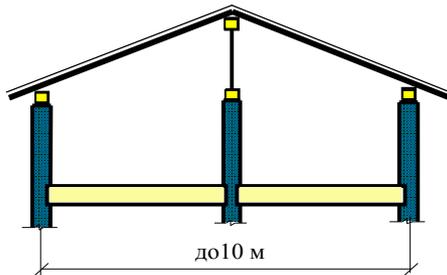
- однопролетная схема:



- двухпролетная схема:

Двускатные:

- двухпролетная схема:



- трехпролетная схема:

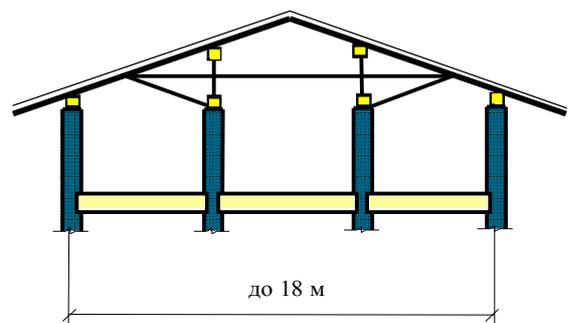
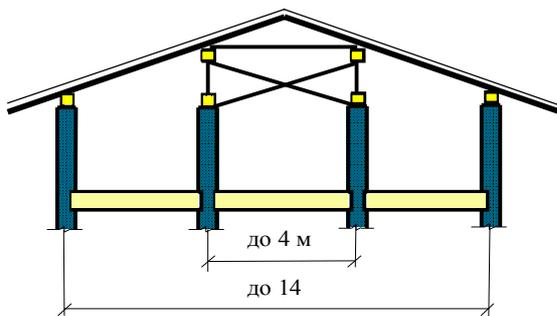


Рисунок 2.5 – Характерные конструктивные решения стропильных конструкций

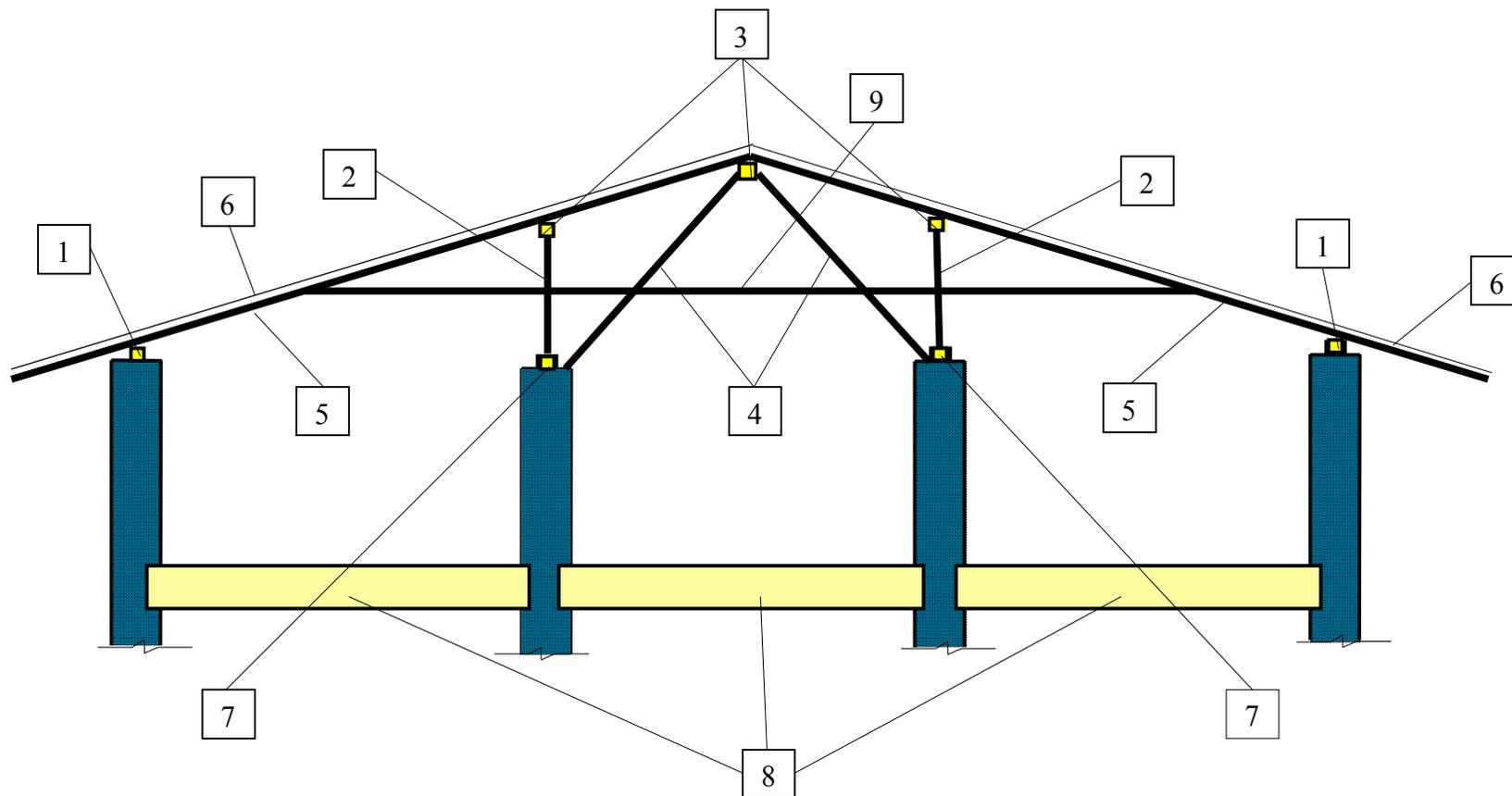


Рисунок 2.6 – Конструктивные элементы чердачной крыши: 1 – мауэрлатный брус; 2 – стойки; 3 – прогоны (коньковый и промежуточный); 4 – подкосы; 5 – стропильные балки; 6 - кровельные конструкции (обрешетка и кровельный лист); 7 – лежень; 8 – чердачное перекрытие; 9 – затяжка

особенности и состояние фундаментов возможно установить только при их вскрытии путем проходки определенного количества пристенных шурфов. В условиях Санкт-Петербурга это усугубляется еще и тем, что практически для всех фундаментов зданий старой застройки отметка уровня грунтовых вод находится выше отметки их подошвы. Наиболее характерные формы фундаментной части рассматриваемых зданий представлены на рисунках 2.7 – 2.9.

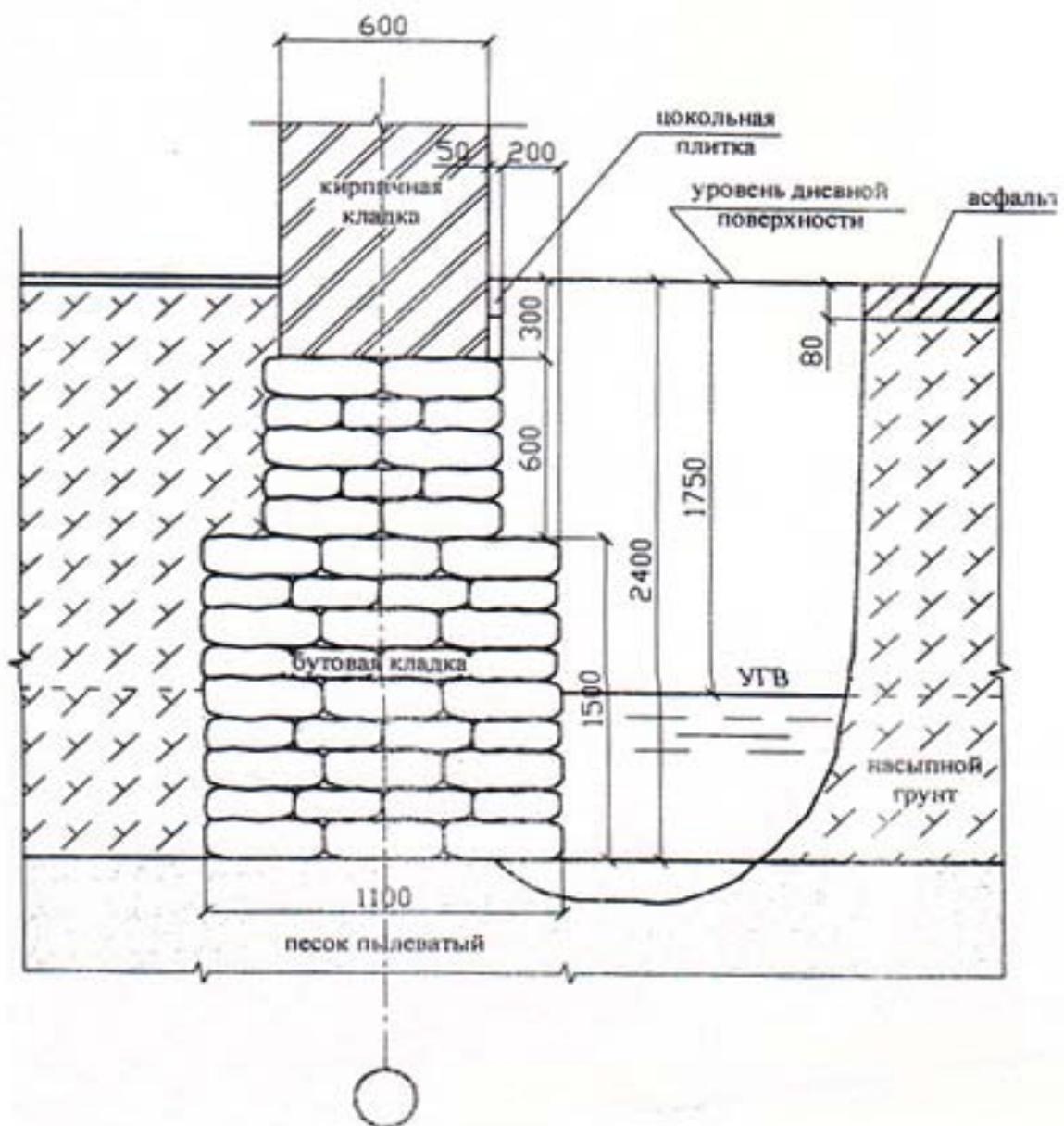


Рисунок 2.7 – Пример конструкции фундамента ступенчатого типа наружной стены

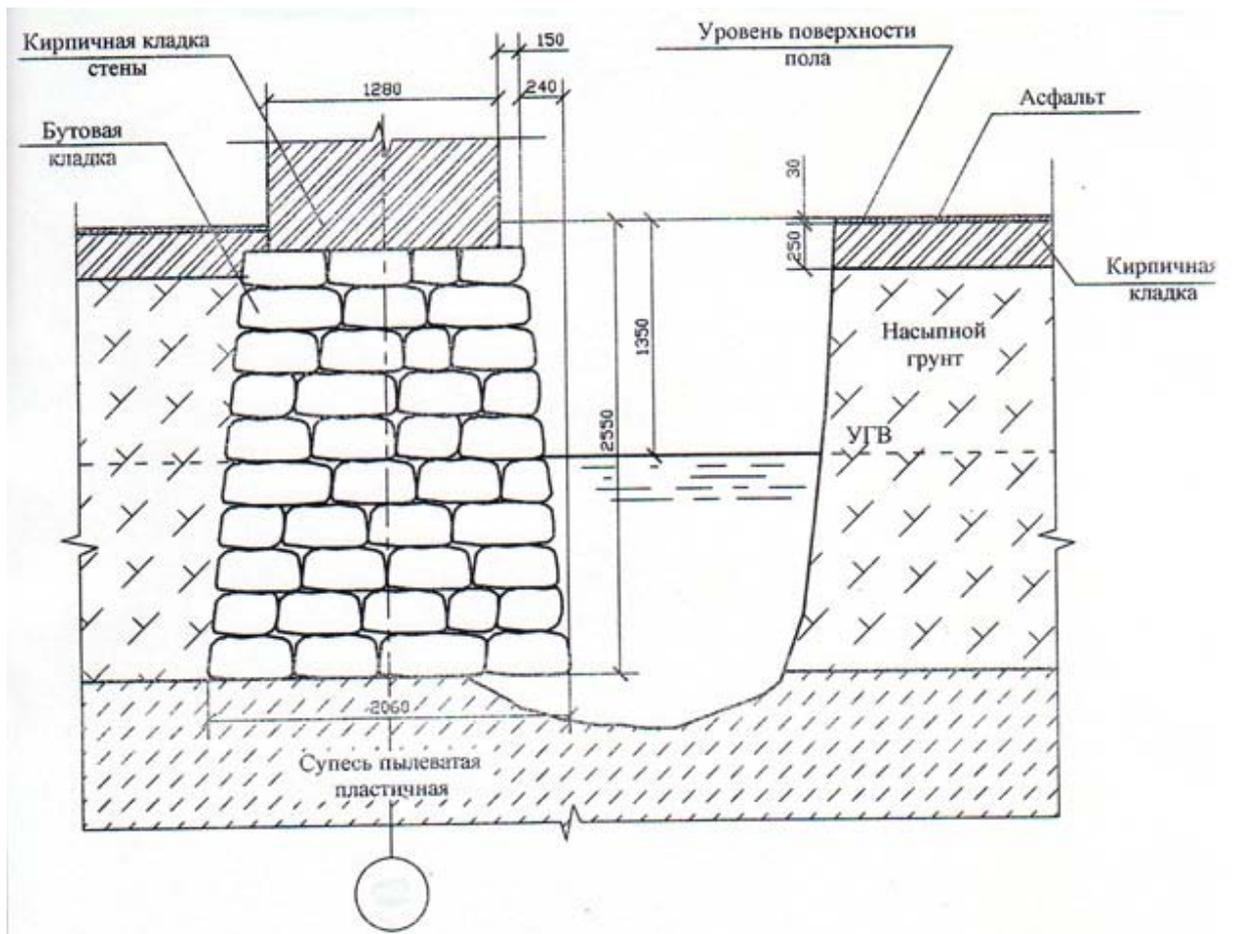


Рисунок 2.8 – Пример конструкции фундамента трапециевидного поперечного сечения

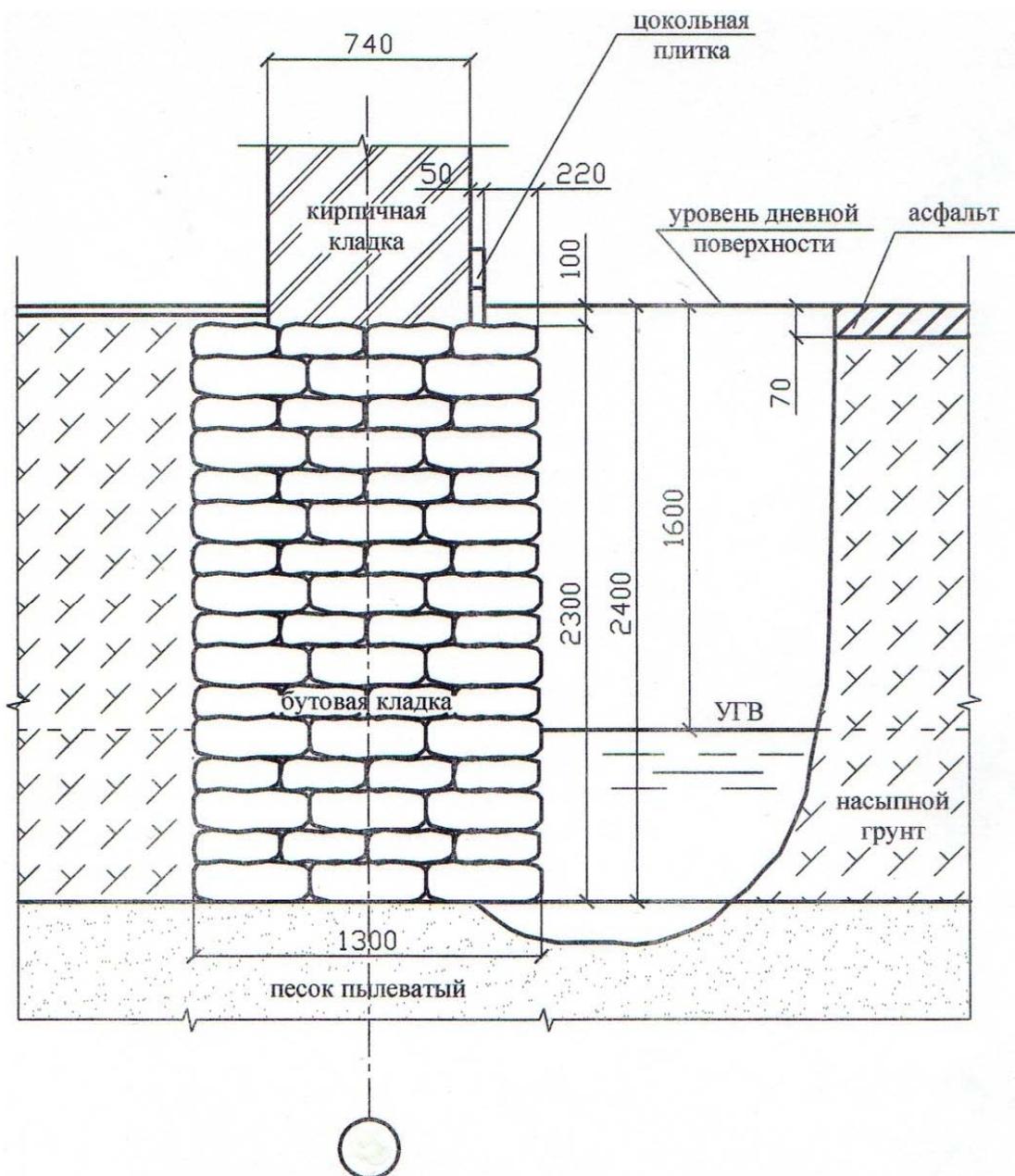


Рисунок 2.9 – Пример конструкции фундамента прямоугольного поперечного сечения наружной стены

Выводы по главе 2 можно сформулировать следующим образом.

1. На основе данных имеющейся в архитектурно-исторической среде классификации дано определение каменным зданиям старой городской застройки. Отмечено, что по литературным источникам к ним относятся гражданские (жилые и общественные) и промышленные здания, возведенные до 1917 года. По мнению автора можно несколько уточнить эту классификацию, дополнив к рассматриваемому классу зданий и те, которые возводились до первых советских пятилеток.

2. Особенности объемно-планировочных решений старых городских каменных зданий, связанные со спецификой застройки выделяемых участков, играют важную роль при оценке их технического состояния. Предложена классификация схем планировочных компоновок с дополнениями и корректировкой автора.

3. Рассмотрены конструктивные схемы зданий старой городской застройки, также играющие важную роль при диагностировании их технического состояния. Для этого составлена классификация конструктивных схем с учетом имеющейся в литературе информации и с учетом дополнений из многолетнего опыта их инженерно-диагностических обследований. Здесь же дано краткое описание особенностей конструктивного исполнения основных укрупненных несущих конструкций зданий, рассматриваемых далее в процедуре вероятностного диагностирования, как группы элементов и конструктивные подсистемы иерархической структуры, разработанной в диссертации в виде «диагностического дерева» (глава 7).

## ГЛАВА 3

### ХАРАКТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

#### 3.1. Классификация дефектов и повреждений

Дефекты и повреждения строительных конструкций выявляются в ходе детального инженерно-технического обследования. Вышедшая в последние годы нормативная литература сняла терминологические неточности при трактовке терминов *дефект* и *повреждение* [28, 75, 131]. По сути дела приняты определения, предложенные в работе М.Д. Бойко еще в 1975 году [15]. Обобщая эти формулировки, можно отметить, что *дефект* – это изъян элемента здания, вызванный нарушением правил и норм, т. е. заложенный в них изначально, либо при изысканиях и проектировании, либо вызванный нарушением технологии: изготовления, монтажа (возведения) и ремонта; дефект нередко перерастает в повреждение или вызывает его. *Повреждение* – это неисправность, образовавшаяся в конструкциях зданий в процессе их эксплуатации. При обследовании технического состояния зданий старой городской застройки факт наличия дефектов и повреждений устанавливается по их характерным и детальным признакам, а степень повреждения – путем оценки количественных и качественных параметров дефектов и повреждений. Для оценки технического состояния строительных конструкций зданий в ряде источников [15, 33, 35, 47, 48, 67, 75, 96, 97] предложена классификация дефектов и повреждений по следующим общим признакам:

- причины образования повреждений и дефектов;
- характер процессов разрушения;
- способы обнаружения;
- степень поврежденности.

Обобщая эту информацию в данной работе классификацию дефектов и повреждений можно представить в виде следующей схемы (рисунок 3.1).

### Повреждения и дефекты конструкций зданий и сооружений

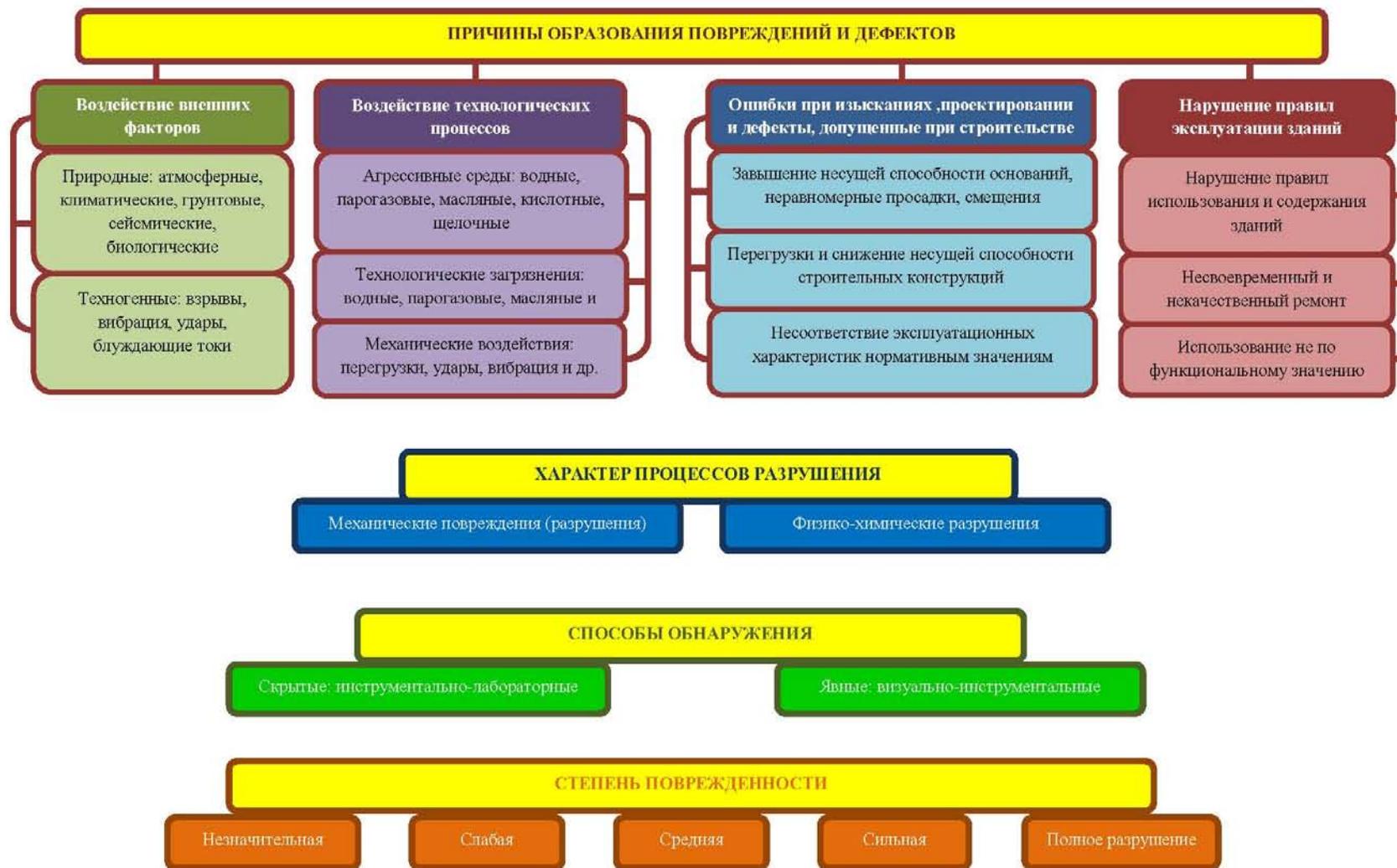


Рисунок 3.1 – Классификация повреждений и дефектов зданий

### 3.2. Характерные повреждения каменных конструкций

Характерные и определяющие состояние повреждения каменных конструкций зданий старой городской застройки относятся, главным образом, к повреждениям их кирпичных стен: несущих и ненесущих. В дальнейшем, в п. 6.1, на основе анализа этих повреждений формируются диагностические признаки вероятностной процедуры диагностирования состояний. Классификация этих повреждений в том или ином виде представлена в ряде литературных источников [9, 15, 41, 67, 96, 97] с иллюстративным материалом, в основном, абстрактного характера. Ниже с некоторой корректировкой имеющихся в литературе вариантов дана укрупненная классификация, предлагаемая автором и сопровождаемая графическим и фотографическим материалом, полученным при обследовании реальных объектов. На рисунках 3.2 – 3.4 в качестве примера приведены схемы повреждений (карты) в кирпичной кладке фасадных стен зданий в Санкт-Петербурге. Цифры на схемах сохранены и означают нумерацию фотоснимков. Количество фотоснимков свидетельствует о подробной и тщательной работе по фотофиксации всех выявленных повреждений. Примеры характерных повреждений проиллюстрированы ниже на фотографиях на рисунках 3.5 – 3.21.

1. Повреждения защитных и отделочных покрытий (рисунки 3.5, 3.6, 3.7).
2. Нарушения сплошности кладки (отколы, раковины, выбоины, деструкция, рисунки 3.8 – 3.12).
3. Вертикальные и горизонтальные деформации элементов стен (рисунки 3.8, 3.13).
4. Увлажнение и замачивание кладки, вымывание и выветривание раствора, высолы на поверхности кладки (рисунок 3.14).
5. Трещинообразование в результате неравномерных осадок (рисунки 3.15 – 3.17).
6. Хаотичное трещинообразование (рисунок 3.10).
7. Силовое трещинообразование (рисунок 3.18).

8. Трещинообразование в результате температурных деформаций (рисунок 3.20).

9. Нарушение сплошности, трещинообразование и разрушение кладки надоконных перемычек (рисунок 3.19).

10. Трещинообразование в местах размещения в массиве кладки дымовых и вентиляционных каналов (рисунок 3.21).

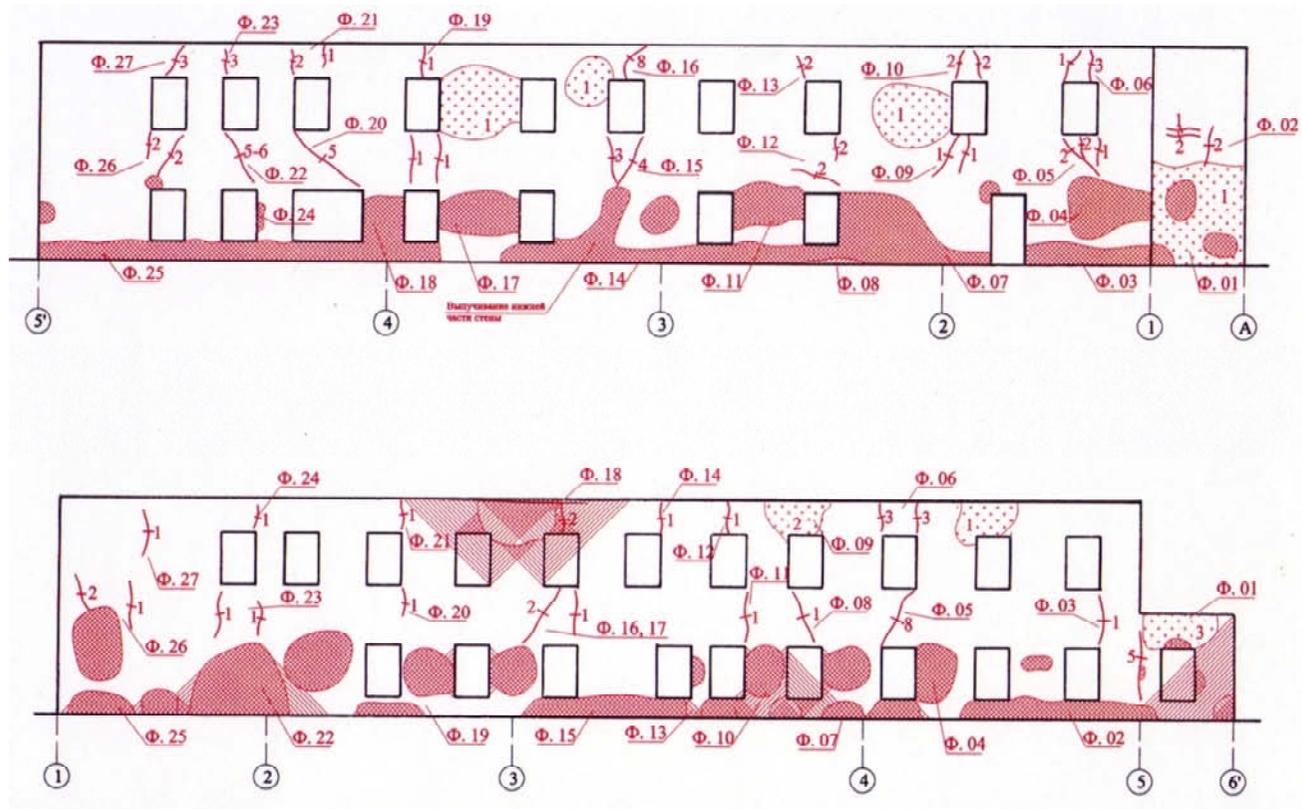


Рисунок 3.2 – Пример составления карт повреждений и дефектов в кирпичных стенах здания

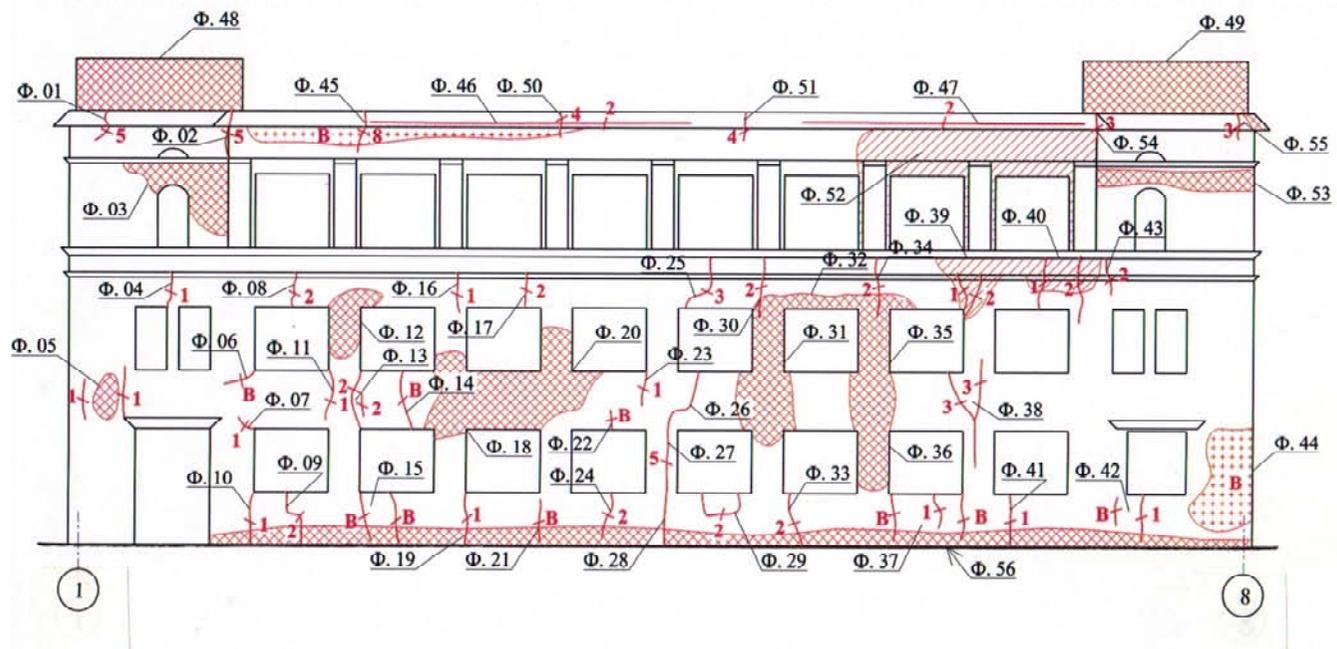


Рисунок 3.3 – Пример составления карт повреждений и дефектов в кирпичных стенах здания

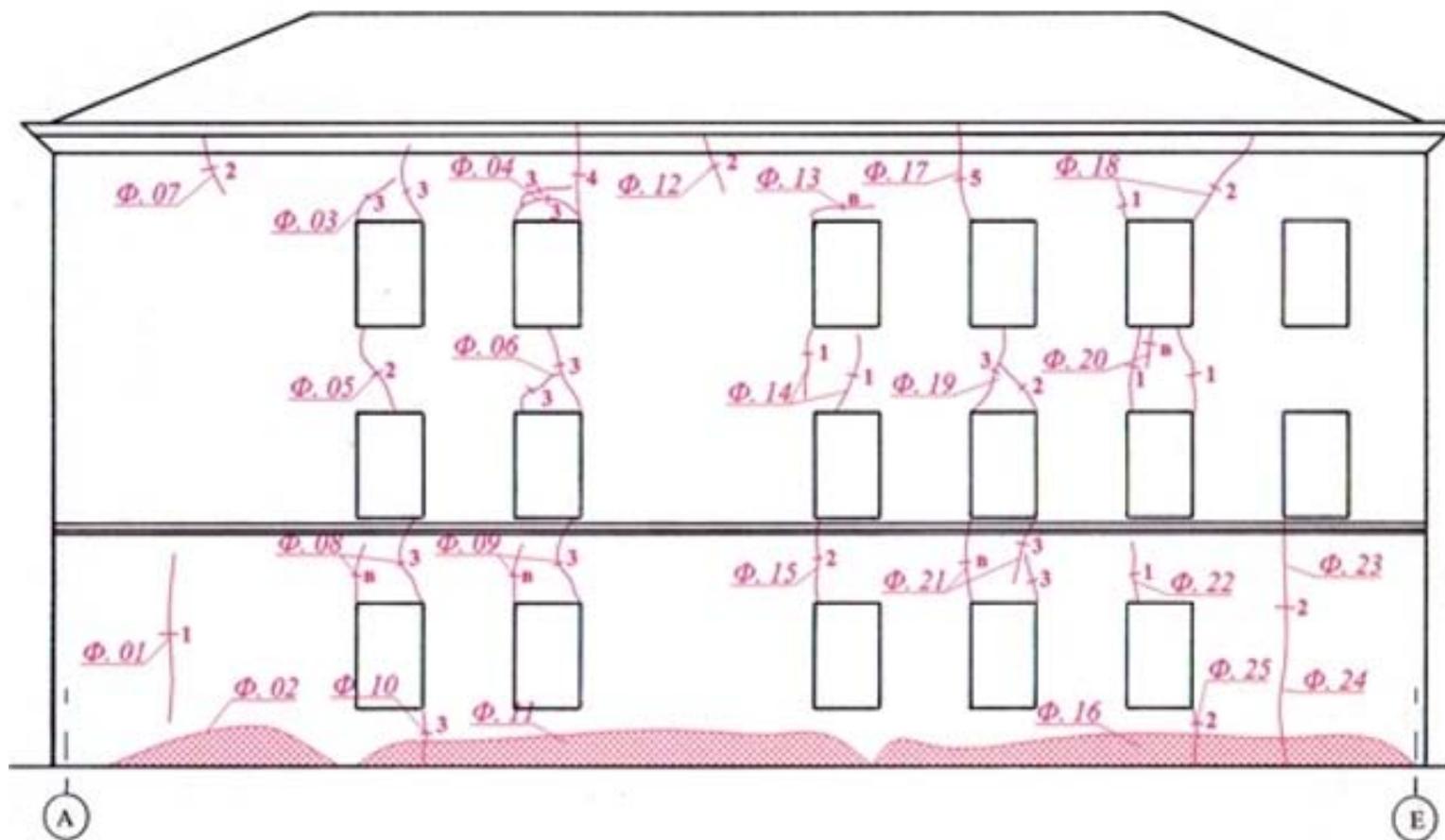


Рисунок 3.4 – Пример составления карт повреждений и дефектов в кирпичных стенах здания



Рисунок 3.5 – Санкт-Петербург. Шпалерная ул., 26. Повреждения отделочного слоя в верхней части стены дворового фасада (на верхнем снимке видна магистральная трещина осадочного происхождения)



Рисунок 3.6 – Санкт-Петербург. Наб. р. Мойки, 73. Здание ФОСП. Повреждения отделочного слоя в верхней части стены дворового фасада



Рисунок 3.7 – Санкт-Петербург. Басков пер., 5. Повреждения отделочного слоя в местах расположения водосточных труб (повреждения по всему простенку)

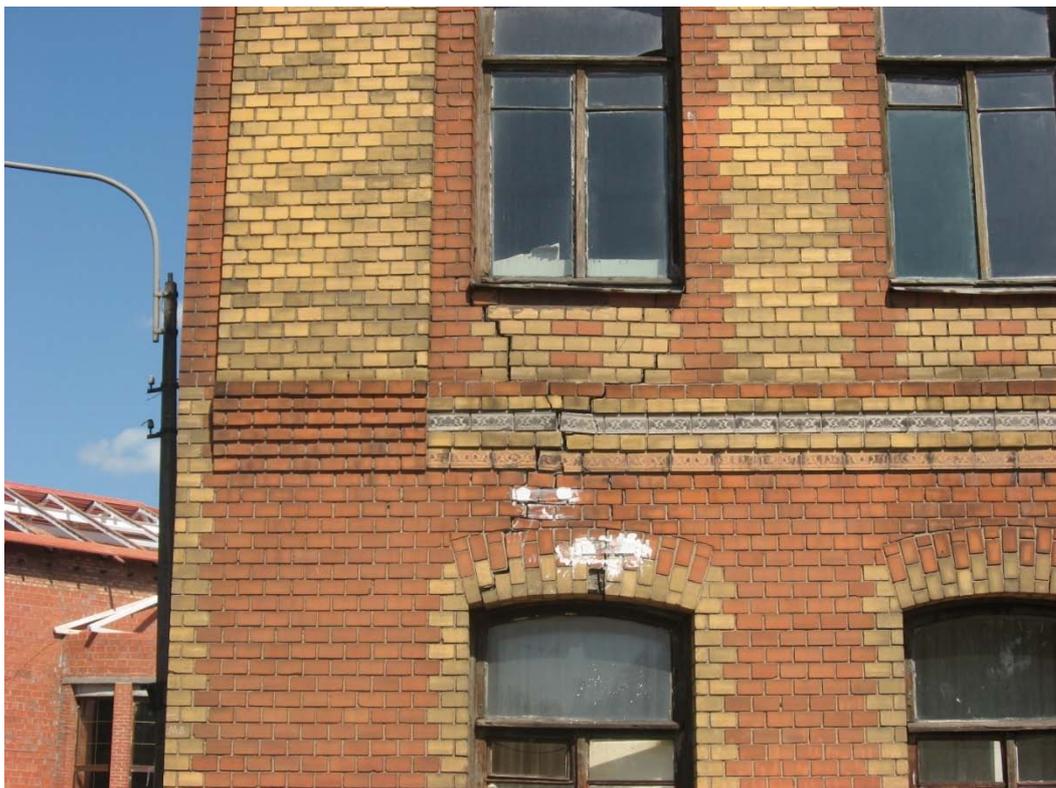


Рисунок 3.8 – Санкт-Петербург. Ул. Эсперова, 7. Нарушение сплошности кладки в межоконном поясе стены лицевого фасада, отклонение угла от вертикали



Рисунок 3.9 – Санкт-Петербург. Ул. Чапаева, 7. Нарушение сплошности кладки в межоконном поясе стены дворового фасада



Рисунок 3.10 – Санкт-Петербург. Воронежская ул., 1. Нарушение сплошности, разрушение и деструкция, выпучивание, выбоины и хаотичное трещинообразование в стене лицевого фасада



Рисунок 3.11 – Всеволожск. Ул. Шишканя, 14. Вывалы и деструкция кладки стены у оконных проемов дворового фасада



Рисунок 3.12 – Санкт-Петербург. Ул. Чапаева, 7. Нарушение сплошности, деструкция, вывалы и разрушение кладки стены дворового фасада



Рисунок 3.13 – Гатчина. Ул. Чкалова, 18, литер А1. Отклонения углов здания от вертикали



Рисунок 3.14 – Санкт-Петербург. Ярославский пр., 16. Увлажнение и замачивание, вымывание и выветривание, высолы на поверхности кладки стены дворового фасада



Рисунок 3.15 – Санкт-Петербург. Воронежская ул., 1. Трещины в кладке стены наклонной ориентации (трещины осадочного происхождения, проходят по оконным проемам)



Рисунок 3.16 – Санкт-Петербург. Ул. Эсперова, 7. Трещины в кладке стены наклонной ориентации (трещины осадочного происхождения, проходят по оконным проемам) и трещины, создающие опасность разрушения надоконных перемычек



Рисунок 3.17 – Санкт-Петербург. 12-я Красноармейская, 12. Трещины в кладке стены наклонной ориентации (трещины осадочного происхождения, проходят по оконным проемам)

*a)**б)*

Рисунок 3.18 – Трещины, образовавшиеся вследствие силовых факторов: *a* – Всеволожск, ул. Шишканя, 14; *б* – Сестрорецк, пл. Свободы, д. 4, литер А



Рисунок 3.19 – Санкт-Петербург. Ул. Чапаева, 7. Трещины, создающие опасность разрушения надоконных перемычек



Рисунок 3.20 – Санкт-Петербург. Невский пр., 18 – 57. Трещины в цокольной части от температурных перепадов



Рисунок 3.21 – Санкт-Петербург. Московский пр., 36 и 40. Трещины и повреждения в кладке в местах прохождения дымовых и вентканалов

### 3.3. Характерные повреждения бетонных и железобетонных конструкций

Рассмотрены повреждения железобетонных конструкций, характерные для монолитных железобетонных междуэтажных и чердачного перекрытий промышленных зданий старой постройки, выполненных по схеме балочной клетки (главные балки, второстепенные балки, плитные участки, колонны). Кроме этого представлены некоторые примеры характерных повреждений бетонного заполнения надподвальных перекрытий. На рисунках 3.22 – 3.34 в качестве примера они проиллюстрированы на фотографиях. Классификацию этих повреждений с учетом специфики конструктивного исполнения перекрытий можно предложить в следующем виде.

1. Повреждения бетона, снижающие его свойства по отношению к арматуре (рисунки 3.22, 3.23).
2. Продольные трещины в защитном слое вдоль арматурных стержней, разрушение защитного слоя (рисунок 3.24).
3. Силовое трещинообразование (рисунки 3.25 – 3.28).
4. Снижение прочности бетона по сравнению с проектным значением.
5. Коррозия арматуры (рисунки 3.29, 3.30, 3.32).
6. Относительные прогибы, превышающие допустимые по нормам (рисунок 3.23).
7. Протечки технических жидкостей (в том числе масел, нефтепродуктов, рисунок 3.31).
8. Отклонение от вертикали (рисунки 3.30, 3.32).
9. Увлажнение бетонного заполнения надподвального перекрытия (рисунки 3.33, 3.34).

В дальнейшем изложении в п. 6.1 эти повреждения учтены при построении совокупности диагностических признаков и вероятностей их проявления в процедуре диагностирования состояний каждого элемента и перекрытия в целом.



Рисунок 3.22 – Санкт-Петербург. Клинский пр., 25, литер Г. Состояние конструктивных элементов балочной клетки и колонн перекрытия



Рисунок 3.23 – Санкт-Петербург. Малый пр., 64, В.О. Поверхностные повреждения конструктивных элементов балочной клетки перекрытия. На верхнем снимке виден прогиб второстепенной балки



Рисунок 3.24 – Санкт-Петербург. Дегтярная ул.,1. Продольные трещины в защитном слое вдоль арматурных стержней



Рисунок 3.25 – Санкт-Петербург. Малый пр., 64, В.О. Наклонные трещины на приопорных участках главных балок перекрытия



Рисунок 3.26 – Санкт-Петербург. Малый пр., 64, В.О. Наклонные трещины на приопорных участках второстепенных и главных балок перекрытия, утрата защитного слоя и обнажение арматуры (на нижнем снимке – разрушение балки по наклонному сечению)



Рисунок 3.27 – Санкт-Петербург. Малый пр., 64, В.О. Трещины в плитных участках монолитного железобетонного перекрытия



Рисунок 3.28 – Рощино. Ул. Садовая, д.7. Трещины в перемычке дверного проема, нормальные к продольной оси



Рисунок 3.29 – Санкт-Петербург. Дегтярная ул., 1. Утрата защитного слоя, обнажение арматуры и коррозия арматурных стержней в главной балке и в плитных участках перекрытия



Рисунок 3.30 – Санкт-Петербург. Дегтярная ул., 1. Утрата защитного слоя, обнажение арматуры и коррозия арматурных стержней в колоннах



Рисунок 3.31 – Санкт-Петербург. Малый пр., 64, В.О. Протечки технических жидкостей

a)



б)



Рисунок 3.32 – Отклонения колонн от вертикали: а – Санкт-Петербург. Дегтярная ул., 1; б – Малый проспект ВО, 64



Рисунок 3.33 – Пушкин. Московский пер., 42. Протечки и увлажнение бетона заполнения в виде сводиков надподвального перекрытия, коррозия и прогиб балок



Рисунок 3.34 – Пушкин. Московский пер., 42. Разрушение бетона заполнения надподвального перекрытия

### 3.4. Характерные повреждения стальных конструкций

Повреждения стальных конструкций, рассматриваемые в данной работе, относятся к повреждениям, характерным для стальных балок перекрытий и стальных колонн. Большинство из них также составили основу построения соответствующих диагностических матриц, примеры формирования которых представлены в п. 6.1. На фотографиях на рисунках 3.35 – 3.42 показаны наиболее значимые и характерные повреждения, зафиксированные в ходе обследований большого количества зданий старой городской застройки. Классификацию их можно представить в следующем виде.

1. Коррозия в разной степени проявления: точечная (каверны, язвы); местная язвенная, пятнами или равномерная; сплошная равномерная; неравномерная язвенная; пластинчатая (рисунки 3.35 – 3.41).
2. Местные искривления полок, стенок и ребер двутавровых профилей; разрывы и трещины в стенках и полках двутавровых профилей и в колоннах (рисунки 3.38, 3.40, 3.41).
3. Превышение прогибов изгибаемых элементов (балок) по сравнению с предельно допустимыми значениями (рисунки 3.37 – 3.40).
4. Отклонения осей колонн от вертикали (рисунки 3.41).
5. Повреждения защитных покрытий стальных конструкций (рисунки 3.37 – 3.42).
6. Трещины в сварных швах и в околошовной зоне.
7. Характерные для растянутых элементов поперечные трещины.
8. Повреждения в виде трещин, исходящих от заклепочных отверстий.
9. Повреждения, связанные с потерей устойчивости отдельных элементов.
10. Повреждения, которые возникают вследствие зависания на стальных конструктивных элементах фрагментов стен, перегородок, трубопроводов.
11. Механические повреждения.



Рисунок 3.35 – Санкт-Петербург. Наб. р. Мойки, 72. Вскрытие перекрытия. Поверхностная коррозия стальной двутавровой балки



Рисунок 3.36 – Санкт-Петербург. Лиговский пр., 8. Реконструкция детской больницы Раухфуса. Демонтаж перекрытия. Поверхностная коррозия стальных двутавровых балок



Рисунок 3.37 – Пушкин. Московский пер., 42. Сплошная равномерная язвенная коррозия стальных двутавровых балок



Рисунок 3.38 – Выборг. Крепостная ул., 7. Сплошная язвенная, местами пластинчатая коррозия стальной двутавровой главной балки надподвального перекрытия, прогиб, смятие стенки и полок



Рисунок 3.39 – Выборг. Крепостная ул., 7. Сплошная язвенная, местами пластинчатая коррозия стальных двутавровых второстепенных балок надподвального перекрытия, визуально фиксируемый прогиб



Рисунок 3.40 – Выборг. Крепостная ул., 7. Сплошная язвенная, местами пластинчатая коррозия несущих элементов надподвального перекрытия, визуально фиксируемый прогиб, смятие полок и стенок двутавров в местах опирания на стойки (видна трещина в бетоне заполнения)



Рисунок 3.41 – Выборг. Крепостная ул., 7. Сплошная язвенная, местами пластинчатая коррозия несущих элементов надподвального перекрытия, смятие полок и стенок двутавровых балок, трещина в стойке (показано отверстие для определения остаточной толщины стенки)

*a)**б)*

Рисунок 3.42 – Сплошная равномерная коррозия стальных двутавровых балок, разрушение защитного покрытия: *a* – Санкт-Петербург. Наб. р. Мойки, 72; *б* – Санкт-Петербург. Бронницкая ул., 9, литер А3

### 3.5. Характерные повреждения деревянных конструкций

Рассматриваемые в данной работе повреждения деревянных конструкций, относятся к повреждениям, характерным для несущих деревянных балок и элементов заполнения перекрытий (междуэтажных и чердачного) и элементов крыши старых зданий: деревянных стропильных систем и конструкций кровли. Наиболее характерные из них определены как диагностические признаки и также стали основой для построения соответствующих диагностических матриц. Примеры их построения представлены в п. 6.1. Ниже повреждения и особенности состояния деревянных конструкций зданий старой городской застройки показаны на фотографиях на рисунки 3.43 – 3.49. Классификацию их можно представить в следующем виде.

1. Биопоражение древесины, которое напрямую связано с температурно-влажностным режимом помещений, где деревянные конструкции эксплуатируются и, следовательно, с влажностью самого дерева (рисунки 3.43, 3.44, 3.47 – 3.49).
2. Прогиб элементов, превышающий предельный (рисунки 3.45, 3.46, 3.49).
3. Повреждение или нарушение узлов опирания и соединения элементов (рисунки 3.47, 3.49).
4. Наличие продольных трещин усушки по длине конструктивного элемента (рисунки 3.48, 3.49).
5. Пороки древесины: сучки, косослой, коробление (рисунки 3.43 – 3.49).



Рисунок 3.43 – Санкт-Петербург. Наб. р. Мойки, 72. Вскрытие междуэтажного перекрытия. Видны следы поверхностного биопоражения балки



Рисунок 3.44 – Гатчина. Рощинская ул., 38. Вскрытие междуэтажного перекрытия. Видны следы глубокого биопоражения балки



Рисунок 3.45 – Санкт-Петербург. Лиговский пр., 8. Реконструкция детской больницы Раухфуса. Демонтаж перекрытия. Состояние деревянных балок перекрытия. Виден прогиб балок



Рисунок 3.46 – Гатчина. Роцинская ул., 38,. Состояние элементов стропильной системы. Виден прогиб диагональной (накосной) стропильной балки



Рисунок 3.47 – Санкт-Петербург. Ул. Чапаева, 7. Состояние элементов стропильной системы. Видны следы увлажнения и поверхностного биопоражения стропильных балок и мауэрлата



Рисунок 3.48 – Санкт-Петербург. Ул. Эсперова,7. Состояние элементов стропильной системы. Видны следы увлажнения и поверхностного биопоражения стропильных балок и мауэрлата в местах их опирания, трещины усушки



Рисунок 3.49 – Санкт-Петербург. Ярославский пр., 16. Состояние элементов стропильной системы. Видны следы увлажнения и поверхностного биопоражения всех элементов, прогиб и трещины усушки

### 3.6. Характерные повреждения фундаментов

Определяющие состояние повреждения каменных (преимущественно, бутовых) кладок ленточных фундаментных конструкций зданий старой городской застройки относятся, главным образом, к повреждениям, характерным для старых бутовых кладок различного конструктивного исполнения, длительное время работающих в довольно сложных грунтовых условиях. Именно из этих соображений далее, также в п. 6.1, на основе опыта вскрытий фундаментов и анализа выявленных повреждений сформированы диагностические признаки и матрицы для вероятностной процедуры диагностирования состояний. Ниже дана укрупненная классификация, предлагаемая автором и сопровождаемая фотографическим материалом, полученным при обследовании реальных объектов. Примеры характерных повреждений проиллюстрированы ниже на фотографиях на рисунках 3.50, 3.51.

1. Разрушения кладочных материалов – нарушения сплошности, отколы, раковины, выбоины, деструкция, утрата раствором связующих свойств (рисунки 3.50, 3.51).

2. Наличие или отсутствие гидроизоляции.

3. Трещины в бутовой кладке фундаментов (рисунок 3.51).

4. Недопустимая дополнительная осадка.

5. Недостаточная прочность бутовой кладки.

6. Выполнение или невыполнение условия не превышения давления под подошвой фундамента над расчетным сопротивлением грунта основания, т. е. условия  $p < R$ .



Рисунок 3.50 – Санкт-Петербург. Набережная реки Мойки, д. № 1. Состояние бутовых фундаментов



Рисунок 3.51 – Санкт-Петербург. Клинский пр., 25. Состояние бутовых фундаментов

Выводы по главе можно сделать в следующем виде.

1. Даны определения дефектов и повреждений и предложена их классификация.

2. На основе опыта обследований рассмотрена классификация характерных повреждений каменных конструкций стен, бетонных и железобетонных конструкций надподвальных и междуэтажных перекрытий, стальных и деревянных конструкций перекрытий, а также деревянных конструкций крыши. Приведены примеры повреждений, взятые из фотографического материала отчетов по обследованиям реальных объектов в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

3. Все выделенные повреждения указанных конструкций рассмотрены как будущие диагностические признаки со своими разрядами, ставшие основой построения диагностических матриц с последующим упорядочением этих признаков и представлением их в вероятностном виде.

## ГЛАВА 4

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗДАНИЙ

#### 4.1. Методы распознавания состояний

Как отмечено выше (глава 1, п. 1.3.1), постановка задачи при использовании вероятностных методов распознавания технической диагностики состоит в том, что имеется система, которая на момент обследования находится в одном из  $n$  случайных состояний  $S_i$ . Известна совокупность признаков (параметров)  $K^*$ , каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние системы. Требуется построить *решающее правило*, с помощью которого предъявленная (диагностируемая) совокупность признаков  $K^*$ , была бы отнесена к одному из возможных состояний (диагнозов)  $S_i$ . Желательно также оценить достоверность принятого решения и степень риска ошибочного решения.

##### 4.1.1. Теория вероятностей и диагностика

В данном параграфе рассмотрены основные понятия теории вероятностей, используемые далее при построении процедуры распознавания состояний строительных систем и их элементов в рамках теоретического аппарата технической диагностики.

Состояния  $S_i$ , в которых находятся рассматриваемые конструктивные элементы и объект в целом, как отмечено выше, являются случайными событиями. Вероятностью событий  $S_i$  называется ряд чисел (распределение)  $P(S_i)$ , характеризующий возможность реализации этих событий. Состояния рассматриваемых объектов являются событиями сложными. Для анализа вероятностей таких сложных событий вводится понятие их логической суммы (дизъюнкции) и логического произведения (конъюнкции).

Суммой двух *несовместных* событий – состояния  $S_1$  для элемента  $G_1$  и состояния  $S_2$  для элемента  $G_2$  является событие  $S_{12}$  для объединенной системы  $G_{12}$ , определяемое логическим выражением

$$S_{12} = S_1 \vee S_2,$$

где  $\vee$  – знак логического суммирования (дизъюнкции).

Событие  $S_{12}$  считается свершившимся, если произошли либо событие  $S_1$ , либо событие  $S_2$ , либо (при их совместности) оба вместе («параллельное соединение элементов»).

Произведением событий – состояния  $S_1$  и признака  $k_1$  является событие  $S_{12}$ , определяемое логическим выражением

$$S_{12} = k_1 \wedge S_1,$$

где  $\wedge$  – знак логического произведения (конъюнкции).

Событие  $S_{12}$  считается свершившимся, если события  $k_1$  и  $S_1$ , происходят одновременно («последовательное соединение элементов»).

Совокупность нескольких событий называется, как известно, *группой* событий. Важно ввести понятие *полной группы* событий – это совокупность событий, хотя бы одно из которых должно произойти. Группа событий считается несовместной, если любые два события этой группы не могут произойти одновременно. Например, если признак  $k_j$  (измеряемый параметр) разбит на два диагностических интервала, а события  $S_1$  и  $S_2$  означают появление признака  $k_j$  в соответствующем интервале, то указанные события  $S_1$  и  $S_2$  – несовместные.

Вероятность суммы событий для случая их несовместности определяется выражением

$$P(S_{12}) = P(S_1) + P(S_2). \quad (4.1)$$

Если при этом события  $S_1$  и  $S_2$  образуют полную группу, т. е. одно из них обязательно осуществится, то

$$P(S_1) + P(S_2) = 1. \quad (4.2)$$

Вероятность одновременного появления событий  $P(k_i \wedge S_i)$  (вероятность произведения) для событий несовместных и независимых определяется зависимостью  $P(k_j \wedge S_i) = 0$ . Если события совместные и независимые, то

$$P(k_j \wedge S_i) = P(S_i k_j) = P(S_i) P(k_j). \quad (4.3)$$

Если события совместные и зависимые, то вероятность их реализации равна

$$P(S_i k_j) = P(S_i) P(k_j / S_i). \quad (4.4)$$

Последнее выражение означает, что событие  $S_i$  – состояние, которое происходит обязательно (это предусмотрено постановкой задачи), а событие  $k_j$  – диагностический признак, который может реализоваться при этом состоянии, а может, нет. Вероятность события  $k_j$  определяется соотношением  $P(k_j/S_i)$  и в теории вероятностей называется условной вероятностью события  $k_j$ , т. е. это событие (диагностический признак) происходит при условии, что произошло событие  $S_i$  (состояние).

В теории вероятностей [4, 14, 16, 51] также доказано равенство, представляющее собой одну из наиболее применяемых зависимостей. В рассматриваемом случае она записывается следующим образом

$$P(S_i k_j) = P(S_i) P(k_j / S_i) = P(k_j) P(S_i / k_j) \quad (4.5)$$

#### **4.1.2. Статистические методы распознавания. Метод Байеса**

Главное преимущество статистических методов распознавания состояний – это возможность одновременного учета признаков различной физической природы, т.к. они описываются безразмерными величинами – вероятностями их проявления в различных состояниях рассматриваемой системы.

**Метод Байеса.** Пусть событие  $k_j$  связано с одним из событий (состояний)  $S_1, S_2, \dots, S_i$ , образующих полную группу несовместных событий.

Для определенности пусть  $k_j$  – признак, например, выполнение условия прочности железобетонных элементов по нормальным сечениям (выполняется или нет, т.е. «да» или «нет»). Принимается, что одно из состояний (событий) обязательно происходит, но любые другие события (состояния) одновременно невозможны. Это справедливо, потому что именно так и формулируется постановка задачи. Тогда, в соответствии с (4.1)

$$P(S_1) + P(S_2) + \dots + P(S_l) = 1.$$

Вероятность одновременного появления события  $S_i$  (состояния) и события  $k_j$  (признака) записывается, как показано выше (см. формулу 4.4).

На основании *опыта обследований (статистической информации)* вероятности диагнозов  $P(S_1), P(S_2), \dots, P(S_i)$  считаются известными. Кроме того, из статистики диагнозов известна частота встречаемости признака  $k_j$  в каждом состоянии  $S_i$ . Тогда вероятность одновременного появления события  $k_j$  и события  $S_i$  запишется в виде (4.5).

$$P(S_i k_j) = P(S_i) P(k_j / S_i) = P(k_j) P(S_i / k_j).$$

Из этой зависимости получена формула (метод, теорема) – это формула Томаса Байеса (опубликована после 1761 года, т.е. уже после его смерти) [14]. В самом простом виде и с учетом принятых выше обозначений ее можно записать так

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}. \quad (4.6)$$

Среди имеющихся методов технической диагностики этот метод занимает особое место. Конечно, он имеет недостатки: большой требующийся объем предварительной статистической информации, погрешности при распознавании редких диагнозов, необходимость доказательства устойчивости и информативности статистики и т. д. Вместе с тем, когда объем статистических данных набран, и он позволяет применить этот метод, то метод целесообразен, как один из наиболее надежных, эффективных и, главное, проверенных.

Как совершенно справедливо отмечено в [14], очень важно определить точный смысл всех входящих в указанную выше формулу (4.6) величин, особенно для строительных объектов.

1.  $P(S_i / k_j)$  – вероятность состояния  $S_i$  после того, как стало известно наличие у рассматриваемого объекта признака  $k_j$  (апостериорная вероятность состояния). В данном случае это и есть искомый результат.

2.  $P(S_i)$  – вероятность состояния  $S_i$ , определяемая по статистическим данным (так называемая априорная вероятность состояния). Так, если к моменту диагностирования предварительно обследовано  $N$  объектов и у  $N_i$  объектов оказалось состояние  $S_i$ , то

$$P(S_i) = \frac{N_i}{N}. \quad (4.7)$$

При определении  $P(S_i)$  предполагается, что система находится в одном и только в одном из нескольких  $n$  рассматриваемых состояний. В таком случае следует иметь в виду (4.1), т. е.

$$\sum_{i=1}^n P(S_i) = 1. \quad (4.8)$$

Применительно к зданиям и, например, к упомянутым выше пяти категориям их технического состояния, важно определить сколько же объектов нужно обследовать предварительно, причем так, чтобы результат с достаточной степенью точности можно было считать достоверным, т. е. чтобы выборка объектов из их генеральной совокупности (теоретически бесконечной) была бы вполне представительной (или, говорят, репрезентативной), позволяющей выполнить необходимую статистическую обработку.

3.  $P(k_j / S_i)$  – вероятность появления признака  $k_j$  у объектов с состоянием  $S_i$ . Если среди  $N_i$  объектов, имеющих состояние  $S_i$ , у части объектов  $N_{ij}$  проявился признак  $k_j$ , то тогда

$$P(k_j / S_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}. \quad (4.9)$$

4.  $P(k_j)$  – вероятность появления признака  $k_j$  у всех объектов независимо от состояния объекта. Пусть из общего числа  $N$  объектов признак  $k_j$  был обнаружен у  $N_j$  объектов. Тогда

$$P(k_j) = \frac{N_j}{N}. \quad (4.10)$$

В практических задачах диагностирование состояния зданий всегда проводится по комплексу признаков  $K$ , включающему множество признаков  $k_1, k_2, \dots, k_l$ . У каждого из них вполне может быть несколько  $m$  разрядов с конкретными численными значениями ( $k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{js}, \dots, k_{jm}$ ). В результате обследования устанавливается наличие у конструктивного элемента здания того или иного признака с соответствующим разрядом, т. е. говорят, что реализация у

системы данного признака  $k_j^*$  становится известной и считается известной реализация всего комплекса признаков  $K^*$ . Тогда справедливо равенство

$$k_j^* = k_{js}.$$

Здесь и далее индекс  $*$  означает конкретное значение (реализацию) признака.

В случае, когда обследование проводится по комплексу признаков, формула Байеса имеет вид

$$P(S_i / K^*) = P(S_i)P(K^* / S_i) / P(K^*), \quad (4.11)$$

где  $P(S_i / K^*)$  – вероятность диагноза  $S_i$  после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков  $K$ . Если комплекс признаков состоит из  $\nu$  признаков и эти признаки диагностически независимы, то

$$P(K^* / S_i) = P(k_1^* / S_i)P(k_2^* / S_i) \dots P(k_j^* / S_i). \quad (4.12)$$

В большинстве практических задач, особенно при большом количестве признаков, что (как будет показано далее) характерно для строительных объектов, можно принимать условие независимости признаков даже при наличии существенных корреляционных связей между ними [14].

Вероятность появления комплекса признаков  $K^*$

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s). \quad (4.13)$$

Удобнее пользоваться обобщенной формулой Байеса, которая может быть записана так

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}. \quad (4.14)$$

Следует отметить, что знаменатель формулы Байеса для всех состояний одинаков. Это позволяет сначала определить вероятности совместного появления  $i$ -го состояния и данной реализации комплекса признаков

$$P(S_i K^*) = P(S_i)P(K^* / S_i), \quad (4.15)$$

а затем апостериорную вероятность состояния

$$P(S_i / K^*) = P(S_i K^*) / \sum_{s=1}^n P(S_i K^*). \quad (4.16)$$

Главным документом при определении вероятностей состояний по методу Байеса является, так называемая, диагностическая матрица. Диагностическая матрица – это набор чисел, статистических данных о состояниях, полученных в ходе большого количества обследований рассматриваемых объектов, определенным образом упорядоченных и представленных в табличном виде, т. е. матрица формируется в виде таблицы вероятностей состояний, вероятностей признаков и их разрядов при различных состояниях. Таким образом, таблица строится на основе предварительного статистического материала, т. е. в нее включены априорные вероятности состояний и признаков. Вид таблиц и упорядочение данных предложен автором [119]. Вид, предлагаемый в литературных источниках [14, 19, 40, 80, 81 и др.], ненагляден и неудобен.

Подробный материал о формировании элементов диагностических матриц (вероятностей диагнозов, состав признаков и их вероятностей), анализ информативности и устойчивости диагностических матриц с приведением конкретных примеров для различных конструктивных элементов зданий, изложен в гл. 6. Классическая формулировка решающего правила диагностирования состояний на основе этого метода записывается следующим образом.

*В методе Байеса решающее правило, в соответствии с которым принимается решение о конкретном диагнозе, состоит в том, что объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к состоянию  $S_i$ , если апостериорная вероятность этого состояния  $S_i$  является наибольшей, т.е.*

$$K^* \in S_i, \text{ если } P(S_i / K^*) > P(S_j / K^*) \quad (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j). \quad (4.17)$$

Символ  $\in$ , применяемый в функциональном анализе, означает принадлежность множеству. Представленное выше условие указывает, что объект обладает данной реализацией комплекса признаков  $K^*$  или, короче, реализация  $K^*$  принадлежит состоянию (диагнозу)  $S_i$ . Правило (4.17) дополняется введением

понятия порогового значения для вероятности диагноза  $S_i$ , представляющего собой некий заранее выбранный и обоснованный уровень распознавания  $P_i$ , т. е.

$$P(S_i/K^*) \geq P_i. \quad (4.18)$$

В литературе [14] отмечено, что величину  $P_i$  предлагается принимать  $P_i \geq 0,9$ . Указано, что при условии

$$P(S_i/K^*) < P_i \quad (4.19)$$

решение о диагнозе не принимается (что означает отказ от распознавания) и требуется поступление дополнительной информации. В данной работе предложения о назначении пороговых значений для вероятностей диагноза  $S_i$  будут сделаны далее, в главе 6 (п. 6.6).

Как указывалось выше, методу Байеса присущ ряд недостатков, например, «угнетение» редких диагнозов. В практических расчетах целесообразно проведение диагностики и для случая равновероятных априорных состояний, положив

$$P(S_i) = 1 / n, \quad (4.20)$$

где  $n$  – число состояний.

Тогда наибольшим значением апостериорной вероятности будет обладать состояние  $S_i$ , для которого в данном случае максимальна вероятность  $P(K^*/S_i)$ , т. е.

$$K^* \in S_i, \text{ если } P(K^*/S_i) > P(K^*/S_j), (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j). \quad (4.21)$$

Другими словами, *решающее правило здесь состоит в том, что устанавливается диагноз  $S_i$ , если данная совокупность признаков чаще встречается именно при  $S_i$ , чем при других диагнозах.* Такое решающее правило соответствует известному *методу максимального правдоподобия*, который является частным случаем метода Байеса при одинаковых априорных вероятностях диагнозов. В этом методе «частые» и «редкие» диагнозы равноправны.

**Метод последовательного анализа.** В [14] отмечено, что этот метод является частным случаем метода Байеса и называется еще методом Вальда.

Метод применяется, как отмечено ранее, для дифференциальной диагностики, т. е. при распознавании только двух состояний исследуемого объекта (дихотомия). В данном исследовании метод Вальда использован далее в главе 6 (п. 6.3) для оценки устойчивости и информативности диагностических матриц. В этом методе при условии статистической независимости диагностических признаков составляется следующее соотношение

$$B < \frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} < A,$$

где  $j$  – количество рассматриваемых признаков,  $s$  – количество их разрядов. Если это условие выполняется в указанном виде, то решение о диагнозе не принимается; требуется либо поступление дополнительной информации, либо исключение малоинформативной статистики.

Если же в этом соотношении

$$\frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} > A,$$

то принимается решение об отнесении исследуемого объекта к диагнозу  $S_2$ .

А если окажется, что

$$\frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} < B,$$

то объект относится к диагнозу  $S_1$ . В этих выражениях  $A$  – верхняя граница принятия решения,  $B$  – нижняя граница принятия решения.

Как отмечено выше, при распознавании состояний по этому методу могут быть ошибки двоякого рода. Ошибка, относящаяся к диагнозу  $S_1$  (принимается решение о наличии диагноза  $S_2$ , когда в действительности объект принадлежит диагнозу  $S_1$ ), называется ошибкой первого рода. Ошибка, относящаяся к диагнозу  $S_2$  (принимается решение в пользу диагноза  $S_1$ , когда справедлив диагноз  $S_2$ ), называется ошибкой второго рода. Если состояние  $S_1$  считать исправным, а  $S_2$  – аварийным, то, очевидно, ошибка первого рода является «ложной тревогой», а ошибка второго рода «пропуском дефекта». Вероятности ошибок первого и

второго родов можно обозначить  $\alpha$  и  $\beta$ , соответственно. Тогда, если принимается решение в пользу  $S_2$ , то вероятность его справедливости равна  $1 - \beta$ , а вероятность принадлежности объекта к диагнозу  $S_1$  равна  $\alpha$ . Очевидно, также, что вероятность диагноза  $S_2$ , по крайней мере, в  $A$  раз больше, чем диагноза  $S_1$ , т. е.  $1 - \beta \geq A \cdot \alpha$ . Рассуждая подобным образом, можно получить и следующую оценку:  $1 - \alpha \geq B \cdot \beta$ . В [14] отмечено, что в практических расчетах принимается  $\alpha = \beta = 0,05$  и граничные значения, равные:  $A = 19, B = 0,053$  или  $\alpha = \beta = 0,1$  и границы, равные:  $A = 9, B = 0,11$ . Ниже, в главе 6 (п. 6.3) при рассмотрении примера расчета эти величины приняты следующими:  $\alpha = \beta = 0,1; A = 9, B = 0,11$ . Пример применения метода Вальда при диагностировании конструктивных элементов перекрытий представлен в главе 6 (п. 6.3).

#### **4.1.3. Методы статистических решений**

Методы статистических решений возникли в математической статистике как методы проверки статистических гипотез (работы Неймана и Пирсона [14]) и нашли широкое применение в радиолокации, радиотехнике, общей теории связи и других областях техники. Они также относятся к статистическим методам, рассмотренным выше, однако отличаются от них правилами принятия решения. В методах статистических решений решающее правило (правило принятия решения) выбирается, исходя из некоторых условий оптимальности, например, из условия минимума риска [11, 14, 45].

Ниже приводится пример, в основе которого рассматривается только один диагностический параметр, т. е. один двухразрядный признак (диагностируется «да» или «нет»). Пусть, например, производится диагностика состояний конструкций монолитного железобетонного перекрытия здания по прогибу  $V$  (признаку  $V$ ) составляющих его элементов – главных или второстепенных балок. Задача состоит в выборе значения  $V_0$  этого признака таким образом, что при  $V > V_0$  следует принимать решение о необходимости проведения мероприятий по усилению балки, чтобы не допустить аварийной ситуации и прекращения

эксплуатации перекрытия в целом. В случае  $V < V_0$  можно считать состояние удовлетворительным, обеспечивающим возможность дальнейшей нормальной эксплуатации балок и перекрытия в целом.

Так как состояние системы (перекрытия) характеризуется одним параметром, то говорят, что эта система имеет одномерное пространство признаков. Разделение осуществляется на два состояния, т. е. задача решается в рамках понятий, как отмечалось выше, дифференциальной диагностики или дихотомии. Принимается, что  $S_1$  и  $S_2$  – удовлетворительное и неудовлетворительное состояния перекрытия по рассматриваемому признаку  $V$ , соответственно. Тогда указанное правило состоит в следующем

$$\text{при } V < V_0 \quad V \in S_1; \quad \text{при } V > V_0 \quad V \in S_2. \quad (4.22)$$

Прогиб элементов перекрытия  $V$  неоднозначно характеризует состояние конструкции в целом, так как играют роль многие другие факторы: особенности работы элементов перекрытия (балок, плитных участков), состояние этих элементов (фактическая прочность бетона, состояние арматуры, трещинообразование конструкций, поверхностные повреждения, степень коррозии бетона и т. д.). В зависимости от этих факторов распределение вероятностей признака  $V$  для удовлетворительного и неудовлетворительного состояний перекрытия может, например, иметь вид, представленный на рисунке 4.1. Как видно, области исправного  $S_1$  и аварийного  $S_2$  состояний конструкции пересекаются, поэтому принципиально невозможно выбрать значение  $V_0$ , при котором правило (4.18) не давало бы ошибочных решений.

Задача состоит в том, чтобы выбор  $V_0$  был в некотором смысле оптимальным.

Здесь так же, как и в методе Вальда, при принятии решения рассматриваются следующие возможные ошибки:

– *ложная тревога*, как случай, при котором принимается решение об аварийном состоянии объекта, хотя в действительности он находится в исправном состоянии (вместо  $S_1$  принимается  $S_2$ );

– пропуск дефекта рассматривается как случай принятия решения об исправном состоянии, тогда как объект находится в аварийном состоянии (вместо  $S_2$  принимается  $S_1$ ).

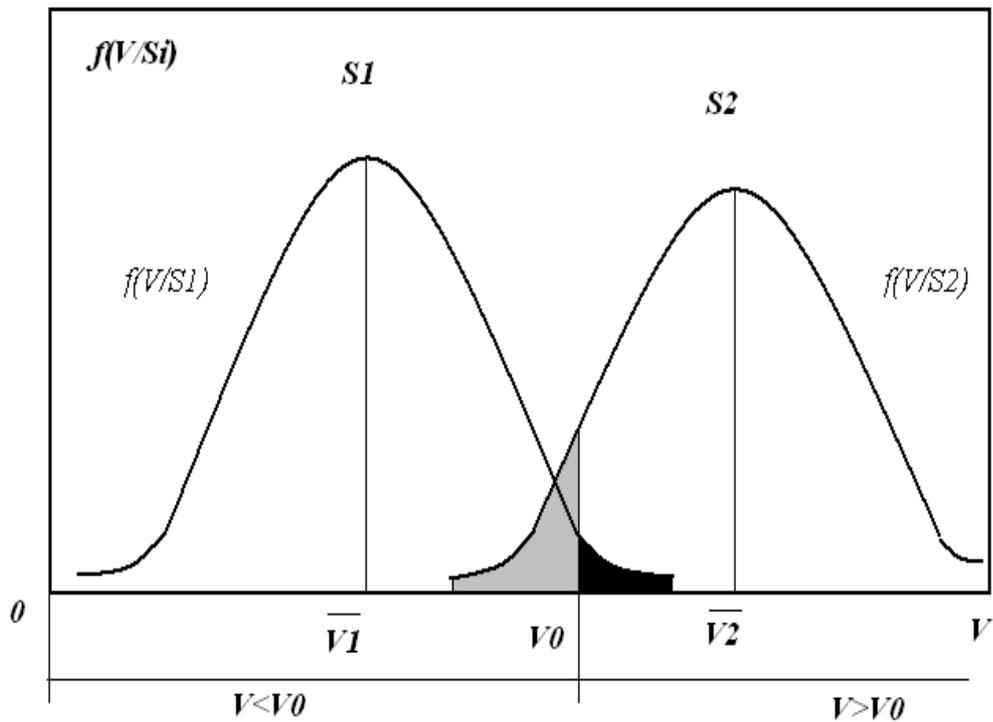


Рисунок 4.1 – Статистические распределения плотности вероятностей диагностического параметра  $V$  для удовлетворительного  $S_1$  и неудовлетворительного  $S_2$  состояний

Пусть  $f(V/S_1)$  – плотность вероятности диагностического параметра  $V$  для состояния  $S_1$ , а  $f(V/S_2)$  – плотность вероятности диагностического параметра  $V$  для состояния  $S_2$ . Тогда вероятность ложной тревоги  $P_{21}$  равна вероятности произведения двух событий: наличие состояния  $S_1$  и значения  $V < V_0$

$$P_{21} = P(S_1)P(V > V_0 / S_1) = P(S_1) \int_{V_0}^{+\infty} f(V/S_1)dV, \quad (4.23)$$

где  $P(S_1)$  – априорная вероятность диагноза  $S_1$  (считается известной на основании предварительных статистических или расчетных данных).

Подобным образом находится вероятность пропуска дефекта

$$P_{12} = P(S_2)P(V < V_0 / S_2) = P(S_2) \int_{-\infty}^{V_0} f(V / S_2) dV, \quad (4.24)$$

где  $P(S_2)$  – априорная вероятность диагноза  $S_2$ .

Вероятность принятия ошибочного решения складывается из суммы вероятностей ложной тревоги и пропуска дефекта (должно произойти либо одно, либо другое события, либо оба вместе). Если этим ошибкам приписать «цены» ( $C_{21}$  и  $C_{12}$ , соответственно), то выражение для среднего риска  $Ri$  принимает вид

$$Ri = C_{21}P(S_1) \int_{V_0}^{+\infty} f(V / S_1) dV + C_{12}P(S_2) \int_{-\infty}^{V_0} f(V / S_2) dV. \quad (4.25)$$

Следует отметить, что выражение (4.25) записано по аналогии с записью в [11] и по виду несколько отличается от записи в [14], где это выражение представлено в самом общем виде. Исключены слагаемые с множителями  $C_{11}$  и  $C_{22}$ , обозначающие условные ценовые параметры правильных решений.

Величина  $V$ , предъявляемая для распознавания, является случайной и поэтому равенство (4.25) представляет собой среднее значение (математическое ожидание) риска.

**Метод минимального среднего риска** [14]. Находится граничное значение  $V_0$  в правиле (4.22) из условия минимума среднего риска. После дифференцирования (4.25) по  $V_0$  и приравнивания производной нулю получено условие экстремума в виде

$$\frac{f(V_0 / S_1)}{f(V_0 / S_2)} = \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)}. \quad (4.26)$$

Это условие часто определяет два значения  $V_0$ , одно из которых соответствует минимуму, второе – максимуму риска. Соотношение (4.26) является необходимым, но не достаточным условием минимума. Для существования минимума риска  $Ri$  в точке  $V = V_0$  вторая производная функции риска по  $V_0$  должна быть положительной, что приводит к следующему условию

$$\frac{f'(V_0/S_1)}{f'(V_0/S_2)} < \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)}. \quad (4.27)$$

Если распределения  $f(V/S_1)$  и  $f(V/S_2)$  являются, как обычно, одномодальными (т.е. содержат не более одной точки экстремума), то при  $\bar{V}_1 < V_0 < \bar{V}_2$  (здесь  $\bar{V}_1$  и  $\bar{V}_2$  – математические ожидания параметра  $V$  для состояний  $S_1$  и  $S_2$ , соответственно) условие (4.27) всегда выполняется. Действительно, в правой части неравенства стоит всегда положительная величина, а при  $V > \bar{V}_1$  производная  $f'(V/S_1) < 0$ , тогда как при  $V < \bar{V}_1$  значение  $f'(V/S_2) > 0$ , т. е. левая часть неравенства (4.27) всегда отрицательна.

Для «двугорбых» распределений условие (4.27) должно проверяться в каждой точке экстремума [14].

В рассматриваемом случае, далее, под  $V_0$  понимается граничное значение диагностического признака, обеспечивающее по правилу (4.22) минимум среднего риска. При этом распределения  $f(V/S_1)$  и  $f(V/S_2)$  однозначно принимаются одномодальными (что вполне справедливо для вероятностных распределений деформационных характеристик элементов железобетонных конструкций).

Тогда в соответствии с правилом (4.22) и соотношением (4.26) по методу минимального риска принимается следующее решение о состоянии объекта, имеющего данное значение параметра  $V$ :

$$V \in S_1, \quad \text{если} \quad \frac{f(V_0/S_1)}{f(V_0/S_2)} > \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)}, \quad (4.28)$$

$$V \in S_2, \quad \text{если} \quad \frac{f(V_0/S_1)}{f(V_0/S_2)} < \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)}. \quad (4.29)$$

Условие (4.28) соответствует  $V < V_0$ , а условие (4.29) соответствует  $V > V_0$ .

Тогда важно отметить, что величина

$$\lambda = \frac{C_{12}P(S_2)}{C_{21}P(S_1)} \quad (4.30)$$

представляет собой *пороговое значение* для отношения правдоподобия (4.26). Существенно, что правило решения (4.22) выражается теперь с помощью

отношения правдоподобия и для принятия решения даже не требуется определение критического значения признака  $V_0$ . Следует напомнить [11, 14], что *отношением правдоподобия* называется отношение плотностей вероятностей тогда, когда диагностируются только два состояния. В этом случае существенно, что правило решения (4.22) вполне может выражаться с помощью отношения правдоподобия, и для принятия окончательного решения не требуется определение критического значения признака  $V_0$ .

Величина  $\lambda$  положена далее в основу формулирования понятия порогового значения для принятия решения о назначении одного из *пяти* рассматриваемых в главе 6 (п. 6.6) состояний диагностирования [119].

Часто оказывается удобным рассматривать не отношение правдоподобия, а логарифм этого отношения. Это не изменяет результата, так как логарифмическая функция возрастает монотонно вместе со своим аргументом. Расчет для нормального и некоторых других распределений при использовании логарифма отношения правдоподобия оказывается несколько проще [14].

**Метод минимальной вероятности ошибочного решения** [14] является частным случаем метода минимального среднего риска, если стоимости ошибок одинаковы.

В задачах надежности и оценки риска рассматриваемый метод часто дает «неосторожные решения», так как последствия ошибочных решений существенно различаются между собой. Обычно цена пропуска дефекта существенно выше цены ложной тревоги. Если указанные стоимости приблизительно одинаковы (для дефектов с ограниченными последствиями и т.п.), то применение метода вполне оправдано.

Рассмотренные методы используются в случаях, когда известна априорная информация о вероятности диагнозов  $S_1$  и  $S_2$ , а также о стоимости ошибок  $C_{21}$  и  $C_{12}$ . Для строительных конструкций сбор и обработка соответствующей статистической информации возможны, но требуют проведения большого

количества обследований. В случае их отсутствия или недостаточности могут быть при необходимости использованы другие методы статистических решений.

**Метод минимакса** [14] применяется для ситуации, когда отсутствуют предварительные статистические сведения (априорная информация) о вероятности диагнозов  $S_1$  и  $S_2$ . Правило состоит в том, что рассматривается «наихудший случай», т.е. наименее благоприятные значения  $P(S_1)$  и  $P(S_2)$ , приводящие к наибольшему значению (максимуму) риска.

**Метод Неймана – Пирсона** [14] характерен тем, что оценки стоимости ошибок часто неизвестны и их достоверное определение связано с большими трудностями. Вместе с тем ясно, что во всех случаях желательно при определенном (допустимом) уровне одной из ошибок минимизировать значение другой. Здесь центр проблемы переносится на обоснованный выбор допустимого уровня ошибок с помощью предыдущего опыта или интуитивных соображений. По методу Неймана – Пирсона минимизируется вероятность пропуска дефекта при заданном допустимом уровне вероятности ложной тревоги.

**Метод максимума правдоподобия** [14] целесообразно использовать при малом объеме данных наблюдений и отсутствии априорной информации об оцениваемых величинах, что может быть характерно для многих конструктивных элементов зданий. Если наблюдаемая величина имеет нормальный закон распределения, то метод максимума правдоподобия совпадает с методом наименьших квадратов.

Для начальных этапов распознавания во многих задачах диагностики целесообразно использовать логические методы, основанные на установлении логических связей между признаками и состояниями объектов. К числу логических методов распознавания могут быть отнесены теории графов, лингвистические и некоторые другие методы [14].

Таким образом, из всех имеющихся в технической диагностике статистических методов только метод Байеса позволяет поставить и решить задачи распознавания состояний, основываясь на рассмотрении нескольких

состояний, количество которых, как отмечено выше (глава 1, п. 1.3.2), для рассматриваемых зданий рекомендуется принимать не менее *пяти*.

#### 4.2. Методы теории информации

В литературных источниках [14, 118, 154, 157, 163] отмечается, что теория информации возникла как математическая теория связи и, далее, получила применение в разных областях науки как общая теория связи статистических систем. В технической диагностике такими системами являются система состояний  $S_i$  (диагнозов) и связанная с ней система диагностических признаков  $K^*$ . Центральное место в теории информации занимает понятие *энтропии* (информационной энтропии) системы. Энтропия в теории информации характеризует степень неопределенности состояний системы.

Пусть рассматривается элемент технической системы  $G$  (например, главная балка монолитного железобетонного перекрытия), который по совокупности признаков  $K^*$  может иметь несколько случайных состояний  $S_i$  с апостериорными вероятностями  $P(S_i/K^*)$ . Если одно из его состояний обязательно реализуется, а два состояния одновременно невозможны, то, как было отмечено выше, сумма вероятностей состояний равна единице (формулы 4.1 и 4.8)

$$\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) = 1.$$

Именно таким является рассматриваемый элемент системы  $G$ , и именно такие системы в рамках теории информации рассматриваются далее.

В теории информации энтропия системы, имеющей  $n$  возможных состояний с вероятностями  $P(S_1/K^*)$ ,  $P(S_2/K^*)$ , ...,  $P(S_n/K^*)$  определяется зависимостью

$$H(G) = \sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) \log \frac{1}{P(S_i / K^*)} = - \sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) \log P(S_i / K^*). \quad (4.31)$$

В данной работе здесь и далее при проведении энтропийного диагностического анализа принят, как видно, десятичный логарифм.

Из литературных источников [14, 157] известно, что при выполнении некоторых достаточно общих требований (непрерывности, неубывания энтропии

при возрастании числа состояний, аддитивности) указанное определение энтропии является единственным. Так как вероятности состояний любой системы  $0 \leq P(S_i/K^*) \leq 1$ , то энтропия представляет собой существенно положительную величину.

Для рассматриваемого элемента системы  $G$ , имеющего  $n$  состояний при условии их равновероятности, энтропия определится формулой

$$H(G) = -\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) \log P(S_i / K^*) = n \frac{1}{n} \log n = \log n. \quad (4.32)$$

Как видно, энтропия системы с одинаковыми вероятностями состояний равна логарифму числа состояний. Очевидно, что с увеличением числа состояний энтропия возрастает, но гораздо медленнее, чем число состояний. В таком случае важное свойство энтропии состоит в следующем: если система имеет несколько состояний, то энтропия будет максимальной в том случае, когда все состояния равновероятны. В [14] приводится доказательство этому, из которого вытекает важная оценка энтропии произвольной системы

$$H(G)_{\max} \leq \log n, \quad (4.33)$$

где  $n$  – число возможных состояний системы.

Например, при количестве состояний  $n = 5$  значение  $H(G)_{\max} = \log 5 \approx 0,700$ . Чем ближе энтропия элемента системы к этому значению, тем больше неопределенность при распознавании его состояний. Чем она дальше, т. е. ближе к нулю, тем неопределенность ниже, а значит выше определенность.

Если система состоит из  $k$  элементов, каждый из которых имеет  $n$  состояний, то максимально возможная энтропия такой системы определится в зависимости от общего числа ее возможных состояний  $N$ . Если каждый элемент может иметь  $n$  состояний и состояния одного элемента произвольно сочетаются с состояниями других, то в общем случае при  $k$  элементах число состояний получится равным  $N = n^k$ . Тогда максимально возможная энтропия [Б]

$$H_{\max} = \log N = k \log n. \quad (4.34)$$

Например, при  $n = 5$  (состояния) и  $k = 2$  (элементы) значение  $H_{\max} = 2 \log 5 \approx 1,400$ .

Далее, после вычисления  $H(G)$  и  $H(G)_{\max}$  вводится понятие степени определенности рассматриваемого элемента системы в соответствии с зависимостью

$$V(G) = H(G)_{\max} - H(G). \quad (4.35)$$

По терминологии, принятой в теории информации [157], величину  $V(G)$  называют «остаточной энтропией» или количеством внесенной информации. В дальнейшем исследовании величина  $V(G)$  участвует в процедуре построения решения по диагностированию состояний конструктивных элементов, групп элементов и подсистем здания, выполняя передаточные функции информационного вклада технического состояния элементов в техническое состояние системы.

Использование полученных параметров в дальнейшем вероятностном анализе рассмотрено на примере расчета энтропии более сложной конструктивной системы, состоящей теперь из двух элементов перекрытия (группы из двух конструктивных элементов) – главных балок  $G_1$  и  $G_2$  [119].

Требуется определить энтропию для некоторой объединенной группы элементов  $G = G_1 G_2$ , которая определяется сочетанием состояний отдельных (далее названных базисными, глава 7, п. 7.1) элементов  $G_1$  и  $G_2$ .

Энтропия элемента  $G_1$ , имеющего  $n$  возможных состояний с вероятностями  $P(G_{1k}/K^*)$ ,  $P(G_{2k}/K^*)$ , ...,  $P(G_{nk}/K^*)$  определяется зависимостью, аналогичной зависимости (4.31)

$$H(G_1) = \sum_{i=1}^n P(G_{ik} / K^*) \log \frac{1}{P(G_{ik} / K^*)} = - \sum_{i=1}^n P(G_{ik} / K^*) \log P(G_{ik} / K^*). \quad (4.36)$$

Степень определенности

$$V(G_1) = H(G)_{\max} - H(G_1). \quad (4.37)$$

Энтропия элемента  $G_2$ , имеющего  $n$  возможных состояний с вероятностями  $P(G_{1k}/K^*)$ ,  $P(G_{2k}/K^*)$ , ...,  $P(G_{nk}/K^*)$  также определяется зависимостью, аналогичной зависимости (4.31)

$$H(G_2) = \sum_{j=1}^n P(G_{jk} / K^*) \log \frac{1}{P(G_{jk} / K^*)} = - \sum_{j=1}^n P(G_{jk} / K^*) \log P(G_{jk} / K^*). \quad (4.38)$$

Степень определенности

$$V(G_2) = H(G)_{\max} - H(G_2). \quad (4.39)$$

На начальном этапе анализа принято, что реализация одного из состояний балки  $G_1$  не влияет на вероятность возможного состояния балки  $G_2$ , т. е. рассматриваемые элементы можно считать *статистически независимыми*. При этом состояния обоих балок, рассматриваемые как случайные события, могут быть зафиксированы одновременно, т. е. эти события совместны. Таким образом, на начальном этапе диагностирования, следуя понятиям теории вероятностей, предлагается иметь дело с событиями совместными, но независимыми.

Основываясь на данных литературных источников [14, 157], выражение для вычисления энтропии рассматриваемой объединенной группы  $G_1G_2$  в общем виде можно записать следующим образом

$$H(G_1G_2) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(G_{1i}G_{2j}) \log P(G_{1i}G_{2j}). \quad (4.40)$$

Так как элементы независимы, то

$$P(G_{1i}G_{2j}) = P(G_{1i})P(G_{2j}). \quad (4.41)$$

С учетом равенства (4.41) выражение (4.40) примет вид

$$\begin{aligned} H(G_1G_2) &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(G_{1i})P(G_{2j}) \log P(G_{1i})P(G_{2j}) = \\ &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(G_{1i})P(G_{2j}) [\log P(G_{1i}) + \log(P(G_{2j}))] = \\ &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [P(G_{1i})P(G_{2j}) \log P(G_{1i}) + P(G_{1i})(P(G_{2j}) \log P(G_{2j}))]. \end{aligned} \quad (4.42)$$

Первое слагаемое в квадратных скобках представляет собой следующую сумму

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(G_{1i})P(G_{2j})\log P(G_{1i}) &= P(G_{11})\log P(G_{11})\sum_{j=1}^m P(G_{2j}) + \\ &+ P(G_{12})\log P(G_{12})\sum_{j=1}^m P(G_{2j}) + \dots \end{aligned} \quad (4.44)$$

Так как состояние каждого из элементов, как случайных несовместных событий, представляют собой полную группу, то

$$\sum_{i=1}^n P(G_{1i}) = 1; \sum_{j=1}^m P(G_{2j}) = 1. \quad (4.45)$$

Тогда сумма (4.44) с учетом (4.45) примет вид

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(G_{1i})P(G_{2j})\log P(G_{1i}) = \sum_{i=1}^n P(G_{1i})\log P(G_{1i}).$$

Если для второй суммы в формуле (4.42) выполнить аналогичные преобразования, то формула запишется так

$$H(G_1G_2) = -\left[\sum_{i=1}^n P(G_{1i})\log P(G_{1i}) + \sum_{j=1}^m P(G_{2j})\log P(G_{2j})\right] \quad (4.46)$$

или окончательно

$$H(G_1G_2) = H(G_1) + H(G_2). \quad (4.47)$$

Таким образом, энтропия более сложной группы, объединяющей два статистически независимых элемента, как видно, равна сумме энтропий этих элементов. Так как энтропия любой объединенной системы – величина всегда положительная (или равна 0), то при объединении элементов энтропия только возрастает (или остается прежней).

Как показано выше, если группа состоит из  $k$  элементов, каждый из которых имеет  $n$  состояний, то максимально возможная энтропия такой группы определяется зависимостью

$$H(G_1G_2)_{\max} = k \log n$$

Анализируя выражения (4.46) и (4.47), в данном случае можно показать, что

$$[k \log n - H(G_1 G_2)] = [\log n - H(G_1)] + [\log n - H(G_2)]$$

или

$$[H(G_1 G_2)_{\max} - H(G_1 G_2)] = [H(G)_{\max} - H(G_1)] + [H(G)_{\max} - H(G_2)]$$

или

$$V(G_1 G_2) = V(G_1) + V(G_2). \quad (4.48)$$

Как видно, выражение (4.48) имеет вид, аналогичный (4.47), т. е. степень определенности группы, объединяющей два статистически независимых элемента, как видно, равна сумме степеней определенности этих элементов.

Выводы по главе 4.

1. Дано определение технической диагностике, как области знаний, включающей также и теоретические вопросы, связанные с распознаванием состояний сложных технических систем.

2. Приведен обзор литературных источников, свидетельствующий о глубоких исторических корнях работ по испытаниям различных материалов и конструкций, представляющих собой часть обследовательской деятельности в современном ее понимании. Отмечено, что комплексный подход к работам по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в полном, широком понимании этой деятельности, сформировался недавно.

3. Подчеркнуто, что для такого практического и весьма специфического рода деятельности конкретные и четкие рекомендации по принятию обоснованных решений о фактическом техническом состоянии находящегося в длительной эксплуатации строительного объекта, закрепленные в имеющихся нормативных документах, разработаны недостаточно четко. Стоит отметить, что сказанное особенно актуально для специфики условий старой городской застройки архитектурно-исторических ансамблей городов России, в частности для исторического центра г. Санкт-Петербурга. Ведь именно здания старой городской застройки, их строительная часть, в первую очередь нуждаются в проведении

регулярных обследований технического состояния и четкой организации этих работ.

4. Рассмотрены и проанализированы появившиеся в последние годы нормативные документы федерального уровня, регламентирующие обследовательскую деятельность в настоящее время. Отмечены, вместе с тем, имеющиеся в этой литературе разночтения, привносящие в реальную практику сложности при принятии конкретных решений.

5. Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния и износа конструктивных элементов и здания в целом, а также для приведения в современный и согласованный вид существующую в обследовательской деятельности нормативную литературу, в данной работе впервые предлагается использовать теоретический (математический) аппарат технической диагностики, основанный на методах теории вероятностей с включением в процедуру диагностирования элементов теории информации.

6. Применительно к строительным системам сформулирована постановка задачи при использовании вероятностных методов распознавания технической диагностики и построено решающее правило по назначению соответствующего диагноза.

7. Введены основные соотношения теории вероятностей, применительно к задачам диагностирования состояний строительных систем. Показано, что для диагностирования наиболее распространенными являются статистические методы, основанные на формуле Байеса. Разработана методика применения байесовской процедуры для диагностики состояний элементов строительных систем. Принято решающее правило диагностирования в методе Байеса, которое состоит в том, что объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к состоянию  $S_i$ , если вычисленная апостериорная вероятность этого состояния  $S_i$  является наибольшей.

8. Для строительных конструкций рассматриваемых зданий разработана процедура построения решения на основе методов статистических решений.

Получены соотношения, которые в дальнейшем вероятностном анализе используются для обоснования назначения пороговых вероятностных параметров.

9. В процедуру принятия решений о назначении диагноза для строительных конструкций введены необходимые положения теории информации, основным из которых является понятие энтропии системы. На этой основе введены также понятия максимальной энтропии, остаточной энтропии, как степени определенности (количество внесенной информации), а также вероятности степени определенности. Показано, что для статистически независимых систем, состоящих из нескольких элементов, энтропия системы равна сумме энтропий этих элементов. Доказано, что то же самое относится и к остаточной энтропии.

## ГЛАВА 5

### ФОРМУЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

#### 5.1. Категории технического состояния

Для оценки технического состояния строительных объектов в настоящее время руководствуются достаточно обширным списком нормативных документов, рекомендаций и пособий [9, 10, 20, 28, 29, 30, 47, 50, 59, 64, 67, 77, 82, 90, 94, 96, 97, 108, 130, 131, 132, 143, 144, 147]. В предыдущей главе (п. 4.2) уже отмечено, что в этих литературных источниках категории технического состояния строительных объектов сформулированы по-разному. Действительно, если проанализировать многие имеющиеся на сегодняшний день материалы и документы, то к их недостаткам в части формулирования состояний можно отнести отсутствие единого подхода при назначении терминологических определений, связанных как с формулировками для состояний (диагнозов), так и с их количеством. То есть, так называемая, «шкала» состояний разработана недостаточно четко. В связи с этим, важным фактором для достоверной и окончательной оценки технического состояния является разработка единых требований к формулированию категорий состояний для всех конструктивных элементов и здания в целом. Более того, анализируя указанные выше литературные источники, видно, что при одинаковом названии категорий, одинаковом их количестве и одинаковом месте в «шкале» состояний, приводятся разные их определения. Кроме того, критерии оценки технического состояния слабо отражают общую методологию расчета строительных конструкций на основе метода предельных состояний, а в некоторых случаях вообще не соответствуют ему [50]. Учитывая обязательность проведения поверочных расчетов при детальном обследовании по действующим нормам проектирования, основанным на ГОСТ Р 54257-2010 [30], очевидно, что и оценка технического состояния должна проводиться с учетом требований этого документа. В таблице 5.1 представлен материал, связанный с имеющимся на сегодняшний день толкованием понятия «категория технического состояния», введенного тем или

иным источником. Как видно из таблицы 5.1, «шкала» меняется в пределах от трех (короткая) до шести (длинная) состояний. Достаточно подробно категории технического состояния изложены в пособиях, например, для железобетонных, каменных и стальных конструкций – в пособии АО «ЦНИИпромзданий [77], для всех конструкций в пособии [94], а также в пособии [9] для каменных и железобетонных конструкций. В нормативных же документах, указанных выше, формулировки носят довольно общий характер, как в части определений, так и в части необходимых мероприятий по степени вмешательства в конструктивную систему для приведения ее элементов в исправное состояние. Следует заметить, что в нормативных документах категории технического состояния для деревянных конструкций отсутствуют вообще. Упомянуты они только в двух документах – учебном пособии [96] и в рекомендациях [94].

Таблица 5.1 – Сравнение применяемых и предлагаемых к использованию категорий технического состояния строительных объектов в различных литературных источниках

№№ п/п	Категории (системы оценок) технического состояния по:	Категории (оценки)		Примечания
		Кол-во	Название	
1	2	3	4	5
1	<b>СП 13-102-2003</b> [131]	<b>5</b>	1. Исправное 2. Работоспособное 3. Ограниченно работоспособное 4. Недопустимое 5. Аварийное	Предложено для всех конструкций
2	<b>ГОСТ Р 53778</b> [29], <b>ГОСТ 31937</b> [28]	<b>4</b>	1. Исправное 2. Работоспособное 3. Ограниченно работоспособное 4. Аварийное	Предложено для всех конструкций

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
3	<b>ТСН 50-302-2004</b> Санкт-Петербург [144]	<b>3</b>	1. Индекс категории - I 2. Индекс категории - II 3. Индекс категории - III (Аварийная)	Относятся к зданиям и сооружениям с различными конструктивными схемами
4	<b>РД 22-01.97</b> [90]	<b>3</b>	1. Работоспособное 2. Ограниченно работоспособное 3. Неработоспособное (аварийное)	Требования к проведению оценки безопасности (промбезопасность)
5	<b>СП 16.13330.2011</b> [132]	<b>4</b>	1. Исправное 2. Работоспособное 3. Ограниченно работоспособное 4. Аварийное	Только для стальных конструкций
6	<b>СП 22.13330.2011</b> [130]	<b>4</b>	1. (I) Нормальное 2. (II) Удовлетворительное 3. (III) Неудовлетворительное 4. (IV) Предаварийное или аварийное	Представлены в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» как категории для сооружений
7	<b>Пособие</b> [77]	<b>4</b>	1. (I) Нормальное 2. (II) Удовлетворительное 3. (III) Неудовлетворительн. 4. (IV) Предаварийное или аварийное	Рассмотрены железобетонные, каменные и стальные конструкции
8	<b>Пособие</b> [9]	<b>4</b>	1. Нормальное 2. Удовлетворительное 3. Неудовлетворительное 4. Предаварийное или аварийное	Четыре категории определены для каменных конструкции
9	<b>Пособие</b> [64]	<b>3</b>	1. Безопасное ( $R < R_{nd} < R_n$ ) 2. Аварийное ( $R_{nd} < R < R_n$ ) 3. Ветхо-аварийное ( $R > R_n > R_{nd}$ )	$R = 2$ – среднее значение риска аварии по $R_{nd} = 19$ – предельно допустимый риск аварии $R_n = 83$ – предельный риск аварии

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
10	<b>Пособие</b> [96]	<b>5</b>	1. Исправное 2. Работоспособное 3. Ограниченно работоспособное 4. Недопустимое 5. Аварийное	Предложено для всех конструкций
11	<b>Статья</b> [50]	<b>4</b>	1. Работоспособное 2. Ограниченно работоспособное 3. Недопустимое 4. Неработоспособное	Введены дополнительно категории «А» и «Б» для всех конструкций
12	<b>Рекомендации</b> [94]	<b>5</b>	1. Нормальное 2. Удовлетворительное 3. Не совсем удовлетворительное 4. Неудовлетворительное 5. Аварийное	Предложено для всех конструкций
13	<b>МДС 13-20.2004</b> [59]	<b>5</b>	1. Исправное 2. Работоспособное 3. Ограниченно работоспособное 4. Недопустимое 5. Аварийное	Предложено для всех конструкций
14	<b>Основы оценки недвижимости</b> Конспект лекций [10]	<b>6</b>	1. Хорошее 2. Вполне удовлетворительное 3. Удовлетворительное 4. Не вполне удовлетворительное 5. Неудовлетворительное 6. Ветхое	Для междуэтажных перекрытий и деревянных стен старых зданий
15	<b>Основы оценки недвижимости</b> Конспект лекций [10]	<b>7</b>	1. Хорошее 2. Вполне удовлетворительное 3. Удовлетворительное 4. Не вполне удовлетворительное 5. Неудовлетворительное 6. Ветхое 7. Негодное	Для фундаментов, кирпичных стен, лестниц, перегородок и крыш старых зданий

На фоне многочисленных разночтений в формулировании состояний и определении их количества, которые имеют место в различных источниках, отмеченные обстоятельства четкости при принятии конкретных решений в реальной практической деятельности не добавляют.

Выше в п. 4.2 отмечено, что с 01 января 2011 принят важный документ федерального уровня – Национальный стандарт ГОСТ Р 53778-2010 [29]. Документ вводится впервые и, судя по ссылкам, не отменяет СП 13–102–2003 [131], а существенно его дополняет. Однако, при этом, в нем имеется принципиальное отличие – состояние зданий и сооружений предлагается теперь оценивать на основе рассмотрения *четырёх* категорий. Из прежних *пяти* исключена *четвертая* категория, причем ее исключение выглядит несколько искусственно. При назначении категории по результатам обследования реальных объектов в соответствии с этим ГОСТом [29], исключение этой категории приводит к заметному разрыву между третьим и четвертым состояниями и, как следствие, к затруднениям при выработке рекомендаций по определению степени и глубины инженерного вмешательства в строительную систему.

Нисколько не умаляя значимость рассмотренных документов и, несмотря на недавний выход многих из них, нельзя не отметить, что в части формулирования состояний строительной системы они уже нуждаются в уточнении и совершенствовании. По существу их основные недостатки можно сформулировать следующим образом.

1. Видно, что введенные в СП 13–102–2003 [131] *пять* категорий технического состояния и по названиям, и по определениям взяты из накопленного опыта диагностики состояния бетонных и железобетонных конструкций [9], для которых многие диагностические признаки более-менее сформулированы. Требуется значительной доработки возможность применения такого же распределения категорий при оценке технического состояния и каменных, и металлических, и деревянных конструкций и, далее, возможность их использования для здания в целом.

2. Присвоение той или иной категории и по [29], и по [131], носит достаточно субъективный характер. Субъективизм снижается и, может быть, даже сводится к минимуму, если назначению категории предшествует накопленный опыт и имеющиеся статистические данные при оценке технического состояния многочисленных зданий подобного типа, т. е. опыт экспертов. Эксперты используют накопленную статистику, главным образом, только в виде имеющейся на момент обследования информации о многократном подтверждении правильности сделанных ранее оценок и правильности принятых проектных решений по устранению повреждений и, что самое главное, в виде примеров их успешной реализации. То есть при назначении категорий технического состояния экспертами, так или иначе, принимаются волевые решения. Нет методик статистической обработки накопленной информации, нет рекомендаций, какую информацию следует статистически обрабатывать, а, значит, нет каких-либо конкретных количественных критериев отнесения здания к той или иной категории состояния. Кроме того, очевидно также, что субъективизм снижается в случае, если распознавание состояний осуществляется на основе более длинной «шкалы» диагностирования.

Отдельно следует обратить внимание на документы [143] и [144], уже упомянутые выше в п. 4.2 и в таблице 5.1. Справедливо отмечено, что в реальной практической деятельности возможно только их совместное, каким-то образом дозированное, существование. Если анализ всех подробностей такого «сосуществования» опустить, то в рамках рассматриваемой диагностической проблемы основные недостатки обоих документов можно сформулировать следующим образом.

1. И в том, и в другом документах также введены понятия категорий технического состояния зданий с различными конструктивными схемами. Но их всего три – первая, вторая и третья, и обозначены они римскими цифрами I, II и III. Признаки отнесения здания к той или иной категории в этих документах весьма немногочисленны и ограничены, т. е. критерии сформулированы недостаточно четко. Таким образом, при назначении категорий по этим

документам субъективизм проявляется в еще большей степени, чем по [29, 131]. Более того, нет никакой связи между категориями по [29, 131] и по [143, 144].

2. Вместе с тем, назначению категорий по [143, 144] в Санкт-Петербурге придана большая практическая значимость. В соответствии с этими документами назначенная категория для обследуемого здания определяет вполне конкретные численные значения предельно допустимых дополнительных деформаций (осадок, перекосов и кренов), которые могут появиться при ведении любых работ как в самом здании при его реконструкции, так и вблизи него. Но эти данные, к сожалению, никак не увязаны с категориями и по [29], и по [131].

Здания старой городской застройки являются уникальными строительными объектами и представляют собой сложную, многоэлементную, многократно резервированную техническую систему, состоящую из различных конструктивных элементов, выполненных из различных материалов, в том числе и «состарившихся». Здесь и старая древесина, и старая кирпичная кладка стен, преимущественно, на известково-песчаном растворе, и бутовый камень («рваный», постелистый или плитняк) для кладки фундаментов на том же растворе, и старый бетон и железобетон, и стальные элементы, выполненные с использованием старых марок сталей и профилей старых сортаментов. Достоверно оценить состояние такой системы невозможно, основываясь на рассмотрении двух состояний (исправное и аварийное, «да» – «нет»: дихотомия). Недостаточно и трех и, вероятнее всего, четырех. Из опыта многолетней практической деятельности, из опыта диагностирования различных объектов в рамках настоящего исследования, возникло глубокое убеждение о необходимости проведения диагностической процедуры, основываясь на рассмотрении *как минимум пяти* состояний, т. е. на основе длинной «шкалы» категорий. Таким образом, в дальнейшем все решения поставленных задач по распознаванию состояний строятся по схеме пяти технических состояний, категории которых (названия) предлагается сформулировать так, как это сделано в СП 13-102-2003 [131]:

- 1 категория – исправное техническое состояние;

- 2 категория – работоспособное техническое состояние;
- 3 категория – ограниченно работоспособное техническое состояние;
- 4 категория – недопустимое техническое состояние;
- 5 категория – аварийное техническое состояние.

За каждой категорией после ее присвоения каждому конструктивному элементу должен стоять комплекс конкретных, четких, понятных и реальных, научно обоснованных, мероприятий по приведению элемента в исправное эксплуатационное состояние. Этот комплекс мероприятий определяет также уровень затрат на их реализацию (затраты средств, времени и сил).

## **5.2. Мероприятия по устранению повреждений в зависимости от присвоенной категории состояния**

Мероприятия по устранению повреждений и дефектов и соответствующие рекомендации рассмотрены для характерных конструктивных элементов зданий старой городской застройки. Предлагаются к рассмотрению мероприятия, представляющие собой необходимые действия по приведению конструктивных элементов указанных зданий в исправное состояние. Эти действия основываются на многолетнем опыте диагностических обследований, выполненных автором. Предлагается использовать своего рода имеющуюся накопленную статистику конкретных, проверенных временем, рекомендаций по приведению зданий в нормальное, исправное эксплуатационное состояние. Из этих мероприятий, как отмечено выше, складываются и затраты на их реализацию.

### ***5.2.1. Каменные конструкции старых зданий***

Рассматриваются кирпичные стены всех фасадов и кирпичные кладки колонн, столбов, пилястр и пилонов рассматриваемых зданий. Обязательные мероприятия по устранению повреждений и дефектов в зависимости от присвоенной категории состояния указанных конструкций требуют выполнения конкретных действий.

*Первая категория – исправное состояние.*

1. Проведение ремонтно-восстановительных работ для кирпичных конструкций здания (стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов) не требуется.
2. Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов зданий специалистами независимой организации.
3. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния кирпичных конструкций зданий силами эксплуатирующих организаций.
4. Уточнение и корректировка данных технического паспорта здания в части каменных конструкций после проведения освидетельствований.
5. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания экспертами независимой организации, имеющей допуск (лицензию) для ведения этих работ.

*Вторая категория – работоспособное состояние.*

1. На основе составленных в ходе обследования ведомостей повреждений и дефектов кирпичных конструкций зданий обосновывается проведение косметических и текущих ремонтов. Мероприятий по усилению не требуется.
2. По результатам выявленного характера трещинообразования кладки стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов здания, фиксации и измерений необходимых параметров трещин разрабатываются рекомендации по их устранению. Для данной категории ширина раскрытия трещин в большинстве случаев не превышает 2 мм. В таком случае трещины расшиваются и зачеканиваются цементным раствором с обязательным контролем качества выполнения этих работ.
3. По результатам проверки прочности кладки в наиболее загруженных элементах здания для данной категории обосновывается отказ от мероприятий по их усилению.
4. При выявленной некачественной гидроизоляции или при ее отсутствии обосновываются и разрабатываются проектные решения по ее восстановлению.

5. При локальных повреждениях наружных слоев кладки стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов здания (деструкция, расслоение, вывалы, выветривание и эрозия кладки) разрабатываются мероприятия по ремонту этих участков.

6. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов зданий специалистами независимой организации в ходе и после проведения ремонтных мероприятий.

7. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния кирпичных конструкций зданий силами эксплуатирующих организаций.

8. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания с привлечением экспертов независимой организации, имеющей допуск (лицензию) для ведения этих работ.

9. Возможное дополнение данных в технический паспорт здания.

*Третья категория – ограниченно работоспособное состояние.*

1. Конструкции кирпичных элементов здания подлежат ремонту и усилению с проведением при необходимости страховочных мероприятий по их разгрузке и недопущению дальнейшего развития повреждений.

2. По результатам выявленного характера и причин трещинообразования кладки стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов здания, фиксации и измерений необходимых параметров трещин разрабатываются рекомендации по их устранению. Мероприятия по устранению трещин разрабатываются и реализовываются после устранения первопричин их образования. Это могут быть мероприятия по усилению фундаментов и укреплению грунтового массива (см. п. 5.2.5), мероприятия по улучшению тепло- и влагозащитных свойств кладок и т. п.

3. Для данного состояния ширина раскрытия трещин в большинстве случаев может быть как до 2 мм, так и более – до 4 мм. В таком случае трещины шириной раскрытия до 2 мм расшиваются и зачеканиваются цементным раствором, а на участках кладки с шириной раскрытия трещин более 2 мм целесообразны мероприятия по усилению кладки с обязательным контролем качества выполнения этих работ. Здесь может быть достаточной, например, установка

(перпендикулярно направлению трещин) стальных стяжек – скоб, с последующей расшивкой и зачеканкой трещин цементным раствором. При ширине раскрытия трещин 4 мм не исключена установка железобетонных или стальных шпонок.

4. По результатам фиксации признаков потери устойчивости, выгибов и отклонений от вертикали с замерами соответствующих геометрических параметров, разрабатываются необходимые мероприятия по усилению кирпичных элементов здания (например, посредством устройства стальных обойм, стяжек, локальных тяжей).

5. По данным обследования состояния отделочных покрытий (отслоение, выпучивание, замачивание, частичная утрата и т. п.) и кладки (расслоение, деструкция, выветривание, замачивание, промораживание) разрабатываются мероприятия по проведению соответствующих ремонтных работ (зачистка, вычинка поверхностной версты кладки, ликвидация участков замачивания путем восстановления элементов водоотведения, снятие отслоившихся и выпученных отделочных покрытий и их восстановление и т. п.).

6. В данном состоянии по результатам выполненных поверочных расчетов может не удовлетворяться условие обеспечения несущей способности кирпичной кладки стен (несущей способности наиболее узких простенков первых этажей зданий) или колонн. Это требует разработки проектов усиления этих элементов.

7. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стен, колонн, столбов, пилястр и пилонов зданий специалистами независимой организации в ходе и после проведения ремонтных и усилительных мероприятий.

8. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния кирпичных конструкций зданий силами эксплуатирующих организаций.

9. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания силами экспертов независимой организации, имеющей допуск (лицензию) для ведения этих работ.

10. Возможное дополнение данных в технический паспорт здания.

*Четвертая категория – недопустимое состояние.*

1. В конструкциях имеют место повреждения и дефекты, свидетельствующие о потере ими несущей способности. Состояние конструкций предаварийное. Физический износ до 80 % (см. п. 8.3). Существует угроза разрушения.

2. Запрещение эксплуатации аварийных конструктивных элементов, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования из опасных аварийных зон.

3. Требуется проведение комплекса мероприятий по усилению конструктивных элементов или реконструкции здания в целом с разработкой рекомендаций для составления соответствующей проектно-сметной документации. Глубина и степень инженерного вмешательства в строительную систему зависит от причин, характера и измеренных параметров выявленных в ходе обследований повреждений и дефектов, как глубинных (трещинообразование), так и поверхностных. Часто разрабатываются проекты усиления здания в целом посредством системы тяжей.

4. В ряде случаев обоснование невозможности или нецелесообразности сохранения здания, т. е. обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов с разработкой соответствующей проектно-сметной документации.

5. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием зданий специалистами независимой организации в ходе и после проведения работ по усилению или реконструкции.

6. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния кирпичных конструкций зданий силами эксплуатирующих организаций.

7. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания силами экспертов независимой организации, имеющей допуск (лицензию) для ведения этих работ.

*Пятая категория – аварийное состояние.*

1. Полная утрата несущей способности и возникновение опасности обрушения. Физический износ более 80 % (см. п. 8.3). Рассматривается как отказ элемента или здания в целом.
2. Запрещение эксплуатации здания, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования.
3. Обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов.

### ***5.2.2. Бетонные и железобетонные конструкции старых зданий***

Рассматриваются главные и второстепенные балки, плитные участки, колонны междуэтажных перекрытий и бетон заполнения надподвальных перекрытий. Обязательные мероприятия по устранению повреждений и дефектов в зависимости от присвоенной категории для каждого указанного элемента требуют выполнения следующих мероприятий.

*Первая категория – исправное состояние.*

1. На момент обследования нет необходимости в проектировании ремонтно-восстановительных работ для всех бетонных и железобетонных элементов конструкций перекрытий.
2. При необходимости могут быть выполнены работы по очистке бетонных поверхностей от загрязнений и работы по устранению отдельных небольших локальных сколов углов железобетонных элементов.
3. Желательна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием балок, плитных участков, колонн, а также бетонного заполнения надподвальных перекрытий специалистами независимой организации.
4. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния бетонных и железобетонных конструкций перекрытий техническими службами ЖКХ.
5. Уточнение и корректировка данных технического паспорта здания в части бетонных и железобетонных конструкций по результатам проводимых освидетельствований.

6. Через пять лет проведение детального инструментального обследования бетонных и железобетонных конструкций специалистами независимой организации.

*Вторая категория – работоспособное состояние.*

1. По данным составленной ведомости повреждений и дефектов планируется проведения косметических ремонтов бетонных и железобетонных конструкций.

2. Возможны незначительные повреждения бетона, снижающие его свойства по отношению к арматуре, что требует проведения необходимых мероприятий по их устранению (зачистка поверхностей, устранение сколов, зачеканка усадочных трещин и трещин вдоль арматурных стержней, восстановление локальных участков утраты защитного слоя).

3. Ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси балочных элементов и наклонных не должна превышать нормативных значений. Для устранения выявленных трещин, их достаточно расшить и зачеканить цементным раствором.

4. Прочностные характеристики бетона для этой категории технического состояния не должны быть ниже проектных значений.

5. Возможна поверхностная коррозия обнажившихся на локальных участках арматурных стержней, не превышающая 5% от диаметра стержня. При обнаружении устранить следы коррозии (зачистить) и обработать антикоррозионными составами.

6. Прогиб балочных и плитных железобетонных элементов не должен превышать допусковых значений.

7. Для данной категории условия прочности по нормальным и наклонным сечениям должны выполняться.

8. Целесообразно организовать постоянные наблюдения (мониторинг) за состоянием бетонных и железобетонных элементов междуэтажных перекрытий, а также бетонного заполнения надподвальных перекрытий специалистами независимой организации.

9. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния бетонных и железобетонных конструкций техническими службами ЖКХ.

10. Через пять лет проведение детального инструментального обследования бетонных и железобетонных конструкций специалистами независимой организации.

11. Возможное дополнение данных в технический паспорт здания.

*Третья категория – ограниченно работоспособное состояние.*

1. По данным составленной ведомости повреждений и дефектов планируется проведения текущих ремонтов бетонных и железобетонных конструкций.

2. Возможны повреждения бетона, снижающие его свойства по отношению к арматуре, что требует проведения необходимых мероприятий по их устранению (зачистка поверхностей, устранение сколов, зачеканка усадочных трещин и трещин вдоль арматурных стержней, восстановление участков утраты защитного слоя).

3. Ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси балочных элементов и наклонных трещин не должна превышать 1 мм. Для устранения выявленных трещин, их следует расшить и зачеканить цементным раствором при условии, что увеличение нагрузок на эти элементы будет исключено.

4. Прочностные характеристики бетона для этой категории технического состояния могут быть ниже проектных значений, но не более чем на 30 %. Не следует допускать увеличение нагрузок на элементы, имеющие сниженные характеристики прочности.

5. Возможна поверхностная коррозия обнажившихся на локальных участках арматурных стержней, не превышающая 5% от диаметра стержня. При обнаружении устранить следы коррозии (зачистить) и обработать антикоррозионными составами.

6. Прогиб балочных и плитных железобетонных элементов может превышать допускаемый, но не более чем на 30 %. Увеличение нагрузок на элементы, имеющие такой прогиб, следует исключить, т. е. должны быть обеспечены нормальные условия эксплуатации. Более того, данный параметр в

совокупности с параметрами в п. п. 3 и 4 могут потребовать выполнение мероприятий по частичному снятию нагрузок.

7. Для данной категории условия прочности по нормальным и наклонным сечениям должны выполняться.

8. Следует организовать постоянные наблюдения (мониторинг) за состоянием бетонных и железобетонных элементов междуэтажных перекрытий, а также бетонного заполнения надподвальных перекрытий специалистами независимой организации, как в ходе выполнения работ, так и после.

9. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния бетонных и железобетонных конструкций техническими службами ЖКХ.

10. Через пять лет проведение детального инструментального обследования бетонных и железобетонных конструкций специалистами независимой организации.

11. Возможное дополнение данных в технический паспорт здания.

*Четвертая категория – недопустимое состояние.*

1. Состояние предаварийное. Физический износ достигает значений 80 %. Существует опасность разрушения. Запрещение эксплуатации аварийных конструктивных элементов, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования из опасных аварийных зон. По данным составленной ведомости повреждений и дефектов планируется проведение капитальных ремонтов или реконструкции перекрытий с разработкой соответствующей проектно-сметной документации.

2. Имеют место существенные повреждения бетона, снижающие его свойства по отношению к арматуре, что требует проведения необходимых мероприятий по их устранению (зачистка поверхностей, устранение сколов, зачеканка усадочных трещин и трещин вдоль арматурных стержней, восстановление участков утраты защитного слоя).

3. Ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси балочных элементов и наклонных трещин превышает 1 мм. Для устранения выявленных

трещин, их следует расшить и зачеканить цементным раствором при условии, что увеличение нагрузки на эти элементы будут частично сняты.

4. Прочностные характеристики бетона для этой категории технического состояния оказались ниже проектных значений, более чем на 30 %. Не следует допускать увеличение нагрузок на элементы, имеющие сниженные характеристики прочности.

5. Выявлена значительная коррозия обнажившихся на протяженных участках арматурных стержней, превышающая 5% от диаметра стержня (5 % – 20 %), связанная с утратой защитного слоя. Необходимо устранить следы коррозии (зачистить) и обработать зачищенные участки антикоррозионными составами. Защитный слой восстановить.

6. Прогиб балочных и плитных железобетонных элементов превышает допустимый, более чем на 30 %. Увеличение нагрузок на элементы, имеющие такой прогиб, следует исключить. Более того, данный параметр в совокупности с параметрами в п. п. 3 и 4 требуют выполнения мероприятий по разгрузке элементов перекрытий.

7. Для данной категории условия прочности по нормальным и наклонным сечениям могут не выполняться.

8. Следует организовать постоянные наблюдения (мониторинг) за состоянием бетонных и железобетонных элементов междуэтажных перекрытий, а также бетонного заполнения надподвальных перекрытий специалистами независимой организации, как в ходе выполнения работ, так и после.

9. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния бетонных и железобетонных конструкций техническими службами ЖКХ.

10. Через пять лет проведение детального инструментального обследования бетонных и железобетонных конструкций специалистами независимой организации.

*Пятая категория – аварийное состояние.*

1. Физический износ более 80 %. Для рассматриваемых конструктивных элементов расценивается как исчерпание несущей способности и возникновение опасности обрушения, т. е. как отказ.

2. Немедленная остановка технологического процесса, эвакуация людей и оборудования.

3. Срочное выполнение страховочных мероприятий и организация наблюдений за состоянием аварийных конструктивных элементов специалистами независимой организации.

4. По совокупности выявленных в ходе обследования повреждений и дефектов принимается и согласовывается решение о реконструкции объекта или о его демонтаже.

### ***5.2.3. Стальные конструкции старых зданий***

Стальные конструкции зданий старой городской застройки представлены, как отмечено выше, стальными несущими балками перекрытий (надподвальных, междуэтажных и чердачных) и стальными колоннами. Все эти элементы, как правило, выполнены с использованием прокатных профилей старых сортов.

*Первая категория – исправное состояние.*

1. Проведение ремонтно-восстановительных работ для стальных конструкций здания не требуется.

2. При необходимости могут быть выполнены работы по очистке поверхностей доступных стальных элементов от загрязнений и работы по устранению отдельных небольших локальных механических повреждений.

3. Желательна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием балок и колонн перекрытий специалистами независимой организации.

4. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций перекрытий техническими службами ЖКХ.

5. Уточнение и корректировка данных технического паспорта здания в части стальных конструкций по результатам проводимых освидетельствований.

6. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций специалистами независимой организации.

*Вторая категория – работоспособное состояние.*

1. По данным составленных ведомостей повреждений и дефектов стальных конструкций зданий обосновываются мероприятия по проведению текущих ремонтов.

2. Конструкции используются без ограничений, возможно необходимы правка стержневых элементов и восстановление защитных покрытий.

3. По результатам выполненных поверочных расчетов обосновывается отказ от выполнения мероприятий по усилению балок и колонн перекрытий.

4. Возможна поверхностная коррозия стальных элементов перекрытий, не превышающая 5 % сечения, что требует разработки рекомендаций по зачистке и обработке антикоррозионными составами.

5. Выполнение условия прочности и деформативности балочных элементов и устойчивости колонн для данной категории должно быть обеспечено.

6. Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стальных конструкций зданий специалистами независимой организации.

7. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

8. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

9. Дополнение данных в технический паспорт здания в части стальных конструкций.

*Третья категория – ограниченно работоспособное состояние.*

1. По данным составленных ведомостей повреждений и дефектов стальных конструкций зданий обосновываются мероприятия по проведению капитальных ремонтов или реконструкции.

2. Конструкции используются без ограничений, после правки стержневых элементов и восстановления защитных покрытий.

3. По результатам выполненных поверочных расчетов обосновывается отказ от выполнения мероприятий по усилению балок и колонн перекрытий или необходимость их проведения.

4. Поверхностная и точечная коррозия стальных элементов перекрытий превышает 5 % сечения, что требует разработки рекомендаций по глубокой зачистке и обработке антикоррозионными составами.

5. Выполнение условия прочности балочных элементов и устойчивости колонн для данной категории должно быть обеспечено. Условие деформативности может быть не обеспечено, но нормальные условия эксплуатации должны быть обеспечены. Увеличение нагрузок на эти элементы следует исключить.

6. Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стальных конструкций зданий специалистами независимой организации.

7. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

8. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

9. Дополнение данных в технический паспорт здания в части стальных конструкций.

*Четвертая категория – недопустимое состояние.*

1. В конструкциях имеют место повреждения и дефекты, свидетельствующие о частичной потере ими несущей способности. Состояние конструкций предаварийное. Существует угроза разрушения. Физический износ до 80 %.

2. Запрещение эксплуатации аварийных конструктивных элементов, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования из опасных зон, подведение временных опор и креплений.

3. Требуется проведение мероприятий по усилению конструктивных элементов с разработкой соответствующей проектно-сметной документации в

зависимости от выявленных первопричин, характера и параметров имеющихся повреждений и дефектов.

4. Точечная, местами пластинчатая коррозия стальных элементов перекрытий превышает 20 % сечения, что требует разработки рекомендаций по глубокой зачистке и обработке антикоррозионными составами или обоснование невозможности или нецелесообразности сохранения имеющихся стальных конструкций, т. е. обоснование разборки и демонтажа аварийных элементов.

5. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стальных конструкций зданий специалистами независимой организации в ходе и после проведения работ по усилению или реконструкции.

6. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

7. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

*Пятая категория – аварийное состояние.*

1. Полная утрата несущей способности и возникновение опасности обрушения. Физический износ более 80 %. Рассматривается как отказ стальных конструкций здания.

2. Запрещение эксплуатации здания, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования.

3. Обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов.

#### ***5.2.4. Деревянные конструкции старых зданий***

Деревянные конструкции зданий старой городской застройки представлены значительным набором различных элементов: деревянные несущие балки перекрытий (междуэтажных и чердачных), конструктивные элементы деревянного заполнения перекрытий, а также конструкции крыши (стропильная система и элементы кровельного покрытия).

*Первая категория – исправное состояние.*

1. Проведение ремонтно-восстановительных работ для деревянных конструкций перекрытий и крыши не требуется.

2. При необходимости могут быть выполнены работы по очистке поверхностей доступных деревянных элементов от загрязнений и работы по восстановлению отдельных небольших локальных участков утраты пропитки антисептиком и антипиреном у элементов стропильной системы.

3. Желательна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием балок и колонн перекрытий специалистами независимой организации.

4. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций перекрытий техническими службами ЖКХ.

5. Уточнение и корректировка данных технического паспорта здания в части стальных конструкций по результатам проводимых освидетельствований.

6. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций специалистами независимой организации.

*Вторая категория – работоспособное состояние.*

1. По данным составленных ведомостей повреждений и дефектов деревянных конструкций зданий обосновываются мероприятия по проведению текущих ремонтов поврежденных элементов.

2. Конструкции используются без ограничений, возможно необходимы правка стержневых элементов и восстановление защитных покрытий.

3. По результатам выполненных поверочных расчетов обосновывается отказ от выполнения мероприятий по усилению деревянных конструкций перекрытий и крыши.

4. Возможно поверхностное биопоражение деревянных элементов перекрытий и крыши, не превышающее 5 % сечения, что требует разработки рекомендаций по зачистке и обработке антисептическими составами.

5. Выполнение условия несущей способности и деформативности деревянных конструкций для данной категории должно быть обеспечено.

6. Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием деревянных конструкций зданий специалистами независимой организации.

7. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния деревянных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

8. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

9. Дополнение данных в технический паспорт здания в части стальных конструкций.

*Третья категория – ограниченно работоспособное состояние.*

1. По данным составленных ведомостей повреждений и дефектов для деревянных конструкций зданий обосновываются мероприятия по проведению капитальных ремонтов или реконструкции.

2. Конструкции используются без ограничений, после подкреплений поврежденных элементов и восстановления защитных покрытий.

3. По результатам выполненных поверочных расчетов обосновывается отказ от выполнения мероприятий по усилению деревянных конструкций перекрытий и крыши или необходимость их проведения.

4. Поверхностное биопоражение деревянных конструкций перекрытий и крыши превышает 5 % сечения, что требует разработки рекомендаций по глубокой зачистке и обработке антисептиками.

5. Выполнение условий несущей способности деревянных конструкций для данной категории должно быть обеспечено. Условие деформативности для балочных элементов может быть не обеспечено, но нормальные условия эксплуатации должны быть обеспечены. Увеличение нагрузок на эти элементы следует исключить.

6. Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стальных конструкций зданий специалистами независимой организации.

7. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

8. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

9. Дополнение данных в технический паспорт здания в части стальных конструкций.

*Четвертая категория – недопустимое состояние.*

1. В конструкциях имеют место повреждения и дефекты, свидетельствующие о частичной потере ими несущей способности. Состояние конструкций предаварийное. Существует угроза разрушения. Физический износ до 80 %.

2. Запрещение эксплуатации аварийных конструктивных элементов, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования из опасных зон, подведение временных опор и креплений.

3. Требуется проведение мероприятий по усилению конструктивных элементов с разработкой соответствующей проектно-сметной документации в зависимости от выявленных первопричин, характера и параметров имеющихся повреждений и дефектов.

4. Глубокое биопоражение деревянных конструкций превышает 10 % сечения, что требует разработки рекомендаций по глубокой зачистке, обработке антисептиками и по протезированию или обоснование невозможности или нецелесообразности сохранения имеющихся деревянных конструкций, т. е. обоснование разборки и демонтажа аварийных элементов.

5. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием стальных конструкций зданий специалистами независимой организации в ходе и после проведения работ по усилению или реконструкции.

6. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния стальных конструкций зданий техническими службами ЖКХ.

7. Через пять лет проведение детального инструментального обследования стальных конструкций здания специалистами независимой организации.

*Пятая категория – аварийное состояние.*

1. Полная утрата несущей способности и возникновение опасности обрушения. Физический износ более 80 %. Рассматривается как отказ стальных конструкций здания.

2. Запрещение эксплуатации здания, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования.

3. Обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов.

### ***5.2.5. Конструкции фундаментов старых зданий***

Рассматриваются фундаменты зданий старой городской застройки, представляющих собой, как правило, ленточные конструкции, выполненные чаще всего из бутового или плитнякового камня и сравнительно реже из пережженного кирпича-железняк (см. п. 2.2). Кладка, главным образом, скреплялась с применением известково-песчаного раствора. Обязательные мероприятия по устранению повреждений и дефектов в зависимости от присвоенной категории состояния указанных конструкций требуют выполнения следующих конкретных действий.

*Первая категория – исправное состояние.*

Проведение ремонтно-восстановительных работ для фундаментных конструкций здания не требуется.

Целесообразна организация постоянных наблюдений (мониторинга) за осадками зданий специалистами независимой организации.

Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния подземных конструкций зданий на предмет выявления повреждений осадочного происхождения.

Уточнение и корректировка данных технического паспорта здания в части фундаментных конструкций после проведения освидетельствований.

Через пять лет проведение детального инструментального обследования фундаментных конструкций здания.

*Вторая категория – работоспособное состояние.*

1. Обоснования необходимости проведения ремонтных работ по результатам проходки шурфов и данным составленных ведомостей повреждений и дефектов фундаментных конструкций зданий.

2. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за осадками зданий.

3. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния конструкций зданий на предмет выявления повреждений осадочного происхождения.

4. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания.

5. Возможные дополнения данных в технический паспорт здания.

*Третья категория – ограниченно работоспособное состояние.*

1. Обоснование проведения работ по усилению фундаментов или укреплению грунтов основания с проведением при необходимости страховочных мероприятий.

2. Уточнение прочностных и деформационных характеристик грунта основания по данным бурения скважин.

3. Разработка рекомендаций по составлению проектной документации для усиления и страховочных мероприятий.

4. Организация постоянных наблюдений (мониторинга) за осадками зданий в ходе работ и после их завершения.

5. Проведение обязательного ежегодного освидетельствования состояния фундаментных конструкций зданий.

6. Через пять лет проведение детального инструментального обследования кирпичных конструкций здания.

7. Возможные дополнения данных в технический паспорт здания.

*Четвертая категория – недопустимое состояние.*

1. В конструкциях фундаментов имеют место повреждения и дефекты, свидетельствующие о потере ими несущей способности. Состояние конструкций

предавариное. Существует угроза разрушения элементов надземной части здания. Физический износ фундаментных конструкций до 80 %.

2. Запрещение эксплуатации здания, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования из опасных зон.

3. Требуется проведение мероприятий по усилению конструктивных элементов подземной части или реконструкции здания в целом с разработкой рекомендаций для составления соответствующей проектно-сметной документации.

4. В ряде случаев обоснование невозможности или нецелесообразности сохранения здания, т. е. обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов также с разработкой соответствующей проектно-сметной документации.

*Пятая категория – аварийное состояние.*

1. Полная утрата несущей способности надземных конструкций здания, возникновение опасности обрушения из-за повреждений подземных конструкций. Физический износ более 80 %. Рассматривается как отказ фундаментных конструкций.

2. Запрещение эксплуатации здания, прекращение технологического процесса, эвакуация людей и оборудования.

3. Обоснование разборки и демонтажа здания в целом или его аварийных элементов.

Выводы по главе 5 сформулированы следующим образом.

1. На первых этапах диагностирования с использованием аппарата теоретических методов технической диагностики следует ввести понятие «состояния» и определить их количество. Приведены данные о многочисленных разночтениях в формулировании состояний и определении их количества, которые имеют место в различных литературных источниках (таблица 5.1). Отмечено, что эти обстоятельства четкости при принятии конкретных решений в реальной практической деятельности не добавляют. Обосновано и принято

решение в дальнейшем вероятностном анализе техническое состояние строительных систем рассматривать на основе сформулированных в [131] пяти категорий.

2. На основании изучения многочисленных литературных источников и руководствуясь накопленным опытом обследований, предложены конкретные мероприятия по приведению конструктивных элементов рассматриваемых зданий в исправное состояние и поддержанию этого состояния на протяжении как минимум пятилетнего срока эксплуатации (до следующего обследования). Мероприятия расписаны в зависимости от присвоенной по результатам обследований категории технического состояния для конструкций стен (кирпичных кладок), для бетонных и железобетонных конструкций перекрытий, для стальных и деревянных конструкций перекрытий, для деревянных конструкций крыши, а также для бутовых кладок фундаментных конструкций. Предлагается использовать своего рода имеющуюся накопленную статистику конкретных, проверенных временем, рекомендаций по приведению зданий в нормальное, исправное эксплуатационное состояние. В таком конкретном виде для каждого состояния каждого конструктивного элемента мероприятия предложены впервые.

## ГЛАВА 6

### ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

#### 6.1. Построение диагностических матриц

Как отмечено выше, в главе 4, для определения вероятностей состояний по методу Байеса составляется специальная таблица – диагностическая матрица. Указано, что эта таблица целиком формируется на основе предварительного статистического материала по результатам выполненных ранее обследований.

От правильности построения диагностических матриц, уверенности эксперта в достоверности собранного для их формирования статистического материала, т. е. от уверенности в достоверности, устойчивости и информативности входных данных в байесовскую процедуру диагностирования, зависит итоговый результат, его достоверность и уверенность в правильности принятого решения по распознаванию состояний. Диагностические матрицы участвуют в построении решения на основе уровневой формулировки задачи на самом «низшем» (базисном) уровне и только на этом уровне проходят байесовскую обработку накопленной статистики. Это уровень отдельных конструктивных элементов, из которых для рассматриваемых зданий составляются вышележащие группы элементов, подсистемы и, наконец, здание в целом. Принципы построения иерархической модели диагностирования будут изложены далее, в главе 7. Здесь же, в этой главе, имея в виду важность прохождения базисного уровня, диагностические матрицы подвергаются всестороннему анализу на предмет выявления степени влияния «входа» в этот уровень на «выход» из него.

Ниже для характерных примеров конструктивных элементов исследуются полученные обследовательской статистикой распределения априорных вероятностей состояний и определяются в итоге аппроксимирующие эти распределения известные из математики функции плотности распределения вероятностей. Анализируется возможность такой аппроксимации, возникающие погрешности и их влияние на искомый результат.

Приводится далее анализ таких понятий теории информации, как диагностический вес и диагностическая ценность признаков (или малоинформативность признаков), а также диагностическая ценность самого обследования [119]. Диагностические матрицы проходят проверку и с этих позиций.

Рассмотрены устойчивость и полнота диагностических матриц с позиций метода последовательного анализа Вальда.

Оценивается степень влияния изменчивости входной информации на выходную с использованием методик интервального подхода, когда основные параметры диагностических матриц вводятся в байесовскую процедуру в виде интервальных чисел [119].

Выполняется также анализ устойчивости диагностических матриц с использованием методов теории нечеткой логики [119].

Все проверки статистического материала диагностических матриц продемонстрированы на конкретных численных примерах.

В завершение главы 6 предложена методика определения очень важного параметра, позволяющего с большей уверенностью принимать решение о присвоении категории состояния. Это методика, связанная с назначением *порогового значения* для вероятностных параметров состояний [119].

Прежде чем проводить указанный анализ, следует в первую очередь четко сформулировать для различных конструктивных элементов зданий состав, количество и разрядность признаков, а также принципы построения диагностических матриц, основываясь на рассмотренных ранее в главе 3, характерных повреждениях.

Итак, в диагностической матрице по определенной упорядоченной схеме, как отмечено выше, расставлены вероятности признаков или вероятности разрядов признаков при различных рассматриваемых диагнозах. Имеются в виду те же пять диагнозов-состояний. Если признаки двухразрядные (простые, отвечающие на вопрос «да» или «нет»), то в таблице достаточно указать вероятность появления признака  $P(k_j/S_i)$ . Вероятность отсутствия признака

$P(\bar{k}_j / S_i) = 1 - P(k_j / S_i)$ . Вместе с тем практический опыт формирования матриц показал, что более удобно использовать единообразную форму обозначений, полагая, например, для двухразрядного признака  $P(k_j / S_i) = P(k_{1j} / S_i)$ , а  $P(\bar{k}_j / S_i) = P(k_{2j} / S_i)$ .

Следует отметить, что сумма всех возможных реализаций признака равна единице, т. е. вероятности разрядов признаков представляют собой полную группу несовместных событий

$$\sum_{s=1}^{m_j} P(k_{sj} / S_i) = 1,$$

где  $m_j$  – число разрядов признака  $k_j$ . Это важно для контроля правильности формирования столбцов матрицы.

В диагностическую матрицу включены также априорные вероятности диагнозов  $P(S_i)$ . При формировании диагностической матрицы важно сразу предусмотреть возможность постоянного уточнения таблицы в процессе диагностирования. Метод Байеса предполагает такую возможность [14]. Для этого при компьютерной реализации расчетов в памяти следует хранить не только значения  $P(k_{sj} / S_i)$ , но и следующие величины:  $N$  – общее число строительных объектов, использованных для составления диагностической матрицы;  $N_i$  – число объектов с диагнозом  $S_i$ ;  $N_{ij}$  – число объектов с диагнозом  $S_i$ , обследованных по признаку  $k_j$ . Тогда если поступает новый объект с диагнозом  $S_\mu$ , то проводится корректировка прежних априорных вероятностей диагнозов следующим образом.

$$\begin{aligned} \frac{N_i}{N+1} &= P(S_i) \frac{N}{N+1}; i = 1, 2, \dots, n; i \neq \mu; \\ P(S_i) &= \{ \\ \frac{N_\mu + 1}{N+1} &= P(S_\mu) \frac{N}{N+1} + \frac{N}{N+1}; i = \mu. \end{aligned} \quad (6.1)$$

Далее вводятся поправки к вероятностям признаков. Пусть у нового объекта с диагнозом  $S_\mu$  выявлен некий новый разряд  $r$  признака  $k_j$ . Тогда для дальнейшей диагностики принимаются новые значения вероятности интервалов (разрядов) признака  $k_j$  при диагнозе  $S_\mu$ .

$$P(k_{sj}S_{\mu}) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1}; s \neq r,$$

$$P(S_i) = \{ \tag{6.2}$$

$$P(k_{sj}S_{\mu}) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1} + \frac{1}{N_{\mu j} + 1}; s = r.$$

Условные вероятности признаков при других диагнозах корректировки не требуют.

Для характерных конструктивных элементов зданий старой городской застройки, выполненных из различных материалов и рассмотренных в главе 2, в данной работе найден, обработан и упорядочен материал для построения *двадцати четырех* диагностических матриц. Все таблицы приведены в приложении А.

### ***6.1.1. Диагностические матрицы для каменных конструкций***

Диагностические матрицы для диагностирования состояний поэтажных участков наружных кирпичных стен зданий старой городской застройки составляются на основе рассмотрения, как отмечено, пяти диагнозов. К моменту диагностирования обработана статистическая информация по ранее выполненным обследованиям подобных объектов. Пример статистической обработки приведен для большого количества фасадных стен, по результатам которой для поэтажных участков фасадов выполнено формирование диагностической матрицы (таблица 6.1). Как видно, предлагается рассмотреть восемь характерных признаков.

*Первый признак* – повреждения защитных и отделочных слоев наружных поверхностей. Связаны с шелушением покрасочных покрытий, с отделением и утратой облицовочных, штукатурных и покрасочных слоев на поэтажных участках стен, имеющих различную площадь проявления в зависимости от категории состояния. Признак вводится как простой, двухразрядный, т. е. диагностируется наличие этих повреждений (разряд  $k_{11}$  – «да») или их отсутствие (разряд  $k_{12}$  – «нет»).

*Второй признак* – нарушение сплошности, деструкция и утрата наружной версты кладки. Признак представляет собой повреждения в виде размораживания, выветривания, эрозии и деструкции кладки с различной степенью проявления по глубине проникновения в кладку в зависимости от категории состояния. Диагностируется также по принципу: разряд  $k_{21}$  – «да» или разряд  $k_{22}$  – «нет».

*Третий признак* – отклонения элементов стен от вертикали. Представляет собой наклоны, выпучивание и отклонение стен от вертикали в пределах высоты этажа. Признак вводится как трехразрядный и разделяется на отсутствие отклонений ( $k_{31}$ ), на значения, не превышающие предельных ( $k_{32}$ ), и на значения, равные или большие предельных ( $k_{33}$ ).

*Четвертый признак* – увлажнение и замачивание кладки, вымывание раствора вследствие нарушений или отсутствия вертикальной и горизонтальной гидроизоляции, нарушения работы или полной утраты элементов водоотведения (водоприемных воронок, водосточных труб, карнизов, свесов и т. п.). Представляется как простой признак, свидетельствующий либо о наличии соответствующих зон ( $k_{41}$  – «да»), либо об их отсутствии ( $k_{42}$  – «нет»).

*Пятый признак* – трещинообразование в результате неравномерных осадок фундаментов зданий представлено трещинами вертикальной, слабонаклонной или наклонной ориентации с шириной раскрытия, увеличивающейся снизу вверх или сверху вниз, магистральными или локальными, проходящими чаще всего по оконным проемам. Признак вводится как трехразрядный, отражающий численные значения ширины раскрытия трещин: первый разряд  $k_{51}$  – отсутствие трещин, второй  $k_{52}$  – их раскрытие не более 2 мм и третий  $k_{53}$  – раскрытие трещин более 2 мм.

Таблица 6.1 – Диагностическая матрица для участков кирпичных стен

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Разряды приз- наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,12</b>	<b>0,16</b>	<b>0,41</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>
1	Повреждения защитных и отделочных слоев	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,08	0,25	0,51	0,65	0,82
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,92	0,83	0,49	0,46	0,18
2	Нарушение сплошности кладки, деструкция	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,19	0,43	0,77	0,87
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,81	0,57	0,23	0,13
3	Отклонения элементов стен от вертикали	$k_{31}$	нет	$p(k_{31})$	0,96	0,76	0,50	0,40	0,07
		$k_{32}$	< пред.	$p(k_{32})$	0,03	0,18	0,35	0,20	0,03
		$k_{33}$	≥ пред.	$p(k_{33})$	0,01	0,06	0,15	0,40	0,90
4	Увлажнение и замачивание кладки, вымывание раствора	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,51	0,80
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,49	0,20
5	Трещинообразование в результате неравномерных осадок	$k_{51}$	нет	$p(k_{51})$	0,93	0,88	0,69	0,35	0,17
		$k_{52}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{52})$	0,05	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{53}$	> 2,0 мм	$p(k_{53})$	0,02	0,05	0,10	0,25	0,30
6	Силовое трещинообразование	$k_{61}$	нет	$p(k_{61})$	0,89	0,70	0,35	0,20	0,07
		$k_{62}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{62})$	0,08	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{63}$	> 2,0 мм	$p(k_{63})$	0,03	0,05	0,10	0,25	0,30
7	Трещинообразование в результате температурных деформаций	$k_{71}$	нет	$p(k_{71})$	0,84	0,75	0,59	0,25	0,07
		$k_{72}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{72})$	0,10	0,15	0,26	0,45	0,53
		$k_{73}$	> 2,0 мм	$p(k_{73})$	0,06	0,10	0,15	0,30	0,40
8	Удовлетворение условия по несущей способности	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,08

*Шестой признак* – силовое трещинообразование, представляющее собой образование трещин чаще всего вертикальной ориентации из-за перегрузки

элементов кирпичных стен или из-за низкого качества кладочных материалов. Вводится также в виде численных значений ширины раскрытия трещин и рассмотрен как трехразрядный признак ( $k_{61}, k_{62}, k_{63}$ ) с аналогичными интервалами.

*Седьмой признак* – трещинообразование в результате температурных деформаций; в старых зданиях проявляется в виде регулярных трещин, чаще в нижней, цокольной части, а также трещин, образовавшихся в местах прохождения в массиве кладки стен дымовых и вентиляционных каналов. Диагностируется признак в виде численных значений ширины раскрытия как трехразрядный ( $k_{71}, k_{72}, k_{73}$ ) с теми же, что и выше, интервалами.

*Восьмой признак* – проверка выполнения условия по несущей способности кирпичных стен на основе результатов выполненной серии поверочных расчетов; признак вводится как простой, т. е. диагностируется выполнение условия ( $k_{81}$  – «да») или его невыполнение ( $k_{82}$  – «нет»).

Выше отмечено, что диагностическая матрица целиком и полностью строится на статистическом материале. Для кирпичных стен зданий на основе ретроспективного анализа материалов обследований прошлых лет и их статистической обработки вычислены априорные вероятности пяти состояний  $P(S_i)$ . Как видно из таблицы 6.1, ряд априорных вероятностей представлен следующими численными значениями:

$$P(S_1) = 0,12; P(S_2) = 0,16; P(S_3) = 0,41; P(S_4) = 0,18; P(S_5) = 0,13. \quad (6.3)$$

На рис. 6.1 их графическое представление показано красным цветом. Анализ распределения вероятностей этих дискретных случайных событий показал, что закон распределения плотности вероятности (если его аппроксимировать непрерывной функцией) больше всего близок к закону распределения Лапласа (к так называемому, двойному экспоненциальному закону, голубой цвет на рисунке 6.1). Функция плотности распределения в таком случае, как известно, имеет вид

$$f(x) = \frac{\alpha}{2} e^{-\alpha|x-\beta|}, \quad -\infty < x < +\infty, \quad (6.4)$$

где  $\alpha > 0$  — параметр масштаба,  $-\infty < \beta < +\infty$  — параметр сдвига.

Параметры подобраны и, если принять их равными  $\alpha = 0,82$ , а  $\beta = 3$ , то для рассматриваемых случайных событий  $S_i$  выражение (6.4) примет вид

$$f(S_i) = \frac{0,82}{2} e^{-0,82|S_i-3|} = 0,41 e^{-0,82|S_i-3|}. \quad (6.5)$$

В соответствии с этим выражением ряд вероятностей для диагнозов  $S_i$  будет иметь следующее симметричное распределение (на рисунке 6.1 кривая показана голубым цветом):

$$P(S_1) = 0,08; P(S_2) = 0,18; P(S_3) = 0,41; P(S_4) = 0,18; P(S_5) = 0,08. \quad (6.6)$$

Если выполнить расчет апостериорных вероятностей состояний  $P(S_i/K^*)$  по обобщенной формуле Байеса (4.14), рассматривая всю совокупность признаков таблицы 6.1 и имея в виду одинаковую реализацию признаков  $k^*$

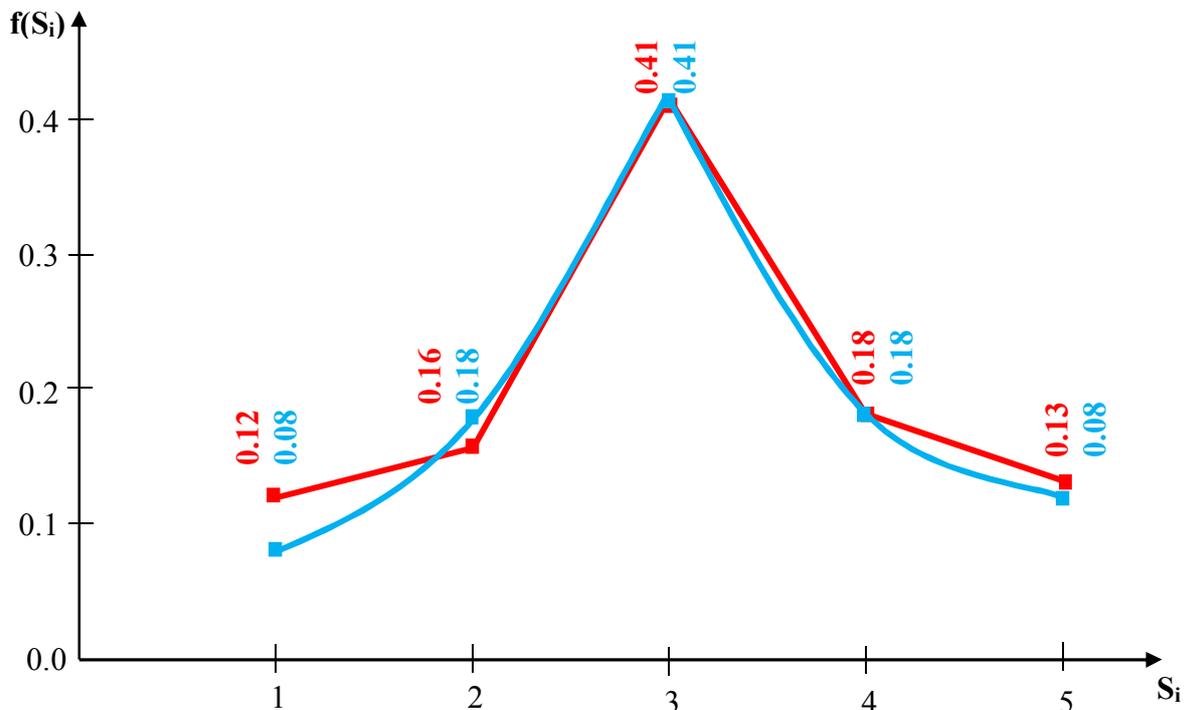


Рисунок 6.1 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики (красная линия) и по закону Лапласа (голубая линия) для кирпичных стен

для априорных распределений (6.3) и (6.6), то распределения искомых апостериорных вероятностей  $P(S_i/K^*)$  практически совпадают.

*Пример расчета.* Пусть диагностическая матрица построена на основе статистической обработки, например, *ста* объектов (поэтажных участков стен) и на момент обследования *сто* первого участка имеет вид таблиц . В качестве

примера предлагается следующая реализация всех восьми признаков, выявленная в ходе этого *сто первого* обследования (соответствующие строки в матрице выделены цветом):

- 1) повреждения защитных и отделочных слоев наружной поверхности есть;
- 2) деструкция наружной версты кладки есть;
- 3) отклонения углов здания от вертикали не превышают предельных значений;
- 4) зоны увлажнения есть;
- 5) трещины осадочного происхождения с шириной раскрытия < 2 мм есть;
- 6) силовых трещин нет;
- 7) температурных трещин нет;
- 8) условие обеспечения несущей способности простенков удовлетворяется.

При использовании данных таблицы 6.1, предложенной выше методики расчета на основе байесовской процедуры (глава 4, п. 4.3.3, формула 4.14), указанных условий реализации с учетом распределения априорных вероятностей по варианту (6.3), получены следующие расчетные данные:

$$P(S_1)P(K^* / S_1) = 0,12 \cdot (0,08 \cdot 0,06 \cdot 0,03 \cdot 0,06 \cdot 0,05 \cdot 0,89 \cdot 0,84 \cdot 0,94) = 0,0036 \cdot 10^{-5};$$

$$P(S_2)P(K^* / S_2) = 0,16 \cdot (0,25 \cdot 0,19 \cdot 0,18 \cdot 0,17 \cdot 0,07 \cdot 0,70 \cdot 0,75 \cdot 0,90) = 0,769 \cdot 10^{-5};$$

$$P(S_3)P(K^* / S_3) = 0,41 \cdot (0,51 \cdot 0,43 \cdot 0,35 \cdot 0,34 \cdot 0,21 \cdot 0,35 \cdot 0,59 \cdot 0,86) = 92,80 \cdot 10^{-5};$$

$$P(S_4)P(K^* / S_4) = 0,18 \cdot (0,65 \cdot 0,77 \cdot 0,20 \cdot 0,51 \cdot 0,40 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 0,69) = 12,68 \cdot 10^{-5};$$

$$P(S_5)P(K^* / S_5) = 0,13 \cdot (0,82 \cdot 0,87 \cdot 0,03 \cdot 0,80 \cdot 0,53 \cdot 0,07 \cdot 0,07 \cdot 0,08) = 0,046 \cdot 10^{-5}.$$

Как отмечено в главе 4 (п. 4.3.3), знаменатель обобщенной формулы Байеса для всех состояний одинаков и в данном случае определится следующей суммой

$$\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s) = (0,0036 + 0,769 + 92,80 + 12,68 + 0,046) \cdot 10^{-5} = 106,3 \cdot 10^{-5}.$$

Тогда окончательно апостериорные вероятности состояний представляются следующим распределением:

$$P(S_1 / K^*) = 0,0036 / 106,3 = 0,00004; \quad P(S_2 / K^*) = 0,769 / 106,3 = 0,0072;$$

$$\underline{P(S_3 / K^*) = 92,80 / 106,3 = 0,873; \quad P(S_4 / K^*) = 12,68 / 106,3 = 0,119;}$$

$$P(S_5 / K^*) = 0,046 / 106,3 = 0,0004.$$

Учитывая сформулированное выше решающее правило диагностируемый объект (участок стены) по всей совокупности указанных в таблице 6.1 диагностических признаков с вероятностью 0,873 может быть отнесен к *третьей (ограниченно работоспособной) категории технического состояния.*

Аналогично выполненный расчет на основе использования распределения априорных вероятностей по 6.6 (по закону Лапласа) привел к следующим результатам:

$$P(S_1 / K^*) = 0,00022; \quad P(S_2 / K^*) = 0,0081; \quad \underline{P(S_3 / K^*) = 0,872;}$$

$$P(S_4 / K^*) = 0,119; \quad P(S_5 / K^*) = 0,0003.$$

Таким образом, диагностирование поэтажных участков кирпичных стен зданий старой городской застройки можно с достаточной степенью точности проводить, руководствуясь предложенной аппроксимацией априорной статистики состояний известным распределением Лапласа. То есть продемонстрированные изменения априорной статистики диагнозов несущественно сказались на результате диагностирования, полученном на основе байесовской процедуры. Это вполне может стать основанием для признания диагностической матрицы достаточно устойчивой, а статистическое распределение диагнозов с достаточной степенью точности можно заменить его математическим описанием. Это важно, так как зачастую априорная информация о состояниях рассматриваемых элементов либо недостаточна, либо вызывает сомнения, что при построении решения на основе байесовской процедуры требует постоянного уточнения входных данных.

### ***6.1.2. Диагностические матрицы для бетонных и железобетонных конструкций***

В данной работе для диагностирования бетонных и железобетонных конструкций старых зданий на основе статистических данных, полученных по

результатам многочисленных обследований прошлых лет, построены пять диагностических матриц: для главных и второстепенных балок, для плитных участков и колонн междуэтажных монолитных железобетонных перекрытий и для бетонного заполнения надподвальных перекрытий, выполненных по стальным, преимущественно, двутавровым балкам. Все диагностические матрицы представлены в приложении А. В настоящем параграфе анализ построения аппроксимирующих функций продемонстрирован на примере диагностических матриц только для главных балок (таблица 6.2) и плитных участков (таблица 6.3) монолитных железобетонных междуэтажных перекрытий. Как видно, для анализа пяти состояний этих объектов введены девять (главные балки) и восемь (плитные участки) характерных диагностических признаков. Для *главных балок* признаки сформулированы и упорядочены следующим образом [119].

Таблица 6.2 – Диагностическая матрица для главных балок железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Разряды приз- наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,18</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,11	0,17	0,29	0,54	0,80
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,89	0,83	0,71	0,46	0,20
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,14	0,23	0,77	0,60
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,86	0,77	0,23	0,40
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p(k_{31})$	0,76	0,59	0,40	0,15	0,20
		$k_{32}$	до 1,0 мм	$p(k_{32})$	0,18	0,34	0,43	0,62	0,40
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p(k_{33})$	0,06	0,07	0,17	0,23	0,40
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,31	0,20
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,69	0,80
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,72	0,48	0,49	0,15	0,20
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	0,22	0,31	0,20	0,39	0,20
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,06	0,21	0,31	0,46	0,60
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p(k_{61})$	0,76	0,59	0,29	0,15	0,20
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,18	0,24	0,37	0,39	0,20
		$k_{63}$	> 20%	$p(k_{63})$	0,06	0,17	0,34	0,46	0,60
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каемый	$p(k_{71})$	0,83	0,48	0,51	0,31	0,20
		$k_{72}$	≤ 30%	$p(k_{72})$	0,11	0,38	0,23	0,46	0,20
		$k_{73}$	> 30%	$p(k_{73})$	0,06	0,14	0,26	0,23	0,60
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,80
9	Условие прочности по накл. сеч.	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	0,94	0,83	0,60	0,61	0,20
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,06	0,17	0,40	0,39	0,80

*Первый признак* – повреждения бетона, снижающие его защитные свойства по отношению к арматуре (следы коррозии, повреждения наружной поверхности в виде сколов и отслоений); признак вводится как простой, т. е. диагностируется наличие этих повреждений (разряд  $k_{11}$  – «да») или их отсутствие (разряд  $k_{21}$  – «нет»).

*Второй признак* – продольные трещины в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней, продукты коррозии вдоль арматурных стержней, отслоение защитного слоя бетона; признак также диагностируется по принципу «да» (разряд  $k_{21}$ ) или «нет» (разряд  $k_{22}$ ).

*Третий признак* – наличие и ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси, которая определяется по результатам выполненных в ходе обследования измерений; вводится как трехразрядный признак; разделяется на величину менее 0,4 мм (разряд  $k_{31}$ ), на величину от 0,4 до 1 мм (разряд  $k_{32}$ ) и на величину более 1 мм (разряд  $k_{33}$ ).

*Четвертый признак* – наличие наклонных трещин представляется как простой признак, свидетельствующий о наличии наклонных трещин (разряд  $k_{41}$  – «да») или об их отсутствии (разряд  $k_{42}$  – «нет»).

*Пятый признак* – прочность бетона вводится как трехразрядный признак; определяется по результатам выполненных в ходе обследования измерений различными способами; разделяется на проектную прочность (разряд  $k_{51}$ ), на сниженную не более, чем на 30 % (разряд  $k_{52}$ ), и на сниженную более, чем на 30 % (разряд  $k_{53}$ ).

*Шестой признак* – коррозия арматуры также рассматривается как трехразрядный признак; разделяется на степень поражения обнажившихся арматурных стержней не более, чем на 5 % (разряд  $k_{61}$ ), далее 5 – 20 % (разряд  $k_{62}$ ), и затем более 20 % (разряд  $k_{63}$ ).

*Седьмой признак* – прогиб, определялся по результатам измерений и введен как трехразрядный признак, разделяющийся на допускаемый (разряд  $k_{71}$ ), превышающий допускаемый не более, чем на 30 % (разряд  $k_{72}$ ) и превышающий допускаемый более, чем на 30 % (разряд  $k_{73}$ ).

*Восьмой признак* – проверка условия прочности по нормальным сечениям на основе результатов выполненной серии поверочных расчетов; признак вводится как простой, т. е. диагностируется выполнение условия (разряд  $k_{81}$  – «да») или его невыполнение (разряд  $k_{82}$  – «нет»).

*Девятый признак* – проверка условия прочности по наклонным сечениям – вводится аналогично (разряд  $k_{91}$  – «да», разряд  $k_{92}$  – «нет»).

Выше отмечено, что диагностическая матрица полностью формируется на статистическом материале. Для главных балок перекрытий на основе ретроспективного анализа материалов обследований прошлых лет и их статистической обработки получены априорные вероятности пяти состояний  $P(S_i)$ . Как видно из таблицы 6.2, ряд априорных вероятностей в этом случае представлен следующими численными значениями:

$$P(S_1) = 0,18; P(S_2) = 0,29; P(S_3) = 0,35; P(S_4) = 0,13; P(S_5) = 0,05. \quad (6.7)$$

На рисунке 6.2 показано их графическое представление. Анализ распределения вероятностей этих дискретных случайных событий показал, что закон распределения плотности вероятности (если его также аппроксимировать непрерывной функцией) для главных балок больше всего близок к закону распределения Вейбулла. Функция плотности вероятности для этого распределения, как известно из литературных источников, имеет вид

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)}, \quad x > 0, \quad (6.8)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий форму функции ( $k > 0$ );  $\lambda$  – коэффициент, определяющий масштаб функции ( $\lambda > 0$ ).

Для аппроксимации графика распределения величин (6.7) непрерывной функцией (6.8) параметры  $k$  и  $\lambda$  подобраны и с достаточной степенью точности могут быть приняты равными  $k = 2$ ,  $\lambda = 2,5$ . В таком случае для рассматриваемых случайных событий  $S_i$  выражение (6.8) будет иметь вид

$$f(S_i) = 0,8 \left( \frac{S_i - \beta}{2,5} \right) \exp^{-\left(\frac{S_i - \beta}{2,5}\right)^2}. \quad (6.9)$$

Здесь параметр  $\beta$  осуществляет преобразование функции (6.9), представляющее собой сдвиг графика вдоль оси абсцисс вправо. Параметр также подобран и принят равным  $\beta = 0,5$ . Сказанное выше проиллюстрировано на рисунке 6.2, где голубой линией показан закон распределения Вейбулла. Как видно из рисунка, графики распределений удовлетворительно согласуются, и ряд априорных вероятностей  $P(S_i)$ , вычисленных по (6.9) представляется следующей последовательностью чисел:

$$P(S_1) = 0,15; P(S_2) = 0,33; P(S_3) = 0,30; P(S_4) = 0,16; P(S_5) = 0,06. \quad (6.10)$$

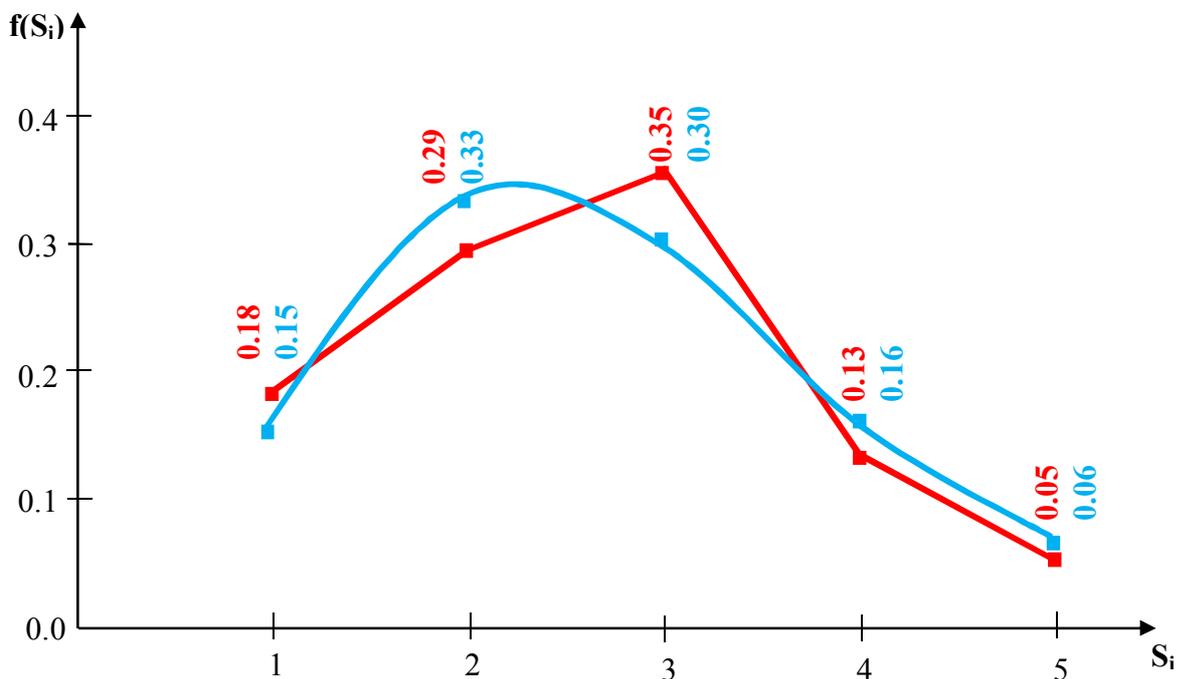


Рисунок 6.2 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики и по закону Вейбулла (главные балки)

Для диагностирования *плитных участков* рассматриваемого монолитного железобетонного перекрытия рассмотрены следующие признаки.

*Первый признак* – повреждения бетона, снижающие его защитные свойства по отношению к арматуре (следы коррозии, повреждения поверхности в виде сколов и отслоений); признак вводится как простой, т. е. диагностируется наличие этих повреждений (разряд  $k_{11}$  – «да») или их отсутствие (разряд  $k_{21}$  – «нет»).

*Второй признак* – продольные трещины в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней, продукты коррозии вдоль арматурных стержней, отслоение защитного слоя бетона; признак также диагностируется по принципу «да» (разряд  $k_{21}$ ) или «нет» (разряд  $k_{22}$ ).

*Третий признак* – протечки технических жидкостей (в том числе масел и нефтепродуктов); вводится как трехразрядный признак и разделяется на отсутствие любых протечек (разряд  $k_{31}$ ), на протечки периодического характера (разряд  $k_{32}$ ) и на постоянно происходящие протечки (разряд  $k_{33}$ ).

*Четвертый признак* – наличие силовых трещин, свидетельствующих перегрузке плитной части от внешнего нагружения; представляется как простой признак, показывающий либо наличие трещин (разряд  $k_{41}$  – «да»), либо их отсутствие (разряд  $k_{42}$  – «нет»).

*Пятый признак* – прочность бетона вводится как трехразрядный признак; определяется по результатам выполненных в ходе обследования измерений различными способами (по результатам испытаний образцов или по результатам измерений объекта приборами неразрушающей диагностики); разделяется на проектную прочность (разряд  $k_{51}$ ), на сниженную не более, чем на 30 % (разряд  $k_{52}$ ), и на сниженную более, чем на 30 % (разряд  $k_{53}$ ).

*Шестой признак* – коррозия арматуры также рассматривается как трехразрядный признак; разделяется на степень поражения обнажившихся арматурных стержней не более, чем на 5 % (разряд  $k_{61}$ ), далее в интервале 5 – 20 % (разряд  $k_{62}$ ), и затем более 20 % (разряд  $k_{63}$ ).

*Седьмой признак* – прогиб определялся по результатам измерений и введен как простой двухразрядный признак, разделяющийся на допусаемый (разряд  $k_{71}$ ) и превышающий допусаемый (разряд  $k_{73}$ ).

Таблица 6.3 – Диагностическая матрица для плитных участков монолитного железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,13	0,33	0,40	0,63	0,85
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,87	0,67	0,60	0,37	0,15
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,05	0,25	0,44	0,61	0,87
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,95	0,75	0,56	0,39	0,13
3	Протечки техн. жидкостей (в том числе масел, нефтепродуктов)	$k_{31}$	нет	$p(k_{31})$	0,89	0,70	0,64	0,50	0,14
		$k_{32}$	период	$p(k_{32})$	0,09	0,26	0,30	0,38	0,57
		$k_{33}$	пост.	$p(k_{33})$	0,02	0,04	0,06	0,12	0,29
4	Силовые трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,03	0,13	0,25	0,37	0,39
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,97	0,87	0,75	0,63	0,61
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,79	0,51	0,33	0,26	0,24
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p(k_{52})$	0,16	0,30	0,34	0,39	0,37
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p(k_{53})$	0,05	0,19	0,33	0,35	0,39
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	$< 5\%$	$p(k_{61})$	0,79	0,55	0,34	0,22	0,14
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,18	0,25	0,35	0,41	0,42
		$k_{63}$	$> 20\%$	$p(k_{63})$	0,03	0,20	0,31	0,37	0,44
7	П р о г и б (наличие)	$k_{71}$	да	$p(k_{71})$	0,03	0,11	0,19	0,27	0,35
		$k_{72}$	нет	$p(k_{72})$	0,97	0,89	0,81	0,73	0,65
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,92	0,84	0,61	0,42	0,20
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,08	0,16	0,39	0,58	0,80

Восьмой признак – проверка условия прочности по нормальным сечениям на основе результатов выполненной серии поверочных расчетов; признак вводится

как простой, т. е. диагностируется выполнение условия (разряд  $k_{81}$  – «да») или его невыполнение (разряд  $k_{82}$  – «нет»).

Как видно из таблицы 6.3, для плитных участков перекрытий распределение априорных вероятностей  $P(S_i)$  представляется следующим рядом численных значений:

$$P(S_1) = 0,13; P(S_2) = 0,25; P(S_3) = 0,27; P(S_4) = 0,23; P(S_5) = 0,12. \quad (6.11)$$

На рисунке 6.3 показано графическое распределение этих вероятностей. Их анализ показал, что закон распределения плотности вероятностей (если его также аппроксимировать непрерывной функцией) для плитных участков в данном случае очень близок к нормальному закону распределения Гаусса (на рис. 6.3 показан голубым цветом).

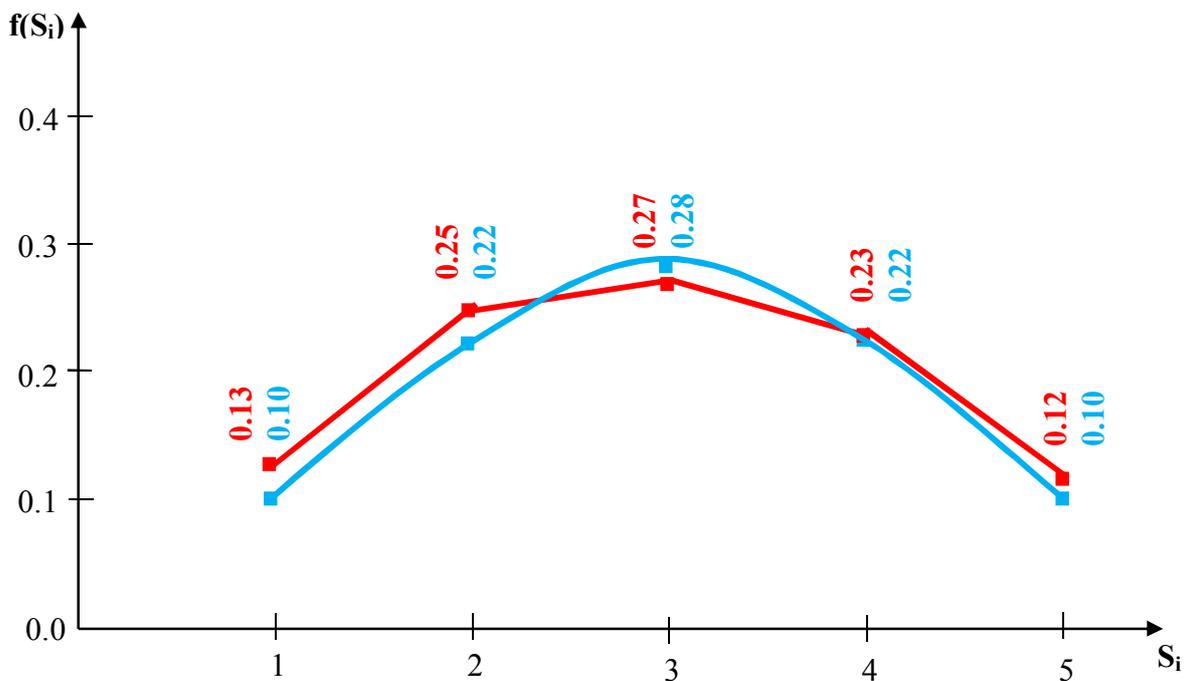


Рисунок 6.3 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики и по закону Гаусса (плитные участки)

Функция плотности вероятности для нормального закона распределения, как известно, имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (6.12)$$

где параметр  $\mu$  — среднее значение (математическое ожидание) случайной величины  $x$ , указывающее координату максимума кривой плотности распределения, а  $\sigma^2$  — дисперсия. В данном случае эти параметры подобраны и принимают следующие значения  $\mu = 3$ ,  $\sigma^2 = 2$ . Тогда выражение (6.12) запишется следующим образом

$$f(S_i) = 0,283e^{-\frac{(S_i-3)^2}{4}}. \quad (6.13)$$

Распределение вероятностей в соответствии с функцией (6.13) получилось в виде следующей последовательности значений:

$$P(S_1) = 0,10; P(S_2) = 0,22; P(S_3) = 0,28; P(S_4) = 0,22; P(S_5) = 0,10. \quad (6.14)$$

Как видно, численные значения в зависимостях (6.11) и (6.14) отличаются весьма незначительно. Для диагностирования состояний плитных участков в дальнейшем априорные вероятности вполне могут быть назначены аналитически, причем, как видно, на основе нормального закона распределения Гаусса.

*Пример расчета для главных балок.* Пусть диагностическая матрица, построенная, например, для выборки из *ста* балок имеет вид таблицы 6.2. В качестве примера на момент обследования *сто* первой балки можно рассмотреть следующую реализацию признаков по всей их совокупности (эти строки в диагностической матрице в таблице 6.2 выделены цветом):

- 1) повреждения наружной поверхности есть;
- 2) продольные трещины в защитном слое есть;
- 3) нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием до 0,4 мм есть;
- 4) наклонные трещины есть;
- 5) прочность бетона оказалась на 10 % ниже проектной;
- 6) имеет место обнажившаяся арматура, 5 % сечения которой поражено коррозией;
- 7) прогиб не превышает нормативный;
- 8) условие прочности при расчете по нормальным сечениям удовлетворяется;

9) условие прочности при расчете по наклонным сечениям не удовлетворяется;

При использовании данных таблицы 6.2, предложенной выше байесовской методики распознавания состояний (глава 4, формула 4.14), указанных условий и, имея в виду вариант распределения априорных вероятностей по (6.7 – статистика), получено следующее:

$$\begin{aligned} P(S_1 / K^*) = 0,008; \quad P(S_2 / K^*) = 0,167; \quad \underline{P(S_3 / K^*) = 0,582;} \\ P(S_4 / K^*) = 0,221; \quad P(S_5 / K^*) = 0,022. \end{aligned} \quad (6.15)$$

В соответствии с решающим правилом, сформулированным ранее, диагностируемая главная балка по всей совокупности указанных диагностических признаков с вероятностью 0,527 может быть отнесена к *третьей (ограниченно работоспособной) категории технического состояния*.

Подобные расчеты выполнены и для случая распределения вероятностей по (6.10), т. е. на основе использования функции распределения плотности вероятностей по Вейбуллу. Ряд апостериорных вероятностей при той же реализации признаков получен в следующем виде:

$$\begin{aligned} P(S_1 / K^*) = 0,008; \quad P(S_2 / K^*) = 0,192; \quad \underline{P(S_3 / K^*) = 0,556;} \\ P(S_4 / K^*) = 0,221; \quad P(S_5 / K^*) = 0,023. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Как видно, сохранилась *третья категория состояния* с вероятностью, отличающейся по сравнению с (6.15), не более, чем на 5 %.

*Пример расчета для плитных участков.* В качестве примера рассматривается диагностическая матрица, построенная для выборки, состоящей также, например, из *ста* участков, и имеющая вид таблицы 6.3. На момент обследования *сто* первого участка предлагается рассмотреть реализацию признаков по всей их совокупности в следующем виде (соответствующие строки в диагностической матрице 6.3 также выделены цветом):

- 1) повреждения наружной поверхности бетона есть;

- 2) продольные трещины в защитном слое вдоль арматурных стержней есть;
- 3) пятна от периодических протечек технических жидкостей есть;
- 4) силовых трещин нет;
- 5) прочность бетона оказалась на 30 % ниже проектной;
- 6) имеет место обнажившаяся арматура, (5 – 20) % сечения которой поражено коррозией;
- 7) прогиб не превышает допускаемый;
- 8) условие прочности при расчете по нормальным сечениям удовлетворяется.

На основе данных этой таблицы, предложенной выше байесовской методики распознавания состояний (глава 4, формула 4.14), указанных условий реализации признаков и, имея в виду вариант распределения априорных вероятностей по 6.11 (статистика), получено следующее распределение апостериорных вероятностей состояний:

$$\begin{aligned}
 P(S_1 / K^*) &= 0,001; & P(S_2 / K^*) &= 0,102; & P(S_3 / K^*) &= 0,246; \\
 \underline{P(S_4 / K^*)} &= 0,406; & P(S_5 / K^*) &= 0,244. & & 
 \end{aligned}
 \tag{6.17}$$

Как видно, объект можно отнести к *четвертой (недопустимой) категории технического состояния* с вероятностью, равной 0,406.

Аналогично выполненный расчет на основе использования распределения априорных вероятностей по 6.14 (по закону Гаусса) привел к следующим результатам:

$$\begin{aligned}
 P(S_1 / K^*) &= 0,001; & P(S_2 / K^*) &= 0,096; & P(S_3 / K^*) &= 0,272; \\
 \underline{P(S_4 / K^*)} &= 0,414; & P(S_5 / K^*) &= 0,217. & & 
 \end{aligned}
 \tag{6.18}$$

Категория состояния не изменилась – *четвертая*, отличие по сравнению с (6.17) не превышает 3 %.

Таким образом, диагностирование конструктивных элементов железобетонных монолитных перекрытий зданий старой городской застройки тоже можно с достаточной степенью точности проводить, используя предложенные функции для аппроксимации априорной статистики состояний

известными распределениями Вейбула и Гаусса. То есть и для этих элементов можно заменить статистику математическим описанием распределений, а рассмотренные диагностические матрицы считать вполне устойчивыми. Как и в случае кирпичных стен, это тоже важно, так как априорная информация о состояниях рассматриваемых элементов, как указывалось выше, часто бывает либо недостаточна, либо вызывает сомнения, что требует постоянного уточнения входных данных при построении решения на основе байесовской процедуры, а в ряде случаев вынуждает принимать волевые решения.

### ***6.1.3. Диагностические матрицы для стальных конструкций***

Для диагностирования стальных конструктивных элементов старых зданий на основе статистических данных, полученных по результатам многочисленных обследований прошлых лет, в данной работе построены четыре диагностические матрицы. Это матрицы для стальных главных балок и колонн междуэтажных перекрытий, для колонн чердачных перекрытий и для стальных балок надподвальных перекрытий. Все рассматриваемые элементы выполнены, преимущественно, с использованием двутавровых профилей старых сортаментов. Диагностические матрицы представлены в приложении А. В настоящем же параграфе пример построения аппроксимирующих функций продемонстрирован при рассмотрении диагностических матриц только для стальных балок междуэтажных перекрытий (таблица 6.4). Как видно, для анализа пяти состояний этих конструктивных элементов введены пять характерных диагностических признаков. Признаки для этих элементов сформулированы и упорядочены следующим образом.

Таблица 6.4 – Диагностическая матрица для стальных балок междуэтажного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реали зация приз наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,12</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>
1	Повреждения защитного слоя и обнажение балок	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,03	0,16	0,33	0,65	0,84
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,97	0,84	0,67	0,35	0,16
2	Коррозия балок	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	повер хност.	$p(k_{22})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	точеч ная	$p(k_{23})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{24}$	пласт инчат.	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
3	Прогиб	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,87	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	до 1/100	$p(k_{32})$	0,10	0,26	0,33	0,43	0,28
		$k_{33}$	$\geq$ 1/100	$p(k_{33})$	0,03	0,08	0,19	0,32	0,61
4	Выполнение условия прочности	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68
5	Выполнение условия жесткости	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,90	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,10	0,16	0,39	0,58	0,77

*Первый признак* – повреждение защитного слоя металлических поверхностей (покрасочного или штукатурного) в виде шелушения, отслоения или утраты элементов защитных покрытий; вводится как простой двухразрядный признак, отвечающий на вопрос «да» (разряд признака  $k_{11}$ ) или «нет» (разряд признака  $k_{12}$ ).

*Второй признак* – коррозия балок; представляется как повреждение с различной степенью проявления в зависимости от категории состояния в виде точечного, сплошного, язвенного или пластинчатого поражения сечений элементов стальных профилей; определяется после зачистки пораженной

поверхности; рассматривается как сложный признак, четыре разряда которого соответствуют степени и виду поражения: разряд  $k_{21}$  означает отсутствие коррозии,  $k_{22}$  указывает о наличии поверхностной коррозии – сплошной или участками,  $k_{23}$  соответствует коррозионному поражению язвенно-точечного типа и  $k_{24}$  указывает на пластинчатый характер поражения.

*Третий признак* – прогиб балок; измеряется в ходе обследования (при необходимости с использованием геодезических приборов); вводится в виде трехразрядного признака, означающего: наличие прогиба, не превышающего предельного значения (разряд  $k_{31}$ ), наличие прогиба, не превышающего 1/100 пролета балки (разряд  $k_{32}$ ) и наличие прогиба более 1/100 пролета балки (разряд  $k_{33}$ ).

*Четвертый признак* – выполнение условия прочности; диагностируется в ходе обследования при выполнении поверочных расчетов и рассматривается как двухразрядный признак, означающий выполнение условия прочности («да» – разряд  $k_{41}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{42}$ ).

*Пятый признак* – выполнение условия деформативности; диагностируется в ходе обследования при выполнении поверочных расчетов и также рассматривается как двухразрядный признак, означающий выполнение условия прочности («да» – разряд  $k_{51}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{52}$ ).

Как видно из таблицы 6.4, для стальных балок перекрытий распределение априорных вероятностей  $P(S_i)$  представляется в виде следующего статистического ряда чисел:

$$P(S_1) = 0,12; P(S_2) = 0,25; P(S_3) = 0,29; P(S_4) = 0,20; P(S_5) = 0,14.$$

На рис. 6.4 показано графическое представление этих результатов. Анализ этих данных показал, что закон распределения плотности вероятностей (если его тоже аппроксимировать непрерывной функцией) при диагностировании стальных балок в данном случае также очень близок к нормальному закону распределения Гаусса (на рисунке 6.4 – кривая голубого цвета). Функция плотности вероятности для нормального закона распределения имеет тот же вид (6.12). Параметры

распределения принимаются такие же, как и в п. 6.1.2. Тогда окончательное выражение для рассматриваемого распределения примет тот же вид (6.13).

Тот же вид будет иметь и последовательность значений априорных вероятностей:

$$P(S_1) = 0,10; P(S_2) = 0,22; P(S_3) = 0,28; P(S_4) = 0,22; P(S_5) = 0,10. \quad (6.19)$$

*Пример расчета для стальных балок.* Пример расчета рассмотрен для следующего варианта реализации признаков и их разрядов (в таблице 6.4 они также выделены цветом):

- 1) повреждения защитного слоя есть;
- 2) на обнажившихся участках обнаружена коррозия язвенно-точечного типа (разряд  $k_{23}$ );
- 3) прогиб превышает предельный, но не более 1/100 пролета;
- 4) условие прочности выполняется;
- 5) условие жесткости не выполняется.

Результаты расчетов, выполненных в соответствии с представленной реализацией признаков по двум вариантам распределений (6.19) и (6.20),

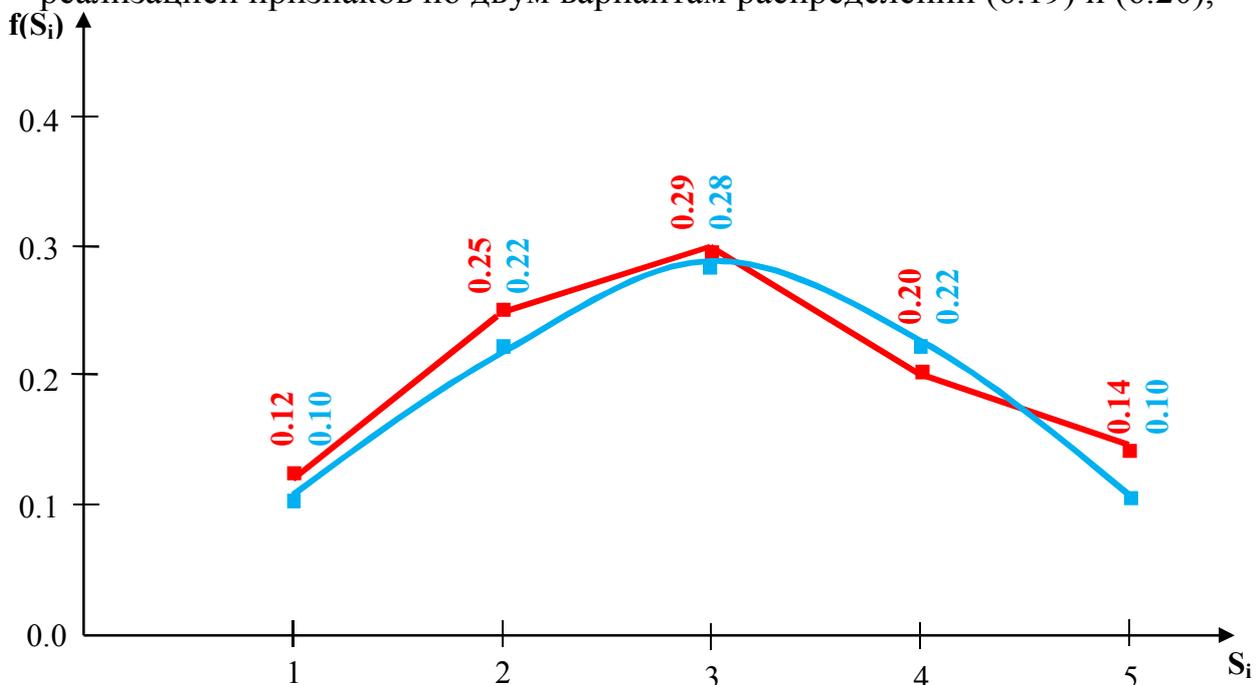


Рисунок 6.4 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики и по закону Гаусса (стальные балки)

показали, что состояние диагностируемой стальной балки междуэтажного перекрытия может быть отнесено к *четвертой (недопустимой)* категории со следующими значениями апостериорных вероятностей:

– при статистическом распределении

$$P(S_1 / K^*) = 0,0004; \quad P(S_2 / K^*) = 0,026; \quad P(S_3 / K^*) = 0,200;$$

$$\underline{P(S_4 / K^*) = 0,456; \quad P(S_5 / K^*) = 0,317.} \quad (6.20)$$

– при распределении по нормальному закону (6.19)

$$P(S_1 / K^*) = 0,003; \quad P(S_2 / K^*) = 0,024; \quad P(S_3 / K^*) = 0,205;$$

$$\underline{P(S_4 / K^*) = 0,531; \quad P(S_5 / K^*) = 0,240.} \quad (6.21)$$

Отличие для максимальных значений, как видно, есть (чуть более 16 %), однако качественно картина распределения вероятностей состояний сохраняется. При отсутствии статистического материала о состояниях стальных балок перекрытий в должном объеме, принятие решений об их состоянии вполне может быть основано на модели, построенной с использованием нормального закона распределения плотности вероятностей.

#### ***6.1.4. Диагностические матрицы для деревянных конструкций***

Диагностика деревянных конструктивных элементов старых зданий также основывается на данных статистики повреждений и дефектов, характерных для «старого дерева» и полученных по результатам многочисленных обследований прошлых лет. Дерево для конструкций рассматриваемых зданий является широко распространенным материалом, поэтому по многим деревянным конструкциям за многие годы обследований накопился достаточно обширный статистический материал об их состоянии.

В данной работе построено четырнадцать диагностических матриц для различных конструктивных элементов из дерева, нашедших применение в конструкциях междуэтажных и чердачных перекрытий, а также в конструкциях крыши старых зданий. Все матрицы приведены в приложении А. Как видно, представлены таблицы вероятностей для несущих деревянных балок и

конструкций деревянного заполнения междуэтажных и чердачных перекрытий, а также для несущих элементов стропильной системы и конструкций кровли. Анализ результатов аппроксимации показывает, что для большинства конструкций перекрытий из «старого дерева» ближе всего подходит нормальный закон распределения плотности вероятностей, но закон усеченный и смещенный «вправо» с математическим ожиданием  $\mu = 3,55$ . Для конструкций стропильной системы приемлемым оказался закон распределения плотности вероятностей Вейбулла (рисунок 6.6).

Пример построения аппроксимирующих функций продемонстрирован в данном случае при рассмотрении диагностических матриц для деревянных балок междуэтажных перекрытий (таблица 6.5) и стропильных балок крыши (таблица 6.6). Как видно, для анализа пяти состояний этих конструктивных элементов введены, соответственно, четыре и восемь характерных диагностических признаков. Для *деревянных балок междуэтажных перекрытий* признаки сформулированы и упорядочены следующим образом.

*Первый признак* – биопоражение древесины; как отмечено в главе 3 (п. 3.5) вызывается нарушением температурно-влажностного режима эксплуатации помещений; диагностируется как сложный четырехразрядный признак; четыре разряда признака соответствуют степени, виду и глубине поражения: разряд  $k_{11}$  означает отсутствие биопоражения,  $k_{12}$  указывает о наличии поверхностного биопоражения,  $k_{13}$  соответствует биопоражению на глубину не более 10 % высоты сечения элемента и  $k_{14}$  указывает на глубокий характер поражения (более 10 % высоты сечения).

*Второй признак* – прогиб балок, измеряется в ходе обследования (при необходимости с использованием геодезических приборов); вводится в виде трехразрядного признака, означающего: наличие прогиба, не превышающего предельного значения (разряд  $k_{21}$ ), наличие прогиба, не превышающего 1/100 пролета балки (разряд  $k_{22}$ ) и наличие прогиба более 1/100 пролета балки (разряд  $k_{23}$ ).

Таблица 6.5 – Диагностическая матрица для деревянных балок междуэтажных перекрытий

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реализация признаков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>	<b>0,25</b>
1	Биопоражение балок	$k_{11}$	нет	$p(k_{11})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{12}$	поверхност.	$p(k_{12})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{13}$	до 10%	$p(k_{13})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{14}$	≥10% сеч-я	$p(k_{14})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
2	Прогиб балок	$k_{21}$	доп.	$p(k_{21})$	0,86	0,63	0,47	0,21	0,07
		$k_{22}$	до 1/100	$p(k_{22})$	0,12	0,28	0,36	0,49	0,37
		$k_{23}$	более 1/100	$p(k_{23})$	0,02	0,09	0,17	0,30	0,56
3	Выполн. условия прочности балок	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68
4	Выполн. условия жесткости балок	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,90	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,10	0,16	0,39	0,58	0,77

*Третий признак* – выполнение условия прочности; диагностируется в ходе обследования при выполнении поверочных расчетов и рассматривается как двухразрядный признак; означает выполнение условия прочности («да» – разряд  $k_{31}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{32}$ ).

*Четвертый признак* – выполнение условия деформативности; диагностируется при выполнении поверочных расчетов прогибов балок, выполняемых в ходе обследования; рассматривается как двухразрядный признак, означающий выполнение условия («да» – разряд  $k_{41}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{42}$ ).

Как видно из таблицы 6.5, для деревянных балок перекрытий распределение априорных вероятностей  $P(S_i)$  по данным статистики представляется в виде следующего ряда:

$$P(S_1) = 0,08; P(S_2) = 0,11; P(S_3) = 0,24; P(S_4) = 0,32; P(S_5) = 0,25. \quad (6.22)$$

На рисунке 6.5 показано графическое представление этих результатов. Их анализ показал, что закон распределения плотности вероятностей для деревянных балок перекрытий, как отмечено выше, в непрерывном виде близок к нормальному закону распределения Гаусса. Указано также, что функция принята в усеченном и смещенном виде, что на рисунке 6.5 показано голубым цветом. Ее вид при подобранных параметрах  $\mu = 3,55$  и  $\sigma = 1,48$  представляется следующим выражением

$$f(S_i) = 0,270e^{-\frac{(S_i - 3,55)^2}{4,38}}. \quad (6.23)$$

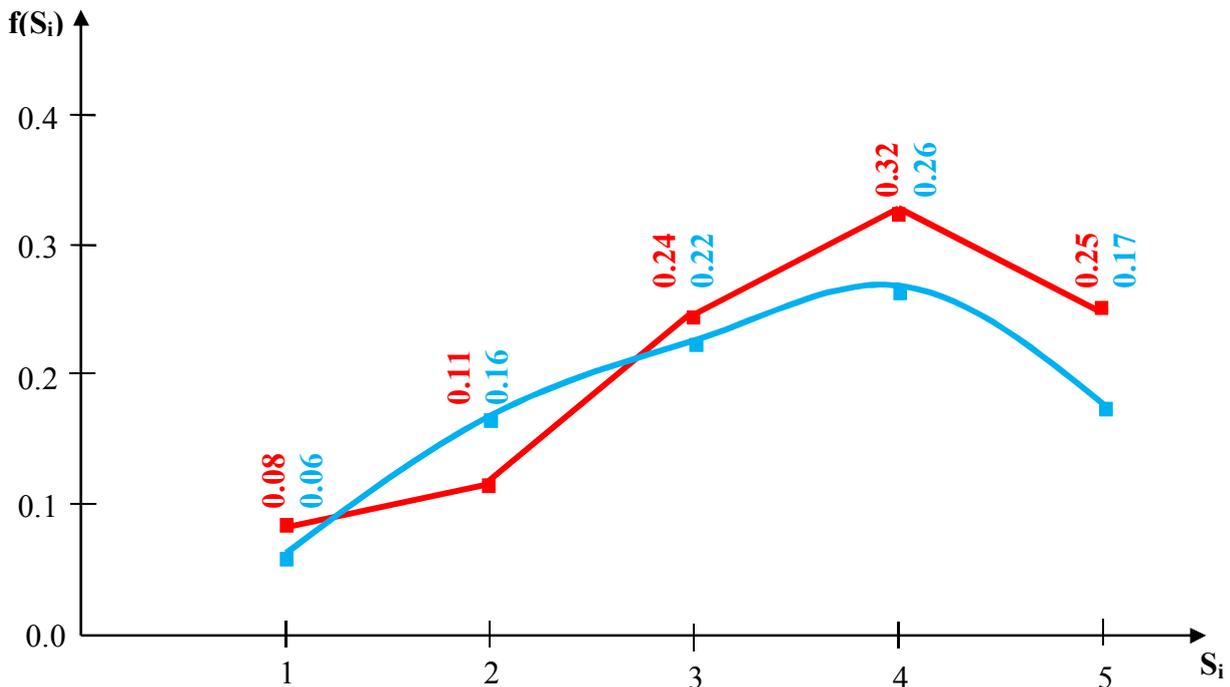


Рисунок 6.5 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики и по закону Гаусса (деревянные балки)

Тогда последовательность значений априорных вероятностей в соответствии с (6.23) имеет вид:

$$P(S_1) = 0,06; P(S_2) = 0,16; P(S_3) = 0,22; P(S_4) = 0,26; P(S_5) = 0,17. \quad (6.24)$$

При диагностировании состояний *рядовых стропильных балок* крыши здания рассмотрены, как отмечено, восемь признаков.

*Первый признак* – выполнение условия прочности; диагностируется в ходе обследования при выполнении поверочных расчетов и рассматривается как двухразрядный признак; означает выполнение условия прочности («да» – разряд  $k_{11}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{12}$ ).

*Второй признак* – выполнение условия деформативности; диагностируется при выполнении поверочных расчетов прогибов стропил, выполняемых в ходе обследования; рассматривается как двухразрядный признак, означающий выполнение условия («да» – разряд  $k_{21}$ ) или его невыполнение («нет» – разряд  $k_{22}$ ).

*Третий признак* – выполнение требований пожарной безопасности; фиксируется наличие или отсутствие покрытия стропильных конструкций противопожарными покрытиями (антипиренами); признак двухразрядный, то есть, принимается «да» – разряд  $k_{31}$  или «нет» – разряд  $k_{32}$ .

*Четвертый признак* – нарушение условий температурно-влажностного режима в помещениях, где эксплуатируются деревянные конструкции, а также самих конструкций; признак тоже двухразрядный, отвечающий на вопрос «да» – разряд  $k_{41}$ , или «нет» – разряд  $k_{42}$ .

*Пятый признак* – прогиб стропильных балок; трехразрядный признак, измеряемый при обследовании; вводится по разрядам, означающим: наличие прогиба, не превышающего предельные значения (разряд  $k_{51}$ ), наличие прогиба, не превышающего 1/100 пролета балки (разряд  $k_{52}$ ) и наличие прогиба более 1/100 пролета балки (разряд  $k_{53}$ ).

*Шестой признак* – биопоражения и прочие поражения древесины; измеряется при обследовании и означает степень и глубину поражения сечения балок в зависимости от состояния конструкции; делится на три разряда: разряд

$k_{61}$ , когда поражено не более 10 % сечения, разряд  $k_{62}$ , означающий поражение сечения в пределах 10 – 30 % и разряд  $k_{63}$  с поражением сечения более 30 %.

Таблица 6.6 – Диагностическая матрица для деревянных рядовых стропильных балок и нащиток крыши

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{js}$	Реализация признаков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,11</b>	<b>0,32</b>	<b>0,26</b>	<b>0,21</b>	<b>0,10</b>
1	Выполнение условия прочности	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,91	0,63	0,43	0,25	0,14
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,09	0,37	0,57	0,75	0,86
2	Выполнение условия жесткости	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,79	0,47	0,50	0,25	0,11
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,21	0,53	0,50	0,75	0,89
3	Соответствие требованиям пожарной безопасности	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,86	0,96	0,87	0,48	0,43
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,14	0,04	0,13	0,52	0,57
4	Нарушение условий темп.-влажност. режима	$k_{41}$	нет	$p(k_{41})$	0,96	0,92	0,78	0,47	0,43
		$k_{42}$	да	$p(k_{42})$	0,04	0,08	0,22	0,53	0,57
5	Прогиб	$k_{51}$	доп.	$p(k_{51})$	0,91	0,77	0,43	0,23	0,12
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	0,08	0,14	0,34	0,46	0,47
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,01	0,09	0,23	0,31	0,41
6	Биопоражения и прочие поражения	$k_{61}$	< 10% сечения	$p(k_{61})$	0,91	0,81	0,43	0,35	0,25
		$k_{62}$	10÷30% сечения	$p(k_{62})$	0,06	0,16	0,33	0,40	0,29
		$k_{63}$	> 30%	$p(k_{63})$	0,03	0,03	0,24	0,25	0,46
7	Повреждение узлов опирания элементов	$k_{71}$	нет	$p(k_{71})$	0,96	0,77	0,72	0,55	0,36
		$k_{72}$	да	$p(k_{72})$	0,04	0,23	0,28	0,45	0,64
8	Наличие продольных трещин усушки по длине балки	$k_{81}$	нет	$p(k_{81})$	0,91	0,66	0,46	0,25	0,08
		$k_{82}$	да	$p(k_{82})$	0,09	0,34	0,54	0,75	0,92

*Седьмой признак* – повреждение узлов опирания, примыкания и соединения элементов стропильных конструкций; двухразрядный признак, то есть принимается «да» – разряд  $k_{71}$ , или «нет» – разряд  $k_{72}$ .

*Восьмой признак* – наличие продольных трещин усушки по длине балок; диагностируется как двухразрядный признак, отвечающий на вопрос «да» – разряд  $k_{81}$ , или «нет» – разряд  $k_{82}$ .

Как видно из таблицы 6.6, распределение априорных вероятностей пяти состояний стропильных балок представляется следующим рядом значений:  
 $P(S_1) = 0,11$ ;  $P(S_2) = 0,32$ ;  $P(S_3) = 0,26$ ;  $P(S_4) = 0,21$ ;  $P(S_5) = 0,10$ . (6.25)

На рисунке 6.6 приведено графическое представление вероятностей (6.25). Анализ этого распределения показал, что в виде непрерывной функции оно оказалось достаточно близким закону распределения Вейбулла (на рис. 6.6 это проиллюстрировано линией голубого цвета).

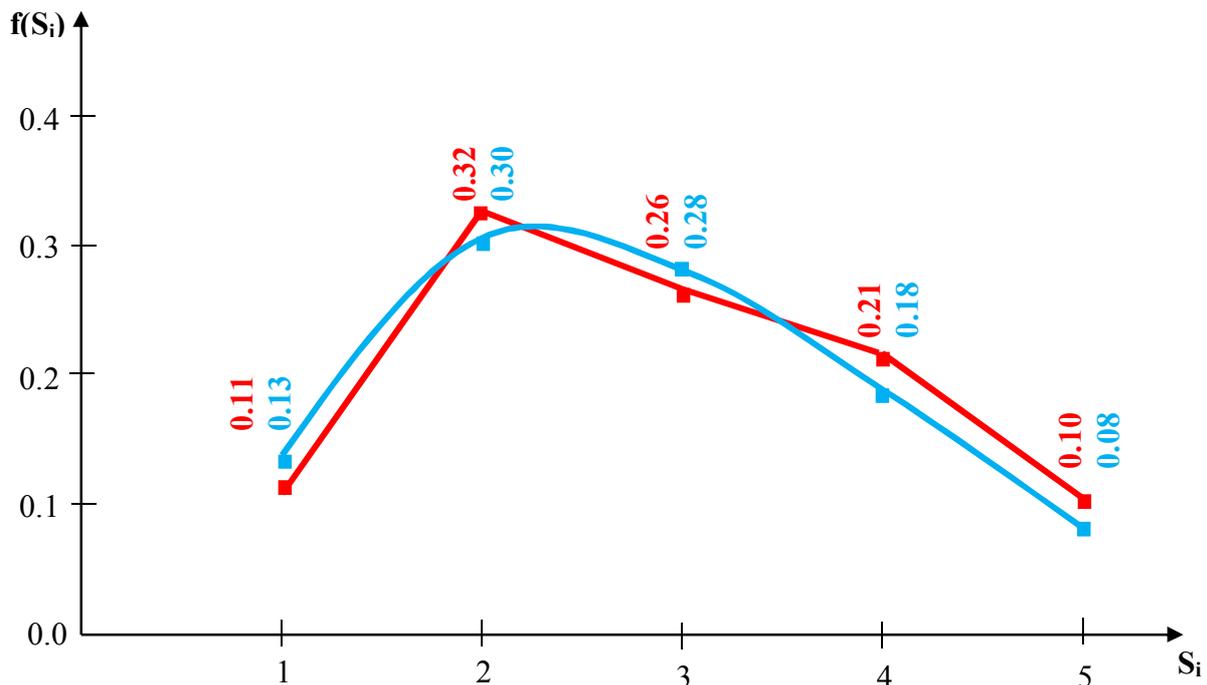


Рисунок 6.6 – Распределение априорных вероятностей по данным статистики и по закону Вейбулла (деревянные стропильные балки)

Функция плотности вероятности для этого распределения представлена известным выражением

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, \quad x > 0. \quad (6.26)$$

Для аппроксимации графика распределения величин (6.25) непрерывной функцией (6.26) параметры  $k$  и  $\lambda$  подобраны и с достаточной степенью точности в данном случае могут быть приняты равными  $k = 2$ ,  $\lambda = 2,7$ . Тогда для случайных событий  $S_i$  выражение (6.26) примет вид

$$f(S_i) = 0,741 \left( \frac{S_i - \beta}{2,7} \right) \exp^{-\left(\frac{S_i - \beta}{2,7}\right)^2}. \quad (6.27)$$

Здесь параметр  $\beta$  также осуществляет преобразование функции (6.27), представляющее собой сдвиг вдоль оси абсцисс вправо. Параметр  $\beta$  и здесь принят равным  $\beta = 0,5$ . Сказанное выше проиллюстрировано на рис. 6.6. Как видно, графики распределений удовлетворительно согласуются, и ряд априорных вероятностей  $P(S_i)$  в соответствии с функцией (6.27) представляется следующей последовательностью:

$$P(S_1) = 0,13; \quad P(S_2) = 0,30; \quad P(S_3) = 0,28; \quad P(S_4) = 0,18; \quad P(S_5) = 0,08. \quad (6.28)$$

Результаты многовариантного счета (при разных реализациях признаков и их разрядов) показали, что использование распределения (6.28) вместо (6.25) для максимальных значений  $P(S_i)$  приводит к погрешности, не превышающей 10 %.

### **6.1.5. Диагностические матрицы для фундаментов**

При диагностировании состояний *фундаментов* здания построена одна диагностическая матрица, отражающая состояние участков обследуемых ленточных бутовых фундаментов. Предложено рассмотреть шесть характерных признаков.

*Первый признак* – разрушение материалов кладки (камней, раствора); диагностируется в ходе обследования при проходке шурфов и рассматривается как двухразрядный признак; означает наличие нарушений сплошности, отколов,

раковин, выбоин, деструкции и утраты раствором связующих свойств («да» – разряд  $k_{11}$ ), или отсутствие этих нарушений («нет» – разряд  $k_{12}$ ).

*Второй признак* – наличие гидроизоляции; диагностируется также при проходке шурфов в ходе обследования; рассматривается как двухразрядный признак, означающий наличие гидроизоляции («да» – разряд  $k_{21}$ ), ее отсутствие или нарушение состояния («нет» – разряд  $k_{22}$ ).

*Третий признак* – наличие трещин в массиве бутовой кладки; фиксируется также при вскрытии фундаментов в ходе обследования; признак двухразрядный, то есть при наличии трещин принимается «да» – разряд  $k_{31}$ , отсутствие трещин означает «нет» – разряд  $k_{32}$ .

*Четвертый признак* – недопустимая дополнительная осадка; выявляется либо по результатам наблюдений, либо по результатам поверочных расчетов; признак тоже двухразрядный, отвечающий на вопрос «да» – разряд  $k_{41}$  или «нет» – разряд  $k_{42}$ .

*Пятый признак* – проверка прочности каменной кладки; осуществляется при выполнении поверочных расчетов; вводится по двум разрядам, означающим: выполнение условия прочности – «да» (разряд  $k_{51}$ ), невыполнение – «нет» (разряд  $k_{52}$ ).

*Шестой признак* – удовлетворение условия  $p < R$ ; также осуществляется при выполнении поверочных расчетов; делится на два разряда: разряд  $k_{61}$  означает, что условие выполняется, а разряд  $k_{62}$  означает невыполнение условия.

Диагностическая матрица представлена в виде таблицы 6.7. Численный ряд априорных вероятностей при аппроксимации этого распределения непрерывной функцией тоже лучше всего описывается распределением плотности вероятностей Вейбулла. Максимальные значения для апостериорных вероятностей, рассчитанных на основе статистических данных и на основе математического закона распределения, отличаются не более, чем на 10 %. Для фундаментных конструкций это особенно важно, так как получение априорной статистической информации для элементов подземной части зданий связано с

большим объемом вскрытий, большими затратами сил, средств и времени, что зачастую представляется весьма затруднительным мероприятием.

Таблица 6.7 – Диагностическая матрица для участков фундаментов

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,05</b>	<b>0,43</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>
1	Разрушение материалов кладки	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,02	0,07	0,12	0,26	0,60
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,98	0,93	0,88	0,49	0,40
2	Наличие гидроизоляции	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,65	0,49	0,22	0,14	0,02
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,35	0,51	0,78	0,86	0,98
3	Трещины	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,03	0,05	0,23	0,55	0,95
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,97	0,95	0,77	0,45	0,05
4	Недопустимая дополнительная осадка	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,01	0,09	0,14	0,41	0,87
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,99	0,91	0,86	0,59	0,13
5	Проверка прочности каменной кладки	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,96	0,92	0,87	0,75	0,56
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,04	0,08	0,13	0,25	0,44
6	Удовлетворение условия $p < R$	$k_{61}$	да	$p(k_{61})$	0,99	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{62}$	нет	$p(k_{62})$	0,01	0,10	0,14	0,31	0,80

## 6.2. Диагностический вес и диагностическая ценность признаков и обследования

### 6.2.1. Основные положения

При определении технического состояния конструктивных элементов строительных систем очень важное значение имеет описание и достоверность их состояний (диагнозов) в пространстве характерных признаков. В первую очередь следует определить это пространство, т. е. выявить и сформулировать признаки диагностирования, что и проделано выше, а затем важно количественно оценить их диагностический вес и диагностическую ценность при обследовании. Это

необходимо для выявления малоинформативных признаков или их разрядов, для оценки их влияния на результат диагностирования состояний, а также для оценки возможности их полного или частичного исключения из рассмотрения при проведении вероятностного анализа. Очевидно, что выполнить это можно, основываясь только на имеющейся априорной статистике диагнозов с использованием методов теории информации. Именно об этом пойдет речь ниже.

Итак, признаки могут быть простые и сложные. *Простым признаком* принято называть результат обследования, который, как отмечено ранее в п.6.1, может быть выражен одним из двух символов, например, 1 или 0, «да» или «нет», «+» или «-» и т. п. С точки зрения теории информации простой признак сам по себе можно рассматривать как систему, имеющую одно из двух возможных состояний, т. е. означать наличие или отсутствие измеряемого параметра в установленном интервале. *Сложным признаком* называют результат обследования, который выражается  $s$ -разрядным числом (например, прогиб балки допускаемый, прогиб, не превышающий 30% и прогиб, превышающий 30% – трехразрядный признак – см. выше). Разряды признака можно также называть диагностическими интервалами.

Двухразрядный признак ( $s = 2$ ) обладает двумя возможными состояниями, которые можно обозначить  $k_{j1}$  и  $k_{j2}$ . Эти состояния альтернативны, так как реализуется одно из них. Трехразрядный признак ( $s = 3$ ) имеет три возможных значения:  $k_{j1}$ ,  $k_{j2}$  и  $k_{j3}$  и т. д.

Вводится понятие *диагностического веса* признаков. Если в результате обследования выявлено, что признак  $k_j$  имеет для данного объекта значение  $k_{js}$ , то это значение, как и отмечалось выше, предлагается называть реализацией признака  $k_j$ . Тогда информация о конкретном состоянии (диагнозе)  $S_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  – общее число рассматриваемых состояний), которой обладает состояние признака  $k_{js}$ , в теории информации [14, 157] может быть определена по формуле

$$Z_{Si}(k_{js}) = \log \frac{P(S_i / k_{js})}{P(S_i)}, \quad (6.29)$$

где  $P(S_i/k_{js})$  – вероятность состояния  $S_i$  при условии, что признак  $k_j$  получил значение  $k_{js}$ ;  $P(S_i)$  – априорная вероятность состояния. Для конкретных вычислений диагностический вес наличия признака  $k_j$  в интервале  $s$  можно записать в более удобном виде

$$Z_{S_i}(k_{js}) = \log \frac{P(k_{js} / S_i)}{P(k_{js})}. \quad (6.30)$$

Эквивалентность равенств (6.29) и (6.30) в соответствии с понятиями теории вероятностей вытекает из следующего известного тождества (см. п. 4.3.2, формулу 4.5).

$$P(k_{js})P(S_i / k_{js}) = P(S_i)P(k_{js} / S_i) = P(k_{js}S_i).$$

С точки зрения теории информации [14, 157] величина  $Z_{S_i}(k_{js})$  представляет собой информацию о состоянии  $S_i$ , которой обладает состояние признака  $k_{js}$ . В формуле (6.30) величина  $P(k_{js}/S_i)$  – вероятность появления интервала  $s$  признака  $k_j$  для элемента системы с состоянием  $S_i$ ;  $P(k_{js})$  – вероятность одновременного появления каждого интервала каждого признака в каждом рассматриваемом состоянии. Величина  $P(k_{js})$  определяется по формуле

$$P(k_{js}) = \sum_{i=1}^n P(S_i)P(k_{js} / S_i). \quad (6.31)$$

Таким образом, окончательно

$$Z_{S_i}(k_{js}) = \log \frac{P(k_{js} / S_i)}{\sum_{i=1}^n P(S_i)P(k_{js} / S_i)}. \quad (6.32)$$

Если требуется оценить диагностический вес простого признака  $k_j$ , имеющего только две реализации:

$$k_{j1} = k_j; \quad k_{j2} = \bar{k}_j,$$

то диагностический вес наличия признака  $k_j$  для диагноза  $S_i$

$$Z_{S_i}(k_j) = \log \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)},$$

а диагностический вес отсутствия признака

$$Z_{S_i}(\bar{k}_j) = \log \frac{P(\bar{k}_j / S_i)}{P(\bar{k}_j)}.$$

Так как существуют очевидные соотношения

$$P(\bar{k}_j) = 1 - P(k_j); \quad P(\bar{k}_j / S_i) = 1 - P(k_j / S_i),$$

то

$$Z_{S_i}(k_j) = \log \frac{1 - P(k_j / S_i)}{P(k_j)}, \quad (6.33)$$

Следует отметить, что равенства (6.29) – (6.33) определяют независимый диагностический вес данной реализации признака для каждого диагноза  $S_i$ . Это характерно для ситуации, когда обследование по данному признаку  $k_j$  проведено первым или же, когда вероятность появления данной реализации признака не зависит от результатов предыдущих обследований. Дальнейший анализ имеет в своей основе именно такой подход.

Расчет значений  $Z_{S_i}(k_{js})$  выполнен на примере диагностирования состояний той же главной балки монолитного железобетонного перекрытия [119] в соответствии с полученными для этой балки статистическими данными в виде диагностической матрицы (таблица 6.2), но с реализацией признаков (выделены цветом), представленной в таблице 6.8.

### 6.2.2. Примеры расчетов

Результаты расчета значений  $Z_{S_i}(k_{js})$  по зависимости (6.33) сведены в таблицу диагностических весов признаков для рассматриваемых главных балок монолитного железобетонного перекрытия (таблица 6.9). В колонке 5 этой таблицы записаны значения, вычисленные по формуле (6.31)

Таблица 6.9 – Диагностические веса признаков для главных балок перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Разряд. приз- наков	$P(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
1	2	3	4	5	$Z_{S1}$	$Z_{S2}$	$Z_{S3}$	$Z_{S4}$	$Z_{S5}$
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	0,281	-0,407	-0,218	0,014	0,284	0,454
		$k_{12}$	нет	0,719	0,093	0,062	-0,006	-0,194	-0,556
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	0,262	-0,640	-0,272	-0,057	0,468	0,360
		$k_{22}$	нет	0,738	0,105	0,066	0,180	-0,506	-0,266
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	0,477	0,202	0,092	-0,076	-0,502	-0,377
		$k_{32}$	до 1,0 мм	0,382	-0,327	-0,051	0,051	0,210	0,020
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	0,141	-0,371	-0,304	0,081	0,213	0,453
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	0,229	-0,582	-0,129	0,172	0,132	-0,059
		$k_{42}$	нет	0,771	0,086	0,032	-0,068	-0,048	0,016
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	0,470	0,185	0,0091	0,0181	-0,496	-0,371
		$k_{52}$	≤ 30%	0,260	-0,073	0,076	-0,114	0,176	-0,114
		$k_{53}$	> 30%	0,270	-0,653	-0,109	0,060	0,231	0,3437
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	0,439	0,238	0,128	-0,180	-0,466	-0,341
		$k_{62}$	5 – 20	0,292	-0,210	-0,085	0,103	0,126	-0,164
		$k_{63}$	> 20%	0,269	-0,652	-0,199	0,102	0,233	0,348
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каем.	0,517	0,206	-0,032	-0,006	-0,222	-0,412
		$k_{72}$	≤ 30%	0,280	-0,406	0,133	-0,085	0,216	-0,146
		$k_{73}$	> 30%	0,203	-0,527	-0,159	0,110	0,056	0,473
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	0,831	0,054	0,035	0,015	-0,081	-0,619
		$k_{82}$	нет	0,169	-0,450	-0,228	-0,082	0,263	0,675
9	Условие прочности по наклонным сечениям	$k_{91}$	да	0,709	0,122	0,068	-0,072	-0,065	-0,550
		$k_{92}$	нет	0,291	-0,686	-0,233	0,138	0,127	0,439

только к данному конкретному состоянию (диагнозу), как степень либо его подтверждения, либо отрицания. Усреднение диагностического веса по всем реализациям признака приводит к необходимости введения еще одного понятия теории информации – *информативной* или *диагностической ценности* обследования.

В соответствии с [14, 157] под диагностической ценностью обследования по признаку  $k_j$  для состояния  $S_i$  подразумевается доля информации, вносимая всеми реализациями этого признака в установление этого состояния. Зависимость для  $m$ -разрядного признака предлагается записать в следующем виде

$$Z_{S_i}(k_j) = \sum_{s=1}^m P(k_{js} / S_i) Z_{D_i}(k_{js}) = \sum_{s=1}^m P(k_{js} / S_i) \log \frac{P(k_{js} / S_i)}{\sum_{i=1}^n P(S_i) P(k_{js} / S_i)}. \quad (6.34)$$

Диагностическая ценность обследования учитывает все возможные реализации признака по отношению к данному конкретному состоянию (диагнозу) и представляет собой некую среднюю ожидаемую величину, а точнее, математическое ожидание величины информации, вносимой отдельными реализациями признака в данное состояние. Так как  $Z_{S_i}(k_j)$  относится к одному конкретному состоянию, то ее принято называть частной диагностической ценностью по признаку  $k_j$ . Ранее в работах отмечалось, что на начальном этапе диагностирования сформулированные диагностические признаки можно считать независимыми. В связи с этим величина  $Z_{S_i}(k_j)$ , определяющая, как указано в [14], независимую диагностическую ценность обследования для данного состояния, может быть определена по формуле (6.34) для каждого из рассматриваемых пяти состояний.

Результаты расчета частной диагностической ценности обследования по всем признакам для всех рассматриваемых состояний удобно представить в табличном виде (таблица 6.10).

Далее предлагается применить результаты проведенного анализа рассматриваемых диагностических признаков для оценки влияния этих результатов на определение технического состояния рассматриваемого объекта –

главной балки и на принятие решения о назначении этому объекту соответствующей категории технического состояния.

Как и ранее, для этого предлагается использовать подход, основанный на теоретическом аппарате технической диагностики с применением вероятностных статистических методов распознавания состояний сложных технических систем с помощью обобщенной формулы Байеса (4.14) и данных статистики диагнозов в представленной выше диагностической матрице (таблица 6.8).

Таблица 6.10 – Значения частной диагностической ценности обследования

Признаки $k_j$	$Z_{S1}(k_j)$	$Z_{S2}(k_j)$	$Z_{S3}(k_j)$	$Z_{S4}(k_j)$	$Z_{S5}(k_j)$	Общая $Z_S(k_j)$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,038	0,014	0,00016	0,064	0,252	0,032
2	0,060	0,017	0,00075	0,244	0,122	0,054
3	0,072	0,016	0,0053	0,104	0,114	0,039
4	0,046	0,0046	0,014	0,0078	0,001	0,016
5	0,078	0,0050	0,0047	0,100	0,111	0,036
6	0,104	0,021	0,021	0,086	0,108	0,049
7	0,095	0,013	0,006	0,043	0,172	0,068
8	0,024	0,0087	0,0014	0,026	0,416	0,032
9	0,074	0,017	0,012	0,010	0,241	0,036

Диагностирование состояний балки и вероятностный анализ полученных результатов здесь выполняется при условии следующей реализации признаков  $k_j$  и их разрядов, а именно (для наглядности принята несколько иная по сравнению с п. 6.1.2 реализация признаков):

- 1) повреждения наружной поверхности есть;
- 2) продольные трещины в защитном слое есть;
- 3) нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием до 0,4 мм есть;
- 4) наклонные трещины есть;

- 5) прочность бетона оказалась на 10 % ниже проектной;
- 6) имеет место обнажившаяся арматура, 5 % сечения которой поражено коррозией;
- 7) прогиб не превышает нормативный;
- 8) условие прочности при расчете по нормальным сечениям удовлетворяется;
- 9) условие прочности при расчете по наклонным сечениям удовлетворяется.

В таблице 6.8, как указано выше, соответствующие строчки выделены цветом.

По результатам расчета по зависимости (4.14) получены следующие значения апостериорных вероятностей рассматриваемых пяти состояний:

$$\begin{aligned}
 P(S_1 / K_1^*) &= 0,055; & P(S_2 / K_1^*) &= 0,378; \\
 \underline{P(S_3 / K_1^*)} &= 0,404; & P(S_4 / K_1^*) &= 0,160; \\
 P(S_5 / K_1^*) &= 0,003.
 \end{aligned}
 \tag{6.35}$$

Энтропия такой системы получилась равной  $H = 0,522$ , а степень определенности (или, так называемая, «остаточная» энтропия, см. глава 4, п. 4.3.5), найденная относительно максимального значения энтропии  $H_{max} = 0,630$ , вычисленного с учетом априорных вероятностей состояний (см. таблицу 6.8), получилась небольшой –  $V = 0,108$ . Действительно, трудно принять уверенное решение о диагнозе, когда второе и третье состояния практически равновероятны, а остальные маловероятны и, очевидно, не приемлемы для данного объекта с указанной реализацией диагностических признаков.

Вместе с тем, анализируя результаты ценности вносимой при обследовании информации по каждому признаку каждого состояния (данные таблицы 6.10), можно отметить, что, например, для третьего состояния малоинформативными признаками являются первый и второй, а четвертый признак характеризуется малой информативностью сразу для трех состояний: второго, четвертого и пятого (в таблице 6.10 они выделены цветом). Таким образом, как видно, элементами малоинформативности характеризуются три признака: первый, второй и

четвертый. Малоинформативность в первую очередь объясняется простотой признаков, т. е. недостаточным количеством рассматриваемых разрядов (интервалов). Однако введение дополнительных разрядов признаков не всегда возможно, главным образом, из-за недостаточности имеющейся входной априорной информации (недостаточной статистики диагнозов), являющейся основой построения диагностических матриц. А решение принимать необходимо.

В такой ситуации предлагается поступить следующим образом – исключить малоинформативность из байесовской процедуры расчета апостериорных вероятностей состояний  $P(S_i/K^*)$  в соответствии с формулой (4.14). Можно исключить только малоинформативные вероятности признаков в указанных состояниях (первое, второе и четвертое, см. таблицу 6.10). В этом случае результаты расчетов с учетом этого исключения привели к следующему распределению  $P(S_i/K^*)$ :

$$\begin{aligned} P(S_1 / K_1^*) &= 0,006; & P(S_2 / K_1^*) &= 0,251; \\ \underline{P(S_3 / K_1^*)} &= 0,683; & P(S_4 / K_1^*) &= 0,058; \\ P(S_5 / K_1^*) &= 0,001. \end{aligned} \tag{6.36}$$

Энтропия такой системы получилась равной  $H = 0,353$ , а степень определенности  $V = 0,277$ , как видно, увеличилась более чем в два раза, т. е. система стала значительно определеннее.

Если исключить малоинформативные признаки и из других состояний в соответствии с таблицей 6.10, то распределение  $P(S_i/K^*)$  может дать следующий ряд апостериорных вероятностей:

$$\begin{aligned} P(S_1 / K_1^*) &= 0,001; & P(S_2 / K_1^*) &= 0,113; \\ \underline{P(S_3 / K_1^*)} &= 0,876; & P(S_4 / K_1^*) &= 0,010; \\ P(S_5 / K_1^*) &= 0,000. \end{aligned}$$

Энтропия в этом случае принимает значение  $H = 0,181$ , а степень определенности  $V = 0,449$ . Система стала еще более определенной (значение  $V$  увеличилось более чем в четыре раза).

Для эксперта в таком случае вполне приемлемо принять решение об отнесении рассматриваемого объекта диагностирования к третьей категории технического состояния уже с достаточно высокой вероятностью (0,876), и, очевидно, с большей, нежели выше, уверенностью.

### 6.3. Анализ диагностических матриц на основе метода Вальда

Важным достоинством диагностирования на основе *пяти* состояний, принятом в данном исследовании, является возможность привнесения в используемую байесовскую процедуру достоинств и особенностей других подходов и методов технической диагностики. Одним из них является метод Вальда. Он использован в данной работе с целью оценки устойчивости и информативности диагностических матриц.

Метод Вальда, или метод последовательного анализа, применяется для дифференциальной диагностики. В этом методе, как отмечено выше, в главе 4 (п. 4.1.2), составляется следующее соотношение

$$B < \frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} < A, \quad (6.36')$$

Если же в этом соотношении

$$\frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} > A, \quad (6.36'')$$

то принимается решение об отнесении исследуемого объекта к диагнозу  $S_2$ .

А если окажется, что

$$\frac{P(k_{j1}^* / S_2)}{P(k_{j1}^* / S_1)} \cdots \frac{P(k_{js}^* / S_2)}{P(k_{js}^* / S_1)} < B, \quad (6.36''')$$

то объект относится к диагнозу  $S_1$ . Здесь  $A$  – верхняя граница принятия решения,  $B$  – нижняя граница принятия решения.

Если состояние  $S_1$  считать исправным, а  $S_2$  – аварийным, то, как было отмечено в главе 4 (п. п. 4.1.2 и 4.1.3), ошибка первого рода рассматривается как «ложная тревога», а ошибка второго рода как «пропуск дефекта». Значения

вероятностей этих ошибок, обозначенных  $\alpha$  и  $\beta$ , соответственно, приняты по соображениям, приведенным в гл. 4 (п. 4.1.2).

**Пример расчета.** Для применения метода Вальда в предлагаемой методологии, основанной на рассмотрении *пяти* состояний, их вероятности предлагается разделить, а затем скомбинировать, например, по принципу 3 + 2. Принцип состоит в том, что сумма априорных и апостериорных вероятностей первых трех состояний (исправного, работоспособного и ограниченно работоспособного) означает вероятность удовлетворительного (исправного) состояния объекта  $P(S_u)$ , а сумма остальных (недопустимого и аварийного) принимается как вероятность неудовлетворительного (аварийного) состояния  $P(S_{nu})$ . Очевидно, что  $P(S_u) + P(S_{nu}) = 1$ . Вероятность реализации признаков  $P(k_{js}/S_u)$  при исправном состоянии – это среднее арифметическое суммы вероятностей признаков первых трех состояний, а при аварийном состоянии  $P(k_{js}/S_{nu})$  – среднее арифметическое суммы вероятностей четвертого и пятого состояний. Далее, для примера предлагается рассмотреть применение метода Вальда для той же, что и выше в п. 6.2, главной балки монолитного железобетонного перекрытия, имеющей диагностическую матрицу в виде таблицы 6.8 с тем же набором реализаций признаков (выделены цветом). С учетом указанных выше видоизменений таблица принимает вид, характерный для дифференциальной диагностики (таблица 6.11). По ее данным составляется соотношение (6.36')

$$B < \frac{0,67}{0,19} \cdot \frac{0,69}{0,14} \cdot \frac{0,18}{0,58} \cdot \frac{0,26}{0,19} \cdot \frac{0,30}{0,24} \cdot \frac{0,18}{0,55} \cdot \frac{0,26}{0,61} \cdot \frac{0,45}{0,90} \cdot \frac{0,41}{0,79} < A,$$

которое, пусть, при  $\alpha = \beta = 0,1$  и границах, равных:  $A = 9$ ,  $B = 0,11$  примет вид

$$0,11 < 0,33 < 9.$$

Условие (6.36'), как видно, выполняется, следовательно, для дальнейшего анализа необходима либо дополнительная информация, либо исключение из

Таблица 6.11 – Видоизмененная диагностическая матрица для главных балок монолитного железобетонного перекрытия при рассмотрении двух состояний

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{js})$	Сост. $S_u$	Сост. $S_{nu}$
					$P(S_u)$	$P(S_{nu})$
					<b>0,82</b>	<b>0,18</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	<b>0,19</b>	<b>0,67</b>
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,81	0,33
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	<b>0,14</b>	<b>0,69</b>
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,86	0,31
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p(k_{31})$	<b>0,58</b>	<b>0,18</b>
		$k_{32}$	до 1,0 мм	$p(k_{32})$	0,32	0,51
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p(k_{33})$	0,10	0,31
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	<b>0,19</b>	<b>0,26</b>
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,81	0,74
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,56	0,18
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	<b>0,24</b>	<b>0,30</b>
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,20	0,52
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p(k_{61})$	<b>0,55</b>	<b>0,18</b>
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,26	0,29
		$k_{63}$	> 20%	$p(k_{63})$	0,19	0,53
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каем.	$p(k_{71})$	<b>0,61</b>	<b>0,26</b>
		$k_{72}$	≤ 30%	$p(k_{72})$	0,24	0,33
		$k_{73}$	> 30%	$p(k_{73})$	0,15	0,41
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	<b>0,90</b>	<b>0,45</b>
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,10	0,55
9	Условие прочности по наклонным сечениям	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	<b>0,79</b>	<b>0,41</b>
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,21	0,59

рассмотрения малоинформативной статистики, как это было сделано в п. 6.2.2 на основании данных таблицы 6.10. Здесь же достаточно исключить из процедуры диагностирования только один малоинформативный признак, например, первый, чтобы удовлетворить неравенству (6.36''') . Удовлетворение этого неравенства свидетельствует о том, что принимается решение о принадлежности исследуемого объекта к исправному диагнозу  $S_u$ . Стоит также отметить, что при всех возможных в данной задаче уточнениях диагностической матрицы, неравенство (6.36'') не может быть удовлетворено, т. е. состояние объекта при рассматриваемых параметрах не может быть аварийным. Таким образом, в данном случае принятие решения о состоянии  $S_u$  по методу Вальда является однозначным. Не вызывает сомнений и отнесение исследуемого объекта к одному из трех состояний, сумма вероятностей которых составляет величину  $P(S_u)$ . Вполне обоснованно отнести состояние рассматриваемой балки к третьей категории, как состояние, имеющее наибольшую вероятность.

#### **6.4. Информативность и устойчивость диагностических матриц на основе интервальных оценок**

##### ***6.4.1. Интервальные подходы. Общие положения***

Во многих отраслях техники рассматривается большое количество задач, решение которых основывается на исходных данных (параметрах), представляемых численно. Зачастую, однако, описание таких данных фиксированными «точечными» величинами (оценками, задаваемыми одним числом) оказывается сложным и неадекватным достижению стоящей цели – расчету значений результирующих показателей решаемой задачи в том виде, который способствует принятию обоснованных решений. Тогда не совсем точное априорное знание исходных параметров требует, чтобы для целей анализа они были представлены как некоторые области в диапазонах, характеризующих возможные допустимые значения каждого параметра.

Исходные данные  $S_i$  в таком случае предлагается представлять интервалами («интервальными числами»)  $[S_i^l, S_i^r]$ , задаваемыми их левыми  $S_i^l$  и правыми  $S_i^r$  границами. Результирующие показатели, рассчитанные с использованием принятых для анализа моделей, и связанные с исходными данными, также становятся интервальными числами. Подобного рода ситуации, когда исходные параметры представлены как интервалы, типичны для естественных, инженерно-технических наук и техники [134]. Здесь измерениям принципиально присуща некоторая погрешность, которую требуется учитывать в расчетах, в том числе в расчетах искомых значений непосредственно измеряемых величин. При диагностировании состояний строительных конструкций, в виде интервальных чисел могут быть представлены такие параметры, как вероятности состояний или вероятности реализации тех или иных признаков, характеризующих эти состояния. Эти параметры и диапазоны их изменения могут быть назначены отчасти волевым решением эксперта на основе своего опыта и имеющейся статистики диагнозов, а могут быть приняты и в виде интервальных чисел, полученных на основе предлагаемых в литературных источниках моделей [151, 192].

Выше рассмотрены методы оценки технического состояния конструктивных элементов рассматриваемых зданий и методы определения категорий их технического состояния с использованием байесовской процедуры, т. е. с использованием формулы (4.14). Приведены диагностические матрицы и результаты численных примеров диагностирования для нескольких конструктивных элементов. В этих примерах анализировалось влияние некоторых изменений входной статистической информации (изменения априорной статистики диагнозов в результате, например, проведения аппроксимационных процедур, изменения статистических данных для признаков в результате их исключения из рассмотрения) на искомый результат – выходную информацию.

Здесь же в байесовскую процедуру принятия решений предлагается привести методы, основанные, как отмечено выше, на интервальном представлении входной информации. В качестве примера рассмотрено влияние

разброса только статистических априорных вероятностей состояний, как основного параметра диагностирования, т. е. влияние разброса величин  $P(S_i)$  – входного параметра, на искомый результат – апостериорные значения вероятностей  $P(S_i/K^*)$ , как на выходной параметр. В связи с этим, для входных вероятностей  $P(S_i)$  необходимо обосновать определение границ интервальных чисел.

В [151] со ссылкой на [192] для назначения интервалов вероятностей предложена простая обобщенная модель Дирихле в виде:

$$P^l(S_i, s) = \frac{N_i}{N + s}; \quad P^r(S_i, s) = \frac{N_i + s}{N + s}, \quad (6.37)$$

где  $P^l(S_i, s)$  – левая граница интервала вероятности;  $P^r(S_i, s)$  – правая граница интервала вероятности;  $s$  – параметр, подробное описание выбора которого можно найти в [192]. Очевидно, что при  $s = 0$  имеет место обычное представление об априорной вероятности (глава 4, формула 4.7). При небольшом объеме данных по базовым параметрам рекомендуется принимать  $s = 1$  или  $s = 2$  [151, 192].

Ниже приведен численный пример диагностирования состояний той же главной балки железобетонного монолитного междуэтажного перекрытия, как элемента базисного уровня всей рассматриваемой подсистемы – перекрытие и, далее, здания в целом.

#### 6.4.2. Пример расчета

Следует еще раз отметить, что элемент подсистемы «перекрытие» – балка, может находиться только в одном из нескольких  $n$  рассматриваемых независимых и несовместных состояний, т. е. они с точки зрения теории вероятностей представляют собой полную группу несовместных событий. В таком случае, как отмечалось выше

$$\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) = 1. \quad \sum_{i=1}^n P(S_i) = 1. \quad (6.38)$$

Для рассматриваемой главной балки входной информацией при диагностировании ее состояний приняты данные диагностической матрицы в виде таблицы 6.12 (матрица имеет тот же вид, что и в п. 6.1.2 или в п. 6.1.3)

Вероятностные параметры в этой таблице основаны на результатах диагностирования пусть также для *ста* балок [119].

Для дальнейшего анализа в качестве примера рассмотрены три реализации диагностических признаков  $P(k^*/S_i)$ . Первая реализация представляет собой результаты обследования, например, *сто первой* балки:

- повреждения наружной поверхности есть;
- продольных трещин в защитном слое нет;
- нормальных трещин в растянутой зоне нет;
- наклонные трещины есть;
- прочность бетона оказалась ниже проектной на 6 %;
- обнажившейся арматуры нет;
- прогиб не превышает нормативный;
- условие прочности при расчете по наклонным сечениям не удовлетворяется.

Для *сто второй* балки имеет место следующая реализация признаков:

- повреждения наружной поверхности есть;
- продольных трещин в защитном слое нет;
- нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием 0,4 мм есть;
- наклонных трещин нет;
- прочность бетона оказалась не ниже проектной;
- имеет место обнажившаяся арматура, менее 5 % сечения которой поражено коррозией;
- прогиб превышает нормативный на 10 %;
- условие прочности при расчете по нормальным сечениям удовлетворяется;
- условие прочности при расчете по наклонным сечениям удовлетворяется.

В *сто третьей* балке результаты обследования дали следующую картину реализации признаков:

- повреждения наружной поверхности есть;
- продольные трещины в защитном слое есть;
- нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием более 0,4 мм, но

Таблица 6.12 – Диагностическая матрица для главных балок железобетонного перекрытия (численный пример, статистика по 100 балкам)

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Реали зация приз- наков	$p(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,18</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,11	0,17	0,29	0,54	0,80
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,89	0,83	0,71	0,46	0,20
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,14	0,23	0,77	0,60
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,86	0,77	0,23	0,40
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p(k_{31})$	0,76	0,59	0,40	0,15	0,20
		$k_{32}$	до 1,0 мм	$p(k_{32})$	0,18	0,34	0,43	0,62	0,40
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p(k_{33})$	0,06	0,07	0,17	0,23	0,40
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,31	0,20
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,69	0,80
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,72	0,48	0,49	0,15	0,20
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	0,22	0,31	0,20	0,39	0,20
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,06	0,21	0,31	0,46	0,60
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p(k_{61})$	0,76	0,59	0,29	0,15	0,20
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,18	0,24	0,37	0,39	0,20
		$k_{63}$	> 20%	$p(k_{63})$	0,06	0,17	0,34	0,46	0,60
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каем.	$p(k_{71})$	0,83	0,48	0,51	0,31	0,20
		$k_{72}$	≤ 30%	$p(k_{72})$	0,11	0,38	0,23	0,46	0,20
		$k_{73}$	> 30%	$p(k_{73})$	0,06	0,14	0,26	0,23	0,60
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,80
9	Условие прочности по наклонным сечениям	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	0,94	0,83	0,60	0,61	0,20
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,06	0,17	0,40	0,39	0,80

менее 1,0 мм есть;

- наклонных трещин нет;
- прочность бетона оказалась ниже проектной на 31 %;
- имеет место обнажившаяся арматура, 22 % сечения которой поражено коррозией;
- прогиб не превышает нормативный;
- условие прочности при расчете по нормальным сечениям не удовлетворяется;
- условие прочности при расчете по наклонным сечениям удовлетворяется.

В таком случае при указанных выше реализациях признаков распределение вероятностей состояний после выполнения серии расчетов по формуле Байеса (4.14) представлено в таблице 6.13.

Таблица 6.13 – Результаты расчета вероятностей состояний при разных реализациях диагностических признаков

№№ балок	$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
<b>101</b>	0,038	0,324	0,613	0,021	0,005
<b>102</b>	0,259	0,611	0,127	0,0027	0,0003
<b>103</b>	0,0001	0,0068	0,070	0,707	0,217

Можно показать, что условие (6.38) выполняется и для входного ряда априорных вероятностей  $P(S_i)$ , и для выходных значений апостериорных вероятностей  $P(S_i/K^*)$ .

Таким образом, по всей совокупности рассмотренных признаков и трех их реализаций *максимальные* значения вероятностей состояний получились равными:  $P(S_3/K^*) = 0,613$ ;  $P(S_2/K^*) = 0,611$ ;  $P(S_4/K^*) = 0,707$  (в таблице 6.9 они выделены цветом). Это для эксперта является достаточно весомым основанием при назначении диагностируемым элементам, соответственно, третьей, второй и

четвертой категорией технического состояния при условии указанных выше реализаций признаков.

Построение решения по оценке влияния изменения входных данных – априорных вероятностей  $P(S_i)$  на искомый результат – апостериорные вероятности  $P(S_i/K^*)$ , с учетом предложенной интервальной модели (6.37), выполнено при  $s = 2$ . При этом рассмотрены все три представленные выше реализации диагностических признаков.

Для ряда вероятностей  $P(S_i)$  в таблице 6.12 приведены следующие численные значения:  $P(S_1) = 0,18$ ;  $P(S_2) = 0,29$ ;  $P(S_3) = 0,35$ ;  $P(S_4) = 0,13$ ;  $P(S_5) = 0,05$ . Так, например, для  $P(S_1) = 0,18$  при  $s = 2$  получены следующие границы интервалов вероятностей:

$$P^l(S_i, s) = \frac{18}{100 + 2} = 0,176; \quad P^r(S_i, s) = \frac{18 + 2}{100 + 2} = 0,196.$$

Результаты расчета интервалов вероятностей в соответствии с (6.37) при  $s = 2$  для остальных  $P(S_i)$  представлены в первых двух строках таблицы 6.14. В третью и четвертую строки этой таблицы записаны результаты расчета по формуле Байеса (4.14) при первой реализации диагностических признаков. Результаты получены на основе многовариантного счета.

Таблица 6.14 – Результаты расчета интервалов вероятностей состояний  $P(S_i)$  и  $P(S_i/K^*)$  по первому варианту реализации диагностических признаков

Границы интервалов	$P(S_1)=0,18$	$P(S_2)=0,29$	$P(S_3)=0,35$	$P(S_4)=0,13$	$P(S_5)=0,05$
$P^l(S_i, s)$	0,176	0,284	0,343	0,128	0,049
$P^r(S_i, s)$	0,196	0,304	0,363	0,147	0,069
$P^l(S_i/K^*)$	0,036	0,312	<b>0,600</b>	0,020	0,004
$P^r(S_i/K^*)$	0,038	0,338	<b>0,627</b>	0,023	0,005

В таблицах 6.15 и 6.16 представлены аналогичные результаты расчетов при реализации диагностических признаков по второму и третьему вариантам, соответственно, и при тех же границах интервалов априорных вероятностей  $P(S_i)$ .

Интересным является результат расчета апостериорных вероятностей  $P(S_i/K^*)$  в условиях максимальной энтропии для входной информации, когда для  $P(S_i)$  нет никакой статистики, и все пять состояний приняты равновероятными, т. е.  $P(S_i) = 0,20$ . Результаты этого расчета представлены в таблице 6.17.

По результатам выполненных в этом параграфе расчетов можно сформулировать следующие выводы.

1. Изменение значений одного из основных входных параметров байесовской процедуры – априорных вероятностей  $P(S_i)$  в рамках принятых границ интервалов, для рассматриваемого диагностируемого объекта не привело к качественному изменению значений выходных апостериорных вероятностей состояний  $P(S_i/K^*)$ .

Таблица 6.15 – Результаты расчета интервалов вероятностей состояний  $P(S_i)$  и  $P(S_i/K^*)$  по второму варианту реализации диагностических признаков

Границы интервалов	$P(S_1)=0,18$	$P(S_2)=0,29$	$P(S_3)=0,35$	$P(S_4)=0,13$	$P(S_5)=0,05$
$P^l(S_{i,s})$	0,176	0,284	0,343	0,128	0,049
$P^r(S_{i,s})$	0,196	0,304	0,363	0,147	0,069
$P^l(S_i/K^*)$	0,248	<b>0,607</b>	0,122	0,003	0,0003
$P^r(S_i/K^*)$	0,259	<b>0,640</b>	0,134	0,055	0,0003

2. Интервальные границы результирующих вероятностей состояний  $P(S_i/K^*)$ , рассчитанных по первому варианту реализации признаков, представлены интервальными числами 0,600 – 0,627 (таблица 6.14), по второму – 0,607 – 0,640 (таблица 6.15), по третьему – 0,703 – 0,710 (таблица 6.16). По этим данным, как и по данным таблицы 6.12, диагностируемый объект можно отнести к тем же

Таблица 6.16 – Результаты расчета интервалов вероятностей состояний  $P(S_i)$  и  $P(S_i/K^*)$  по третьему варианту реализации диагностических признаков

Границы интервалов	$P(S_1)=0,18$	$P(S_2)=0,29$	$P(S_3)=0,35$	$P(S_4)=0,13$	$P(S_5)=0,05$
$P^l(S_{i,s})$	0,176	0,284	0,343	0,128	0,049
$P^r(S_{i,s})$	0,196	0,304	0,363	0,147	0,069
$P^l(S_i/K^*)$	0,0001	0,006	0,070	<b>0,703</b>	0,215
$P^r(S_i/K^*)$	0,001	0,007	0,073	<b>0,710</b>	0,217

категориям технического состояния. При этом изменения по сравнению с данными таблицы 6.13 (0,613; 0,611; 0,707), как видно, незначительны.

Таблица 6.17 – Результаты расчета вероятностей состояний при разных реализациях диагностических признаков и при  $P(S_i) = 0,20$

№№ балок	$P(S_1)=0,20$	$P(S_2)=0,20$	$P(S_3)=0,20$	$P(S_4)=0,20$	$P(S_5)=0,20$
<b>101</b>	0,055	0,305	<b>0,580</b>	0,041	0,019
<b>102</b>	0,365	<b>0,535</b>	0,092	0,005	0,002
<b>103</b>	0,001	0,002	0,021	<b>0,542</b>	0,434

3. Диагностическую матрицу в виде таблицы 6.12, составленную по результатам статистической обработки данных обследования *ста* балок (диагностируемых объектов) на основе рассмотрения девяти диагностических признаков (пяти двухразрядных признаков и четырех трехразрядных), вполне можно считать *устойчивой* к изменениям основных входных параметров в байесовской процедуре. Об этом также свидетельствуют результаты расчетов апостериорных вероятностей  $P(S_i/K^*)$  в условиях максимальной энтропии для входной информации, когда все пять состояний равновероятны, т. е., в данном

случае, при  $P(S_i) = 0,20$  (таблица 6.17). Как видно, максимальные численные значения для  $P(S_i/K^*)$  изменились (уменьшились), однако качественных изменений не произошло, т. е. все они остались отнесенными к тем же категориям технического состояния.

## **6.5. Оценка устойчивости диагностических матриц на основе методов теории нечеткой логики**

### **6.5.1. Элементы теории нечетких множеств. Общие положения**

В этом параграфе представлены основные положения для проведения анализа технического состояния того же объекта – главной балки междуэтажного перекрытия, но с использованием методов и аппарата теории нечетких множеств. Приняты те же диагнозы (пять состояний), признаки (девять признаков) и одна из ранее рассмотренных реализаций (см. п. 6.4.2, таблица 6.12).

Ранее отмечено, что нечеткая технология завоевывает все больше сторонников среди специалистов, работающих в области принятия решений в условиях, когда цели, ограничения и последствия возможных действий, точно не известны или недостаточно информативны.

В данном случае в основу диагностирования состояний рассматриваемого элемента системы – главной балки железобетонного перекрытия здания, предлагается положить алгоритм постановки диагноза, разработанный в [106].

Таким образом, сформулированные состояния  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  здесь также считаются типами диагнозов, подлежащих распознаванию. При установлении диагноза принимаются во внимание те же параметры – девять диагностических признаков с их разрядами, представленными здесь в виде диапазонов их изменения (в скобках):

$k_1$  – повреждения бетона, снижающие его защитные свойства по отношению к арматуре (1 или 0);

$k_2$  – продольные трещины в защитном слое бетона вдоль арматурных стержней, продукты коррозии вдоль арматурных стержней (1 или 0);

$k_3$  – наличие и ширина раскрытия нормальных трещин (0 – 1 мм);

$k_4$  – наличие наклонных трещин (1 или 0);

$k_5$  – прочность бетона (0 – 31%);

$k_6$  – коррозия арматуры (0 – 21%);

$k_7$  – прогиб (0 – 31%);

$k_8$  – проверка условия прочности по нормальным сечениям (1 или 0);

$k_9$  – проверка условия прочности по наклонным сечениям (1 или 0).

Задача диагностики состоит в том, чтобы каждому сочетанию значений параметров поставить в соответствие одно из решений

$$S_i; (i = \bar{1}, \dots, \bar{5}).$$

Параметры  $k_1 - k_9$  в соответствии с понятиями теории нечетких множеств рассматриваются далее, как *лингвистические переменные* [12, 37, 38, 106].

Для дальнейшего анализа эти параметры разделяются на группы, которые также можно назвать лингвистическими переменными, только групповыми:

$k_1, k_2, k_4$  – группа параметров, определяемых при обследовании визуально;

$k_3, k_5, k_6, k_7$  – группа параметров, определяемых по результатам инструментальных измерений;

$k_8, k_9$  – группа параметров, определяемых по результатам поверочных расчетов.

Кроме того, вводится лингвистическая переменная  $s$ , которая измеряется диапазоном состояний-диагнозов  $S_1 - S_5$ . Структура модели для проведения диагностики состояний рассматриваемой балки показана на рис. 6.7 в виде *дерева логического вывода*, отвечающего следующим соотношениям:

$$s = f_s(x, y, z); \quad x = f_x(k_1, k_2, k_4); \quad y = f_y(k_3, k_5, k_6, k_7);$$

$$z = f_z(k_8, k_9). \tag{6.39}$$

Для оценки значений лингвистических переменных  $k_1 - k_9$ , а также переменных  $x$ ,  $y$  и  $z$ , вводится единая шкала *качественных термов* [12, 37, 38, 106]: Н – низкий; нС – ниже среднего; С – средний; вС – выше среднего; В – высокий.

Каждый из этих термов представляет собой *нечеткое множество*, заданное с помощью соответствующей функции принадлежности [12, 37, 38, 106]. Пользуясь введенными качественными термами и анализируя интервалы изменения численных значений вероятностей реализации признаков  $p(k_{js}/S_i)$  в диагностической матрице для главной балки (см. выше), соотношения (6.39) могут быть представлены в виде таблиц 6.18 – 6.21.

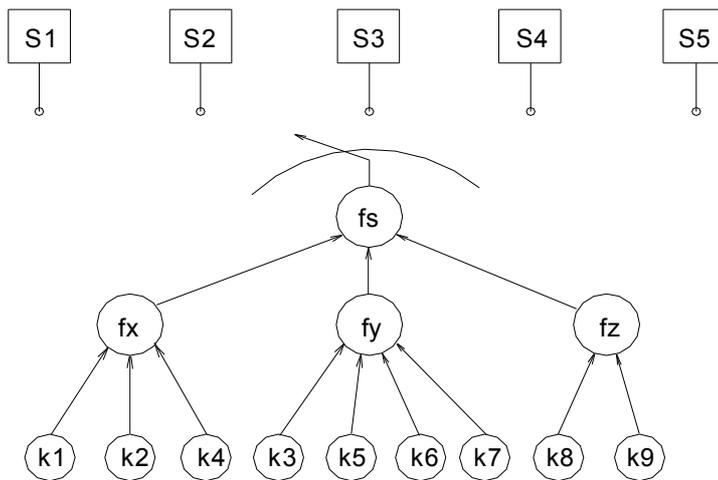


Рисунок 6.7 – Дерево логического вывода

Таблица 6.18 – Знания о соотношении  $s$

$S$	$S_1$			$S_2$			$S_3$			$S_4$			$S_5$		
$X$	H	B	B	Hc	C	Bc	hC	hC	C	hC	C	C	hC	hC	Bc
$Y$	H	H	B	H	hC	C	H	hC	hC	hC	hC	C	H	hC	C
$Z$	H	C	B	hC	C	Bc	C	C	Bc	hC	C	Bc	hC	C	B

Таблица 6.19 – Знания о соотношении  $x$ 

$X$	$H$			$HC$			$C$			$6C$			$B$		
$k_1$	HC	C	BC	C	HC	C	H	BC	BC	HC	C	BC	HC	HC	C
$k_2$	H	HC	BC	HC	C	C	H	B	B	HC	C	BC	HC	HC	C
$k_4$	HC	HC	C	HC	C	C	H	B	B	H	HC	BC	HC	C	BC

Таблица 6.20 – Знания о соотношении  $y$ 

$Y$	$H$			$HC$			$C$			$6C$			$B$		
$k_3$	HC	HC	C	H	HC	C	H	H	B	H	HC	BC	H	HC	C
$k_5$	H	HC	HC	HC	HC	HC	H	H	BC	H	HC	C	HC	HC	HC
$k_6$	H	HC	C	HC	HC	HC	H	HC	BC	HC	HC	C	HC	HC	HC
$k_7$	H	HC	HC	H	HC	HC	H	H	B	H	H	BC	H	HC	C

Таблица 6.21 – Знания о соотношении  $z$ 

$Z$	$H$			$HC$			$C$			$6C$			$B$		
$k_8$	H	C	B	HC	C	BC	H	C	B	HC	C	BC	C	C	C
$k_9$	HC	C	BC	C	C	C	H	C	B	H	HC	BC	HC	C	BC

Используя таблицы 6.18 – 6.21 и логические операции  $\cdot$  (И – min) и  $\vee$  (ИЛИ – max) можно записать системы нечетких логических уравнений, связывающих функции принадлежности диагнозов и входных лингвистических переменных:

$$\mu^{S_1}(s) = \left[ \mu^H(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^H(z) \right] \vee \left[ \mu^6(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^6(x) \cdot \mu^{6C}(y) \cdot \mu^6(z) \right];$$

$$\mu^{S_2}(s) = \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^{HC}(z) \right] \vee \left[ \mu^C(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^{6C}(z) \right];$$

$$\begin{aligned}
\mu^{S_3}(s) &= \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^C(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^{6C}(z) \right]; \\
\mu^{S_4}(s) &= \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^{HC}(z) \right] \vee \left[ \mu^C(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^C(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^{6C}(z) \right]; \\
\mu^{S_5}(s) &= \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^{HC}(z) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^C(z) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(x) \cdot \mu^{HC}(y) \cdot \mu^6(z) \right];
\end{aligned} \tag{6.40}$$

$$\begin{aligned}
\mu^H(x) &= \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^H(k_2) \cdot \mu^{HC}(k_4) \right] \vee \left[ \mu^C(k_1) \cdot \mu^{HC}(k_2) \cdot \mu^C(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_1) \cdot \mu^{6C}(k_2) \cdot \mu^C(k_4) \right]; \\
\mu^{HC}(x) &= \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^{HC}(k_2) \cdot \mu^{HC}(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^C(k_2) \cdot \mu^C(k_4) \right] \vee \left[ \mu^C(k_1) \cdot \mu^C(k_2) \cdot \mu^C(k_4) \right]; \\
\mu^C(x) &= \left[ \mu^H(k_1) \cdot \mu^H(k_2) \cdot \mu^H(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_1) \cdot \mu^6(k_2) \cdot \mu^6(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_1) \cdot \mu^6(k_2) \cdot \mu^6(k_4) \right]; \\
\mu^{6C}(x) &= \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^{HC}(k_2) \cdot \mu^H(k_4) \right] \vee \left[ \mu^C(k_1) \cdot \mu^C(k_2) \cdot \mu^{HC}(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_1) \cdot \mu^{6C}(k_2) \cdot \mu^{6C}(k_4) \right]; \\
\mu^6(x) &= \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^{HC}(k_2) \cdot \mu^{HC}(k_4) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_1) \cdot \mu^{HC}(k_2) \cdot \mu^C(k_4) \right] \vee \left[ \mu^C(k_1) \cdot \mu^C(k_2) \cdot \mu^{6C}(k_4) \right];
\end{aligned} \tag{6.41}$$

$$\begin{aligned}
\mu^H(y) &= \left[ \mu^{HC}(k_3) \cdot \mu^H(k_5) \cdot \mu^H(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^{HC}(k_7) \right] \vee \\
&\quad \vee \left[ \mu^C(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^C(k_6) \cdot \mu^{HC}(k_7) \right]; \\
\mu^{HC}(y) &= \left[ \mu^H(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^{HC}(k_7) \right] \vee \\
&\quad \vee \left[ \mu^C(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^{HC}(k_7) \right]; \\
\mu^C(y) &= \left[ \mu^H(k_3) \cdot \mu^H(k_5) \cdot \mu^H(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \left[ \mu^H(k_3) \cdot \mu^H(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \\
&\quad \vee \left[ \mu^6(k_3) \cdot \mu^{6C}(k_5) \cdot \mu^{6C}(k_6) \cdot \mu^6(k_7) \right]; \\
\mu^{6C}(y) &= \left[ \mu^H(k_3) \cdot \mu^H(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \\
&\quad \vee \left[ \mu^{6C}(k_3) \cdot \mu^C(k_5) \cdot \mu^C(k_6) \cdot \mu^{6C}(k_7) \right]; \\
\mu^6(y) &= \left[ \mu^H(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^H(k_7) \right] \vee \left[ \mu^{HC}(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^{HC}(k_7) \right] \vee \\
&\quad \vee \left[ \mu^C(k_3) \cdot \mu^{HC}(k_5) \cdot \mu^{HC}(k_6) \cdot \mu^C(k_7) \right].
\end{aligned} \tag{6.42}$$

$$\begin{aligned}
\mu^H(z) &= \left[ \mu^H(k_8) \cdot \mu^{HC}(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right] \vee \left[ \mu^6(k_8) \cdot \mu^{6C}(k_9) \right]; \\
\mu^{HC}(z) &= \left[ \mu^{HC}(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right]; \\
\mu^C(z) &= \left[ \mu^H(k_8) \cdot \mu^H(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right] \vee \left[ \mu^6(k_8) \cdot \mu^6(k_9) \right]; \\
\mu^{6C}(z) &= \left[ \mu^{HC}(k_8) \cdot \mu^H(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^{HC}(k_9) \right] \vee \left[ \mu^{6C}(k_8) \cdot \mu^{6C}(k_9) \right]; \\
\mu^6(z) &= \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^{HC}(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^C(k_9) \right] \vee \left[ \mu^C(k_8) \cdot \mu^{6C}(k_9) \right];
\end{aligned} \tag{6.43}$$

Общее число нечетких логических уравнений, как видно, составляет 20. В общем случае каждая входная переменная  $k_1 - k_9$  имеет свои собственные

функции принадлежности нечетким термам (Н, нС, С, вС, В), которые используются в этих двадцати уравнениях (6.40) – (6.43) [106, 160]. Однако, для упрощения дальнейшего моделирования в рамках, так называемой, грубой настройки нечеткой базы знаний, для всех переменных  $k_1 - k_9$  используется только одна, *наиболее проверенная*, форма функции принадлежности [106]. Для этого интервалы изменения каждой переменной приводятся к одному универсальному интервалу (0, 1, 2, 3, 4), что осуществляется с помощью следующих соотношений:

$$\mu^t(k_j) = \tilde{\mu}^t(u); \quad u = 4 \frac{k_j - \underline{k}_j}{\overline{k}_j - \underline{k}_j}, \quad t = H, нС, С, вС, В, \quad (6.44)$$

где  $(\underline{k}_j, \overline{k}_j)$  – интервал изменения переменной  $k_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 9$ .

Аналитическую модель функции принадлежности предлагается принять в виде [106]

$$\tilde{\mu}^t(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-b}{c}\right)^2}. \quad (6.45)$$

Параметр  $b$  для термов Н, нС, С, вС, В принимает значения 0, 1, 2, 3, 4, соответственно. Параметр  $c$  для всех термов одинаков и равен  $c = 0,923$ .

Выбор соотношений (6.44, 6.45) и параметров  $b$  и  $c$  в указанном виде обусловлен тем, что они являются хорошей проверенной аппроксимацией функций принадлежности, полученных, как отмечено, в [106] методом парных сравнений.

Далее, нечеткие логические уравнения (6.40) – (6.43) вместе с функциями принадлежности нечетких термов (6.45) позволяют принимать решение о конкретном диагнозе по следующему алгоритму.

1. Фиксируются значения параметров состояния для вновь обследуемого элемента, т. е. определяется реализация признаков в виде количественных значений, попадающих в пределы указанных выше диапазонов их изменения, как это выполнялось и ранее

$$K^* = (k_1^*, k_2^*, k_3^*, \dots, k_9^*).$$

2. Используя соотношения (6.44, 6.45) и параметры  $b$  и  $c$ , определяются значения функций принадлежности при фиксированных значениях параметров  $k_j^*$ .

3. При использовании логических уравнений (6.40 – 6.43) вычисляются значения функций принадлежности при фиксированном векторе состояния  $K^*$  для всех диагнозов  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ . Здесь важно отметить, что логические операции И ( $\wedge$ ) и ИЛИ ( $\vee$ ) над функциями принадлежности заменяются операциями *min* и *max*:

$$\mu(a) \wedge \mu(b) = \min[\mu(a), \mu(b)]; \quad \mu(a) \vee \mu(b) = \max[\mu(a), \mu(b)];$$

4. Наконец, принимается окончательное решение, для которого

$$\mu^{St^*}(k_1^*, k_2^*, \dots, k_9^*) = \max[\mu^{St}(k_1^*, k_2^*, \dots, k_9^*)], \quad t = \bar{1}, \dots, \bar{9}$$

### 6.5.2. Пример расчета

Пример реализации предложенного алгоритма можно привести, построив вектор состояния  $K^*$  в том виде, который соответствует одной из принятых ранее реализаций признаков для вновь диагностируемой балки [119].

Пример основан на данных проведения серии расчетов по зависимости Байеса (4.14) для вновь диагностируемого элемента с получением для него ряда апостериорных вероятностей каждого состояния по всей совокупности признаков и их разрядов. Еще раз отмечается, что решающее правило, в соответствии с которым принимается решение о конкретном диагнозе, состоит в том, что объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к состоянию  $S_i$ , если апостериорная вероятность этого состояния  $S_i$  является наибольшей.

В рассматриваемом выше одном из примеров наибольшей получилась вероятность  $P(S_3) = 0,404$ , что для эксперта может стать основанием при назначении диагностируемому элементу *третьей* категории технического состояния при условии указанной выше реализации признаков.

В таком случае в рамках процедуры нечеткой логики соблюдаются те же условия диагностирования, т. е. принимается:

- 1) повреждения наружной поверхности есть, т. е.  $k_1 = 1,0$ ;
- 2) продольные трещины в защитном слое есть, т. е.  $k_2 = 1,0$
- 3) нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием до 0,4 мм есть, т. е. принимается  $k_3 = 0,2$  мм;
- 4) наклонные трещины есть, т. е.  $k_4 = 1,0$ ;
- 5) прочность бетона оказалась на 10 % ниже проектной, т. е.  $k_5 = 10\%$ ;
- 6) имеет место обнажившаяся арматура, 5 % сечения которой поражено коррозией, т. е.  $k_6 = 5 \%$ ;
- 7) прогиб не превышает нормативный; т. е.  $k_7 = 0$ ;
- 8) условие прочности при расчете по нормальным сечениям удовлетворяется, т. е.  $k_8 = 1,0$ ;
- 9) условие прочности при расчете по наклонным сечениям удовлетворяется, т. е.  $k_9 = 1,0$ .

Используя модель (6.45) и значения принятых параметров  $b$  и  $c$ , вычисляются значения функций принадлежности в точках  $k_j^*$  ( $j = 1, \dots, 9$ ) для всех нечетких термов. Результаты удобно представить в табличном виде (таблица 6.22).

Далее полученные значения подставляются в уравнения (6.40):

$$\mu^H(x) = [0,086 \cdot 0,0506 \cdot 0,086] \vee [0,176 \cdot 0,086 \cdot 0,176] \vee [0,460 \cdot 0,460 \cdot 0,176] = 0,176.$$

$$\text{Аналогично: } \mu^{HC}(x) = 0,176; \mu^C(x) = 0,460; \mu^{sC}(x) = 0,460; \mu^B(x) = 0,176.$$

В соответствии с уравнениями (6.41):

$$\mu^H(y) = [0,460 \cdot 0,339 \cdot 0,485 \cdot 1,0] \vee [0,460 \cdot 0,910 \cdot 0,997 \cdot 0,460] \vee [1,0 \cdot 0,910 \cdot 0,437 \cdot 0,460] = 0,460.$$

$$\text{Аналогично: } \mu^{HC}(y) = 0,460; \mu^C(y) = 0,176; \mu^{sC}(y) = 0,460; \mu^B(y) = 0,176.$$

В соответствии с уравнениями (6.42):

$$\mu^H(z) = [0,0506 \cdot 0,086] \vee [0,176 \cdot 0,176] \vee [1,0 \cdot 0,460] = 0,460.$$

$$\text{Аналогично: } \mu^{HC}(z) = 0,176; \mu^C(z) = 0,176; \mu^{sC}(z) = 0,460; \mu^B(z) = 0,460.$$

Наконец, в соответствии с уравнениями (6.43):

$$\mu^{S1}(s) = [0,176 \cdot 0,176 \cdot 0,460] \vee [0,176 \cdot 0,460 \cdot 0,176] \vee [0,176 \cdot 0,460 \cdot 0,460] = 0,176.$$

Аналогично:  $\mu^{S2}(s) = 0,176$ ;  $\mu^{S3}(s) = 0,460$ ;  $\mu^{S4}(s) = 0,176$ ;  $\mu^{S5}(s) = 0,176$ .

На основании теории нечетких множеств вывод по результатам полученных данных для обследуемого элемента формулируется однозначно: *поскольку наибольшее значение функции принадлежности соответствует решению  $S_3$ , то в качестве диагноза принимается третье ограниченно работоспособное состояние (третья категория)* рассматриваемой главной балки монолитного железобетонного перекрытия. Этот вывод совпадает с выводом, сделанным по результатам выполненного ранее вероятностного анализа технического состояния того же элемента при тех же условиях диагностирования на основе байесовской процедуры.

Таблица 6.22 – Значения функций принадлежности

№№ п/п	$k_j^*$	$u_j^*$	$\mu^H(k_j^*)$	$\mu^{HC}(k_j^*)$	$\mu^C(k_j^*)$	$\mu^{6C}(k_j^*)$	$\mu^6(k_j^*)$
1	1,0	4,0	0,0506	0,086	0,176	0,460	1,0
2	1,0	4,0	0,0506	0,086	0,176	0,460	1,0
3	0,2	2,0	0,176	0,460	1,0	0,460	0,176
4	1,0	4,0	0,0506	0,086	0,176	0,460	1,0
5	10,0	1,29	0,339	0,910	0,628	0,226	0,104
6	5,0	0,95	0,485	0,997	0,437	0,169	0,084
7	0,0	0,0	1,0	0,460	0,176	0,086	0,0506
8	1,0	4,0	0,0506	0,460	0,176	0,460	1,0
9	1,0	4,0	0,0506	0,460	0,176	0,460	1,0

Таким образом, рассмотренный подход способствует еще большей определенности при распознавании состояний конструктивных систем зданий в условиях ограниченности и неточности, главным образом, входной информации. В совокупности с предложенным выше вероятностным подходом и методами теории информации, этот подход добавляет уверенность эксперту при обосновании решений о состоянии объекта обследования и о степени и глубине инженерного вмешательства с целью приведения его в нормальное эксплуатационное состояние.

### **6.6. Пороговое значение для вероятностей состояний строительных конструкций**

Определить вероятностное представление порогового значения при назначении той или иной категории технического состояния элемента диагностирования на любом иерархическом (глава 7) уровне – это значит получить уверенность в присвоении этой категории и, главное, быть уверенным при назначении соответствующих мероприятий (глава 5, п. 5.2) по приведению этого элемента или всей системы в исправное состояние.

В главе 4 (п. 4.1.3) введено понятие порогового значения для вероятности диагноза  $S_i$ , представляющего собой некий заранее выбранный и обоснованный уровень распознавания  $P_i$ , т. е. сказано, что должно быть

$$P(S_i/K^*) \geq P_i.$$

Отмечено, что в литературе [14] величину  $P_i$  предлагается принимать не менее 0,9, т. е.  $P_i \geq 0,9$ . При этом указано, что при условии

$$P(S_i/K^*) < P_i$$

решение о диагнозе не принимается, что означает отказ от распознавания, и требуется поступление дополнительной обследовательской информации. По [14] следует понимать, что это относится к системам и объектам, рассматриваемым в указанных литературных источниках.

В принципе можно согласиться с этим, но только в том случае, если распознавание состояний однозначно осуществляется на основе

дифференциальной диагностики, т. е. когда надо решить вопрос «да» или «нет». Попытка получить  $P(S_i/K^*) \geq P_i$  ( $P_i = 0,9$ ) в байесовской процедуре (формула 4.14) для той же главной балки при *пяти* диагнозах и наихудшей реализации диагностических признаков, в настоящей работе проделана. Совершенно очевидным оказался результат расчетов: показано аварийное состояние (пятая категория) исследуемого элемента с вероятностью  $P(S_5/K^*) = 0,93$ . Для распознавания такого состояния предлагаемая сложная диагностическая процедура, собственно говоря, и не нужна. Все и так понятно и фиксируется при обследовании таких конструкций визуально.

Представляется, что для элементов строительных систем необходим несколько иной подход.

Можно предложить следующую последовательность решения этой задачи.

1. Здесь так же, как и в п. 6.3, выполняется разделение, а затем комбинирование пяти априорных вероятностей состояний по принципу 3 + 2, т. е.

$$P(S_u) = P(S_1) + P(S_2) + P(S_3), \quad \text{а} \quad P(S_{nu}) = P(S_4) + P(S_5). \quad (6.46)$$

Состояние, вероятность которого обозначена  $P(S_u)$ , названо удовлетворительным, объединяющим исправное, работоспособное и ограниченно работоспособное, а состояние с вероятностью реализации  $P(S_{nu})$  – неудовлетворительным, объединяющим, в свою очередь, оставшиеся недопустимое и аварийное состояния.

2. По такому же принципу разделяются и объединяются получаемые в результате расчетов пять апостериорных вероятностей

$$P(S_u/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*), \quad \text{а} \quad P(S_{nu}/K^*) = P(S_4/K^*) + P(S_5/K^*). \quad (6.47)$$

3. Далее в основу построения решения предлагается положить выражение (4.30), полученное ранее при анализе состояний на основе дифференциальной диагностики и определяющее значение параметра  $\lambda$  в принятых здесь обозначениях по зависимости

$$\lambda = C_{12}P(S_{nu})/C_{21}P(S_u). \quad (6.48)$$

Параметр  $\lambda$ , как указано в п. 4.1.3, представляет собой величину, которая положена в основу формулирования понятия порогового уровня диагностирования. Величины  $C_{12}$  и  $C_{21}$  – условные ценовые параметры ошибочных решений, обозначающие цены ошибок в виде «пропуска дефекта» и в виде «ложной тревоги», соответственно;  $P(S_{nu})$  – априорная вероятность неудовлетворительного диагноза  $S_{nu}$ ;  $P(S_u)$  – априорная вероятность удовлетворительного диагноза  $S_u$ .

4. Минимальное соотношение априорных вероятностей  $P(S_{nu}) / P(S_u)$  в зависимости (6.48) получается тогда, когда все пять состояний  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  равновероятны, т. е. при условии максимальной энтропии состояний рассматриваемого элемента системы. Тогда, очевидно,  $P(S_{nu}) = 0,40$ , а  $P(S_u) = 0,60$ . Если эти значения подставить далее в формулу (6.48), то выражение для параметра  $\lambda$  будет иметь вид

$$\lambda = 0,667 \frac{C_{12}}{C_{21}}. \quad (6.49)$$

5. Численные значения ценовых параметров  $C_{12}$  и  $C_{21}$  неизвестны. Однако, понятно, что цена ошибки  $C_{12}$  («пропуск дефекта») должна быть *значительно выше*, нежели цена ошибки  $C_{21}$  («ложная тревога»), т. е. отношение  $(C_{12} / C_{21})$  может принимать значения  $(C_{12} / C_{21}) \geq 1$ , а может быть даже и  $(C_{12} / C_{21}) \gg 1$ . Максимально возможное их соотношение, имеющее смысл при построении вероятностного анализа в данном случае – это когда оно составляет величину, равную всего 1,50, т. е.  $(C_{12} / C_{21}) = 1,50$ . Тогда параметр  $\lambda$  получается равным единице. Пороговое значение для вероятностей состояний таким быть не может, и диагностирование в таком случае тоже становится бессмысленным.

6. Очевидно, что минимальный пороговый уровень может быть получен при  $(C_{12} / C_{21}) = 1,0$ , т. е. при равноценности ошибок, что, в принципе, в условиях неопределенности ценовых параметров  $C_{12}$  и  $C_{21}$  является вполне возможным допущением. В этом случае по минимуму параметр  $\lambda$  получается равным

$$\lambda_{min} = 0,667. \quad (6.50)$$

7. Полученное значение при диагностировании состояний строительных конструкций вполне допустимо в первом приближении принять как приемлемый пороговый вероятностный уровень распознавания. Следует отметить, что принятие такого решения подкреплено еще и результатами проведенных численных экспериментов, выполненных для нескольких конструктивных элементов зданий. Так, на основе многовариантного счета получен обширный материал по распределению апостериорных вероятностей состояний для главных балок и плитных участков монолитных железобетонных междуэтажных перекрытий и для стальных балок междуэтажных и надподвальных перекрытий. Расчеты по формуле Байеса (4.14) выполнены более, чем для ста вариантов для каждого элемента. Вариантность в этих расчетах состояла в том, что без изменения статистических данных в диагностических матрицах, варьировались только реализации признаков и их разрядов в различных комбинациях. Варьирование было целенаправленным, т. е. исключались те варианты реализации признаков, которые однозначно приводили к крайним результатам: либо к удовлетворительному, либо к неудовлетворительному состояниям. Таким образом, преследовалась цель в получении некоторой «расплывчатости» результатов, когда для принятия решения в соответствии с решающим правилом диагностирования, сформулированным в главе 4 (п. 4.1.2), не обойтись без порогового значения. Результаты многочисленных расчетов для рассматриваемых конструктивных элементов показали разброс вероятностей  $P(S_u/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*)$  в пределах

$$P(S_u/K^*) = 0,678 - 0,728.$$

Результат, как видно, хорошо согласуется с (6.50). Проведенное исследование дает основание для принятия решения о назначении вероятностного порогового уровня распознавания состояний строительных систем в следующем виде

$$P_i = 0,690. \quad (6.51)$$

Как пользоваться полученным пороговым значением? Если апостериорная вероятность

$$P(S_{i'}/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*) > P_i = 0,690, \quad (6.52)$$

то решение о диагнозе может быть принято. Если

$$P(S_{i'}/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*) \leq P_i = 0,690,$$

то принимается решение о дополнении или корректировке входной информации, например, основываясь на методике, изложенной в п. 6.2.

*Пример.* В качестве примера можно привести результат диагностирования главной балки монолитного железобетонного перекрытия, приведенный в п. 6.2.2. По статистическим данным диагностической матрицы (таблица 6.8) и принятой реализации признаков (соответствующие строчки в таблице 6.8 выделены цветом) получено распределение апостериорных вероятностей состояний балки в виде последовательности чисел [119]:

$$\begin{aligned} P(S_1 / K_1^*) &= 0,055; & P(S_2 / K_1^*) &= 0,378; \\ P(S_3 / K_1^*) &= 0,404; & P(S_4 / K_1^*) &= 0,160; \\ P(S_5 / K_1^*) &= 0,003. \end{aligned} \quad (6.53)$$

Действительно, имеют место некоторые неопределенность и размытость результирующих данных, не позволяющие принять уверенное решение о диагнозе. Как, отмечено в п. 6.2.2, второе и третье состояния практически равновероятны, а остальные, имея в виду принятую реализацию признаков, маловероятны. После подстановки данных (6.53) в (6.52), получено

$$P(S_{i'}/K^*) = 0,055 + 0,378 + 0,404 = 0,837 > P_i = 0,690.$$

Теперь есть основание для присвоения рассматриваемому объекту все же третьей, ограниченно работоспособной категории технического состояния, что и было доказано в п. 6.2.2 после некоторой корректировки диагностической матрицы в виде исключения из рассмотрения малоинформативной статистики.

Таким образом, при диагностировании состояний строительных конструкций зданий, основанном на рассмотрении пяти диагнозов и на их разделении с последующим комбинированием в соответствии с (6.47), можно решающее правило диагностирования состояний (см. п. 4.1.2) сформулировать с учетом следующих уточнений.

*Решающее правило, в соответствии с которым принимается решение о конкретном диагнозе, состоит в том, что объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к состоянию  $S_i$ , если апостериорная вероятность этого состояния  $S_i$  является наибольшей, т.е.  $K^* \in S_i$ , если  $P(S_i/K^*) > P(S_j/K^*)$  ( $j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$ ); при этом  $P(S_{iu}/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*) > P_i = 0,690$  – для первых состояний или  $P(S_{mi}/K^*) = P(S_4/K^*) + P(S_5/K^*) > 1 - P_i = 0,310$  – для остальных состояний.*

Выводы по главе 6 сформулированы в следующем виде.

1. Диагностические матрицы участвуют в построении решения на основе уровневой формулировки задачи на самом «низшем» (базисном) уровне и только на этом уровне проходят байесовскую обработку накопленной статистики. Это уровень отдельных конструктивных элементов, из которых для рассматриваемых зданий составляются вышележащие строительные подсистемы и подструктуры и, наконец, здание в целом. В данной главе, имея в виду важность прохождения базисного уровня, диагностические матрицы подвергаются всестороннему анализу на предмет выявления степени влияния «входа» в этот уровень на «выход» из него.

2. Для характерных примеров конструктивных элементов исследуются полученные обследовательской статистикой распределения априорных вероятностей состояний и определяются в итоге аппроксимирующие эти распределения известные из математики функции плотности распределения вероятностей. Анализируется возможность такой аппроксимации, возникающие погрешности и их влияние на искомый результат. Показано (в том числе и на конкретных примерах), что с достаточной степенью точности предложенный подход может быть использован при недостаточном объеме статистической информации или вообще при ее отсутствии. Это свидетельствует об устойчивости диагностических матриц с тем объемом априорной статистики

3. Анализ информативности вероятностной статистики диагностических матриц проводится с позиций таких понятий теории информации, как диагностический вес и диагностическая ценность признаков (или

малоинформативность признаков), а также диагностическая ценность самого обследования. Для элементов строительных систем такие методики реализованы впервые. На конкретном примере продемонстрирован эффект увеличения степени определенности (более, чем в 4 раза) после исключения из расчетной байесовской процедуры малоинформативной статистики. Разработанные методики позволяют выполнить такой анализ.

4. Оценена степень влияния изменчивости входной информации (априорной статистики) на выходную (распределение апостериорных вероятностей состояний) с использованием методик интервального подхода, когда основные параметры диагностических матриц вводятся в байесовскую процедуру в виде интервальных чисел. На основе многовариантного счета получены результаты, которые с большой степенью убедительности подтвердили устойчивость диагностических матриц. Численно показана стабильность качественного результата диагностирования даже в том случае, когда априорные вероятности состояний (статистика) вводились в байесовскую процедуру расчета в виде равновероятного распределения, т. е. при максимальной энтропии.

5. Впервые для диагностирования состояний элементов строительных конструкций зданий старой городской застройки использованы методы теории нечетких множеств. Определены основные понятия этой теории применительно к строительным объектам и выполнен анализ устойчивости диагностических матриц с использованием этих методов. Приведен пример диагностирования состояний одного и того же конструктивного элемента на основе двух подходов – метод Байеса и методы нечеткой логики. Результаты расчетов привели практически к одинаковым выводам, еще раз подтверждающим устойчивость входной статистики.

6. В завершение главы предложена методика определения очень важного параметра, позволяющего с большей уверенностью принимать решение о присвоении категории состояния. Это методика, связанная с назначением порогового значения для вероятностных параметров состояний. По-новому

предложено сформулировать решающее правило диагностирования, учитывающее выведенные границы пороговых вероятностных параметров.

7. Все представленные и всесторонне проверенные диагностические матрицы сформированы автором на основе глубокого ретроспективного анализа результатов обследований прошлых лет и собственного опыта работы в данной области. Автором же разработана удобная для анализа табличная форма размещения и упорядочения вероятностного материала в этих матрицах.

## ГЛАВА 7

### ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА

#### 7.1. Построение «диагностического дерева»

Представленный в предыдущих главах материал охватывает проблемы и пути их решения в большей степени для диагностирования состояний отдельных конструктивных элементов рассматриваемых зданий. По сути дела, определен и достаточно подробно проанализирован низший, базисный уровень диагностирования сложной многоэлементной строительной системы и, затем, предложены модели принятия решений о распознавании диагнозов пока только отдельных элементов этой системы.

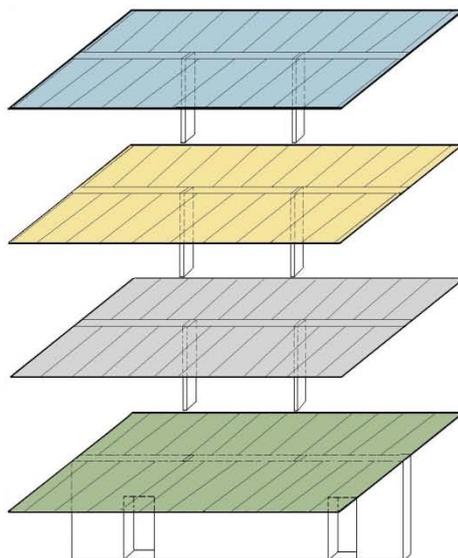
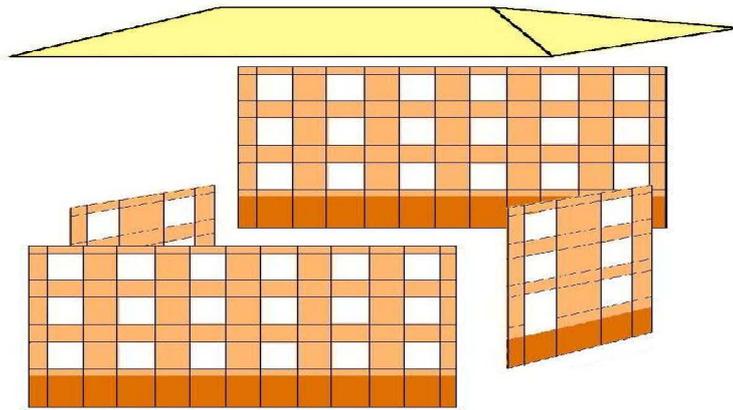
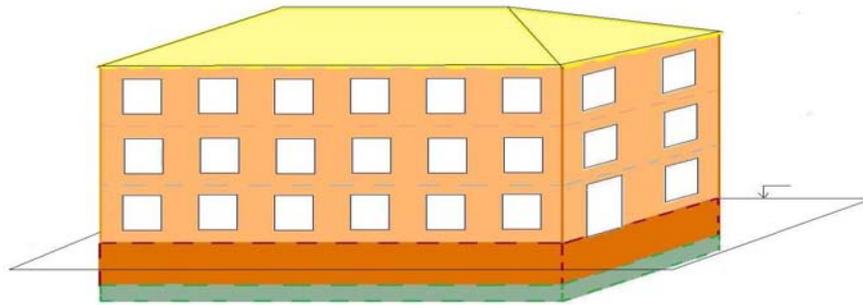
Для разработки моделей принятия решений о состояниях подсистем следующих, более высоких уровней и здания в целом, необходима методология построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики состояний, которая позволит оценивать состояние высших структур на каждом, интересующем пользователя, уровне. В основу построения модели такой иерархии диагнозов предлагается положить принцип передачи информации о состоянии с низших на последующие уровни через информационный вклад вероятностных параметров состояний отдельных элементов, в вероятностные параметры состояний групп элементов и подсистем следующих уровней иерархии. Этот информационный вклад (или доля) формулируется и определяется с использованием понятий и методов теории информации, в частности, с использованием основного понятия этой теории – информационной энтропии.

В главе 4 (п. 4.2) даны основные предпосылки привлечения аппарата теории информации для построения моделей принятия решений о диагнозе элементов строительных систем. Приведены зависимости для расчета энтропии системы, имеющей  $n$  возможных состояний с известными вероятностями их реализации и зависимости для определения максимальных значений энтропии. Введено понятие степени определенности системы, которую в теории информации часто

называют «остаточной энтропией», а в ряде случаев «количеством внесенной информации». Сделан также важный вывод о том, что энтропия сложной системы, объединяющей две и более статистически независимые подсистемы равна сумме энтропий этих подсистем. Показано, что этот вывод при тех же предпосылках справедлив и для «остаточной энтропии». Эти и другие методики применения информационного аппарата в диагностировании состояний элементов рассматриваемых зданий легли в основу построения многоуровневой вероятностной модели принятия решений о состояниях конструктивных элементов, групп элементов и подсистем на любом уровне и здания в целом. Для этого предложено в первую очередь построить графическую модель диагностирования в виде, так называемого, «диагностического дерева».

Построение «диагностического дерева» (или «дерева диагнозов») в данной работе предлагается рассмотреть на примере здания, достаточно типичного для старой застройки [119]. Так, например, в Санкт-Петербурге в черте старого исторического центра расположены сотни зданий подобного или похожего типа. Схематично это здание и выделенные в нем основные конструктивные структуры представлены на рисунке 7.1. Как видно, выделение выполнено укрупненно, т. е. рассмотрены четыре крупные конструктивные подсистемы, для элементов и групп элементов которых уже сформированы и проанализированы представленные ранее в главе 6 (и в приложении А) диагностические матрицы. К этим конструктивным подсистемам относятся: фундаментные конструкции, наружные кирпичные стены, перекрытия (надподвальные, междуэтажные и чердачные) и элементы чердачной крыши (мауэрлат, стропильные конструкции и конструктивные элементы кровли).

На рисунке 7.2 для здания, показанного на рисунке 7.1, показан пример построения «диагностического дерева» с учетом выделенных конструктивных подсистем. Как видно, «диагностическое дерево» в данном случае по максимуму представляется в виде шестиуровневой иерархической структуры.



Чердачное перекрытие

Междуэтажное перекрытие  
(дерево, сталь)

Междуэтажное перекрытие  
(монолитный железобетон)

Надподвальное  
перекрытие

Рисунок 7.1 – Разделение здания на конструктивные подсистемы

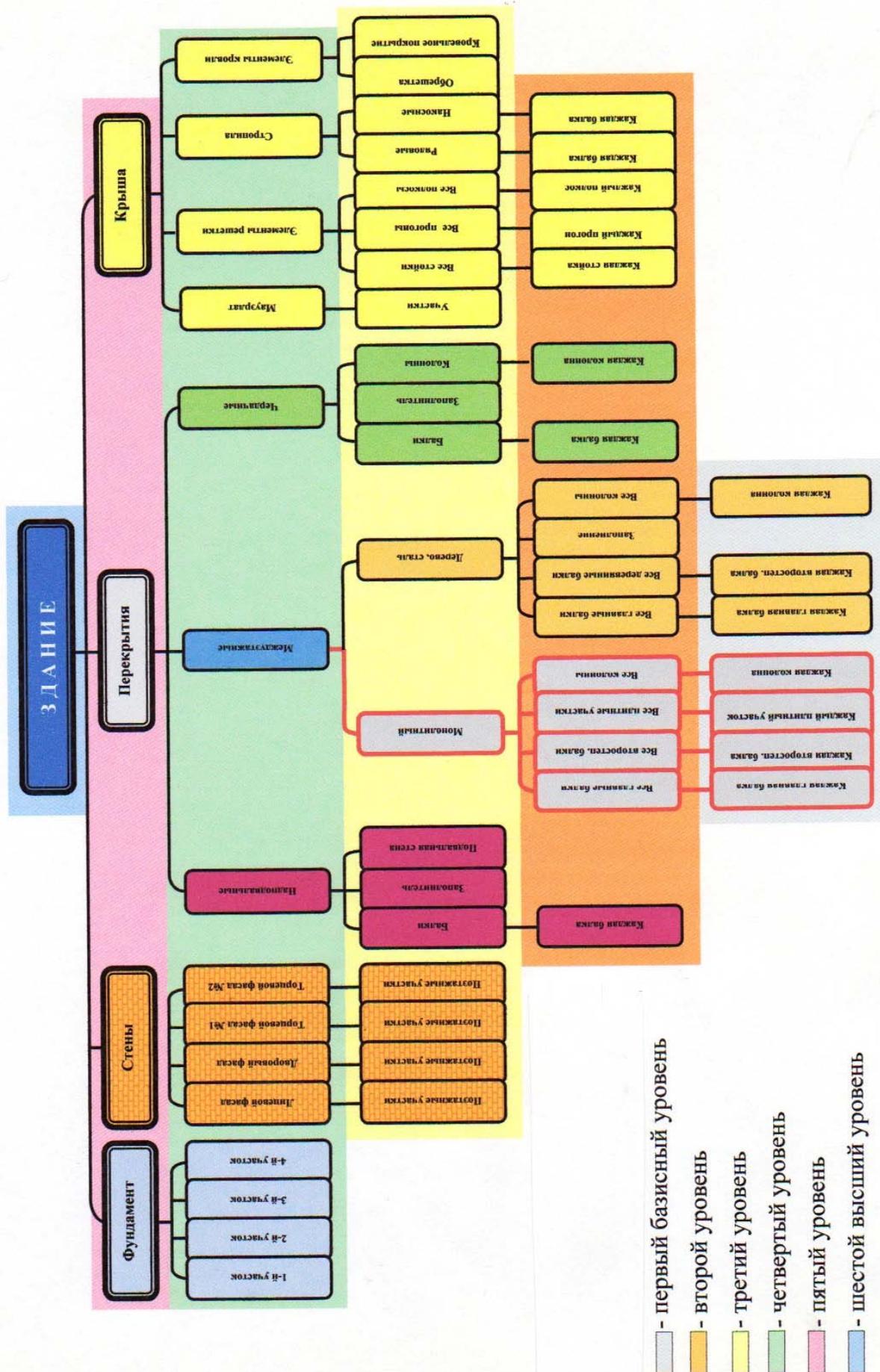


Рисунок 7.2 – Диагностическое дерево

## 7.2. Построение решения на примере междуэтажных перекрытий

### 7.2.1. «Дерево диагнозов» для железобетонного монолитного перекрытия и алгоритм построение решения

На рисунке 7.3 показан фрагмент диагностического дерева, отражающий только часть ветви (подсистемы) «перекрытия» и относящейся к иерархии диагнозов элементов и подсистем только для монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия. На общей схеме для всего здания на рисунке 7.2 контуры этой части выделены красным цветом. Условно высшим для этой подсистемы является уровень «междуэтажные перекрытия», занимающий четвертую ступень иерархической структуры.

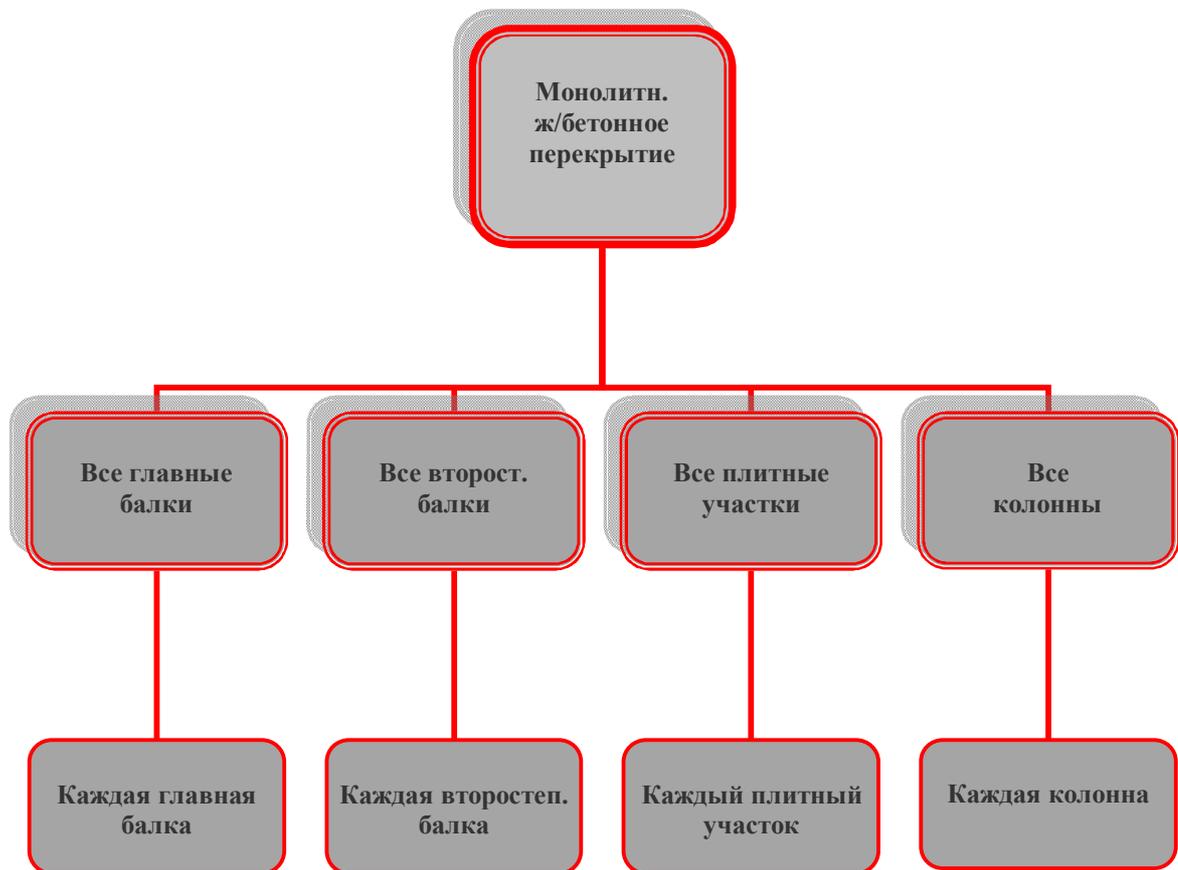


Рисунок 7.3 – Часть «дерева диагнозов» для монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия

Как видно, междуэтажное перекрытие само по себе представляется как сложная конструктивная подсистема четвертого уровня, являющаяся конструктивным элементом подсистемы следующего, более высокого уровня – «перекрытия» (пятый уровень иерархии) и, далее, высшего уровня – «здание» (шестой уровень иерархии). Перекрытие построено по схеме балочной клетки и состоит из главных балок  $G_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, g$ ), второстепенных балок  $W_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, w$ ), плитных участков  $F_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, f$ ), и колонн  $L_k$ , ( $k = 1, 2, 3, \dots, l$ ), которые рассматриваются как его базисные конструктивные элементы. В дальнейшем это перекрытие будет обозначено как объединенная подсистема  $U(GWFL)$ . На рисунке 7.4 схематично показан пример раскладки этих элементов. Как отмечено выше, для оценки технического состояния и назначения категорий технического состояния предлагается использовать предложенный выше подход, основанный на теоретическом аппарате технической диагностики с применением вероятностных методов распознавания состояний сложных технических систем с помощью обобщенной формулы Байеса и данных имеющейся статистики диагнозов. Здесь есть смысл записать формулу Байеса еще раз.

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}. \quad (7.1)$$

При этом, как указано ранее, вероятностный анализ технического состояния рассматриваемого объекта (перекрытия в целом) основывается на построении статистики диагнозов в виде диагностических матриц для каждого из его элементов: для главных балок (таблица 7.1), для второстепенных балок (таблица 7.2), для плитных участков перекрытия (таблица 7.3) и для колонн (таблица 7.4). Здесь в этих таблицах, как видно, вероятности проявления характерных для каждого элемента повреждений (диагностических признаков и их разрядов или интервалов) в каждом из пяти состояний-диагнозов  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n = 5$ ) представлены в общем виде [119].

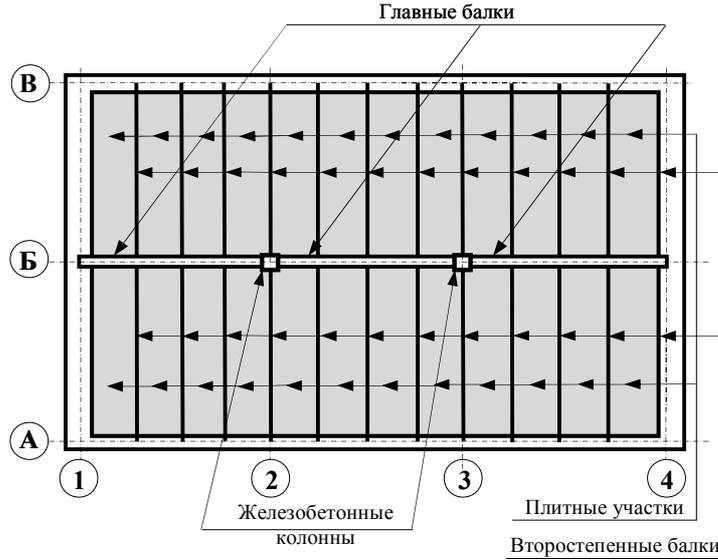


Рисунок 7.4 – Схема раскладки элементов железобетонного монолитного перекрытия (пример)

Построение процедуры вычислений по зависимости (7.1) также в общем виде предлагается выполнить на примере диагностирования балки  $G_2$  при той же, что и ранее реализации признаков и их разрядов (см., например, таблицу 6.8, где соответствующие строчки так же, как и в таблице 7.1, выделены цветом, а также таблицу 8.1):

$$\frac{P(S_1)P(K^*/S_1)}{P(S_1)} = P(S_1)[p_g(k_{11}/S_1)] \cdot [p_g(k_{21}/S_1)] \cdot [p_g(k_{31}/S_1)] \cdot [p_g(k_{42}/S_1)] \cdot [p_g(k_{52}/S_1)] \cdot [p_g(k_{61}/S_1)] \cdot [p_g(k_{71}/S_1)] \cdot [p_g(k_{81}/S_1)] [p_g(k_{91}/S_1)];$$

$$\frac{P(S_2)P(K^*/S_2)}{P(S_2)} = P(S_2)[p_g(k_{11}/S_2)] \cdot [p_g(k_{21}/S_2)] \cdot [p_g(k_{31}/S_2)] \cdot [p_g(k_{42}/S_2)] \cdot [p_g(k_{52}/S_2)] \cdot [p_g(k_{61}/S_2)] \cdot [p_g(k_{71}/S_2)] \cdot [p_g(k_{81}/S_2)] [p_g(k_{91}/S_2)];$$

$$\frac{P(S_3)P(K^*/S_3)}{P(S_3)} = P(S_3)[p_g(k_{11}/S_3)] \cdot [p_g(k_{21}/S_3)] \cdot [p_g(k_{31}/S_3)] \cdot [p_g(k_{42}/S_3)] \cdot [p_g(k_{52}/S_3)] \cdot [p_g(k_{61}/S_3)] \cdot [p_g(k_{71}/S_3)] \cdot [p_g(k_{81}/S_3)] [p_g(k_{91}/S_3)];$$

$$\frac{P(S_4)P(K^*/S_4)}{P(S_4)} = P(S_4)[p_g(k_{11}/S_4)] \cdot [p_g(k_{21}/S_4)] \cdot [p_g(k_{31}/S_4)] \cdot [p_g(k_{42}/S_4)] \cdot [p_g(k_{52}/S_4)] \cdot [p_g(k_{61}/S_4)] \cdot [p_g(k_{71}/S_4)] \cdot [p_g(k_{81}/S_4)] [p_g(k_{91}/S_4)];$$

$$\frac{P(S_5)P(K^*/S_5)}{P(S_5)} = P(S_5)[p_g(k_{11}/S_5)] \cdot [p_g(k_{21}/S_5)] \cdot [p_g(k_{31}/S_5)] \cdot [p_g(k_{42}/S_5)] \cdot [p_g(k_{52}/S_5)] \cdot [p_g(k_{61}/S_5)] \cdot [p_g(k_{71}/S_5)] \cdot [p_g(k_{81}/S_5)] [p_g(k_{91}/S_5)];$$

Таблица 7.1 – Диагностическая матрица для главных балок перекрытия ( $G_k$ ) в общем виде

№ №	Диагностическ ие п р и з н а к и	$k_{js}$	Разр. приз.	$p_g(k_{js})$	Сост. $S_1$	Сост. $S_2$	Сост. $S_3$	Сост. $S_4$	Сост. $S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p_g(k_{11})$	$p_g(k_{11}/S_1)$	$p_g(k_{11}/S_2)$	$p_g(k_{11}/S_3)$	$p_g(k_{11}/S_4)$	$p_g(k_{11}/S_5)$
		$k_{12}$	нет	$p_g(k_{12})$	$p_g(k_{12}/S_1)$	$p_g(k_{12}/S_2)$	$p_g(k_{12}/S_3)$	$p_g(k_{12}/S_4)$	$p_g(k_{12}/S_5)$
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p_g(k_{21})$	$p_g(k_{21}/S_1)$	$p_g(k_{21}/S_2)$	$p_g(k_{21}/S_3)$	$p_g(k_{21}/S_4)$	$p_g(k_{21}/S_5)$
		$k_{22}$	нет	$p_g(k_{22})$	$p_g(k_{22}/S_1)$	$p_g(k_{22}/S_2)$	$p_g(k_{22}/S_3)$	$p_g(k_{22}/S_4)$	$p_g(k_{22}/S_5)$
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p_g(k_{31})$	$p_g(k_{31}/S_1)$	$p_g(k_{31}/S_2)$	$p_g(k_{31}/S_3)$	$p_g(k_{31}/S_4)$	$p_g(k_{31}/S_5)$
		$k_{32}$	< 1,0 мм	$p_g(k_{32})$	$p_g(k_{32}/S_1)$	$p_g(k_{32}/S_2)$	$p_g(k_{32}/S_3)$	$p_g(k_{32}/S_4)$	$p_g(k_{32}/S_5)$
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p_g(k_{33})$	$p_g(k_{33}/S_1)$	$p_g(k_{33}/S_2)$	$p_g(k_{33}/S_3)$	$p_g(k_{33}/S_4)$	$p_g(k_{33}/S_5)$
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p_g(k_{41})$	$p_g(k_{41}/S_1)$	$p_g(k_{41}/S_2)$	$p_g(k_{41}/S_3)$	$p_g(k_{41}/S_4)$	$p_g(k_{41}/S_5)$
		$k_{42}$	нет	$p_g(k_{42})$	$p_g(k_{42}/S_1)$	$p_g(k_{42}/S_2)$	$p_g(k_{42}/S_3)$	$p_g(k_{42}/S_4)$	$p_g(k_{42}/S_5)$
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектн.	$p_g(k_{51})$	$p_g(k_{51}/S_1)$	$p_g(k_{51}/S_2)$	$p_g(k_{51}/S_3)$	$p_g(k_{51}/S_4)$	$p_g(k_{51}/S_5)$
		$k_{52}$	≤ 30%	$p_g(k_{52})$	$p_g(k_{52}/S_1)$	$p_g(k_{52}/S_2)$	$p_g(k_{52}/S_3)$	$p_g(k_{52}/S_4)$	$p_g(k_{52}/S_5)$
		$k_{53}$	> 30%	$p_g(k_{53})$	$p_g(k_{53}/S_1)$	$p_g(k_{53}/S_2)$	$p_g(k_{53}/S_3)$	$p_g(k_{53}/S_4)$	$p_g(k_{53}/S_5)$
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p_g(k_{61})$	$p_g(k_{61}/S_1)$	$p_g(k_{61}/S_2)$	$p_g(k_{61}/S_3)$	$p_g(k_{61}/S_4)$	$p_g(k_{61}/S_5)$
		$k_{62}$	5 – 20	$p_g(k_{62})$	$p_g(k_{62}/S_1)$	$p_g(k_{62}/S_2)$	$p_g(k_{62}/S_3)$	$p_g(k_{62}/S_4)$	$p_g(k_{62}/S_5)$
		$k_{63}$	> 20%	$p_g(k_{63})$	$p_g(k_{63}/S_1)$	$p_g(k_{63}/S_2)$	$p_g(k_{63}/S_3)$	$p_g(k_{63}/S_4)$	$p_g(k_{63}/S_5)$
7	П р о г и б	$k_{71}$	доп.	$p_g(k_{71})$	$p_g(k_{71}/S_1)$	$p_g(k_{71}/S_2)$	$p_g(k_{71}/S_3)$	$p_g(k_{71}/S_4)$	$p_g(k_{71}/S_5)$
		$k_{72}$	≤ 30%	$p_g(k_{72})$	$p_g(k_{72}/S_1)$	$p_g(k_{72}/S_2)$	$p_g(k_{72}/S_3)$	$p_g(k_{72}/S_4)$	$p_g(k_{72}/S_5)$
		$k_{73}$	> 30%	$p_g(k_{73})$	$p_g(k_{73}/S_1)$	$p_g(k_{73}/S_2)$	$p_g(k_{73}/S_3)$	$p_g(k_{73}/S_4)$	$p_g(k_{73}/S_5)$
8	Условие прочности по норм. сечениям	$k_{81}$	да	$p_g(k_{81})$	$p_g(k_{81}/S_1)$	$p_g(k_{81}/S_2)$	$p_g(k_{81}/S_3)$	$p_g(k_{81}/S_4)$	$p_g(k_{81}/S_5)$
		$k_{82}$	нет	$p_g(k_{82})$	$p_g(k_{82}/S_1)$	$p_g(k_{82}/S_2)$	$p_g(k_{82}/S_3)$	$p_g(k_{82}/S_4)$	$p_g(k_{82}/S_5)$
9	Условие прочности по накл.сечениям	$k_{91}$	да	$p_g(k_{91})$	$p_g(k_{91}/S_1)$	$p_g(k_{91}/S_2)$	$p_g(k_{91}/S_3)$	$p_g(k_{91}/S_4)$	$p_g(k_{91}/S_5)$
		$k_{92}$	нет	$p_g(k_{92})$	$p_g(k_{92}/S_1)$	$p_g(k_{92}/S_2)$	$p_g(k_{92}/S_3)$	$p_g(k_{92}/S_4)$	$p_g(k_{92}/S_5)$

Таблица 7.2 – Диагностическая матрица для второстепенных балок перекрытия ( $W_k$ ) в общем виде

№ №	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Разр приз.	$p_w(k_{js})$	Сост. $S_1$	Сост. $S_2$	Сост. $S_3$	Сост. $S_4$	Сост. $S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p_w(k_{11})$	$p_w(k_{11}/S_1)$	$p_w(k_{11}/S_2)$	$p_w(k_{11}/S_3)$	$p_w(k_{11}/S_4)$	$p_w(k_{11}/S_5)$
		$k_{12}$	нет	$p_w(k_{12})$	$p_w(k_{12}/S_1)$	$p_w(k_{12}/S_2)$	$p_w(k_{12}/S_3)$	$p_w(k_{12}/S_4)$	$p_w(k_{12}/S_5)$
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p_w(k_{21})$	$p_w(k_{21}/S_1)$	$p_w(k_{21}/S_2)$	$p_w(k_{21}/S_3)$	$p_w(k_{21}/S_4)$	$p_w(k_{21}/S_5)$
		$k_{22}$	нет	$p_w(k_{22})$	$p_w(k_{22}/S_1)$	$p_w(k_{22}/S_2)$	$p_w(k_{22}/S_3)$	$p_w(k_{22}/S_4)$	$p_w(k_{22}/S_5)$
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p_w(k_{31})$	$p_w(k_{31}/S_1)$	$p_w(k_{31}/S_2)$	$p_w(k_{31}/S_3)$	$p_w(k_{31}/S_4)$	$p_w(k_{31}/S_5)$
		$k_{32}$	< 1,0 мм	$p_w(k_{32})$	$p_w(k_{32}/S_1)$	$p_w(k_{32}/S_2)$	$p_w(k_{32}/S_3)$	$p_w(k_{32}/S_4)$	$p_w(k_{32}/S_5)$
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p_w(k_{33})$	$p_w(k_{33}/S_1)$	$p_w(k_{33}/S_2)$	$p_w(k_{33}/S_3)$	$p_w(k_{33}/S_4)$	$p_w(k_{33}/S_5)$
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p_w(k_{41})$	$p_w(k_{41}/S_1)$	$p_w(k_{41}/S_2)$	$p_w(k_{41}/S_3)$	$p_w(k_{41}/S_4)$	$p_w(k_{41}/S_5)$
		$k_{42}$	нет	$p_w(k_{42})$	$p_w(k_{42}/S_1)$	$p_w(k_{42}/S_2)$	$p_w(k_{42}/S_3)$	$p_w(k_{42}/S_4)$	$p_w(k_{42}/S_5)$
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектн.	$p_w(k_{51})$	$p_w(k_{51}/S_1)$	$p_w(k_{51}/S_2)$	$p_w(k_{51}/S_3)$	$p_w(k_{51}/S_4)$	$p_w(k_{51}/S_5)$
		$k_{52}$	≤ 30%	$p_w(k_{52})$	$p_w(k_{52}/S_1)$	$p_w(k_{52}/S_2)$	$p_w(k_{52}/S_3)$	$p_w(k_{52}/S_4)$	$p_w(k_{52}/S_5)$
		$k_{53}$	> 30%	$p_w(k_{53})$	$p_w(k_{53}/S_1)$	$p_w(k_{53}/S_2)$	$p_w(k_{53}/S_3)$	$p_w(k_{53}/S_4)$	$p_w(k_{53}/S_5)$
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p_w(k_{61})$	$p_w(k_{61}/S_1)$	$p_w(k_{61}/S_2)$	$p_w(k_{61}/S_3)$	$p_w(k_{61}/S_4)$	$p_w(k_{61}/S_5)$
		$k_{62}$	5 – 20	$p_w(k_{62})$	$p_w(k_{62}/S_1)$	$p_w(k_{62}/S_2)$	$p_w(k_{62}/S_3)$	$p_w(k_{62}/S_4)$	$p_w(k_{62}/S_5)$
		$k_{63}$	> 20%	$p_w(k_{63})$	$p_w(k_{63}/S_1)$	$p_w(k_{63}/S_2)$	$p_w(k_{63}/S_3)$	$p_w(k_{63}/S_4)$	$p_w(k_{63}/S_5)$
7	П р о г и б	$k_{71}$	доп.	$p_w(k_{71})$	$p_w(k_{71}/S_1)$	$p_w(k_{71}/S_2)$	$p_w(k_{71}/S_3)$	$p_w(k_{71}/S_4)$	$p_w(k_{71}/S_5)$
		$k_{72}$	≤ 30%	$p_w(k_{72})$	$p_w(k_{72}/S_1)$	$p_w(k_{72}/S_2)$	$p_w(k_{72}/S_3)$	$p_w(k_{72}/S_4)$	$p_w(k_{72}/S_5)$
		$k_{73}$	> 30%	$p_w(k_{73})$	$p_w(k_{73}/S_1)$	$p_w(k_{73}/S_2)$	$p_w(k_{73}/S_3)$	$p_w(k_{73}/S_4)$	$p_w(k_{73}/S_5)$
8	Условие прочности по норм. сечениям	$k_{81}$	да	$p_w(k_{81})$	$p_w(k_{81}/S_1)$	$p_w(k_{81}/S_2)$	$p_w(k_{81}/S_3)$	$p_w(k_{81}/S_4)$	$p_w(k_{81}/S_5)$
		$k_{82}$	нет	$p_w(k_{82})$	$p_w(k_{82}/S_1)$	$p_w(k_{82}/S_2)$	$p_w(k_{82}/S_3)$	$p_w(k_{82}/S_4)$	$p_w(k_{82}/S_5)$
9	Условие прочности по накл. сечениям	$k_{91}$	да	$p_w(k_{91})$	$p_w(k_{91}/S_1)$	$p_w(k_{91}/S_2)$	$p_w(k_{91}/S_3)$	$p_w(k_{91}/S_4)$	$p_w(k_{91}/S_5)$
		$k_{92}$	нет	$p_w(k_{92})$	$p_w(k_{92}/S_1)$	$p_w(k_{92}/S_2)$	$p_w(k_{92}/S_3)$	$p_w(k_{92}/S_4)$	$p_w(k_{92}/S_5)$

Таблица 7.3 – Диагностическая матрица для плитных участков перекрытия ( $F_k$ ) в общем виде

№ №	Диагностические признаки	$k_{js}$	Разряд призн.	$p_f(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p_f(k_{31})$	$p_f(k_{31}/S_1)$	$p_f(k_{31}/S_2)$	$p_f(k_{31}/S_3)$	$p_f(k_{31}/S_4)$	$p_f(k_{31}/S_5)$
		$k_{12}$	нет	$p_f(k_{32})$	$p_f(k_{32}/S_1)$	$p_f(k_{32}/S_2)$	$p_f(k_{32}/S_3)$	$p_f(k_{32}/S_4)$	$p_f(k_{12}/S_5)$
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p_f(k_{21})$	$p_f(k_{21}/S_1)$	$p_f(k_{21}/S_2)$	$p_f(k_{21}/S_3)$	$p_f(k_{21}/S_4)$	$p_f(k_{21}/S_5)$
		$k_{22}$	нет	$p_f(k_{22})$	$p_f(k_{22}/S_1)$	$p_f(k_{22}/S_2)$	$p_f(k_{22}/S_3)$	$p_f(k_{22}/S_4)$	$p_f(k_{22}/S_5)$
3	Протечки техн. жидкостей (в том числе масел, нефтепродуктов)	$k_{31}$	нет	$p_f(k_{31})$	$p_f(k_{31}/S_1)$	$p_f(k_{31}/S_2)$	$p_f(k_{31}/S_3)$	$p_f(k_{31}/S_4)$	$p_f(k_{31}/S_5)$
		$k_{32}$	перио- дич.	$p_f(k_{32})$	$p_f(k_{32}/S_1)$	$p_f(k_{32}/S_2)$	$p_f(k_{32}/S_3)$	$p_f(k_{32}/S_4)$	$p_f(k_{12}/S_5)$
		$k_{33}$	посто- янн.	$p_f(k_{33})$	$p_f(k_{33}/S_1)$	$p_f(k_{33}/S_2)$	$p_f(k_{33}/S_3)$	$p_f(k_{33}/S_4)$	$p_f(k_{13}/S_5)$
4	силовые трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p_f(k_{41})$	$p_f(k_{41}/S_1)$	$p_f(k_{41}/S_2)$	$p_f(k_{41}/S_3)$	$p_f(k_{41}/S_4)$	$p_f(k_{41}/S_5)$
		$k_{42}$	нет	$p_f(k_{42})$	$p_f(k_{42}/S_1)$	$p_f(k_{42}/S_2)$	$p_f(k_{42}/S_3)$	$p_f(k_{42}/S_4)$	$p_f(k_{42}/S_5)$
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p_f(k_{51})$	$p_f(k_{51}/S_1)$	$p_f(k_{51}/S_2)$	$p_f(k_{51}/S_3)$	$p_f(k_{51}/S_4)$	$p_f(k_{51}/S_5)$
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p_f(k_{52})$	$p_f(k_{52}/S_1)$	$p_f(k_{52}/S_2)$	$p_f(k_{52}/S_3)$	$p_f(k_{52}/S_4)$	$p_f(k_{52}/S_5)$
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p_f(k_{53})$	$p_f(k_{53}/S_1)$	$p_f(k_{53}/S_2)$	$p_f(k_{53}/S_3)$	$p_f(k_{53}/S_4)$	$p_f(k_{53}/S_5)$
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	$< 5\%$	$p_f(k_{61})$	$p_f(k_{61}/S_1)$	$p_f(k_{61}/S_2)$	$p_f(k_{61}/S_3)$	$p_f(k_{61}/S_4)$	$p_f(k_{61}/S_5)$
		$k_{62}$	5 – 20	$p_f(k_{62})$	$p_f(k_{62}/S_1)$	$p_f(k_{62}/S_2)$	$p_f(k_{62}/S_3)$	$p_f(k_{62}/S_4)$	$p_f(k_{62}/S_5)$
		$k_{63}$	$> 20\%$	$p_f(k_{63})$	$p_f(k_{63}/S_1)$	$p_f(k_{63}/S_2)$	$p_f(k_{63}/S_3)$	$p_f(k_{63}/S_4)$	$p_f(k_{63}/S_5)$
7	Прогиб (наличие)	$k_{71}$	да	$p_f(k_{71})$	$p_f(k_{71}/S_1)$	$p_f(k_{71}/S_2)$	$p_f(k_{71}/S_3)$	$p_f(k_{71}/S_4)$	$p_f(k_{71}/S_5)$
		$k_{72}$	нет	$p_f(k_{72})$	$p_f(k_{72}/S_1)$	$p_f(k_{72}/S_2)$	$p_f(k_{72}/S_3)$	$p_f(k_{72}/S_4)$	$p_f(k_{72}/S_5)$
8	Условие прочности по норм. сечениям	$k_{81}$	да	$p_f(k_{81})$	$p_f(k_{81}/S_1)$	$p_f(k_{81}/S_2)$	$p_f(k_{81}/S_3)$	$p_f(k_{81}/S_4)$	$p_f(k_{81}/S_5)$
		$k_{82}$	нет	$p_f(k_{82})$	$p_f(k_{82}/S_1)$	$p_f(k_{82}/S_2)$	$p_f(k_{82}/S_3)$	$p_f(k_{82}/S_4)$	$p_f(k_{82}/S_5)$

Таблица 7.4 – Диагностическая матрица для колонн ( $L_k$ ) в общем виде

№ №	Диагностические п р и з н а к и	$k_{js}$	Разряд призн.	$p_i(k_{js})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p_i(k_{11})$	$p_i(k_{11} / S_1)$	$p_i(k_{11} / S_2)$	$p_i(k_{11} / S_3)$	$p_i(k_{11} / S_4)$	$p_i(k_{11} / S_5)$
		$k_{12}$	нет	$p_i(k_{12})$	$p_i(k_{21} / S_1)$	$p_i(k_{21} / S_2)$	$p_i(k_{21} / S_3)$	$p_i(k_{21} / S_4)$	$p_i(k_{21} / S_5)$
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p_i(k_{21})$	$p_i(k_{21} / S_1)$	$p_i(k_{21} / S_2)$	$p_i(k_{21} / S_3)$	$p_i(k_{21} / S_4)$	$p_i(k_{21} / S_5)$
		$k_{22}$	нет	$p_i(k_{22})$	$p_i(k_{22} / S_1)$	$p_i(k_{22} / S_2)$	$p_i(k_{22} / S_3)$	$p_i(k_{22} / S_4)$	$p_i(k_{22} / S_5)$
3	Трещины в защ. слое вдоль попер. Армат. стержней	$k_{31}$	да	$p_i(k_{31})$	$p_i(k_{31} / S_1)$	$p_i(k_{31} / S_2)$	$p_i(k_{31} / S_3)$	$p_i(k_{31} / S_4)$	$p_i(k_{31} / S_5)$
		$k_{32}$	нет	$p_i(k_{32})$	$p_i(k_{32} / S_1)$	$p_i(k_{32} / S_2)$	$p_i(k_{32} / S_3)$	$p_i(k_{32} / S_4)$	$p_i(k_{32} / S_5)$
4	Силовые прод. трещины	$k_{41}$	да	$p_i(k_{41})$	$p_i(k_{41} / S_1)$	$p_i(k_{41} / S_2)$	$p_i(k_{41} / S_3)$	$p_i(k_{41} / S_4)$	$p_i(k_{41} / S_5)$
		$k_{42}$	нет	$p_i(k_{42})$	$p_i(k_{42} / S_1)$	$p_i(k_{42} / S_2)$	$p_i(k_{42} / S_3)$	$p_i(k_{42} / S_4)$	$p_i(k_{42} / S_5)$
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p_i(k_{51})$	$p_i(k_{51} / S_1)$	$p_i(k_{51} / S_2)$	$p_i(k_{51} / S_3)$	$p_i(k_{51} / S_4)$	$p_i(k_{51} / S_5)$
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p_i(k_{52})$	$p_i(k_{52} / S_1)$	$p_i(k_{52} / S_2)$	$p_i(k_{52} / S_3)$	$p_i(k_{52} / S_4)$	$p_i(k_{52} / S_5)$
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p_i(k_{53})$	$p_i(k_{53} / S_1)$	$p_i(k_{53} / S_2)$	$p_i(k_{53} / S_3)$	$p_i(k_{53} / S_4)$	$p_i(k_{53} / S_5)$
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	$< 5\%$	$p_i(k_{61})$	$p_i(k_{61} / S_1)$	$p_i(k_{61} / S_2)$	$p_i(k_{61} / S_3)$	$p_i(k_{61} / S_4)$	$p_i(k_{61} / S_5)$
		$k_{62}$	5 – 20	$p_i(k_{62})$	$p_i(k_{62} / S_1)$	$p_i(k_{62} / S_2)$	$p_i(k_{62} / S_3)$	$p_i(k_{62} / S_4)$	$p_i(k_{62} / S_5)$
		$k_{63}$	$> 20\%$	$p_i(k_{63})$	$p_i(k_{63} / S_1)$	$p_i(k_{63} / S_2)$	$p_i(k_{63} / S_3)$	$p_i(k_{63} / S_4)$	$p_i(k_{63} / S_5)$
7	Отклонение от вертикали	$k_{71}$	допус- каем.	$p_i(k_{71})$	$p_i(k_{71} / S_1)$	$p_i(k_{71} / S_2)$	$p_i(k_{71} / S_3)$	$p_i(k_{71} / S_4)$	$p_i(k_{71} / S_5)$
		$k_{72}$	$\leq 30\%$	$p_i(k_{72})$	$p_i(k_{72} / S_1)$	$p_i(k_{72} / S_2)$	$p_i(k_{72} / S_3)$	$p_i(k_{72} / S_4)$	$p_i(k_{72} / S_5)$
		$k_{73}$	$> 30\%$	$p_i(k_{73})$	$p_i(k_{73} / S_1)$	$p_i(k_{73} / S_2)$	$p_i(k_{73} / S_3)$	$p_i(k_{73} / S_4)$	$p_i(k_{73} / S_5)$
8	Условие прочности	$k_{81}$	да	$p_i(k_{81})$	$p_i(k_{81} / S_1)$	$p_i(k_{81} / S_2)$	$p_i(k_{81} / S_3)$	$p_i(k_{81} / S_4)$	$p_i(k_{81} / S_5)$
		$k_{82}$	нет	$p_i(k_{82})$	$p_i(k_{82} / S_1)$	$p_i(k_{82} / S_2)$	$p_i(k_{82} / S_3)$	$p_i(k_{82} / S_4)$	$p_i(k_{82} / S_5)$

Как отмечено в главе 4 (п. 4.1.2), знаменатель обобщенной формулы Байеса для всех состояний одинаков и в данном случае в общем виде определится по зависимости

$$\frac{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}{P(K^*)} = (P(S_1)P(K^* / S_1) + P(S_2)P(K^* / S_2) + P(S_3)P(K^* / S_3) + P(S_4)P(K^* / S_4) + P(S_5)P(K^* / S_5)).$$

Тогда, далее, по формуле (7.1), вычисляются апостериорные вероятности состояний данного элемента (балки  $G_l$ ), а затем, по аналогии, для всех элементов группы «главные балки  $G_k$ » ( $k = 1, 2, \dots, g$ ). После этого осуществляется анализ полученных результатов с использованием аппарата теории информации. Аналогичные расчеты выполняются затем для всех групп: «второстепенные балки  $W_k$ » ( $k = 1, 2, \dots, w$ ), «плитные участки  $F_k$ » ( $k = 1, 2, \dots, f$ ), «колонны  $L_k$ » ( $k = 1, 2, \dots, l$ ) и, наконец, для конструктивной подсистемы «междуэтажное перекрытие», в целом. Ниже методика и последовательность построения решения, как отмечено ранее, представлены в общем виде.

*Главные балки.* Данные диагностирования состояний главных балок  $G_k$  представлены в виде следующего ряда вероятностей  $P(G_{kn}/K_l^*)$ :

$$\begin{aligned} &P(G_{11}/K_1^*); \quad P(G_{12}/K_1^*); \quad P(G_{13}/K_1^*); \quad P(G_{14}/K_1^*); \quad P(G_{15}/K_1^*); \\ &P(G_{21}/K_1^*); \quad P(G_{22}/K_1^*); \quad P(G_{23}/K_1^*); \quad P(G_{24}/K_1^*); \quad P(G_{25}/K_1^*); \\ &\dots\dots\dots \\ &P(G_{k1}/K_1^*); \quad P(G_{k2}/K_1^*); \quad P(G_{k3}/K_1^*); \quad P(G_{k4}/K_1^*); \quad P(G_{k5}/K_1^*). \end{aligned}$$

После получения этих данных (этой информации) для оценки степени неопределенности (или определенности) выявленных состояний рассматриваемой подсистемы, анализ полученных значений  $P(G_{kn}/K_l^*)$  предлагается выполнить, как указано в главе 4 (п. 4.2), с использованием методов теории информации.

Там же показано, что энтропия сложной системы, объединяющей две и более статистически независимые подсистемы, равна сумме энтропий этих подсистем. Тогда, по аналогии, энтропия состояния подсистемы «главные балки»  $H(G_1G_2\dots G_g)$ , в общем виде определится формулой

$$H(G_1G_2\dots G_g) = \sum_{k=1}^g H(G_k) = H(G_1) + H(G_2) + \dots + H(G_g).$$

Максимально возможная энтропия такой системы может быть определена по зависимости [14]

$$H(G_1G_2\dots G_g)_{\max} = g \log n_{\max}.$$

Тогда количество внесенной информации

$$V(G_1G_2\dots G_g) = \sum_{k=1}^g V(G_k) = V(G_1) + V(G_2) + \dots + V(G_g).$$

Величина  $V(G_1G_2\dots G_g)$ , как указано в главе 4 (п. 4.2), характеризует степень определенности или количество внесенной информации для объединенной группы «главные балки»  $G = G_1G_2\dots G_g$ . Она оценивает информационный вклад состояния группы в состояние системы следующего, более высокого, уровня, в данном случае конструктивной подсистемы «междуэтажное перекрытие». Там же, в главе 4 (п. 4.2), отмечено, что ее еще называют «остаточной энтропией» по отношению к максимальному значению, т. е.

$$V(G_1G_2\dots G_g) = H(G_1G_2\dots G_g)_{\max} - H(G_1G_2\dots G_g).$$

Параметр  $V(G_1G_2\dots G_g)$  в структурном энтропийном анализе состояний играет важную роль. Это некий носитель информации о том долевым вкладе состояний, в данном случае, объединенной группы «главные балки», который она вносит в состояние следующего уровня иерархии – «междуэтажное перекрытие», т. е. это величина, осуществляющая передаточные функции от низшего звена к высшему. Так как в вероятностном анализе она участвует при каждом переходе от уровня к уровню, меняя лишь численные значения в зависимости от ступени иерархии, то сама по себе она тоже должна быть выражена в относительном, а точнее, в вероятностном виде.

В данной работе предлагается ввести понятие *вероятностей степени определенности*, необходимых для описания состояний элементов диагностирования в процедуре предлагаемого структурного анализа, как зависимости, имеющие, например, для главных балок, следующий вид

$$P(V_1) = V(G_1)/V(G_1G_2\dots G_g);$$

$$P(V_2) = V(G_2)/V(G_1G_2...G_g);$$

.....

$$P(V_k) = V(G_k)/V(G_1G_2...G_k), \quad (k = 1, 2, \dots, g)$$

где  $V(G_k)$  – степень определенности, («остаточная энтропия», количество внесенной информации) состояний каждой главной балки  $G_k$ .

Окончательно вероятности реализации пяти категорий технического состояния для объединенной группы  $G_1G_2 \dots G_g$  вычисляются по формулам, предложенным автором в качестве переходной модели от уровня к уровню. На данном переходном уровне они имеют следующий вид:

$$P_1(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{k1}/K_1^*)P(V_k) = P(G_{11}/K_1^*)P(V_1) + P(G_{21}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(G_{g1}/K_1^*)P(V_g);$$

$$P_2(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{k2}/K_1^*)P(V_k) = P(G_{12}/K_1^*)P(V_1) + P(G_{22}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(G_{g2}/K_1^*)P(V_g);$$

$$P_3(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{k3}/K_1^*)P(V_k) = P(G_{13}/K_1^*)P(V_1) + P(G_{23}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(G_{g3}/K_1^*)P(V_g);$$

$$P_4(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{k4}/K_1^*)P(V_k) = P(G_{14}/K_1^*)P(V_1) + P(G_{24}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(G_{g4}/K_1^*)P(V_g);$$

$$P_5(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{k5}/K_1^*)P(V_k) = P(G_{15}/K_1^*)P(V_1) + P(G_{25}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(G_{g5}/K_1^*)P(V_g).$$

Эти зависимости можно записать в матричной форме, в которой удобно выполнять необходимые вычисления

$$\{P_i(G_1G_2...G_g)/K_1^*\} = \{P(V_k)\} [P(G_{ki})].$$

Или их можно записать в виде единой формулы для всех состояний  $S_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n = 5$ ) и всех элементов группы  $k = 1, 2, \dots, g$ ) при совокупности  $K_1^*$

$$P_i(G_1G_2...G_g)/K_1^* = \sum_{k=1}^g P(G_{ki}/K_1^*)P(V_k).$$

Таким образом, окончательно по результатам вычислений могут быть получены апостериорные вероятности состояний группы «главные балки» в виде зависимостей

$$P_1(G_k) = P_1(G_1G_2...G_k)/K_1^*; \quad P_2(G_k) = P_2(G_1G_2...G_k)/K_1^*; \quad P_3(G_k) = P_3(G_1G_2...G_k)/K_1^*;$$

$$P_4(G_k) = P_4(G_1G_2...G_k)/K_1^*; \quad P_5(G_k) = P_5(G_1G_2...G_k)/K_1^*.$$

*Второстепенные балки.* Вероятностный анализ состояний второстепенных балок  $W_k$  ( $k = 1, 2, \dots, w$ ) выполнен с использованием аналогичного подхода также

на основе полученной по результатам многочисленных обследований перекрытий подобного типа диагностической матрицы (таблица 7.2). Как видно, диагностические признаки остались такими же, как и для главных балок, т. е. совокупность признаков  $K_I^*$  сохранилась. По результатам обследования каждой балки вычисляются апостериорные вероятности тех же пяти состояний в виде ряда вероятностей  $P(W_{nk}/K_I^*)$ , энтропия  $H(W_k)$ , степень определенности этих элементов группы  $V(W_k)$  и вероятности степени определенности  $P(V_k)$ . Таким образом, для группы «второстепенные балки» по аналогии с главными балками получены следующие параметры

$$H(W_1W_2...W_w) = \sum_{k=1}^w H(W_k) = H(W_1) + H(W_2) + \dots + H(W_w).$$

Максимально возможная энтропия этой группы определяется зависимостью

$$H(W_1W_2W_3...W_w)_{\max} = w \log n_{\max}.$$

Остаточная энтропия

$$V(W_1W_2...W_w) = \sum_{k=1}^w V(W_k) = V(W_1) + V(W_2) + \dots + V(W_w).$$

Вероятности степени определенности для второстепенных балок по аналогии с главными определены по формулам

$$P(V_1) = V(W_1)/V(W_1W_2W_3...W_w),$$

$$P(V_2) = V(W_2)/V(W_1W_2W_3...W_w),$$

.....

$$P(V_k) = V(W_k)/V(W_1W_2W_3...W_w).$$

Тогда вероятности реализации пяти категорий технического состояния ( $n = 1, 2, \dots, 5$ ) для объединенной группы «второстепенные балки»  $W_1W_2...W_w$  определяются по аналогичным зависимостям перехода к следующему уровню диагностирования:

$$P_1(W_1W_2...W_w)/K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{k1}/K_1^*)P(V_k) = P(W_{11}/K_1^*)P(V_1) + P(W_{21}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(W_{w1}/K_1^*)P(V_w);$$

$$P_2(W_1W_2...W_w)/K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{k2}/K_1^*)P(V_k) = P(W_{12}/K_1^*)P(V_1) + P(W_{22}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(W_{w2}/K_1^*)P(V_w);$$

$$P_3(W_1W_2...W_w)/K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{k3}/K_1^*)P(V_k) = P(W_{13}/K_1^*)P(V_1) + P(W_{23}/K_1^*)P(V_2) + \dots + P(W_{w3}/K_1^*)P(V_w);$$

$$P_4(W_1W_2...W_w) / K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{k4} / K_1^*) P(V_k) = P(W_{14} / K_1^*) P(V_1) + P(W_{24} / K_1^*) P(V_2) + \dots + P(W_{w4} / K_1^*) P(V_w);$$

$$P_5(W_1W_2...W_w) / K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{k5} / K_1^*) P(V_k) = P(W_{15} / K_1^*) P(V_1) + P(W_{25} / K_1^*) P(V_2) + \dots + P(W_{w5} / K_1^*) P(V_w).$$

Запись в матричной форме имеет вид

$$\{P_i(W_k)\} = \{P(V_k)\} [P(W_{ki})].$$

В виде единой формулы их можно записать следующим образом

$$P_i(W_1W_2...W_w) / K_1^* = \sum_{k=1}^w P(W_{ki} / K_1^*) P(V_k).$$

По результатам вычислений также получен ряд апостериорных вероятностей состояний группы «второстепенные балки»

$$P_1(W_k) = P_1(W_1W_2...W_k) / K_1^*; \quad P_2(W_k) = P_2(W_1W_2...W_k) / K_1^*; \quad P_3(W_k) = P_3(W_1W_2...W_k) / K_1^*;$$

$$P_4(W_k) = P_4(W_1W_2...W_k) / K_1^*; \quad P_5(W_k) = P_5(W_1W_2...W_k) / K_1^*.$$

*Плитные участки.* Анализ состояний плитных участков, обозначенных  $F_k$  ( $k = 1, 2, \dots, f$ ), выполнен тоже на основе полученной по результатам многочисленных обследований плитных участков железобетонных перекрытий диагностической матрицы (таблица 7.3). Как видно, диагностические признаки несколько изменились (см. глава 6, п. 6.1.2), т. е. представлена новая совокупность признаков  $K_2^*$ . Здесь также по результатам обследования каждого участка вычислены апостериорные вероятности тех же пяти состояний  $P(F_{nk}/K_2^*)$ , энтропия  $H(F_k)$ , степень определенности этих элементов группы  $V(F_k)$  и вероятности степени определенности  $P(V_k)$ . Затем для этой группы по аналогии с главными и второстепенными балками получены следующие параметры

$$H(F_1F_2...F_k) = \sum_{k=1}^f H(F_k) = H(F_1) + H(F_2) + \dots + H(F_f).$$

Максимальная энтропия группы

$$H(F_1F_2...F_f)_{\max} = f \log n_{\max}.$$

Остаточная энтропия

$$V(F_1F_2...F_k) = \sum_{k=1}^f V(F_k) = V(F_1) + V(F_2) + \dots + V(F_f).$$

Вероятности степени определенности вычисляются по аналогичным формулам

$$P(V_1) = V(F_1)/V(F_1F_2...F_f),$$

$$P(V_2) = V(F_2)/V(F_1F_2...F_f),$$

.....,

$$P(V_k) = V(F_k)/V(F_1F_2...F_f).$$

Вероятности реализации пяти категорий технического состояния ( $n = 1, 2, \dots, 5$ ) для объединенной группы «плитные участки»  $F_1F_2...F_f$  определяются также по зависимостям перехода:

$$P_1(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{k1}/K_2^*)P(V_k) = P(F_{11}/K_2^*)P(V_1) + P(F_{21}/K_2^*)P(V_2) + \dots + P(F_{f1}/K_2^*)P(V_f);$$

$$P_2(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{k2}/K_2^*)P(V_k) = P(F_{12}/K_2^*)P(V_1) + P(F_{22}/K_2^*)P(V_2) + \dots + P(F_{f2}/K_2^*)P(V_f);$$

$$P_3(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{k3}/K_2^*)P(V_k) = P(F_{13}/K_2^*)P(V_1) + P(F_{23}/K_2^*)P(V_2) + \dots + P(F_{f3}/K_2^*)P(V_f);$$

$$P_4(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{k4}/K_2^*)P(V_k) = P(F_{14}/K_2^*)P(V_1) + P(F_{24}/K_2^*)P(V_2) + \dots + P(F_{f4}/K_2^*)P(V_f);$$

$$P_5(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{k5}/K_2^*)P(V_k) = P(F_{15}/K_2^*)P(V_1) + P(F_{25}/K_2^*)P(V_2) + \dots + P(F_{f5}/K_2^*)P(V_f).$$

В матричной форме эти зависимости здесь записываются следующим образом

$$\{P_i(F_k)\} = \{P(F_k)\} [P(F_{ki})].$$

А в виде единой зависимости

$$P_i(F_1F_2...F_f)/K_2^* = \sum_{k=1}^f P(F_{ki}/K_2^*)P(V_f).$$

По результатам выполненных вычислений также получены апостериорные вероятности состояний группы «плитные участки»

$$P_1(F_k) = P_1(F_1F_2...F_f)/K_2^*; \quad P_2(F_k) = P_2(F_1F_2...F_f)/K_2^*; \quad P_3(F_k) = P_3(F_1F_2...F_f)/K_2^*;$$

$$P_4(F_k) = P_4(F_1F_2...F_f)/K_2^*; \quad P_5(F_k) = P_5(F_1F_2...F_f)/K_2^*.$$

*Колонны.* Ниже приведен вероятностный анализ состояний колонн  $L_k$  ( $k = 1, 2, \dots, l$ ), выполненный также на основе результатов многочисленных обследований колонн железобетонных перекрытий, представленных в соответствующей диагностической матрице (таблица 7.4). Здесь диагностические признаки тоже

изменились, т. е. тоже сформулирована своя совокупность  $K_3^*$ . Очевидно, что изменились и вероятностные параметры их проявления. Далее, по результатам обследования каждой колонны вычислены апостериорные вероятности тех же пяти состояний  $P(L_{nk}/K_3^*)$ , энтропия  $H(L_k)$ , степень определенности этих элементов группы  $V(L_k)$  и вероятности степени определенности  $P(V_k)$ .

Энтропия группы «колонны»

$$H(L_1L_2...L_l) = \sum_{k=1}^l H(L_k) = H(L_1) + H(L_2) + \dots + H(L_l).$$

Максимально возможная энтропия и степень определенности этой группы определяются зависимостями

$$H(L_1L_2...L_l)_{\max} = l \log n_{\max}.$$

$$V(L_1L_2...L_l) = \sum_{k=1}^l V(L_k) = V(L_1) + V(L_2) + \dots + V(L_l).$$

Вероятности степени определенности получились равными

$$P(V_1) = V(L_1)/V(L_1L_2...L_l),$$

$$P(V_2) = V(L_2)/V(L_1L_2...L_l),$$

.....,

$$P(V_k) = V(L_k)/V(L_1L_2...L_l).$$

В таком случае вероятности реализации пяти категорий технического состояния для объединенной группы  $L = L_1L_2...L_l$  определяются по тем же аналогично построенным переходным зависимостям:

$$P_1(L_1L_2...L_l)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{k1}/K_3^*)P(V_k) = P(L_{11}/K_3^*)P(V_1) + P(L_{21}/K_3^*)P(V_2) + \dots + P(L_{l1}/K_3^*)P(V_l);$$

$$P_2(L_1L_2...L_l)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{k2}/K_3^*)P(V_k) = P(L_{21}/K_3^*)P(V_1) + P(L_{22}/K_3^*)P(V_2) + \dots + P(L_{k2}/K_3^*)P(V_l);$$

$$P_3(L_1L_2...L_l)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{k3}/K_3^*)P(V_k) = P(L_{13}/K_3^*)P(V_1) + P(L_{23}/K_3^*)P(V_2) + \dots + P(L_{k3}/K_3^*)P(V_l);$$

$$P_4(L_1L_2...L_l)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{k4}/K_3^*)P(V_k) = P(L_{14}/K_3^*)P(V_1) + P(L_{24}/K_3^*)P(V_2) + \dots + P(L_{k4}/K_3^*)P(V_l);$$

$$P_5(L_1L_2...L_l)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{k5}/K_3^*)P(V_k) = P(L_{15}/K_3^*)P(V_1) + P(L_{25}/K_3^*)P(V_2) + \dots + P(L_{k5}/K_3^*)P(V_l).$$

Матричный вид записи

$$\{P_i(L_1L_2...L_l)\} = \{P(L_k)\} [P(L_{ki})].$$

В виде объединяющей зависимости

$$P_i(L_k)/K_3^* = \sum_{k=1}^l P(L_{ki}/K_3^*)P(V_k).$$

По результатам вычислений по указанным зависимостям получен аналогичный ряд апостериорных вероятностей состояний группы «колонны»

$$P_1(L_k) = P_1(L_1L_2...L_l)/K_3^*; \quad P_2(L_k) = P_2(L_1L_2...L_l)/K_3^*; \quad P_3(L_k) = P_3(L_1L_2...L_l)/K_3^*;$$

$$P_4(L_k) = P_4(L_1L_2...L_l)/K_3^*; \quad P_5(L_k) = P_5(L_1L_2...L_l)/K_3^*.$$

Таким образом, по данным выполненного вероятностного анализа для четырех групп элементов перекрытия – «главные балки», «второстепенные балки», «плитные участки» и «колонны» получены вероятностные параметры, по которым можно выполнить анализ состояния конструктивной подсистемы «перекрытие» –  $U(GWFL)$ . Полученные результаты удобно свести в таблицу.

Таблица 7.5 – Результаты вероятностного расчета для системы «перекрытие»

Группы элементов	$P_1(U_k)$	$P_2(U_k)$	$P_3(U_k)$	$P_4(U_k)$	$P_5(U_k)$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Главные балки	$P_1(G_k)$	$P_2(G_k)$	$P_3(G_k)$	$P_4(G_k)$	$P_5(G_k)$	$H(G_1G_2...G_k)$	$V(G_1G_2...G_k)$	$P(V_g)$
Второст. балки	$P_1(W_k)$	$P_2(W_k)$	$P_3(W_k)$	$P_4(W_k)$	$P_5(W_k)$	$H(W_1W_2...W_k)$	$V(W_1W_2...W_k)$	$P(V_w)$
Плитные участки	$P_1(F_k)$	$P_2(F_k)$	$P_3(F_k)$	$P_4(F_k)$	$P_5(F_k)$	$H(F_1F_2...F_k)$	$V(F_1F_2...F_k)$	$P(V_f)$
Колонны	$P_1(L_k)$	$P_2(L_k)$	$P_3(L_k)$	$P_4(L_k)$	$P_5(L_k)$	$H(L_1L_2...L_k)$	$V(L_1L_2...L_k)$	$P(V_l)$

По данным таблицы 7.5 для конструктивной системы «междуэтажное перекрытие», следуя рассмотренной выше методике, определены следующие параметры

$$H(U_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4),$$

$$V(U_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4).$$

Вероятности степени определенности в последней колонке таблицы 7.5 вычислены по формулам

$$P(V_1) = V(U_1)/V(U_k); \quad P(V_2) = V(U_2)/V(U_k); \quad P(V_3) = V(U_3)/V(U_k); \\ P(V_4) = V(U_4)/V(U_k).$$

Тогда окончательно вероятности реализации пяти категорий технического состояния для объединенной подсистемы «междуэтажное перекрытие» вновь определяются по зависимостям перехода на этот уровень:

$$P_1(U)/K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k1}/K_u^*)P(U_k) = P(U_{11}/K_u^*)P(V_1) + \dots + P(U_{41}/K_u^*)P(V_4); \\ P_2(U)/K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k2}/K_u^*)P(U_k) = P(U_{12}/K_u^*)P(V_1) + \dots + P(U_{42}/K_u^*)P(V_4); \\ P_3(U)/K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k3}/K_u^*)P(U_k) = P(U_{13}/K_u^*)P(V_1) + \dots + P(U_{43}/K_u^*)P(V_4); \\ P_4(U)/K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k4}/K_u^*)P(U_k) = P(U_{14}/K_u^*)P(V_1) + \dots + P(U_{44}/K_u^*)P(V_4); \\ P_5(U)/K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k5}/K_u^*)P(U_k) = P(U_{15}/K_u^*)P(V_1) + \dots + P(U_{45}/K_u^*)P(V_4). \quad (7.2)$$

Или в матричной форме

$$\{P_i(U_k)\} = \{P(U_k)\} [P(U_{ki})].$$

Аналогичная процедура построена для междуэтажного перекрытия, выполненного по комбинированной схеме с использованием деревянных и стальных балок с деревянным заполнением [119]. Диагностические матрицы для элементов этого перекрытия построены, проанализированы и представлены в Приложении А. Перекрытие также представляется как конструктивная подсистема промежуточного уровня, являющаяся достаточно характерным конструктивным элементом зданий старой городской застройки. Перекрытие состоит из стальных двутавровых главных балок  $D_k$ , деревянных балок  $B_k$ , деревянных элементов заполнения  $Z_k$  и стальных колонн  $H_k$ . Все они рассматриваются как элементы объединенной подсистемы «междуэтажное перекрытие»  $U(DBZH)$ .

Ниже в п. 7.2.2, дано краткое описание программного продукта «ВАТС» для выполнения расчетов на основе уровневой вероятностной процедуры, а затем предложенный структурный принцип построения решения продемонстрирован на конкретных численных примерах для обоих перекрытий  $U(GWFL)$  и  $U(DBZH)$  с

выходом на диагностику состояний следующего уровня – «междуэтажные перекрытия».

### ***7.2.2. Программный продукт «ВАТС» и пример расчета***

Программный продукт «ВАТС» является компьютерной моделью, реализующей вероятностный метод оценки технического состояния зданий и сооружений в программной среде Microsoft Excel. Построенный алгоритм производит статистическую обработку данных технического обследования элементов зданий и сооружений с целью присвоения объекту наиболее вероятной категории технического состояния [119]. При этом программа позволяет просматривать, контролировать и анализировать промежуточные результаты на всех уровнях расчета, что делает ее ценным инструментом с исследовательской точки зрения. Алгоритм организован в табличной форме и снабжен множеством пояснений и механизмов отслеживания возможных ошибок при вводе данных; он сравнительно прост в работе и пригоден для неподготовленного пользователя.

В реализованном алгоритме в качестве заданных состояний  $S_i$  рассматриваются те же пять технических состояний с теми же, как и в п. 4.2 и 5.1, названиями:  $S_1$  – исправное;  $S_2$  – работоспособное;  $S_3$  – ограниченно работоспособное;  $S_4$  – недопустимое;  $S_5$  – аварийное.

В представленном алгоритме вводимой пользователем информацией является последовательное описание наличия (или отсутствия) предложенных диагностических признаков у элементов системы. Эти данные выявляются в ходе проведения технического обследования диагностируемого объекта, оценка технического состояния которого и является целью работ.

Таким образом, происходит формирование компьютерной модели системы элементов, после чего алгоритм автоматически производит статистическую обработку введенных данных, первичным результатом которой является вычисление апостериорных вероятностей технического состояния (вероятностей совместного появления каждого технического состояния и описанной

совокупности диагностических признаков  $K^*$ ) для каждого заданного пользователем конструктивного элемента.

В рамках излагаемого диагностического метода здание, как отмечено выше, рассматривается как сложная система конструкций, многие из которых, в свою очередь, также являются совокупностями более простых объектов. Таким образом, создана некоторая универсальная логическая модель здания, выступающего в качестве объекта диагностирования.

Предложенное выше «дерево диагнозов» (рисунок 7.2) и в компьютерной модели, очевидно, должно иметь иерархическую структуру, где самый базисный «низ» занимают относительно простые, доступные для непосредственного обследования строительные конструкции (элементы базисного уровня). Далее, при движении вверх по «дереву» из них складываются всё более сложные группы элементов и подсистемы, образуя «здание» в целом, как наивысшее звено иерархии. В этом состоит *прямой ход* диагностирования.

Как указано в предыдущем параграфе (рисунок 7.1), здание и в построении алгоритма также разделено на четыре основные подсистемы: фундамент, наружные стены, перекрытия, крыша. Схематично это показано на рисунке 7.5.



Рисунок 7.5 – Основные подсистемы здания

Подробно структура программы «ВАТС», работа ее отдельных блоков, рекомендации для пользователей при вводе данных, при контроле решений и при прочтении результатов, изложены в Приложении Б.

Ниже расчет вероятностей диагнозов в рамках процедуры прямого хода по иерархии элементов и подсистем с помощью программы «ВАТС»

продемонстрирован на примере диагностирования состояний двух рассмотренных выше междуэтажных перекрытий: монолитного железобетонного  $U(GWFL)$  и перекрытия, построенного с использованием стальных и деревянных балок с деревянным заполнением  $U(DBZH)$  [119].

В общем виде состав элементов рассматриваемых перекрытий представлен на диаграмме на рисунке 7.6, а на рисунке 7.7 показана часть «дерева диагнозов», выделенная из общей схемы для указанных двух перекрытий.

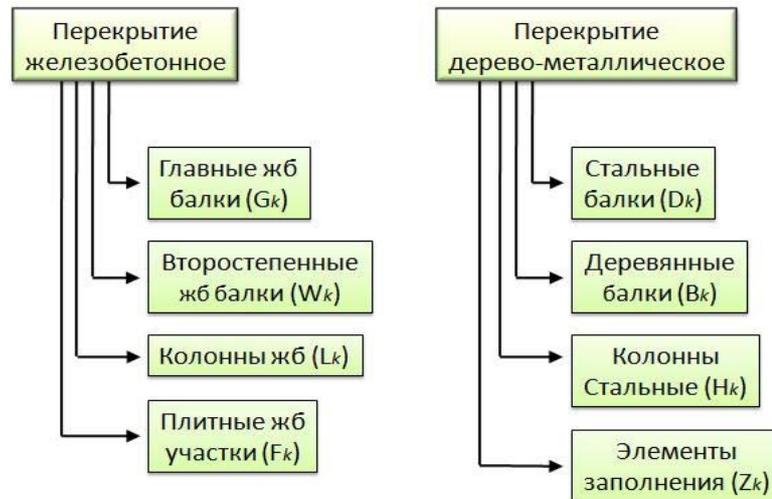


Рисунок 7.6 – Основные элементы междуэтажных перекрытий



Рисунок 7.7 – Часть диагностического дерева (ветвь «междуэтажные перекрытия»)

Монолитное железобетонное перекрытие, как и отмечено ранее, состоит из главных балок  $G_k$ , второстепенных балок  $W_k$ , плитных участков  $F_k$  и колонн  $L_k$ , которые рассматриваются как его группы элементов. На рисунке 7.8 схематично показан пример раскладки этих элементов, а на рисунке 7.9 приведена соответствующая ветвь, выделенная из общего «диагностического дерева» (рисунок 7.2). Как видно из этих рисунков, в данном примере в состав перекрытия входят четыре группы элементов: группа «главные балки» ( $g = 3$ ), группа «второстепенные балки» ( $w = 22$ ), группа «плитные участки» ( $f = 24$ ) и группа «колонны» ( $l = 2$ ).

Перекрытие по деревянным и стальным конструкциям состоит из стальных двутавровых балок  $D_k$ , деревянных балок  $B_k$ , деревянных элементов заполнения  $Z_k$  и стальных колонн  $H_k$ . Все они тоже рассматриваются как группы элементов

перекрытия. На рисунке 7.10 схематично показан пример их раскладки, а соответствующая ветвь «диагностического дерева» проиллюстрирована на рисунке 7.11. Здесь также в качестве примера в состав перекрытия входят четыре группы элементов: группа «стальные балки» ( $d = 3$ ), группа «деревянные балки» ( $b = 22$ ), группа «элементы заполнения» ( $z = 1$ ) и группа «колонны» ( $h = 2$ ).

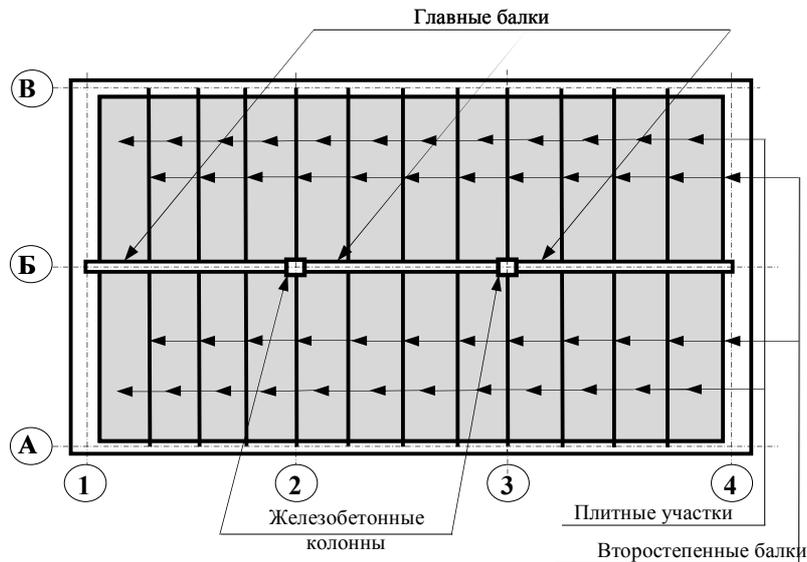


Рисунок 7.8 – Схема раскладки балок монолитного железобетонного перекрытия

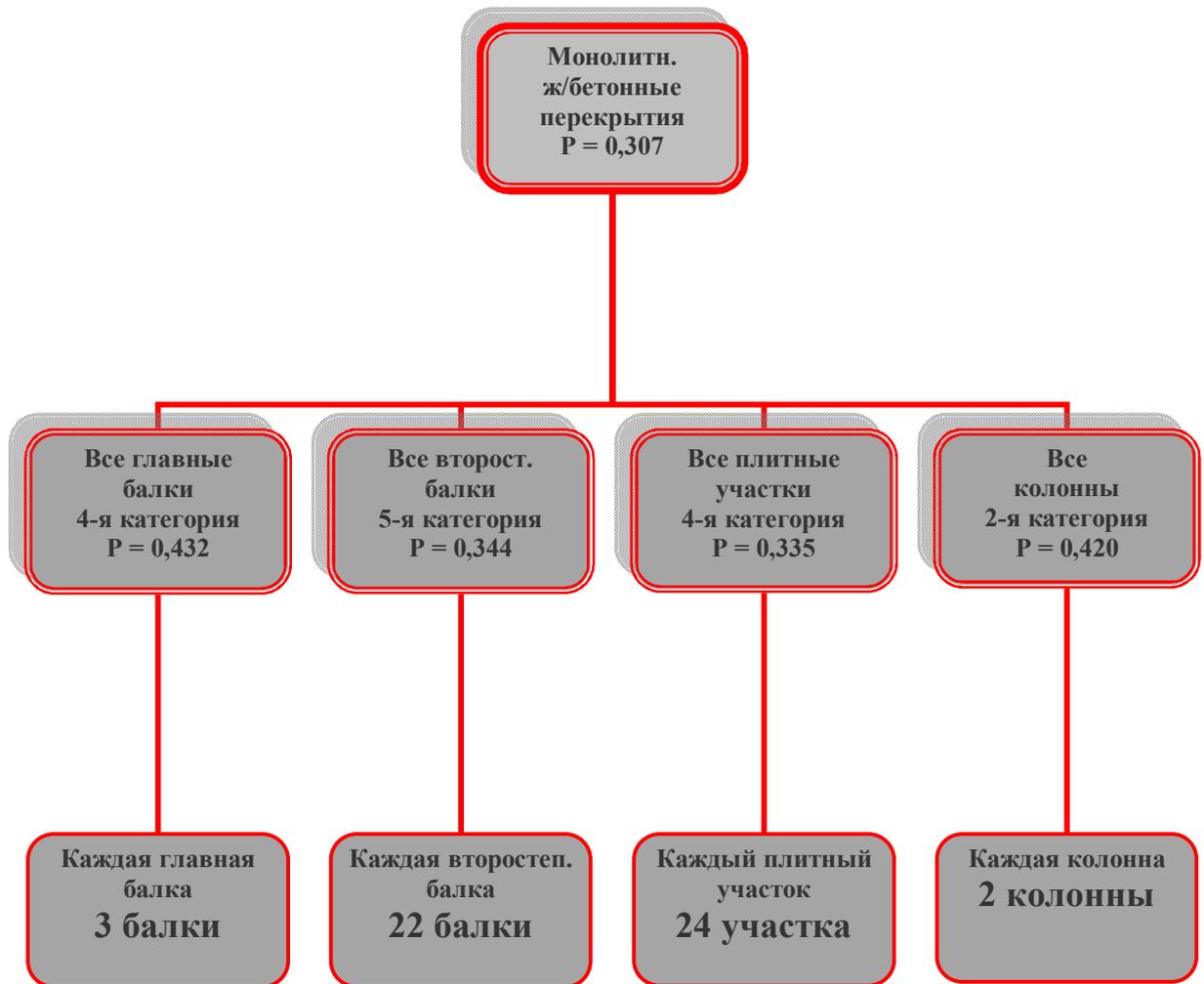


Рисунок 7.9 – Часть диагностического дерева (ветвь «монолитное железобетонное перекрытие»)

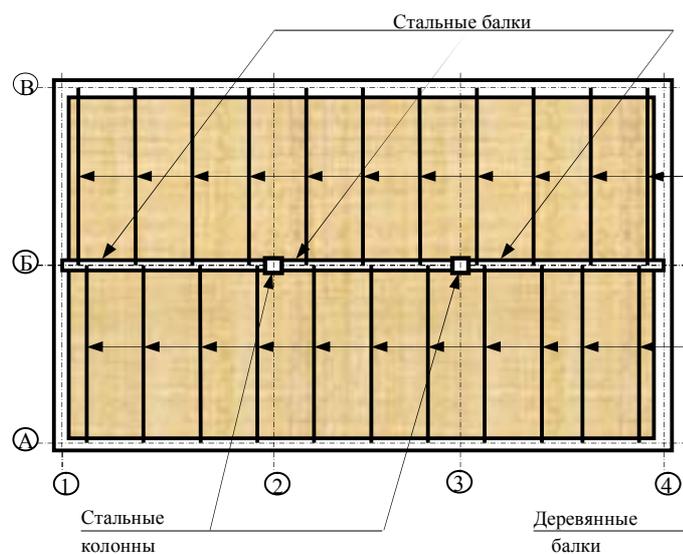


Рисунок 7.10 – Схема раскладки элементов перекрытия по стальным и деревянным балкам

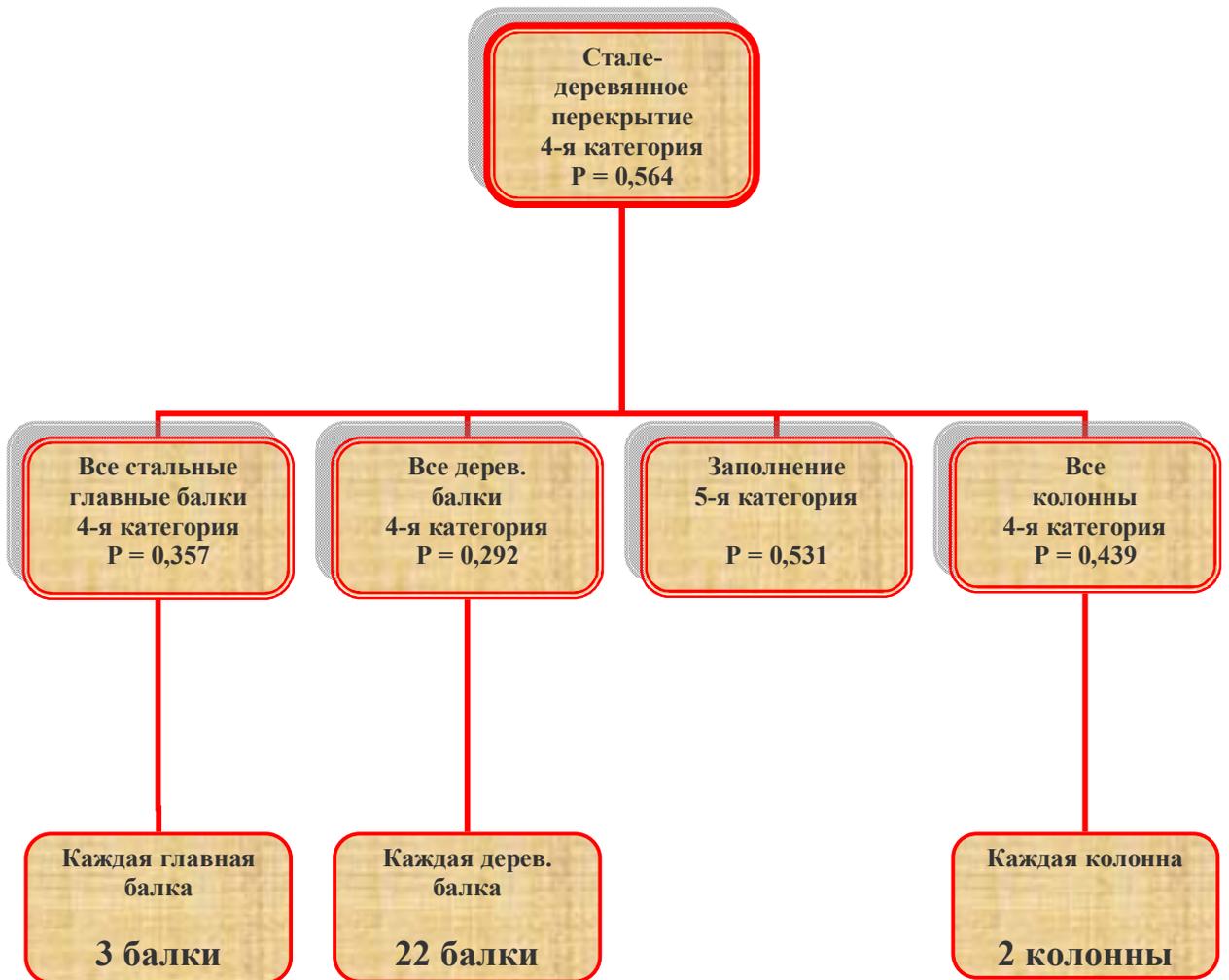


Рисунок 7.11 – Часть диагностического дерева (ветвь «сталедеревянное перекрытие»)

Окончательные зависимости для распределения вероятностей состояния подсистемы «перекрытие  $U(GWFL)$ » были записаны ранее в виде (7.2):

$$P_1(U) / K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k1} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{11} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{41} / K_u^*) P(V_4);$$

$$P_2(U) / K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k2} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{12} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{42} / K_u^*) P(V_4);$$

$$P_3(U) / K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k3} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{13} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{43} / K_u^*) P(V_4);$$

$$P_4(U) / K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k4} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{14} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{44} / K_u^*) P(V_4);$$

$$P_5(U) / K_u^* = \sum_{k=1}^u P(U_{k5} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{15} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{45} / K_u^*) P(V_4).$$

Ниже для этого перекрытия в качестве примера приведены численные результаты вероятностного анализа, основанные на построенных для его групп элементов матрицах диагнозов и различных реализаций соответствующих признаков. Значения расчетных вероятностных параметров сведены в таблицу 7.6. По данным этой таблицы на основе предложенной методики, вычислена энтропия состояний подсистемы «*перекрытие U(GWFL)*», как сумма энтропий групп элементов, составляющих это перекрытие

$$H(U_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4) = 23,50.$$

Таблица 7.6 – Численные значения вероятностных параметров

Группы элемен.	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Главные балки	0,014	0,131	0,300	<b>0,432</b>	0,123	1,353	0,536	0,050
Второстепенные балки	0,016	0,163	0,195	0,282	<b>0,344</b>	9,422	5,358	0,499
Плитные участки	0,010	0,167	0,302	<b>0,335</b>	0,185	11,84	4,394	0,409
Колонны	0,035	<b>0,420</b>	0,361	0,175	0,009	0,885	0,453	0,042

Затем численно определена степень определенности или количество внесенной информации (колонка 8 таблицы 7.6)

$$V(U_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4) = 10,74$$

и вероятности степени определенности (колонка 9 таблицы 7.6):

$$P(V_1) = V(U_1)/V(U_k) = 0,536/10,74 = 0,059,$$

$$P(V_2) = V(U_2)/V(U_k) = 5,358/10,74 = 0,499,$$

$$P(V_3) = V(U_3)/V(U_k) = 4,394/10,74 = 0,409,$$

$$P(V_4) = V(U_4)/V(U_k) = 0,453/10,74 = 0,042.$$

Тогда для перекрытия в целом ряд численных значений апостериорных вероятностей состояний  $P_i(U)/K_u^*$  в соответствии с (7.2) получился следующим:

$$P_1(U)/K_u^* = 0,014; \quad P_2(U)/K_u^* = 0,174; \quad P_3(U)/K_u^* = 0,251;$$

$$P_4(U)/K_u^* = \underline{0,307}; \quad P_5(U)/K_u^* = 0,254.$$

Процедура построения решения и численные результаты при диагностировании состояний групп элементов сталедеревянного «перекрытия  $U(DBZH)$ » на основе построенных для них диагностических матриц и принятых реализаций признаков аналогична рассмотренной выше для «перекрытия  $U(GWFL)$ ». Результаты также сведены в аналогичную таблицу.

Таблица 7.7 – Результаты диагностирования для системы «перекрытие  $U(DBZH)$ »

Группы элементов	$P_1(U_k)$	$P_2(U_k)$	$P_3(U_k)$	$P_4(U_k)$	$P_5(U_k)$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Стальные балки	$P_1(D_k)$	$P_2(D_k)$	$P_3(D_k)$	$P_4(D_k)$	$P_5(D_k)$	$H(D_1D_2...D_k)$	$V(D_1D_2...D_k)$	$P(V_d)$
Деревянные балки	$P_1(B_k)$	$P_2(B_k)$	$P_3(B_k)$	$P_4(B_k)$	$P_5(B_k)$	$H(B_1B_2...B_k)$	$V(B_1B_2...B_k)$	$P(V_b)$
Элементы заполнения	$P_1(Z_k)$	$P_2(Z_k)$	$P_3(Z_k)$	$P_4(Z_k)$	$P_5(Z_k)$	$H(Z_1Z_2...Z_k)$	$V(Z_1Z_2...Z_k)$	$P(V_z)$
Колонны	$P_1(H_k)$	$P_2(H_k)$	$P_3(H_k)$	$P_4(H_k)$	$P_5(H_k)$	$H(H_1H_2...H_k)$	$V(H_1H_2...H_k)$	$P(V_h)$

Численные же значения этих параметров представлены в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Численные значения вероятностных параметров «перекрытие  $U(DBZH)$ »

Группы элементов	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стальные балки	0,014	0,136	0,321	<b>0,357</b>	0,176	1,616	0,412	0,117
Деревянные балки	0,092	0,116	0,281	<b>0,292</b>	0,219	12,11	2,531	0,717
Элементы заполнения	0,001	0,006	0,076	0,386	<b>0,531</b>	0,406	0,256	0,073
Колонны	0,001	0,045	0,201	<b>0,439</b>	0,314	1,023	0,330	0,093

По данным этой таблицы вычислена энтропия состояний подсистемы

$$H(U_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4) = 15,16,$$

а затем степень определенности (колонка 8 таблицы 7.8)

$$V(U_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4) = 3,53.$$

Вероятности степени определенности в последней колонке таблицы 7.8 вычислены по формуле  $P(V_k) = V(U_k)/V(DBZL)$ .

Тогда для этого перекрытия ряд численных значений апостериорных вероятностей состояний  $P_i(U)/K_u^*$  запишется в следующем виде:

$$P_1(U)/K_u^* = 0,068; \quad P_2(U)/K_u^* = 0,104; \quad P_3(U)/K_u^* = 0,263;$$

$$P_4(U)/K_u^* = \underline{0,320}; \quad P_5(U)/K_u^* = 0,246.$$

Таким образом, для двух подсистем – «перекрытие  $U(GWFL)$ » и «перекрытие  $U(DBZL)$ », получены вероятностные параметры, с помощью которых можно провести анализ технического состояния конструктивной подсистемы следующего уровня – «междуэтажные перекрытия  $MU$ » (рис. 7.7). При этом вероятности степени определенности вычисляются следующим образом

$$P(V_1) = V(U_1)/V(U_k) = 10,74 / 14,27 = 0,752,$$

$$P(V_2) = V(U_2)/V(U_k) = 3,53 / 14,27 = 0,248.$$

Результаты расчетов также удобно свести в аналогичную таблицу.

Таблица 7.9 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «междуэтажные перекрытия  $MU$ »

Перекрытия	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b><math>U(GWFL)</math></b>	0,014	0,174	0,251	<b>0,307</b>	0,254	23,50	10,74	0,753
<b><math>U(DBZL)</math></b>	0,068	0,104	0,263	<b>0,320</b>	0,246	15,16	3,53	0,247

Для дальнейшего уровневого анализа можно определить энтропию состояний подсистемы «*междуэтажные перекрытия MU*», учитывая результаты диагностирования всех элементов обоих перекрытий (колонка 7 таблицы 7.9).

$$H(MU_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H[U(GWFL)] + H[U(DBZL)] = 38,66.$$

Степень определенности (количество внесенной информации), необходимая для перехода на следующий уровень, определится выражением (колонка 8 таблицы 7.9).

$$V(MU_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V[U(GWFL)] + V[U(DBZL)] = 14,27.$$

Тогда вероятности состояний объединенной подсистемы «*междуэтажные перекрытия MU*» вычисляются также по переходным зависимостям, аналогичным зависимостям (7.2):

$$\begin{aligned} P_1(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k1}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{11}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{21}/K_u^*)P(V_2) = 0,027; \\ P_2(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k2}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{12}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{22}/K_u^*)P(V_2) = 0,157; \\ P_3(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k3}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{13}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{23}/K_u^*)P(V_2) = 0,254; \\ P_4(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k4}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{14}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{24}/K_u^*)P(V_2) = \underline{0,310}; \\ P_5(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k5}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{15}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{25}/K_u^*)P(V_2) = 0,252. \end{aligned}$$

Как видно, по результатам выполненных расчетов техническое состояние подсистемы «*междуэтажные перекрытия MU*» в данном примере с вероятностью  $P(MU)/K_u^* = 0,310$  может быть отнесено к четвертой недопустимой (предаварийной) категории. По правилу принятия решения о диагнозе с учетом порогового значения, равного 0,690 или 0,310 (см. главу 6, п. 6.6), четвертая категория состояния здесь вполне приемлема. При этом с помощью параметра  $V(MU_k)$  в дальнейшем уровневом построении решения оценивается вклад состояния этой подсистемы в состояние системы следующего уровня – здания в целом (рисунок 7.1). Это, как отмечено выше, *прямой ход* диагностирования, позволяющий в итоге определить техническое состояние и категорию для всего

здания, а также оценить на этой основе степень и глубину инженерного вмешательства в систему и всех ее подсистем при планировании мероприятий по дальнейшей технической эксплуатации здания.

### **7.3. Пример построения решения для диагностики состояний всего здания. Прямой ход диагностирования**

Основной особенностью разработанной вероятностной иерархической модели диагностирования технического состояния рассматриваемых зданий, а также особенностью работы программного продукта «ВАТС», является возможность получить вероятностную оценку технического состояния любого элемента на базисном уровне и любой, выделенной из иерархии структур, группы элементов или подсистем по отдельности. Например, можно определить распределение вероятностей состояния здания в целом по состоянию только, допустим, главных балок монолитного железобетонного перекрытия, или только стальных балок междуэтажного перекрытия, или только по состоянию стен и фундаментов, или любых деревянных конструкций крыши. Таким образом, предложенная уровневая иерархическая схема характеризуется тем, что выделенные в ней уровни диагностирования, различные для различных групп конструктивных элементов и подсистем (рисунок 7.2), не являются иерархически соподчиненными. Это означает, что нет необходимости обязательно проходить все уровни всех групп и подсистем, чтобы выйти на вершину иерархии – здание в целом.

В данном параграфе приведены примеры, демонстрирующие отмеченные выше особенности. Представлен также пример многоуровневого вероятностного расчета всего здания. Для демонстрации полученных результатов «диагностическое дерево» целесообразно разделить на части, соответствующие выделенным конструктивным подсистемам и обозначенным для них уровням

иерархии. Такие фрагменты «диагностического дерева» представлены на рисунках 7.12 – 7.20 .

Подсистема «фундаменты» – левая ветвь «диагностического дерева» (рисунок 7.2), проиллюстрирована на рисунке 7.12. Как видно, эта часть в общей иерархии диагнозов построена по трехуровневой схеме. Подсистема разделена на четыре участка, каждый из которых представляет собой часть ленточного фундамента под каждую из четырех стен. Результаты диагностирования основаны на обработке соответствующих диагностических матриц для фундаментных конструкций (приложение А). На этом же рисунке слева приведен ряд вероятностей состояний для всего здания, рассчитанных только по вероятностным данным его фундаментной части. То есть представленный результат можно прокомментировать следующим образом: если необходимо оценить техническое состояние здания в целом по состоянию только фундаментных конструкций, то в данном примере состоянию здания по состоянию только фундаментов присваивается 4-я категория с вероятностью  $P(S_4) = 0,332$ . Результаты вероятностного расчета для этой части иерархической схемы сведены в таблицу 7.10. Справа на этом же и на всех последующих рисунках (7.12 – 7.21) дано распределение вероятностей состояний для всего здания при условии прохождения по всему «диагностическому дереву», т. е. при диагностировании состояний всех его конструктивных элементов, групп элементов и подсистем.

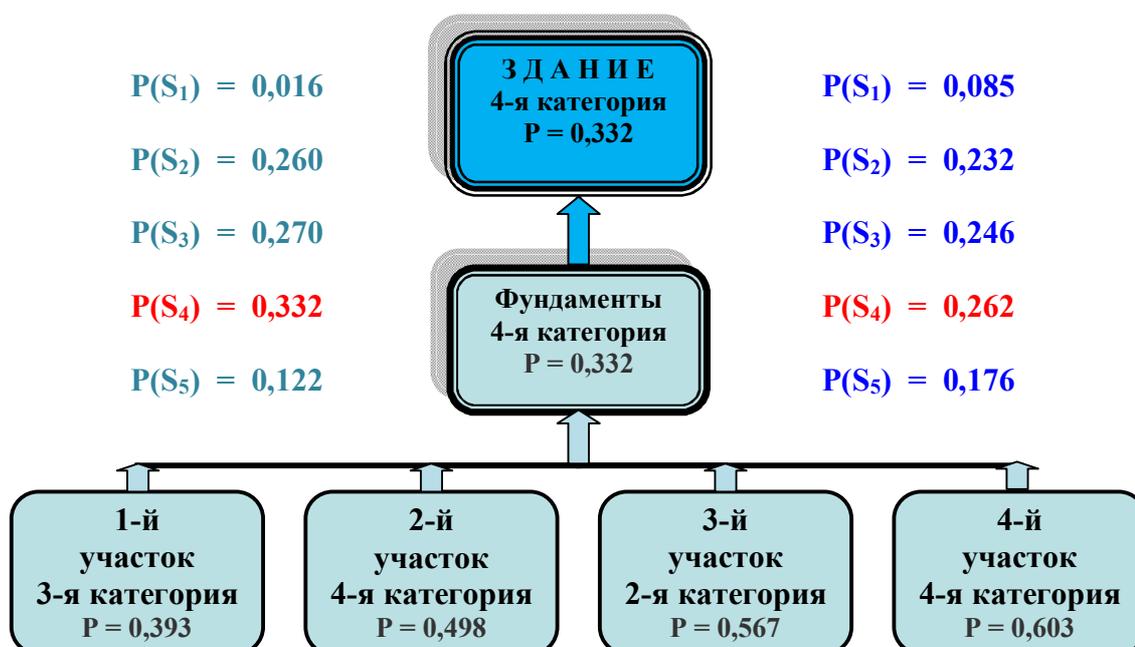


Рисунок 7.12 – Часть «дерева диагнозов» – трехуровневая иерархическая схема для подсистемы «фундаменты»

Таблица 7.10 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «фундаменты»

Подсистема «фундаменты»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первый участок	0,004	0,460	<b>0,393</b>	0,140	0,003	0,451	0,147	0,221
Второй участок	0,000	0,010	0,088	<b>0,498</b>	0,404	0,422	0,175	0,265
Третий участок	0,061	<b>0,567</b>	0,330	0,043	0,000	0,431	0,167	0,252
Четвертый участок	0,001	0,049	0,293	<b>0,603</b>	0,055	0,425	0,173	0,262

Далее, на рисунках 7.13 отдельно выделена трехуровневая часть (ветвь) «диагностического дерева», обозначающая подсистему «стены». Ветвь представлена в виде четырех участков, отражающих состояние четырех наружных фасадных стен здания, диагностические матрицы для которых приведены в приложении А. Показан пример диагностирования состояния здания только по

состоянию стен (распределение вероятностей состояний слева на рисунке 7.13 и данные таблицы 7.11) и по состоянию всех конструктивных элементов здания.

Затем, на рисунках 7.14 – 7.17 показаны ветви «диагностического дерева», отражающие техническое состояние перекрытий здания. На рисунке 7.14 и в таблице 7.12 представлена необходимая информация по данным диагностики состояний элементов четырехуровневой конструктивной подсистемы «надподвальное перекрытие». Перекрытие выполнено в виде бетонных сводиков (бетон с заполнителем из кирпичного боя), опирающихся на 22 стальные двутавровые балки. Балки в свою очередь одним концом опираются на наружные стены, а другим – на внутреннюю промежуточную стену подвала. Распределение вероятностей состояний входящих в данную подсистему конструктивных элементов здесь представлено по такому же принципу, как и выше.

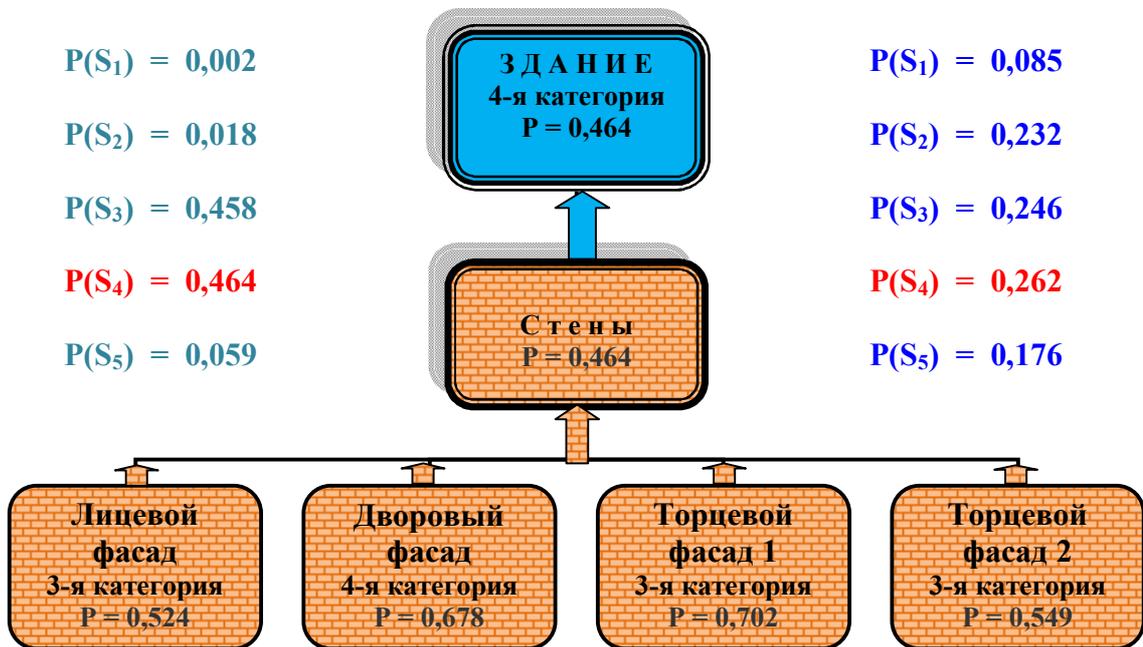


Рисунок 7.13 – Часть «дерева диагнозов» – трехуровневая иерархическая схема для подсистемы «стены»

Таблица 7.11 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «стены»

Подсистема «стены»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лицевой фасад	0,000	0,005	<b>0,524</b>	0,411	0,060	0,976	0,961	0,252
Дворовый фасад	0,000	0,003	0,185	<b>0,678</b>	0,134	1,058	0,879	0,231
Торцевой фасад 1	0,006	0,051	<b>0,702</b>	0,240	0,001	0,948	0,989	0,259
Торцевой фасад 2	0,010	0,391	<b>0,549</b>	0,050	0,055	0,954	0,983	0,258

Шестиуровневая иерархическая схема для конструктивной подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие» представлена на рисунке 7.15. На этом рисунке и в таблице 7.13 приведены все необходимые для диагностирования вероятностные параметры. Перекрытие выполнено по схеме балочной клетки, как это было показано ранее на рисунке 7.8. Представлен пример диагностирования состояния здания только по состоянию этого перекрытия (распределение вероятностей состояний слева на рисунке 7.15 и данные таблицы 7.13) и пример диагностирования состояния здания по состоянию всех его конструктивных элементов (распределение вероятностей на рисунке 7.15 справа).

Междуэтажное сталедревянное перекрытие устроено также по схеме балочной клетки. Раскладка элементов этого перекрытия показана ранее на рис. 7.10. Вероятностные параметры состояний его элементов по принципу, изложенному выше, проиллюстрированы на рисунке 7.16 и отражены в таблице 7.14. Как видно, эта ветвь «диагностического дерева» также представлена шестиуровневой иерархией состояний.

Чердачное перекрытие, как и междуэтажное сталедревянное, решено по деревянным балкам, опирающимся на стены и стальные главные балки, которые в свою очередь уложены на стальные междуэтажные колонны.

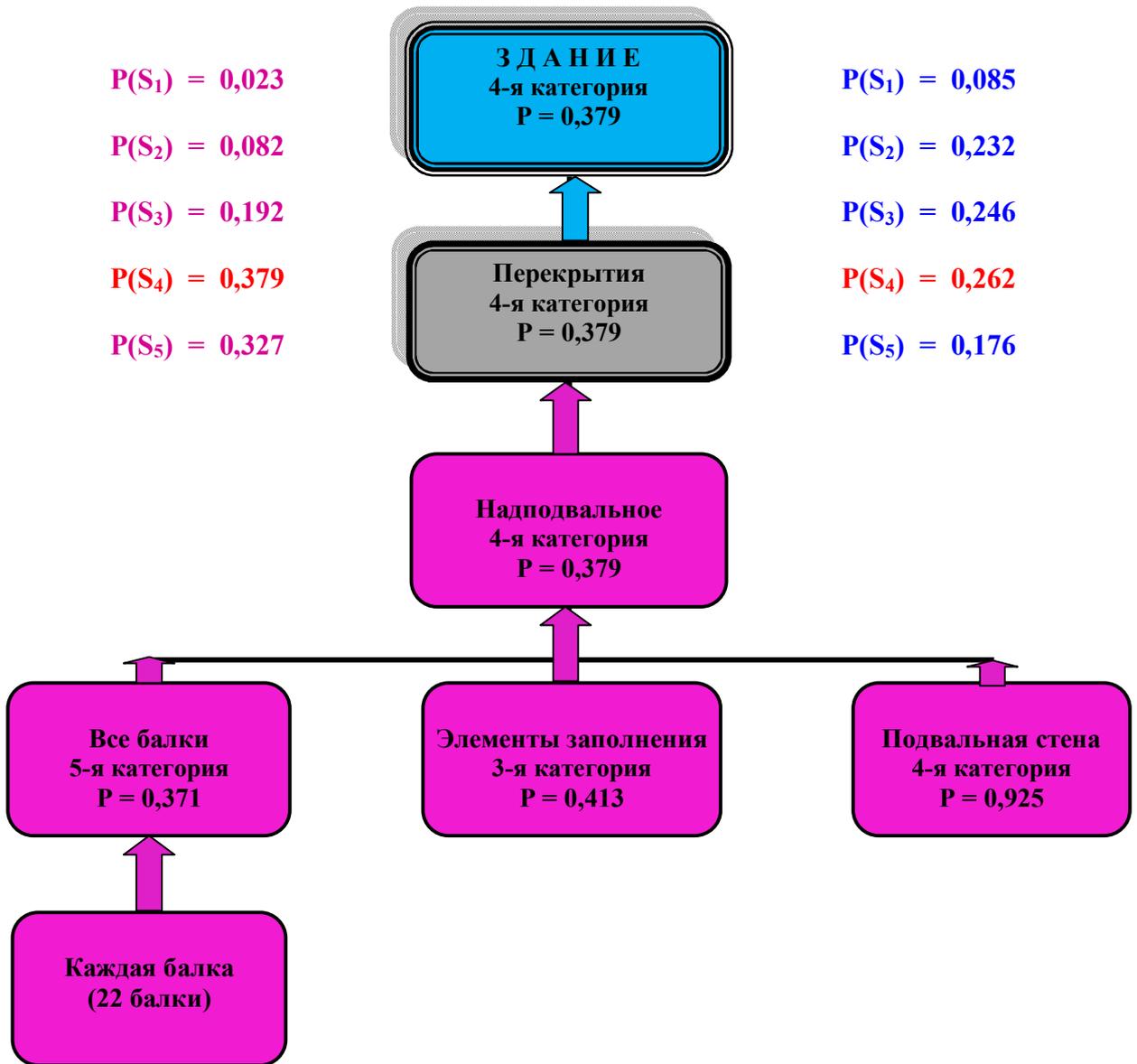


Рисунок 7.14 – Часть «дерева диагнозов» – пятиуровневая иерархическая схема для подсистемы «надподвальное перекрытие»

Таблица 7.12 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «надподвальное перекрытие»

Подсистема фундамента	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все стальные балки	0,026	0,093	0,202	0,311	<b>0,371</b>	10,75	4,075	0,858
Элементы заполнения	0,001	0,052	<b>0,413</b>	0,288	0,246	0,534	0,141	0,030
Подвальная стена	0,000	0,007	0,056	<b>0,925</b>	0,012	0,139	0,534	0,112

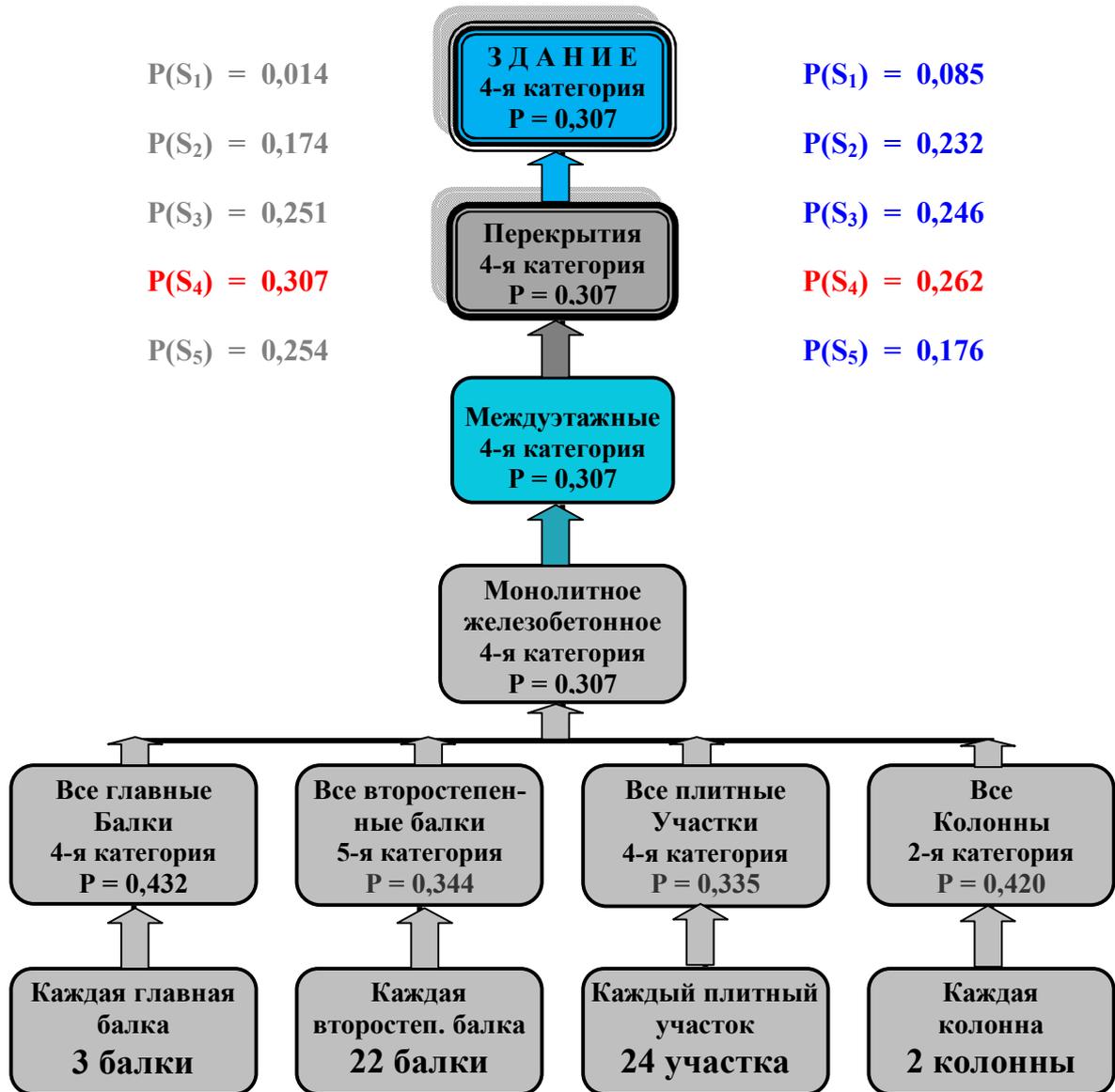


Рисунок 7.15 – Часть «дерева диагнозов» – шестиуровневая иерархическая схема для подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие»

Таблица 7.13 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие»

Подсистема «мон. жб перекрытие»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все главные балки	0,014	0,131	0,300	<b>0,432</b>	0,123	1,353	0,536	0,050
Все второстеп. балки	0,016	0,163	0,195	0,282	<b>0,344</b>	9,422	5,358	0,499
Все плитные участки	0,010	0,167	0,302	<b>0,335</b>	0,185	11,84	4,394	0,409
Все колонны	0,035	<b>0,420</b>	0,361	0,175	0,009	0,885	0,453	0,042

Пятиуровневая иерархия диагнозов для этой конструктивной подсистемы представлена на рисунке 7.17. Распределение вероятностей состояний и передаточные вероятностные параметры сведены в таблицу 7.15. Видно, что состояние здания только по состоянию конструкций чердачного перекрытия оценивается как аварийное (пятая категория –  $P(S_5) = 0,359$ , левый ряд вероятностей на рисунке 7.17).

Примеры проведения вероятностного многоуровневого анализа технического состояния конструкций крыши здания представлены на рисунках 7.18 – 7.21 и в таблицах 7.16 – 7.19.

На рисунке 7.18 приведены данные диагностирования подсистемы «мауэрлатный брус крыши». Выделены два участка: мауэрлатный брус, расположенный на торцевых стенах здания – первый участок, и мауэрлатный брус, уложенный на продольные стены здания – второй участок. Вероятностные параметры технического состояния этих элементов здания отражены в таблице 7.16 и частично вынесены на рисунок 7.18. Как видно, техническое состояние здания и по состоянию мауэрлатных конструкций (ряд вероятностей слева на рисунке 7.18 и данные таблицы 7.16), и по состоянию всех конструктивных элементов здания (распределение вероятностей справа на рисунке 7.18), относится к четвертой (недопустимой) категории состояний.

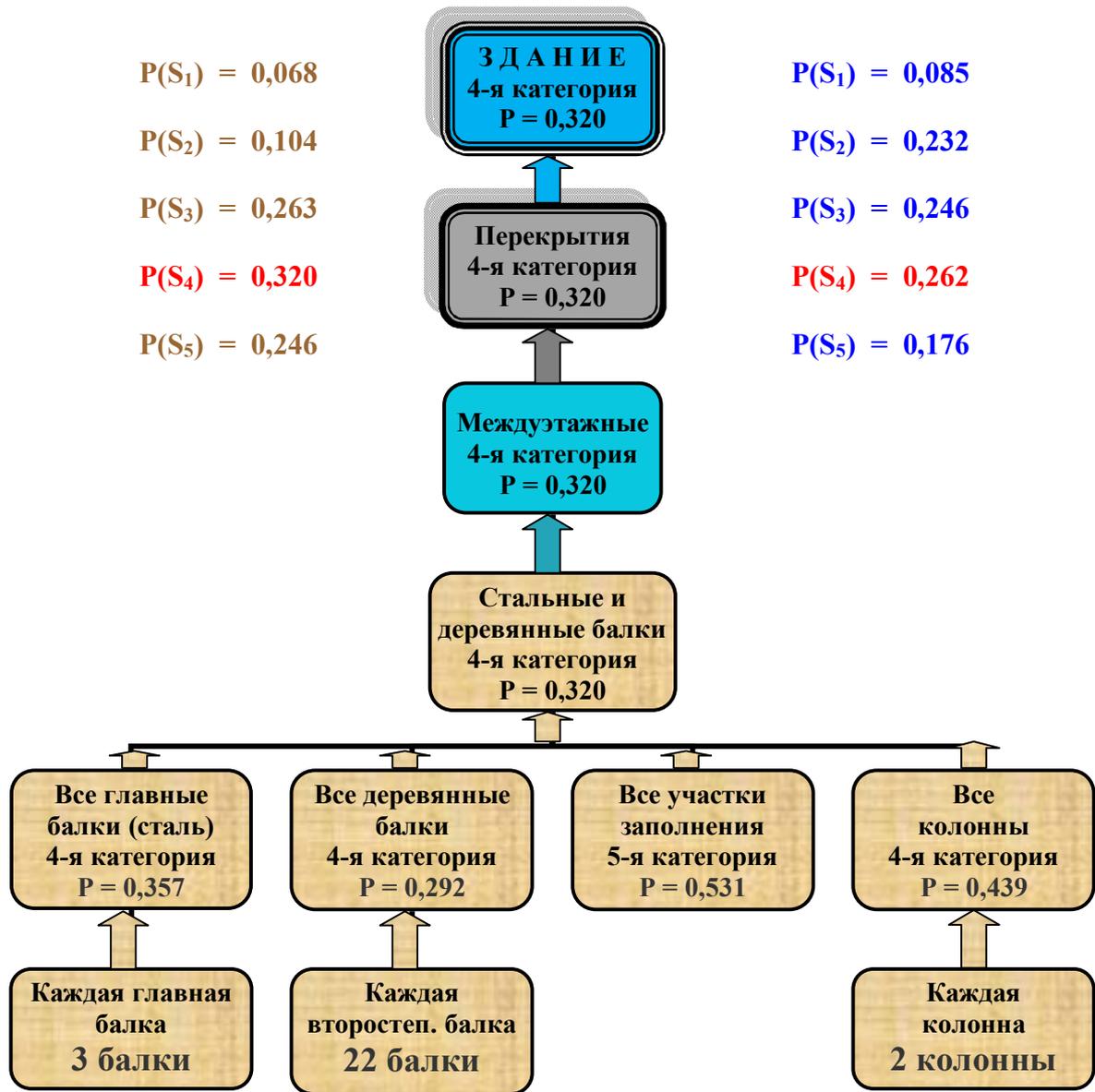


Рисунок 7.16 – Часть «дерева диагнозов» – шестиуровневая иерархическая схема для подсистемы «сталедеревянное перекрытие»

Таблица 7.14 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «сталедеревянное перекрытие»

Подсистема «сталедеревянное перекрытие»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все главные балки	0,014	0,136	0,321	<b>0,357</b>	0,176	1,616	0,412	0,117
Все деревянные балки	0,092	0,116	0,281	<b>0,292</b>	0,219	12,11	2,531	0,717
Все участки заполнения	0,001	0,006	0,076	0,386	<b>0,531</b>	0,406	0,256	0,073
Все колонны	0,001	0,045	0,201	<b>0,439</b>	0,314	1,023	0,330	0,093

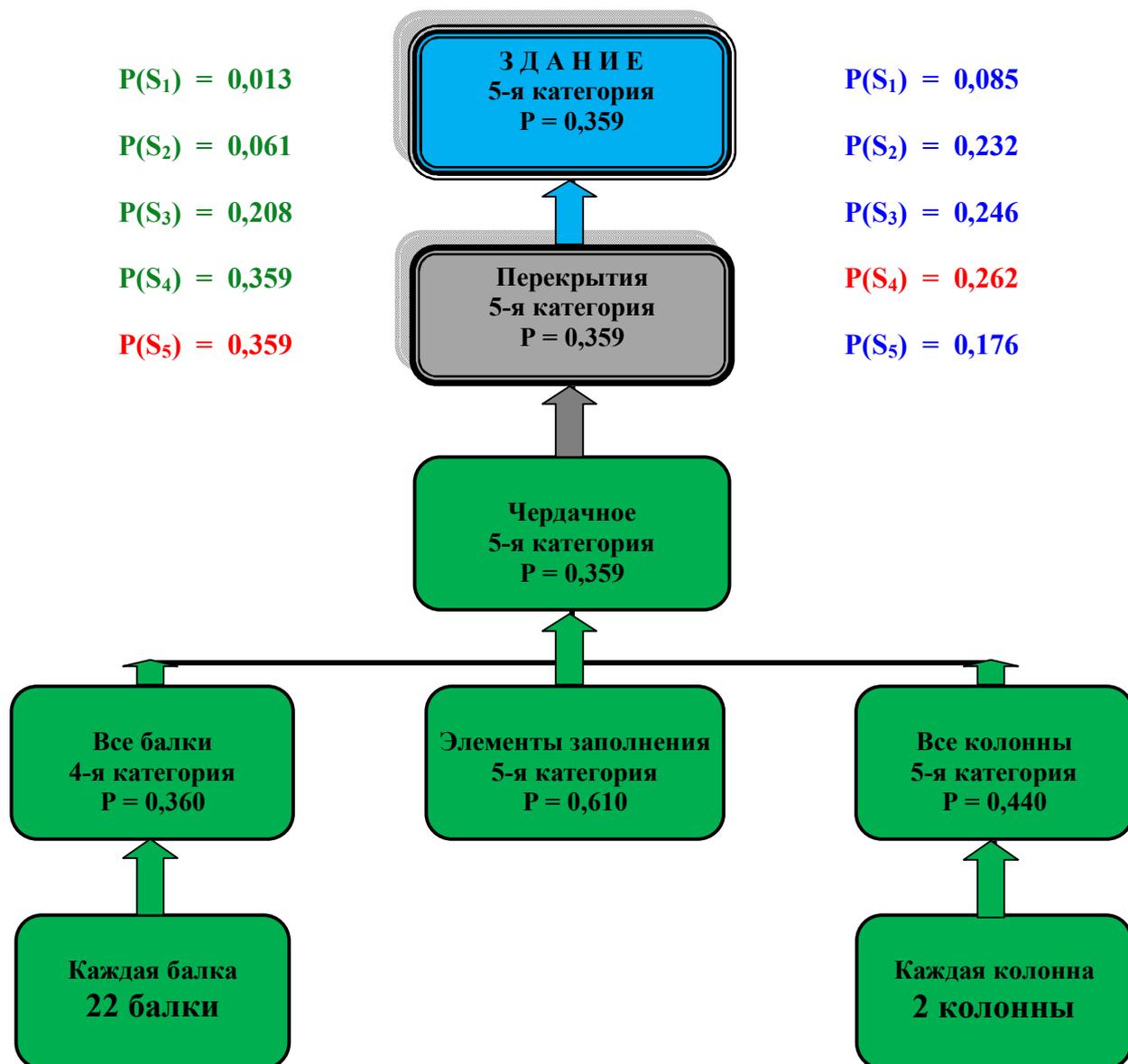


Рисунок 7.17 – Часть «дерева диагнозов» – пятиуровневая иерархическая схема для подсистемы «чердачное перекрытие»

Таблица 7.15 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «чердачное перекрытие»

Подсистема «чердачное перекрытие»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все деревянные балки	0,015	0,070	0,226	<b>0,360</b>	0,330	11,03	3,528	0,836
Элементы заполнения	0,000	0,002	0,084	0,303	<b>0,610</b>	0,386	0,279	0,066
Все колонны	0,000	0,025	0,146	0,388	<b>0,440</b>	0,954	0,412	0,098

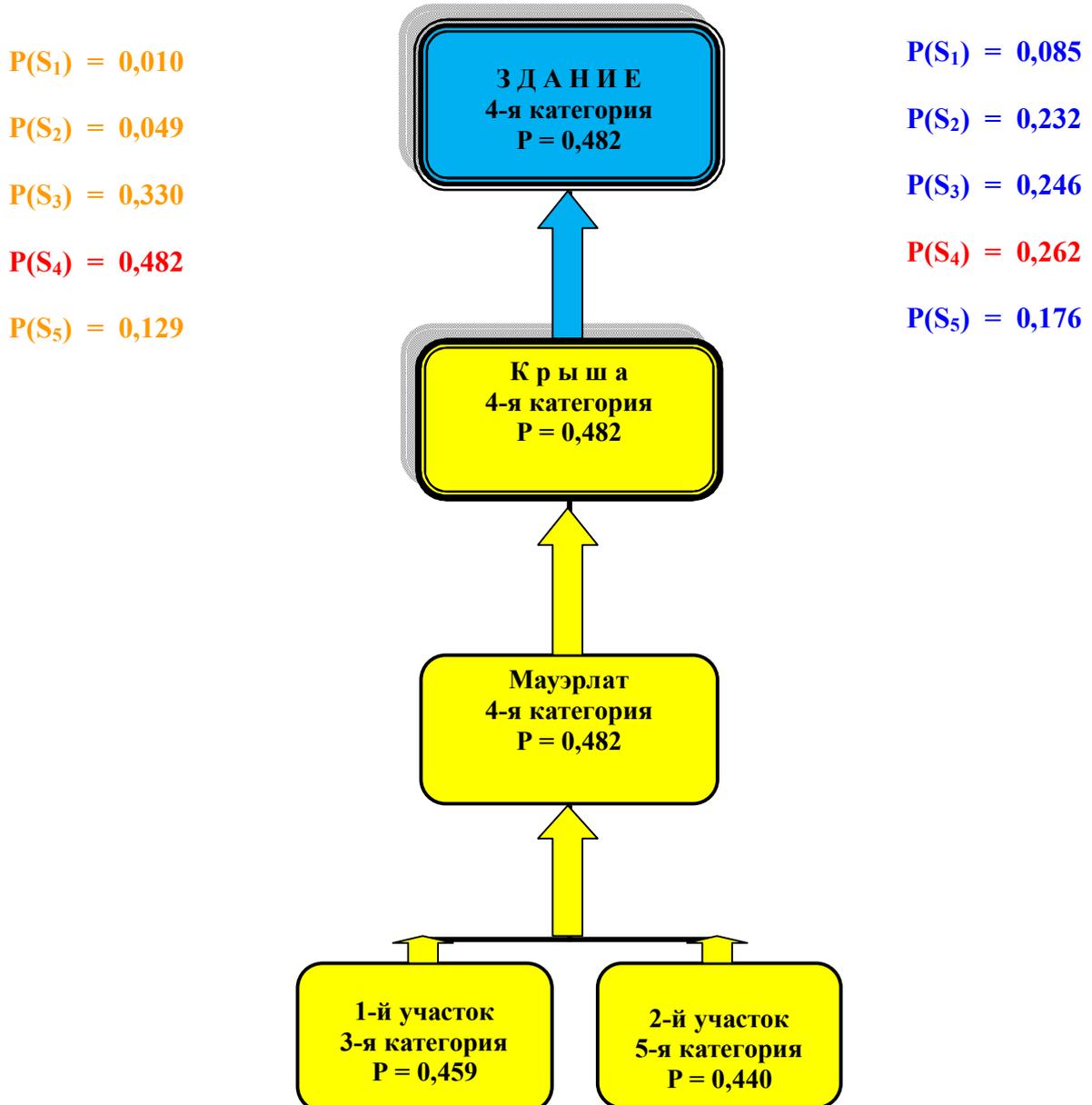


Рисунок 7.18 – Часть «дерева диагнозов» – четырехуровневая иерархическая схема для подсистемы «мауэрлат крыши»

Таблица 7.16 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «мауэрлат крыши»

Подсистема «мауэрлат крыши»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-й участок	0,015	0,075	<b>0,459</b>	0,390	0,061	0,500	0,179	0,468
2-й участок	0,000	0,025	0,146	0,388	<b>0,440</b>	0,476	0,203	0,532

Далее, на рисунке 7.19 и в таблице 7.17 представлены данные диагностирования элементов решетки стропильной системы крыши. Эти элементы выделены в отдельную подсистему и в структуре «дерева диагнозов» представляются четырехуровневой вероятностной ветвью. Ветвь в рассматриваемом примере включает в себя вероятностные параметры для трех стоек, трех прогонов и десяти подкосов (рисунок 7.19). Данные диагностирования их состояний сведены в таблицу 7.17. Принцип представления вероятностного материала здесь аналогичен рассмотренному выше.

Отдельно выделена подсистема «стропильные балки» (рисунок 7.20, таблица 7.18). Многолетний накопившийся материал их обследований позволил упорядочить имеющуюся статистическую информацию, обобщить ее и на этой основе построить диагностические матрицы и для рядовых стропил, и для нарожников, и для накосных (диагональных) стропильных балок. Принцип раскладки этих элементов здания проиллюстрирован ранее на рисунке 2.5, глава 2). В данном примере диагностика состояний проведена для 34 рядовых стропил и нарожников и для 4 накосных стропильных ног, что по тому же, что и выше, принципу отражено на рисунке 7.20 и в таблице 7.18.

На рисунке 7.21 и в таблице 7.19 отражены результаты диагностирования конструкций кровли, состоящей из обрешетки и кровельного покрытия. Даны распределения вероятностей состояния здания в целом по состоянию этих элементов и тот же ряд вероятностей (справа на рисунке 7.21) для случая прохождения по всем ветвям иерархии.

Итоговые результаты расчета вероятностей состояний для четырех выделенных укрупненных подсистем и для всего здания представлены на рисунке 7.22 и сведены в итоговую таблицу 7.20. Это, как отмечалось выше, прямой ход диагностирования, по результатам прохождения которого получилось, что техническое состояние здания в рассмотренном примере характеризуется

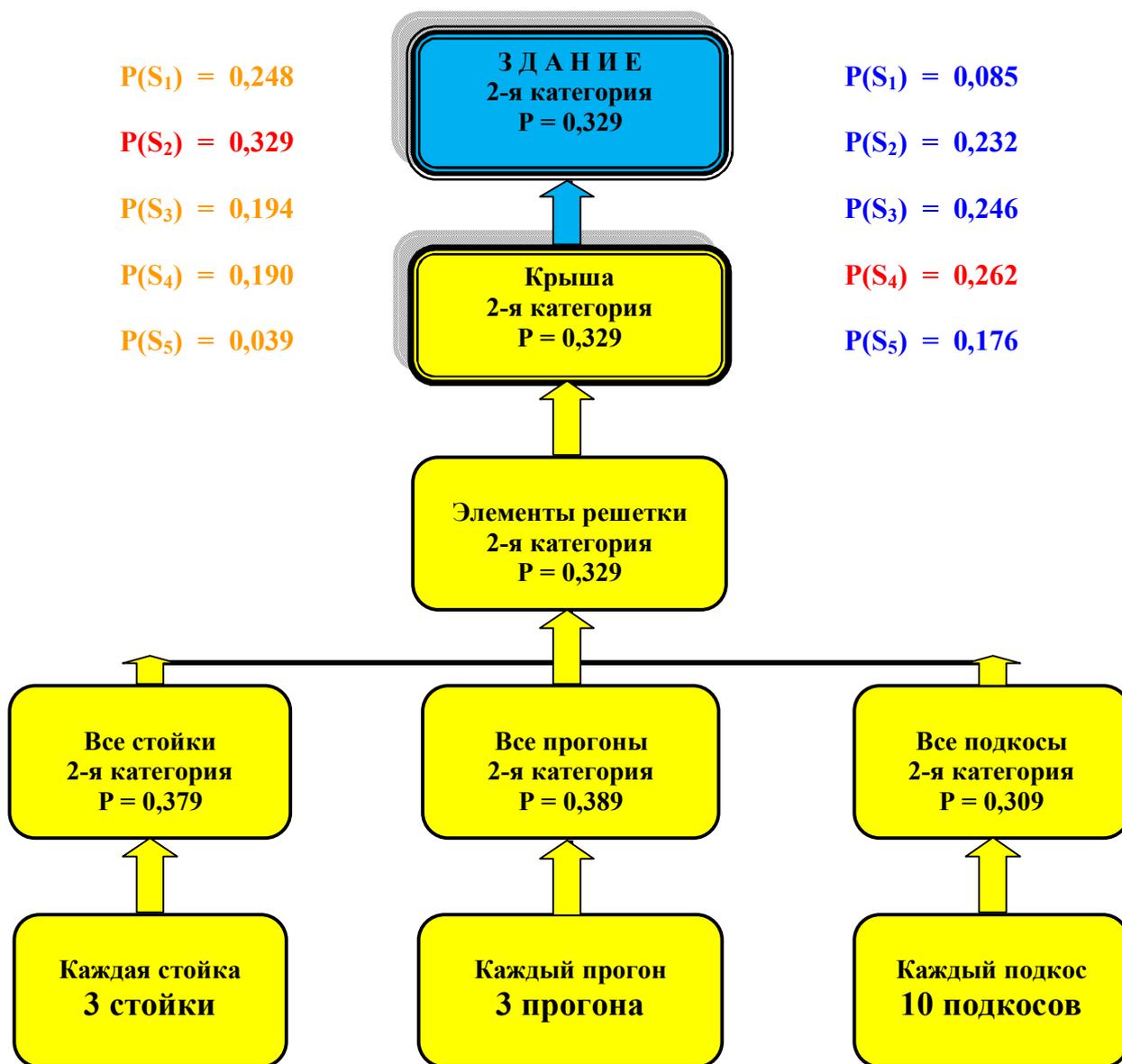


Рисунок 7.19 – Часть «дерева диагнозов» – пятиуровневая иерархическая схема для подсистемы «элементы решетки крыши»

Таблица 7.17 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «элементы решетки крыши»

Подсистема «мон. жб перекрытие»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Все стойки	0,121	<b>0,379</b>	0,234	0,210	0,056	1,048	0,292	0,117
Все прогоны	0,000	<b>0,389</b>	0,371	0,190	0,060	1,549	0,364	0,147
Все подкосы	0,298	<b>0,309</b>	0,152	0,197	0,044	4,932	1,829	0,736

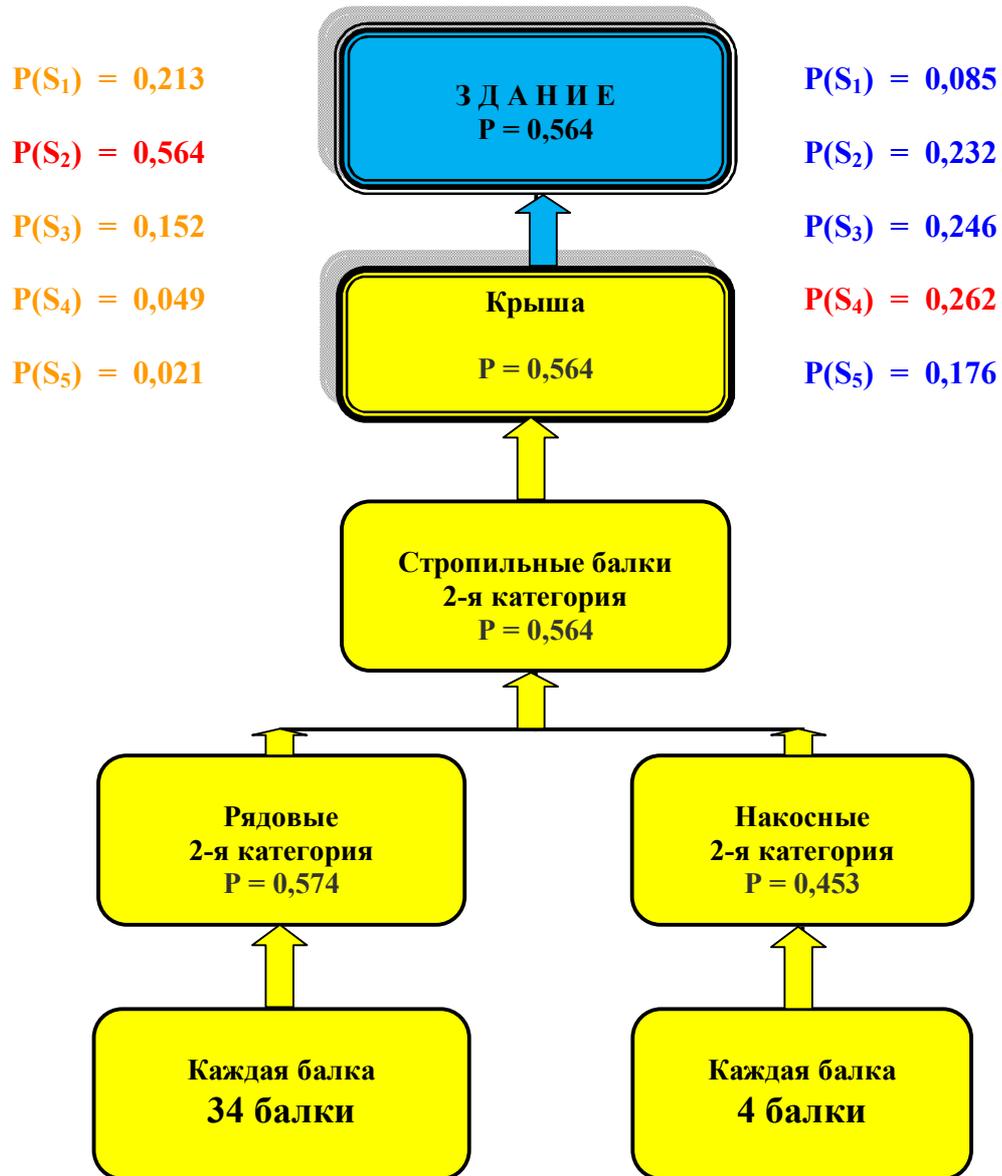


Рисунок 7.20 – Часть «дерева диагнозов» – пятиуровневая иерархическая схема для подсистемы «стропильные балки»

Таблица 7.18 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «стропильные балки крыши»

Подсистема «стропильные балки крыши»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рядовые балки и нарожники	0,225	<b>0,574</b>	0,146	0,041	0,014	12,45	10,27	<b>0,921</b>
Накосные балки	0,077	<b>0,453</b>	0,221	0,145	0,104	1,811	0,879	<b>0,079</b>

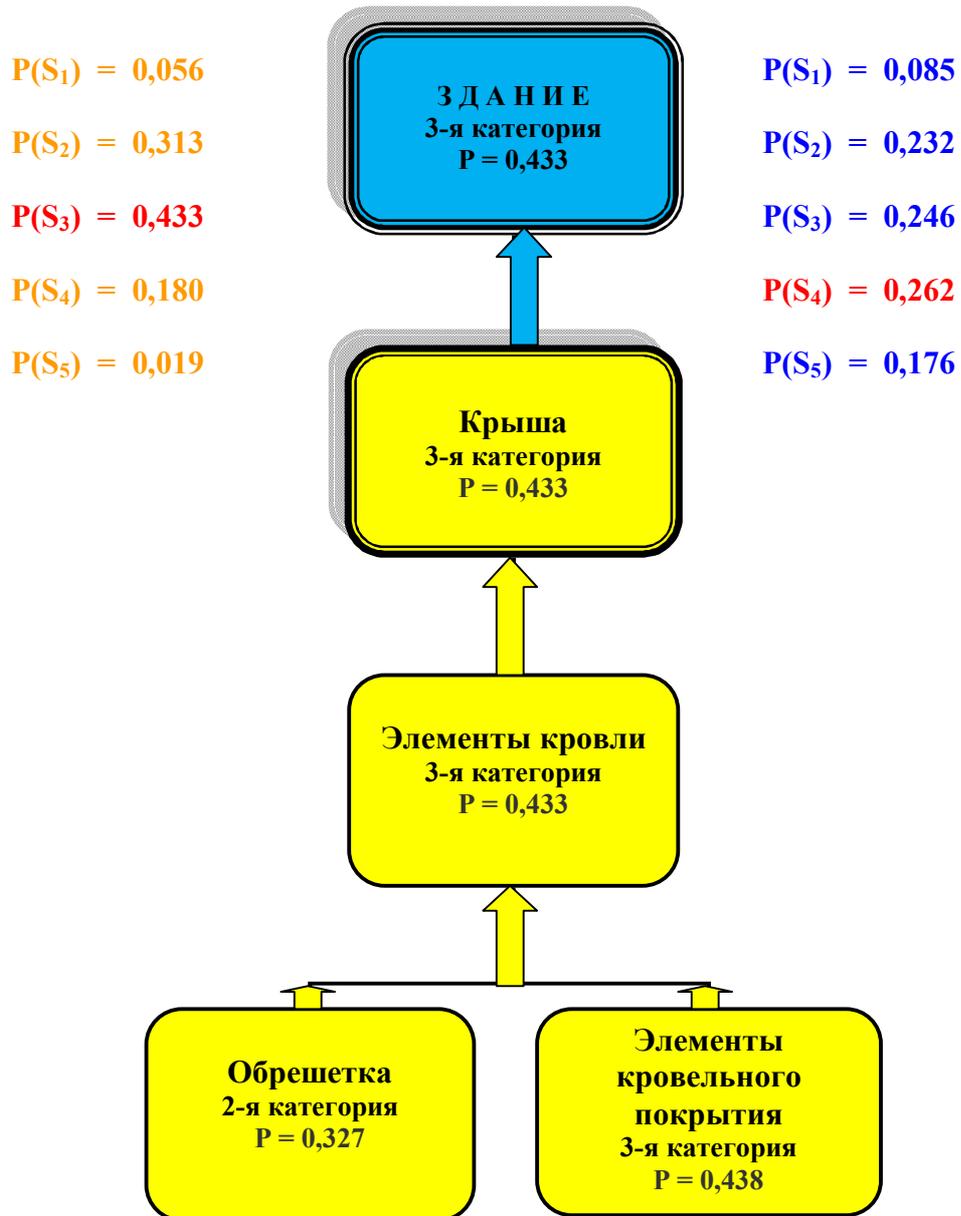


Рисунок 7.21 – Часть «дерева диагнозов» – четырехуровневая иерархическая схема для подсистемы «элементы кровли»

Таблица 7.19 – Численные значения вероятностных параметров для подсистемы «элементы кровли»

Подсистема «элементы кровли»	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обрешетка	0,053	<b>0,327</b>	0,211	0,299	0,110	0,631	0,103	0,023
Элементы покрытия	0,056	0,313	<b>0,438</b>	0,177	0,017	0,548	0,111	0,977

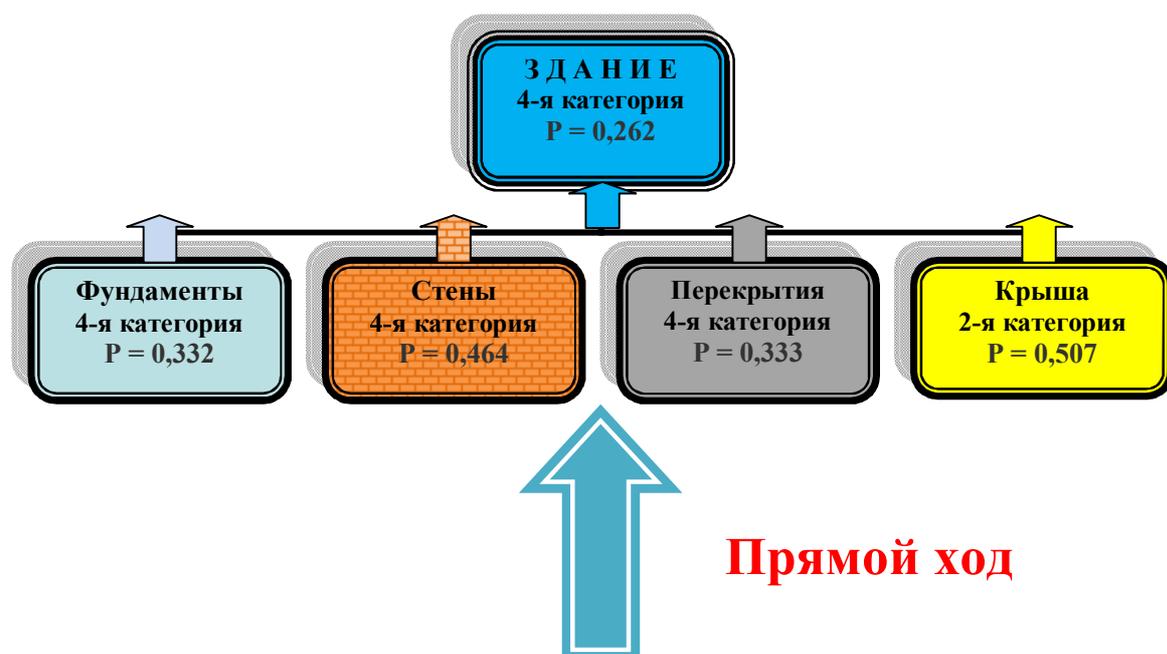


Рисунок 7.22 – Высшие уровни диагностирования

Таблица 7.20. Численные значения вероятностных параметров для системы «здание»

Высшие уровни диагностирования	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_{ki})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фундаменты	0,016	0,260	0,270	<b>0,332</b>	0,122	1,730	0,662	<b>0,016</b>
Стены	0,002	0,018	0,458	<b>0,464</b>	0,059	3,938	3,812	<b>0,091</b>
Перекрытия	0,024	0,124	0,233	<b>0,333</b>	0,287	62,46	23,24	<b>0,555</b>
Крыша	0,213	<b>0,507</b>	0,166	0,087	0,027	23,94	14,13	<b>0,338</b>

четвертой категорией с вероятностью  $P(S_4) = 0,262$  и информационным вкладом состояния каждой подсистемы в состояние здания в целом, представленным рядом численных значений  $P(V_{ki})$  в девятой колонке таблицы 7.20 (выделены цветом). Очевидно, что  $P(V_{k1}) + P(V_{k2}) + P(V_{k3}) + P(V_{k4}) = 1,0$ . Учитывая сформулированные выше понятия о пороговых значениях вероятностных параметров диагностирования (глава 6, п. 6.6) для эксперта принятие такого решения можно считать вполне приемлемым.

#### **7.4. Пример построения решения для диагностики состояний всего здания. Обратный ход диагностирования**

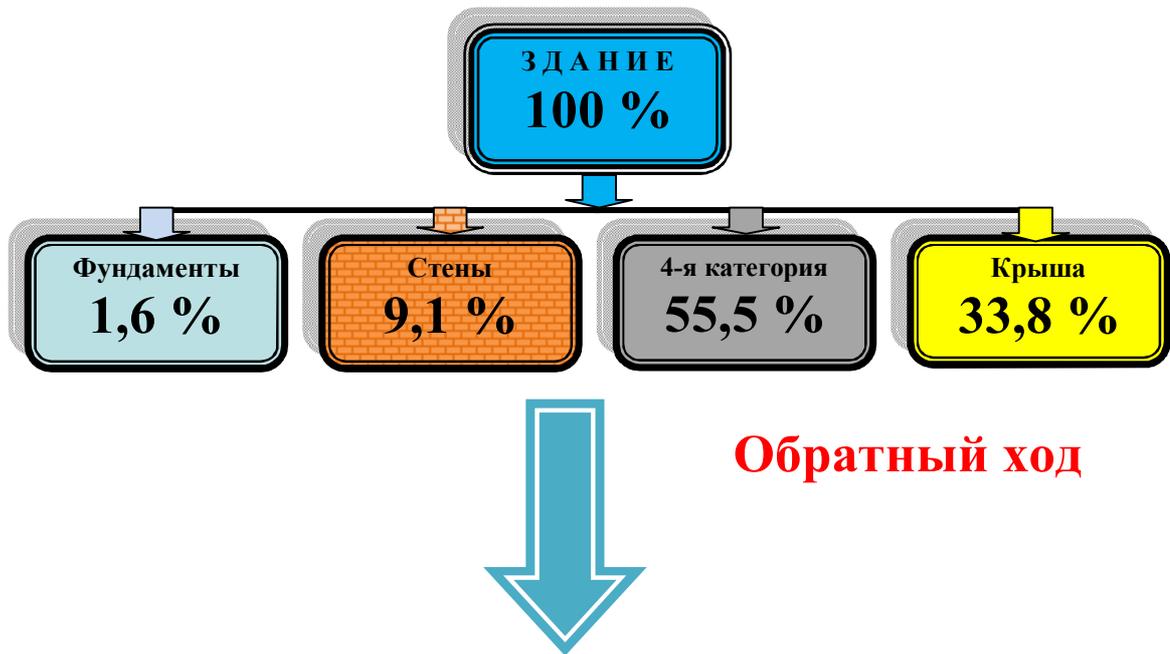
Выше изложена процедура прямого хода диагностирования состояний здания и его конструктивных подсистем.

Интересен *обратный ход*. Его суть состоит в том, что прохождение по иерархии подсистем и их элементов сверху вниз позволяет определить информационную долю (вклад) состояния каждого конструктивного элемента и группы элементов каждой подсистемы в общей информации о состоянии системы высшего уровня – здания в целом. Представляется, что результаты прохождения по иерархической структуре в обратном направлении вполне могут дополнить полученную выше чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами [119].

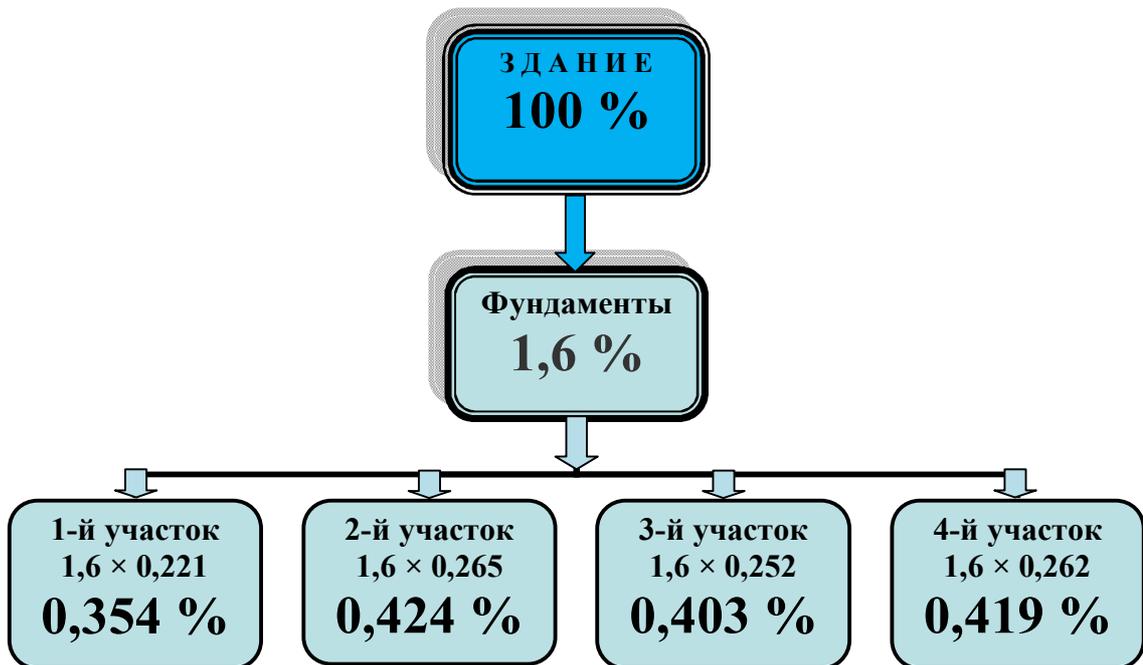
В данном случае в качестве примера предлагается проделать обратный ход следующим образом.

Пусть состояние здания на высшем уровне иерархии оценивается величиной 100 %. Тогда вклад (доля) состояния выделенных конструктивных подсистем в соответствии с таблицей 7.20 (девятая колонка) можно распределить следующим образом. Подсистема «фундаменты» оценивается в 1,6 %, подсистема «стены» вносит вклад, равный 9,1 %, подсистема «перекрытия», как наиболее многоэлементная (шесть иерархических уровней), имеет наибольшую долю – 55,5 % и, наконец, подсистема «крыша» вносит в общее состояние здания долю, равную 33,8 %. На рисунке 7.23 это «долевое участие» состояний подсистем высшего уровня иерархии в состоянии всего здания проиллюстрировано на соответствующей диаграмме. Очевидно, что сумма этих значений равна 100 %.

Аналогичное распределение вклада о состояниях элементов низшего уровня иерархической схемы в состоянии вышележащих подсистем показано на рисунке 7.24 и 7.25 для подсистем «фундаменты» и «стены». Численные значения параметров вклада в рамках рассматриваемого примера взяты из девятых колонок таблиц 7.10 и 7.11 (выделены цветом).



**Рис. 7.23. Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний подсистем высшего уровня диагностирования в состояние здания в целом**



**Рисунок 7.24 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний участков фундамента в состояние подсистемы «фундаменты»**

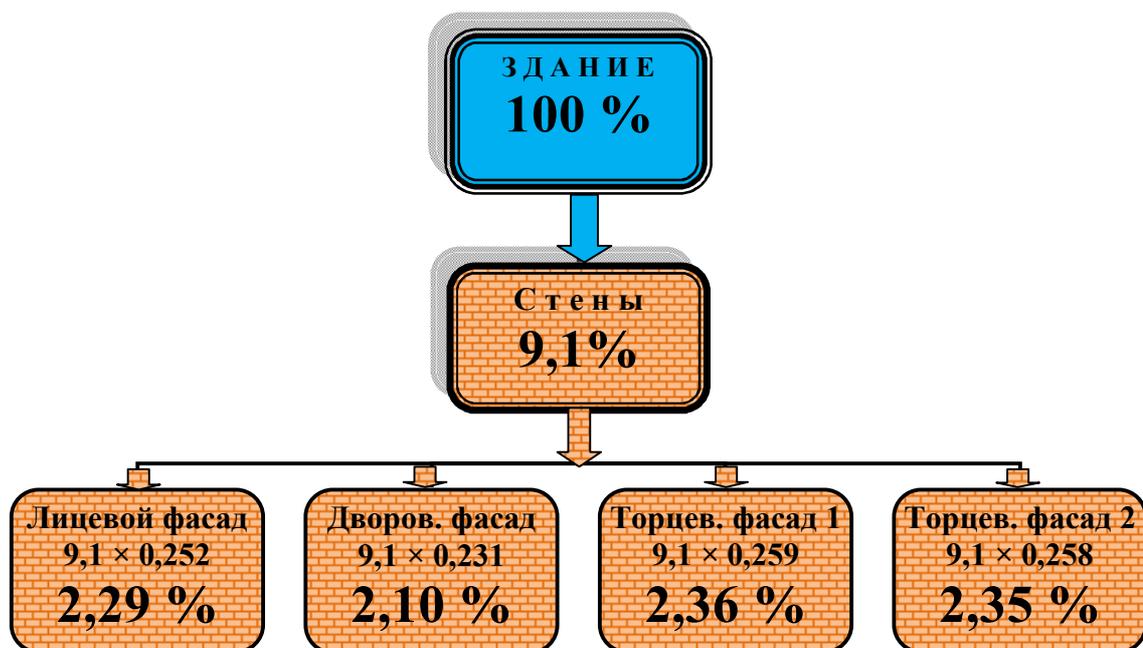


Рисунок 7.25 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний участков фасадных стен в состоянии подсистемы «стены»

Результаты прохождения иерархических уровней в обратном направлении для перекрытий представлены на рисунках 7.26 – 7.29. Процедуру распределения долевых вкладов состояний по элементам и уровням диагностирования целесообразно продемонстрировать на примере самой многоэлементной ветви «дерева диагнозов» – на примере подсистемы «монолитное железобетонное междуэтажное перекрытие».

Как видно из рисунка 7.27, доля внесенной информации о состоянии подсистемы «перекрытие» в общей информации о состоянии здания, как указано выше, в рассматриваемом примере составляет 55,5 %. Определена доля подсистемы «междуэтажные перекрытия» (уровень диагностирования, расположенный в иерархии диагнозов на ступеньку ниже) – 34,77 %, а затем еще на ступеньку ниже – 26,18 % для подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие». Далее, эта часть, выделенная из общего 100-процентного уровня для всего здания, распределяется между элементами низших уровней иерархии в соответствии с данными таблицы 7.13 (девятая колонка, данные выделены цветом) следующим образом. Доля (вклад) состояния группы «главные балки» в

состояние подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие» определится соотношением  $26,18 \% \cdot 0,050 = 1,309 \%$ . Далее, в соответствии с результатами вероятностного расчета на базисном уровне доля каждого элемента группы «главные балки» будет представлена следующим рядом значений: для балки  $G_1$  –  $1,309 \cdot 0,308 = 0,403 \%$ ; для балки  $G_2$  –  $1,309 \cdot 0,201 = 0,263 \%$ ; для балки  $G_3$  –  $1,309 \cdot 0,491 = 0,643 \%$ . На рисунке 7.27 показан диапазон:  $(0,263 - 0,643) \%$ .

Доля (вклад) состояния группы «второстепенные балки  $W_1 W_2 W_3 \dots W_{22}$ » составляет величину  $26,18 \% \cdot 0,499 = 13,06 \%$  и в соответствии с данными вероятностного расчета на этом базисном уровне вклад состояний каждой из 22-х второстепенных балок определится диапазоном  $(0,340 - 1,24) \%$  (рисунок 7.27).

Для группы «плитные участки  $F_1 F_2 F_3 \dots F_{24}$ » –  $26,18 \% \cdot 0,409 = 10,71 \%$ , а доля каждого плитного участка (рис. 7.27) будет находиться в пределах от  $0,225 \%$  до  $0,803 \%$ .

Для группы «колонны  $L_1 L_2$ » –  $26,18 \% \cdot 0,042 = 1,10 \%$ , и доля каждой из них определится значениями  $0,499 \%$  и  $0,601 \%$ , (рисунок 7.27).

Аналогичное распределение долей состояний можно получить для конструктивных элементов и подсистем всех ветвей и уровней «диагностического дерева». Расчетный пример построения решения для всего здания проиллюстрирован далее на рисунках 7.26, 7.28 – 7.33.

Все расчеты выполнены с использованием разработанного программного продукта «ВАТС». Пример расчета представлен в Приложении В.

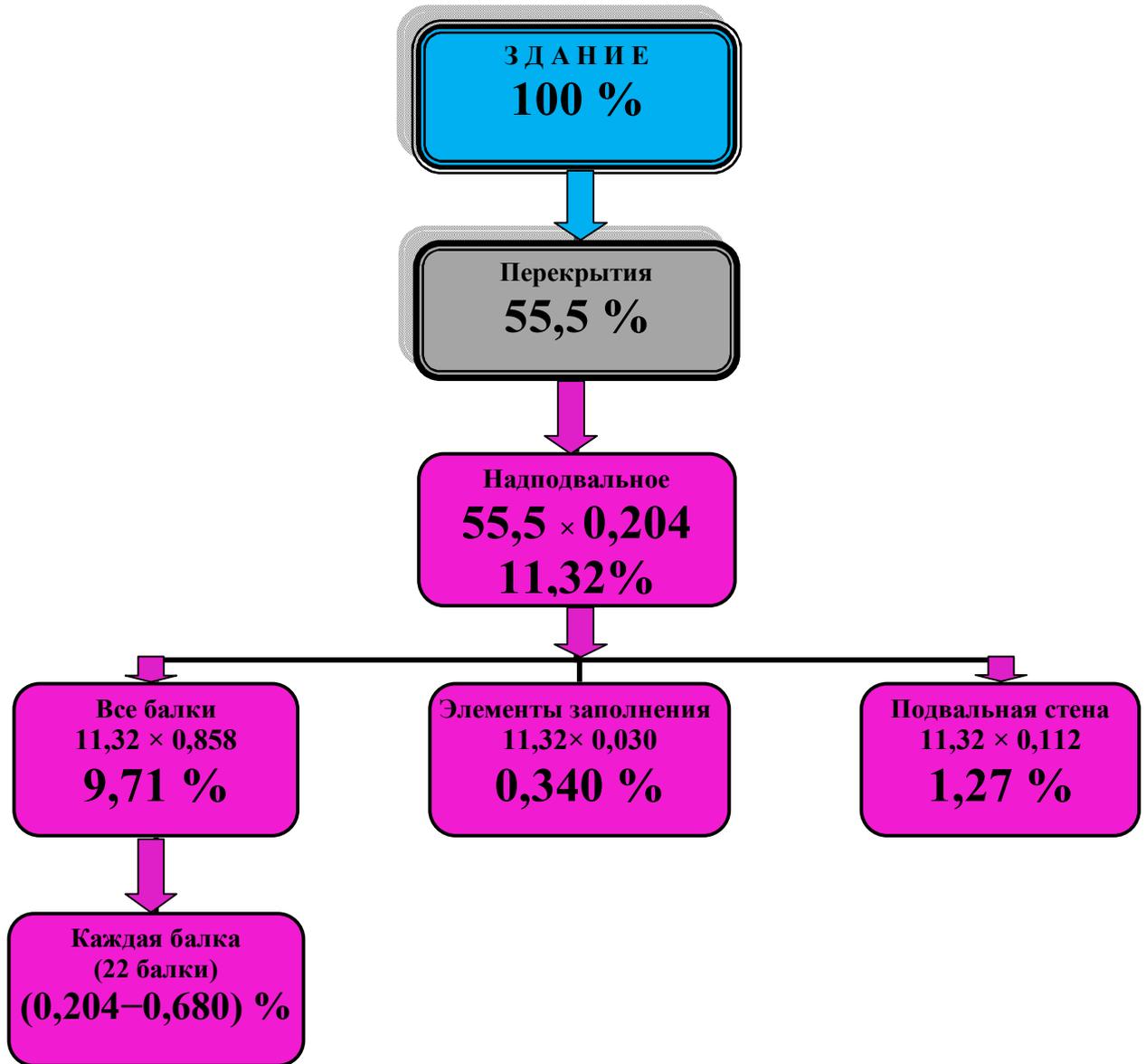


Рисунок 7.26 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов надподвального перекрытия в состояние подсистемы «перекрытия»

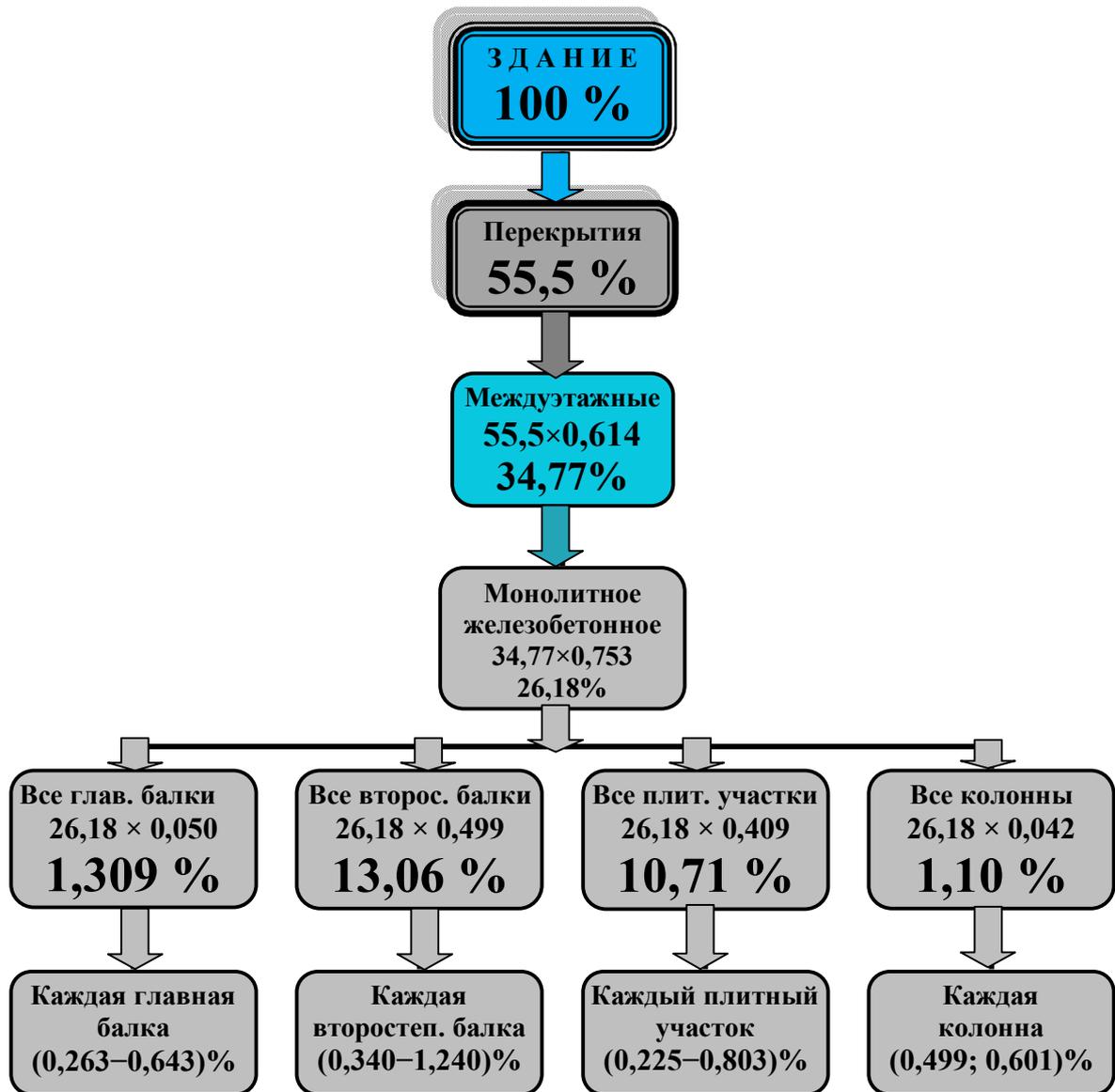


Рисунок 7.27 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов монолитного железобетонного перекрытия в состояние подсистемы «перекрытия»

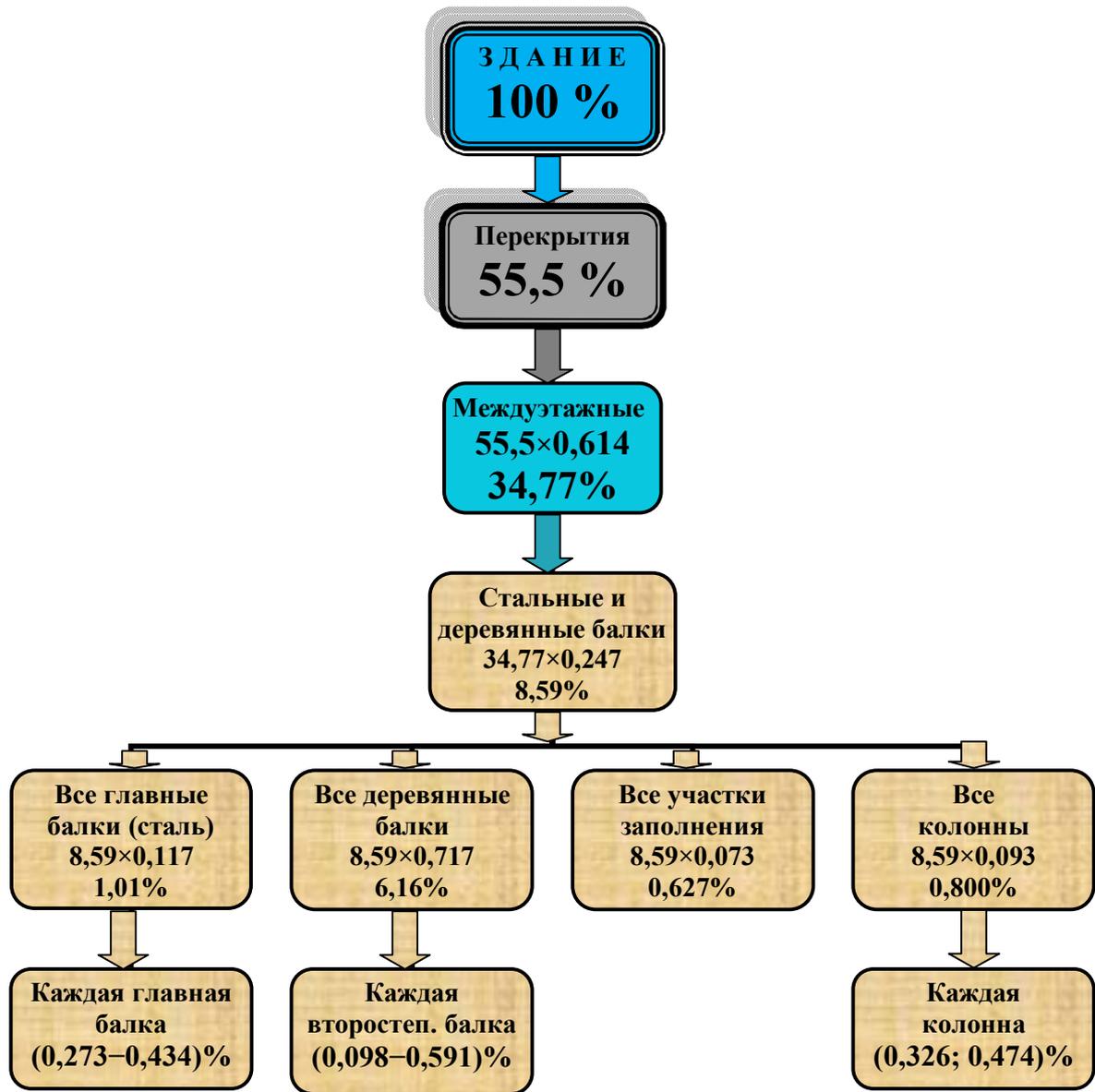


Рисунок 7.28 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов сталедеревянного перекрытия в состояние подсистемы «перекрытия»

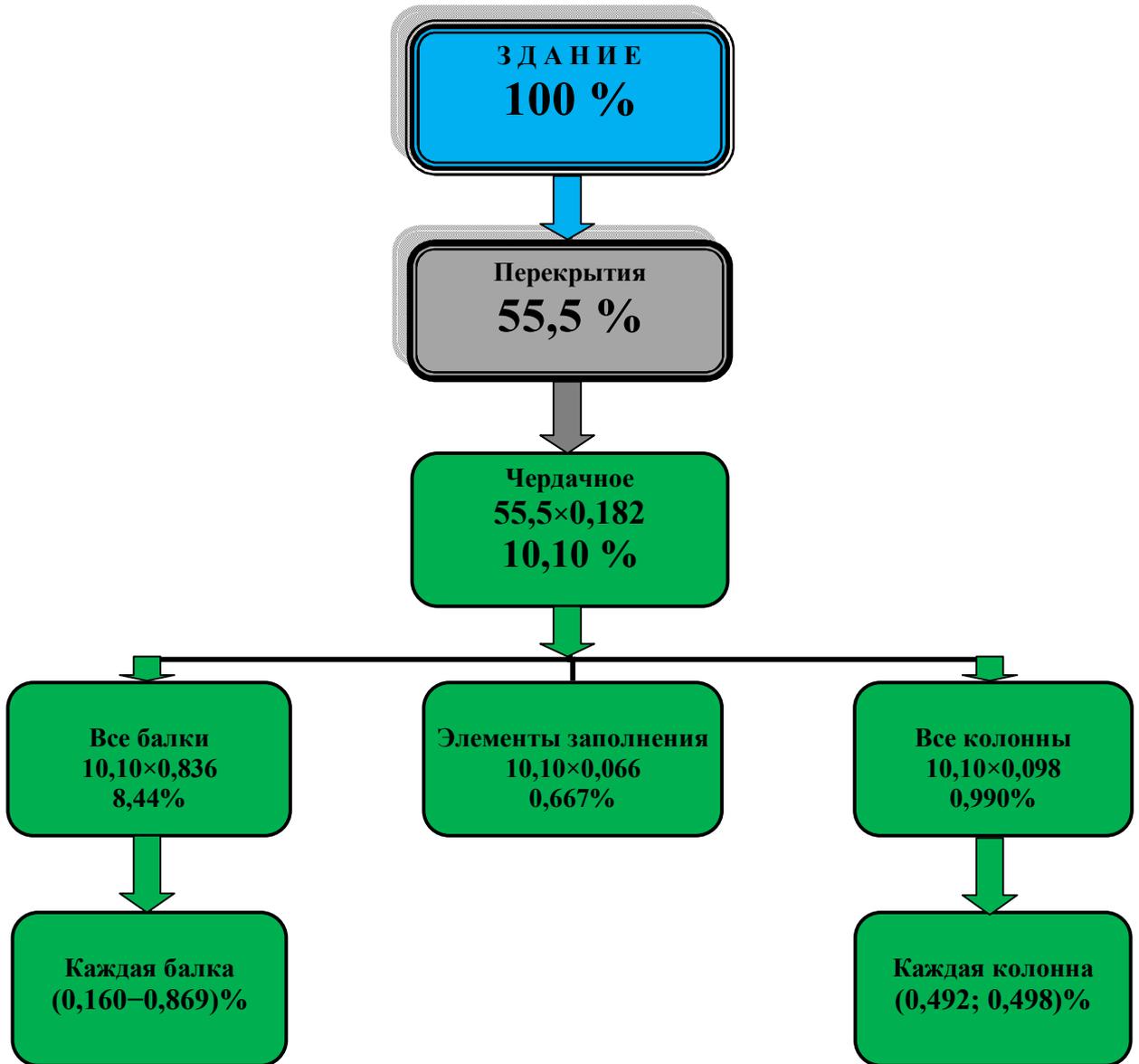


Рисунок 7.29 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов чердачного перекрытия в состоянии подсистемы «перекрытия»

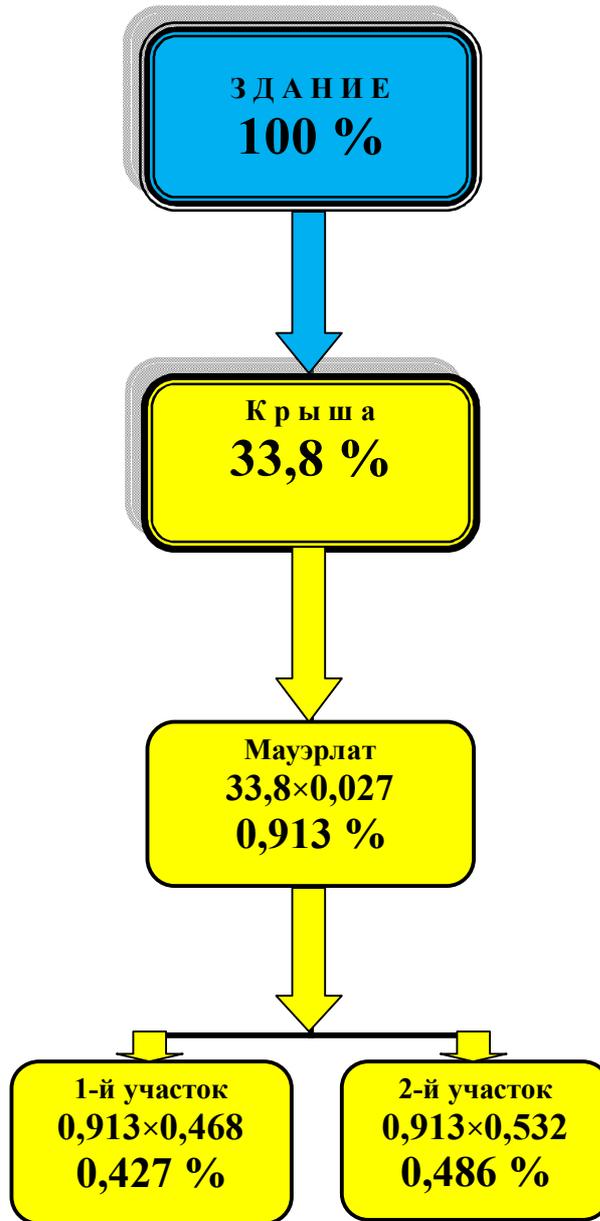


Рисунок 7.30 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний участков мауэрлата в состоянии подсистемы «крыша»

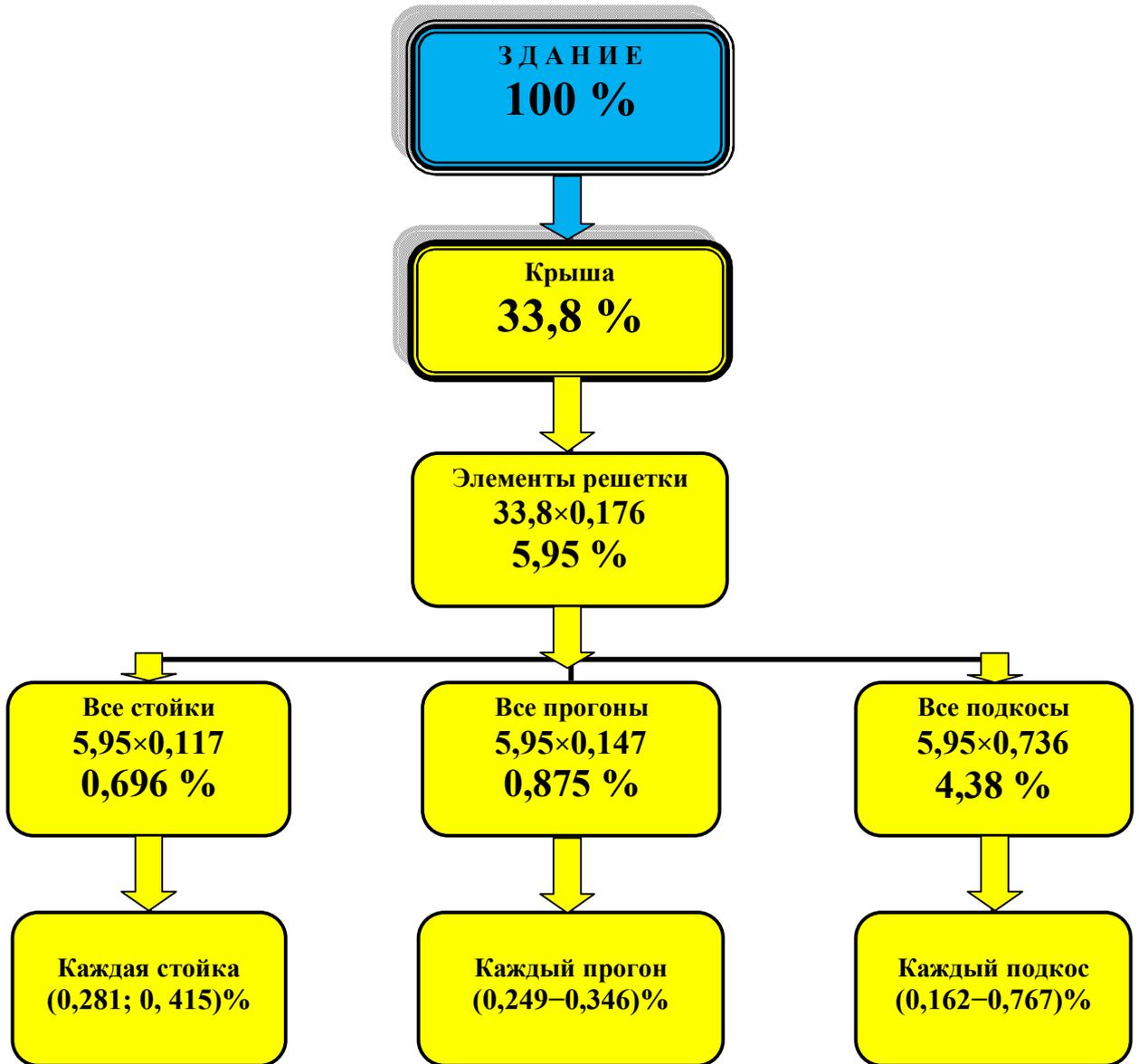


Рисунок 7.31 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов решетки в состоянии подсистемы «крыша»

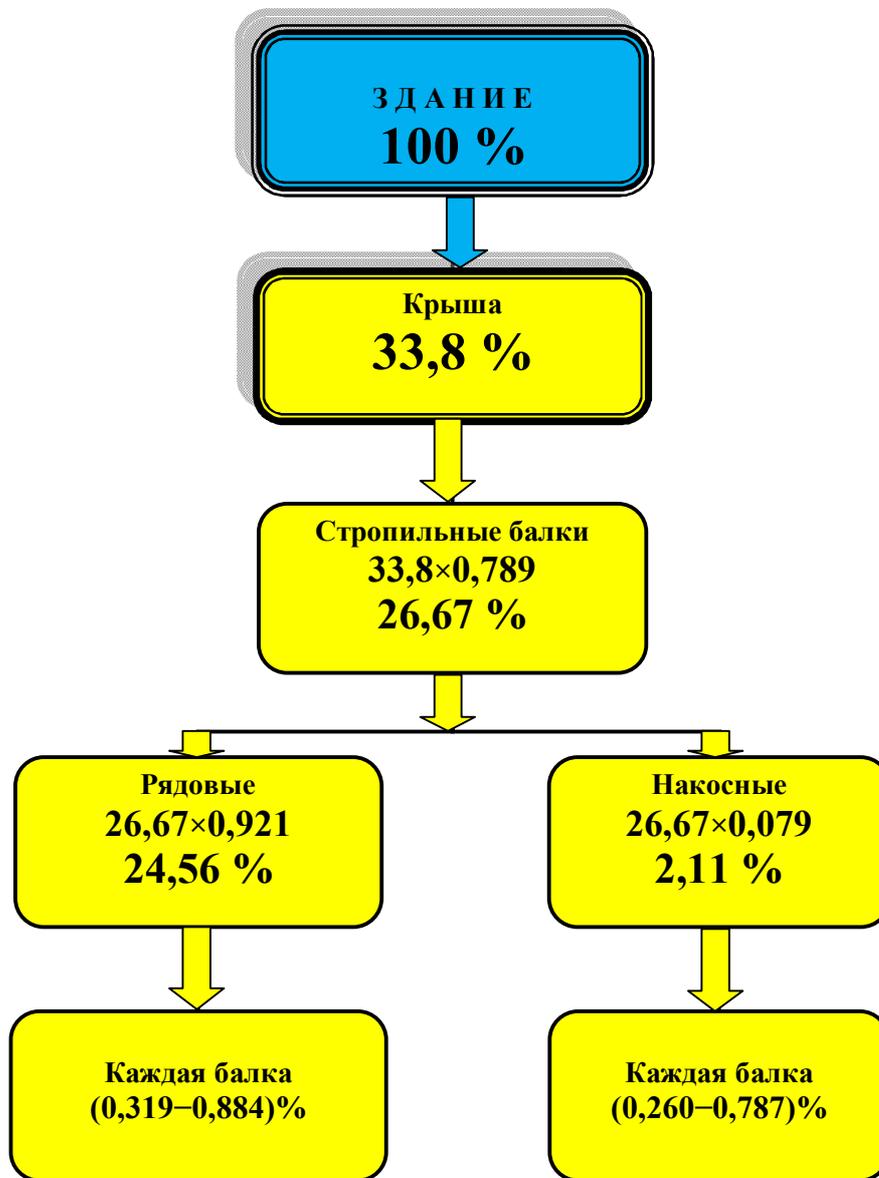


Рисунок 7.32 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний стропильных балок в состоянии подсистемы «крыша»

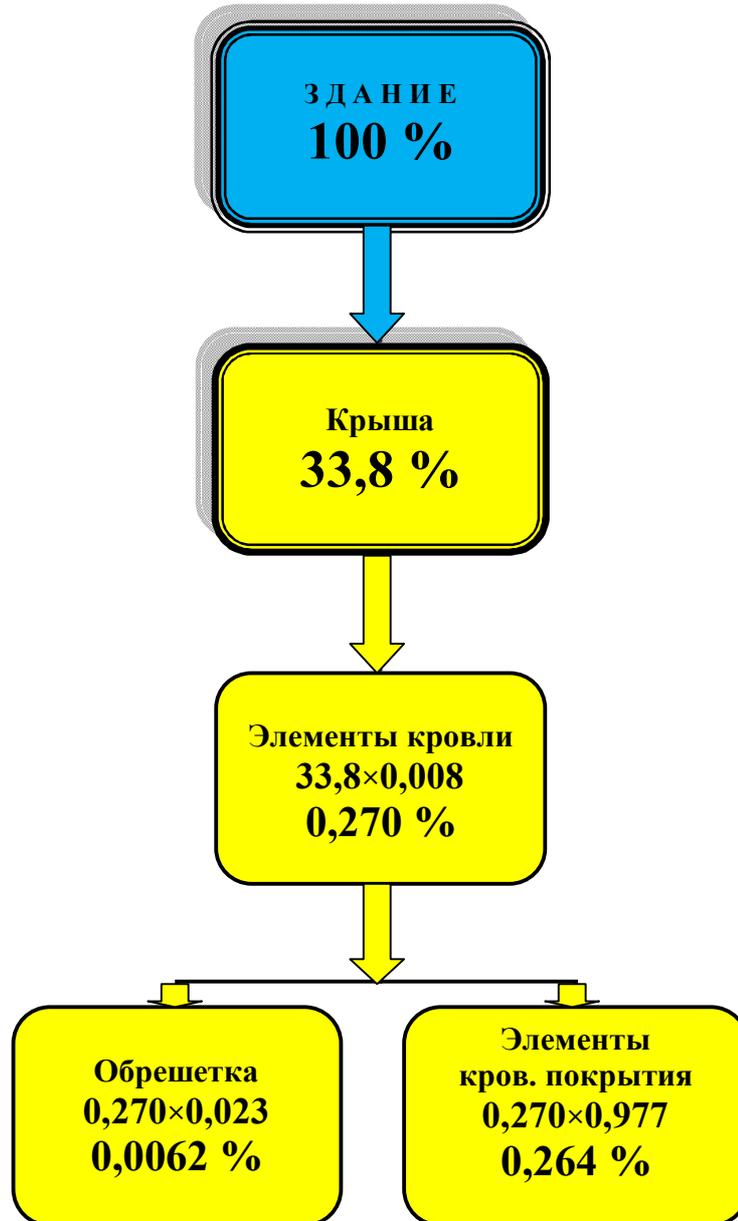


Рисунок 7.33 – Движение по иерархии в обратном направлении. Распределение информационного вклада состояний элементов кровли в состояние подсистемы «крыша»

Представленное на этих диаграммах процентное распределение долей состояний между элементами вероятностной иерархической структуры вполне могло бы дополнить полученную чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами. Не исключено, что представленное в рамках обратного хода долевого распределение может быть положено в основу стоимостных расчетов в методиках оценки строительной части объектов недвижимости. Например, если предположить, что на высшем уровне иерархии для приведения всего здания в нормальное эксплуатационное состояние обоснована и выделена сумма, равная 100 млн. рублей, то распределение этой суммы, отражающее истинное поэлементное техническое состояние на всех уровнях иерархической структуры, может быть осуществлено в соответствии с представленными на диаграммах (рисунках 7.26 – 7.33) процентными вкладами.

Кроме того, можно показать, что результаты прохождения по иерархической структуре в обратном направлении также могли бы стать достаточно аргументированным обоснованием при выполнении расчетов физического износа для каждого конструктивного элемента на каждом уровне диагностирования и для объекта в целом (см. главу 8, п. 8.3)

По главе 7 сделаны следующие выводы.

1. Для разработки моделей принятия решений о состояниях многоэлементной системы – здания в целом, создана методология построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики, которая позволяет оценивать состояние высших структур на каждом, интересующем пользователя, уровне. Такая модель построена и в основу ее построения положен принцип передачи информации о состояниях с низших на последующие уровни через информационный вклад вероятностных параметров состояний отдельных элементов, в вероятностные параметры состояний групп элементов и подсистем следующих уровней иерархии. Этот информационный вклад (или доля) формулируется и определяется с использованием понятий и методов теории

информации, в частности, с использованием основного понятия этой теории – информационной энтропии. Для этого в первую очередь построена графическая модель диагностирования в виде «диагностического дерева».

2. Построение «диагностического дерева» рассмотрено на примере типичного для старой застройки здания. Основные конструктивные структуры здания выделены укрупненно, т. е. рассмотрены четыре крупные конструктивные подсистемы, для элементов и групп элементов которых уже сформированы и проанализированы диагностические матрицы. Для этого здания показан пример построения «диагностического дерева» с учетом выделенных конструктивных подсистем. Получилась графическая модель, которая представлена по максимуму в виде шестиуровневой иерархической структуры.

3. Разработан алгоритм построения решения для уровневого вероятностного анализа состояний элементов иерархической структуры в общем виде. С использованием основных понятий теории информации выведены зависимости, позволяющие осуществлять переход с уровня на уровень. Таким образом, создана своеобразная математическая переходная модель для продвижения от низших уровней на высшие, обеспечивая прямой ход диагностирования (по «дереву диагнозов» – продвижение снизу вверх). Для отдельных ветвей «дерева диагнозов» – подсистем «монолитное железобетонное перекрытие» и «сталедеревянное перекрытие» в качестве примера выполнен расчет и получены численные значения распределения вероятностей состояний для всех элементов и групп элементов, входящих в эти подсистемы.

4. Рассмотрен численный пример построения решения для выполнения многоуровневого вероятностного анализа технического состояния всех элементов, групп элементов и всех подсистем *всего здания*. При этом, предложенная уровневая иерархическая схема характеризуется тем, что выделенные в ней уровни диагностирования, различные для различных конструктивных подсистем, не являются иерархически соподчиненными. Это важно и означает, что нет необходимости обязательно проходить все уровни всех

подсистем, чтобы выйти на вершину иерархии – здание в целом. Можно это делать по отдельности для каждой интересующей эксперта ветви и каждого уровня. Для наглядности при демонстрации работы алгоритма и разработанного программного продукта «ВАТС» «диагностическое дерево» разделено на отдельные фрагменты – ветви, для элементов которых вычисляются и анализируются получаемые вероятностные параметры.

5. После реализации прямого хода диагностирования (он должен быть пройден обязательно) предложено рассмотреть процедуру прохождения иерархической структуры сверху вниз, т. е. в обратном направлении. Наглядно на диаграммах представлен результат этой процедуры. Показанное на этих диаграммах процентное распределение долей информации о состояниях между элементами вероятностной иерархической структуры вполне может дополнить полученную чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами. Не исключено, что представленное в рамках обратного хода долевого распределение вклада о состояниях может быть положено в основу проведения стоимостных расчетов в методиках оценки строительной части объектов недвижимости.

6. Кроме того, ниже показано (глава 8, п. 8.3), что результаты прохождения по иерархической структуре сначала в прямом, а затем в обратном направлении, создают предпосылки аргументированного обоснования необходимости разработки новой методики расчетов физического износа для каждого конструктивного элемента на каждом уровне диагностирования и для объекта в целом.

## ГЛАВА 8

# СТАТИСТИКА ДИАГНОЗОВ И НАДЕЖНОСТЬ. ФИЗИЧЕСКИЙ ИЗНОС

### 8.1. Техническое состояние и надежность

Проблемы, связанные с обеспечением надежности зданий старой городской застройки, как отмечено выше, относятся к числу основных проблем, которые необходимо и, как показано в настоящей работе, возможно решать по данным диагностирования их технического состояния на основе вероятностных методов технической диагностики. При этом надежность следует понимать, как одну из мер и качества, и безопасности зданий и их несущих конструктивных элементов.

В главе 1 (п. 1.3.3) отмечено, что прогнозирование показателей надежности на стадии эксплуатации вообще выделено в отдельное направление общей теории надежности, и к настоящему времени для строительных систем, в том числе и для старых зданий, находится только на уровне постановки задачи. В данном же случае предложен один из вариантов решения этой задачи для указанных зданий.

В предыдущих главах представлен достаточно подробный материал по применению вероятностно-статистического подхода при диагностировании технического состояния строительных систем и их элементов в рамках математических методов технической диагностики и теории информации. Отмечено также, что в том виде, в каком вероятностно-статистический подход нашел применение и развит для оценки надежности других технических систем, характеризующихся массовостью изготовления и имеющих возможность получить представительную статистику отказов не только отдельных элементов, но и систем в целом, для рассматриваемых строительных систем неприемлем. Для них нет полноценной статистики отказов ни для элементов, ни для объекта в целом. Однако для этих зданий, как указано выше, получен значительный материал по статистике диагнозов, который удалось упорядочить и уложить в рамки уже имеющихся, разработанных методик теоретического аппарата технической диагностики и теории информации.

Для расчетов надежности любой конструктивной системы необходим ее глубокий структурный анализ, целью которого является выявление элементов, в наибольшей степени влияющих на надежность системы, а также их взаимосвязи. Для сложных систем, состоящих из большого количества элементов, структурному анализу предшествует разделение системы на крупные подсистемы, которые в свою очередь делятся на подсистемы следующих уровней и, затем, на группы элементов и т.д. При этом обязательно учитывается функциональная взаимосвязь отдельных частей. Отказ здания в целом, как сложной многоэлементной системы, очевидно, складывается из отказов составляющих его элементов, групп элементов и подсистем, а количественной мерой надежности объекта является вероятность его безотказной работы.

В данном случае предложенная в главе 7 многоуровневая иерархическая модель диагностирования может быть использована и при анализе надежности системы. Таким образом, построенное «дерево диагнозов» (рисунок 7.2), отражающее разбивку здания на функциональные части, после формулирования понятия отказа вполне может рассматриваться, как «дерево отказов», в котором для каждого элемента, группы элементов и подсистем на каждом иерархическом уровне, имея полученную диагностическую информацию, можно получить основные показатели надежности: вероятность отказа или вероятность безотказной работы.

## **8.2. Разделение и комбинирование вероятностей состояний. Примеры расчетов надежности**

Методику расчета надежности с использованием данных вероятностного анализа технического состояния конструктивных элементов здания предлагается рассмотреть на примере ранее полученных данных диагностирования главных балок монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия. В основу построения методики положен принцип разделения и последующего комбинирования полученных по расчетам вероятностей состояний.

Последовательность решения этой задачи аналогична последовательности, представленной ранее в главе 6 (п. 6.6) и в данном случае состоит в следующем.

1. Также выполняется разделение, а затем комбинирование пяти априорных вероятностей состояний, но по принципу  $4 + 1$ , т. е.

$$P(S_{nf}) = P(S_1) + P(S_2) + P(S_3) + P(S_4), \quad \text{а } P(S_f) = P(S_5). \quad (8.1)$$

2. По такому же принципу разделяются и объединяются получаемые в результате расчетов пять апостериорных вероятностей

$$P(S_{nf}/K^*) = P(S_1/K^*) + P(S_2/K^*) + P(S_3/K^*) + P(S_4/K^*), \quad \text{а } P(S_f/K^*) = P(S_5/K^*). \quad (8.2)$$

3. Принимается решение о том, что апостериорная вероятность пятого аварийного состояния  $P(S_5/K^*)$ , характеризующегося по определению исчерпанием несущей способности элемента, подсистемы, системы в целом, рассматривается как вероятность отказа  $P(S_f/K^*)$ . Вероятность состояния, которая обозначена  $P(S_{nf}/K^*)$  и которая объединяет первые четыре вероятности состояний, в таком случае представляется, как вероятность безотказной работы, т. е. надежность. Очевидно, что вероятность безотказной работы

$$P(S_{nf}/K^*) = 1 - P(S_f/K^*). \quad (8.3)$$

В Приложении «В» представлены численные результаты расчета апостериорных вероятностей пяти состояний для указанных главных балок  $G_1$ ,  $G_2$  и  $G_3$ . Ниже эти результаты сведены в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Численные значения вероятностных параметров состояний и надежности для главных балок

Элементы	$P(G_{k1})$	$P(G_{k2})$	$P(G_{k3})$	$P(G_{k4})$	$P(G_{k5})$	$P(G_f)$	$P(G_{nf})$	$P(V_k)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Балка $G_1$	0,008	0,167	<b>0,582</b>	0,221	0,022	0,022	0,978	0,308
Балка $G_2$	0,055	0,378	<b>0,404</b>	0,160	0,003	0,003	0,997	0,201
Балка $G_3$	0,000	0,007	0,080	<b>0,677</b>	0,236	0,236	0,764	0,042
Все главн. балки	0,014	0,131	0,300	0,432	0,123	0,123	0,877	0,050

В колонки 2 – 6 в рамках рассматриваемого примера записаны вероятности состояний балок, в колонку 7 – вероятность отказа. В колонке 8 выделенные цветом численные значения представляют собой вероятность безотказной работы, т. е. надежность каждого элемента и группы элементов при их состояниях, выявленных при обследовании. В колонке 9 содержатся вероятности степени определенности выявленных состояний. Анализируя данные колонки 8, можно отметить, что группа из трех элементов (трех балок) имеет некоторое резервирование, т. е. не относится однозначно к системам с последовательным соединением элементов. При последовательном соединении элементов, как известно, надежность системы определяется произведением надежностей составляющих элементов

$$P(G_{nf}) = P(G_{1nf}) \cdot P(G_{2nf}) \cdot P(G_{3nf}) = 0,978 \cdot 0,997 \cdot 0,764 = 0,745 < 0,877.$$

Не относится эта группа и к системам с параллельным соединением элементов, надежность которых, как известно, определяется зависимостью, представляющей собой сумму вероятностей составляющих элементов, состояния которых рассматриваются как события совместные и независимые

$$P(G_{nf}) = P(G_{1nf}) + P(G_{2nf}) + P(G_{3nf}) - P(G_{1nf}) \cdot P(G_{2nf}) - P(G_{2nf}) \cdot P(G_{3nf}) - P(G_{1nf}) \cdot P(G_{3nf}) + P(G_{1nf}) \cdot P(G_{2nf}) \cdot P(G_{3nf}) = 0,999 > 0,877.$$

Таким образом, вычисленная надежность группы элементов «главные балки», отражающая их фактическое техническое состояние, выявленное при диагностировании, попадает в интервал с крайними граничными значениями (0,745 – 0,999), причем практически в середину этого интервала. Результат представляется достаточно убедительным еще и потому, что для всех элементов базисного уровня (второстепенные балки, плитные участки и колонны) рассматриваемого перекрытия при выполнении многовариантного счета также были получены близкие соотношения.

Далее результаты расчетов надежности для групп элементов, подсистем и здания в целом на основе данных многоуровневого вероятностного анализа, проиллюстрированы на рисунках 8.1 – 8.10. На диаграммах, аналогичных диаграммам, показанным в главе 7, представлены численные значения

вероятностей безотказной работы (надежности) и вероятности отказа на каждом диагностируемом уровне.

При этом на каждом рисунке слева даны оценки надежности  $P_{nf}$  и вероятности отказа  $P_f$  всего здания по результатам расчета этих показателей только при прохождении показанной на данном рисунке ветви «дерева диагнозов» («дерева отказов»). Справа представлены те же данные для здания в целом, но при прохождении по всем ветвям и уровням иерархии. Результаты выполненного вероятностного анализа надежности всего здания по надежности укрупненных конструктивных подсистем удобно представить в табличном виде (таблица 8.2). В эту же таблицу сведены также полученные ранее данные диагностирования технического состояний этих же подсистем.

Анализируя полученные в рассматриваемом примере результаты, можно отметить следующее.

1. Как видно из рисунков 8.1 – 8.10, результат анализа надежности здания в целом при прохождении по всем ветвям и уровням иерархии привел к следующим показателям: вероятность безотказной работы (надежность) получилась равной  $P_{nf} = 0,824$ , вероятность отказа –  $P_f = 0,176$ , зданию присвоена четвертая категория технического состояния.

2. На этих же рисунках, а затем в таблице 8.2 приведены результаты расчетов надежности тоже для здания в целом, но на основе прохождения только частей «дерева отказов», соответствующих указанным подсистемам. Видно, что значения  $P_{nf}$  меньше, чем  $0,824$  ( $P_{nf} < 0,824$ ) в данном примере получились при анализе надежности всех перекрытий, причем наихудшие показатели оказались у конструктивных элементов чердачного перекрытия ( $P_{nf} = 0,641$ ,  $P_f = 0,359$ ; присвоена пятая аварийная категория состояния). Не намного выше они у группы элементов «надподвальное перекрытие» ( $P_{nf} = 0,673$ ,  $P_f = 0,327$ ; присвоена четвертая предаварийная категория состояния). Достаточно высокие показатели надежности получены при анализе состояний наружных стен и практически всех

Таблица 8.2 – Численные значения вероятностных параметров надежности и состояний для основных конструктивных подсистем и здания в целом

Подсистемы	$P_{nf}$	$P_f$	$P(S_i/K^*)$	Категория
1	2	3	4	5
Фундаменты	0,878	0,122	0,332	4
Наружные стены	0,941	0,059	0,464	4
Надподвальное перекрытие	0,673	0,327	0,379	4
Монолитное жб перекрытие	0,746	0,254	0,307	4
Сталедеревянное перекрытие	0,754	0,246	0,320	4
Чердачное перекрытие	0,641	0,359	0,359	5
Мауэрлат крыши	0,871	0,129	0,482	4
Элементы решетки	0,961	0,039	0,329	2
Стропильные балки	0,979	0,021	0,564	2
Кровельное покрытие	0,981	0,019	0,433	3
<b>Здание в целом</b>	<b>0,824</b>	<b>0,176</b>	<b>0,262</b>	<b>4</b>

рассмотренных конструктивных элементов крыши здания. В конструкциях крыши наихудшие показатели получились при оценке надежности участков мауэрлата, что весьма характерно для реальных конструкций зданий старой городской застройки.

3. Выполненный анализ технического состояния и надежности здания в совокупности с рассмотренными ранее результатами прохождения иерархической структуры сверху вниз, т. е. в обратном направлении (долевое распределение вклада, глава 7, п. 7.4), позволяют обоснованно расставить приоритеты при назначении мероприятий по приведению здания в исправное эксплуатационное состояние.

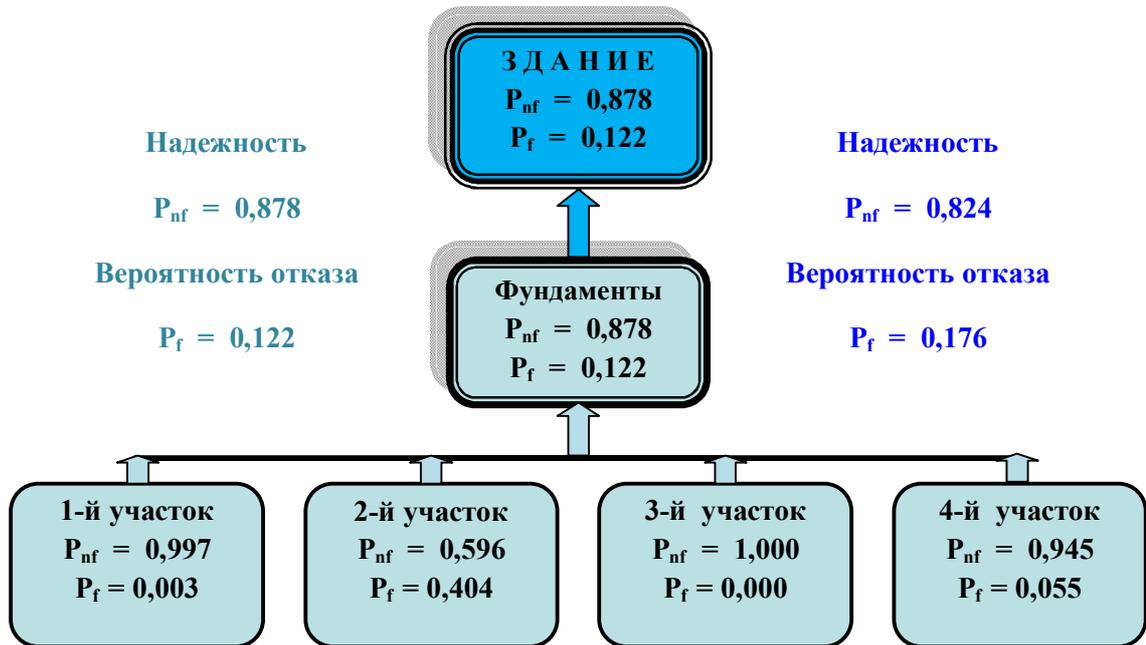


Рисунок 8.1 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «фундаменты»

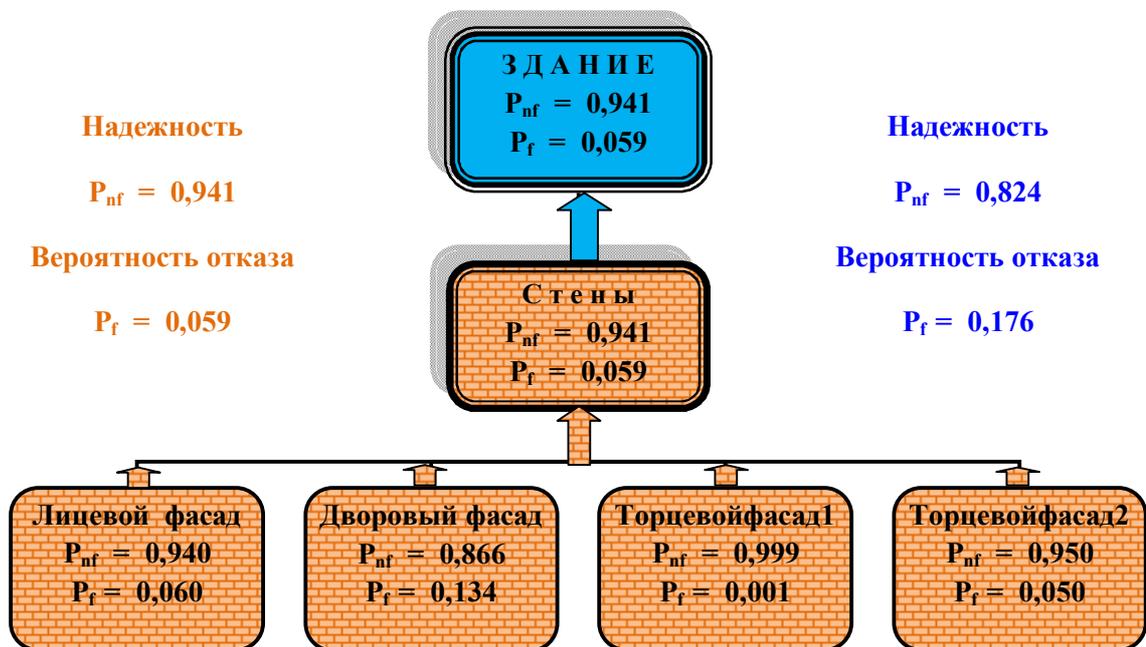


Рисунок 8.2 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «наружные стены»

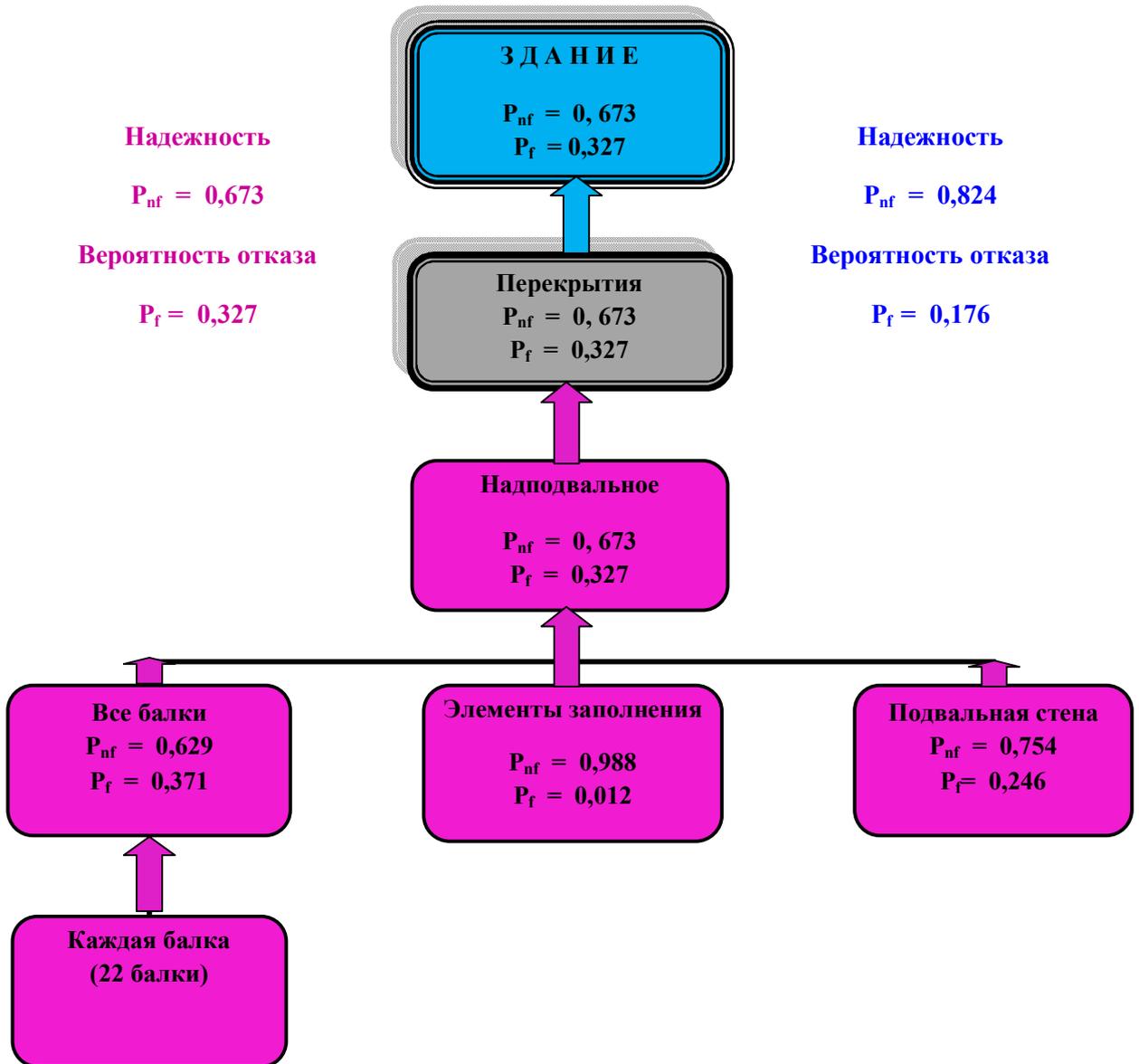


Рисунок 8.3 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «надподвальное перекрытие»

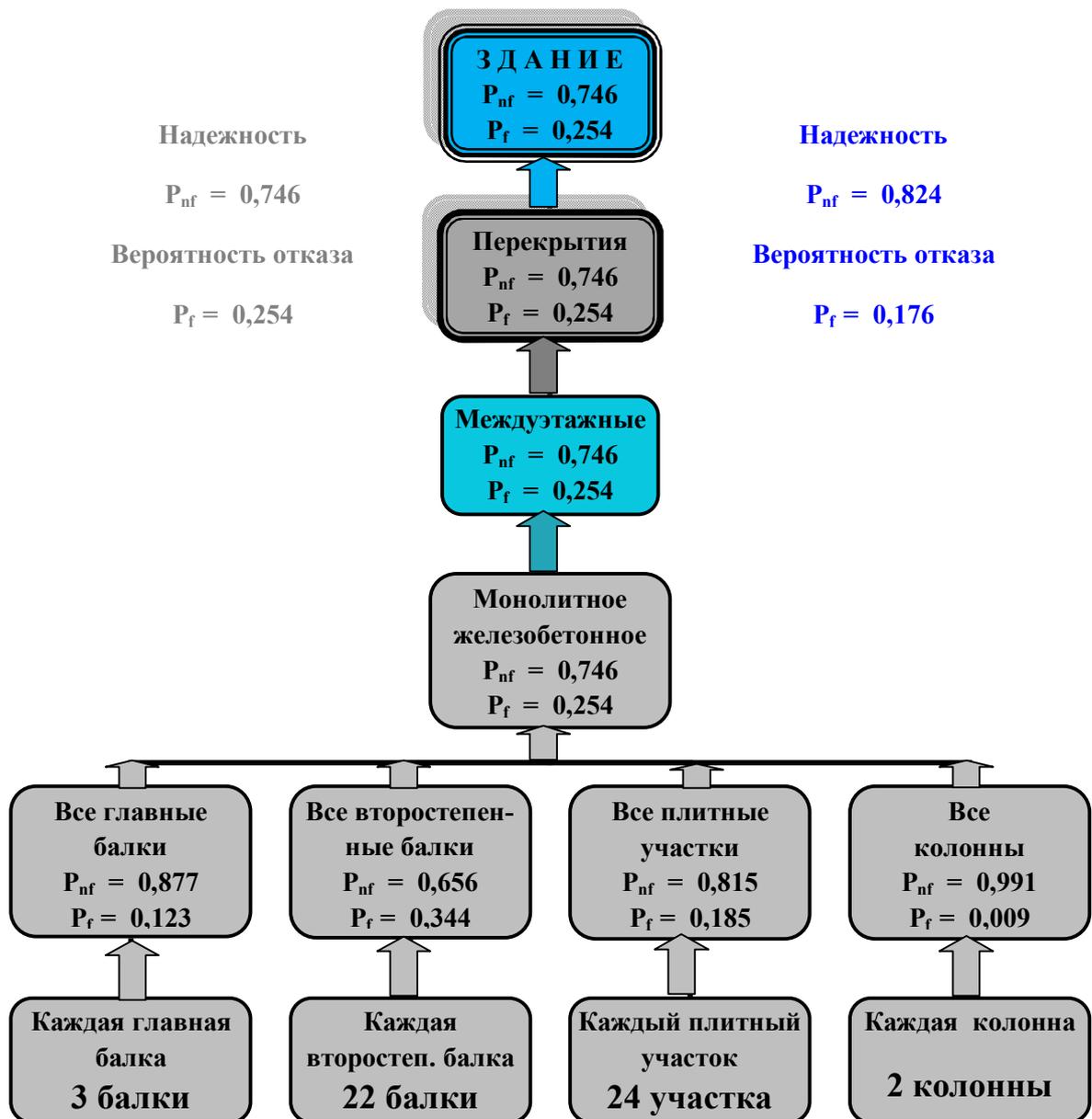


Рисунок 8.4 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие»

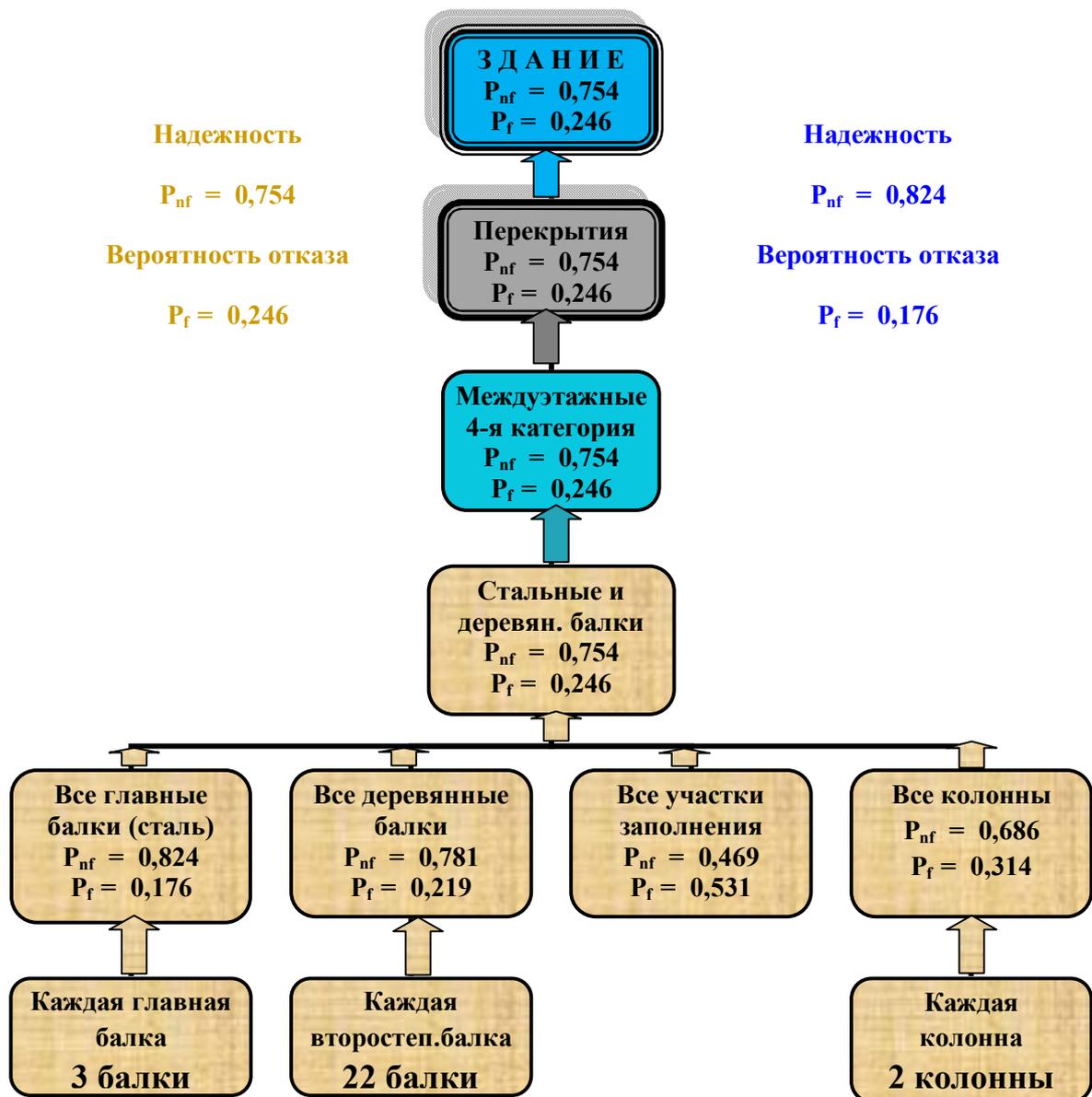


Рисунок 8.5 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «сталедеревянное перекрытие»

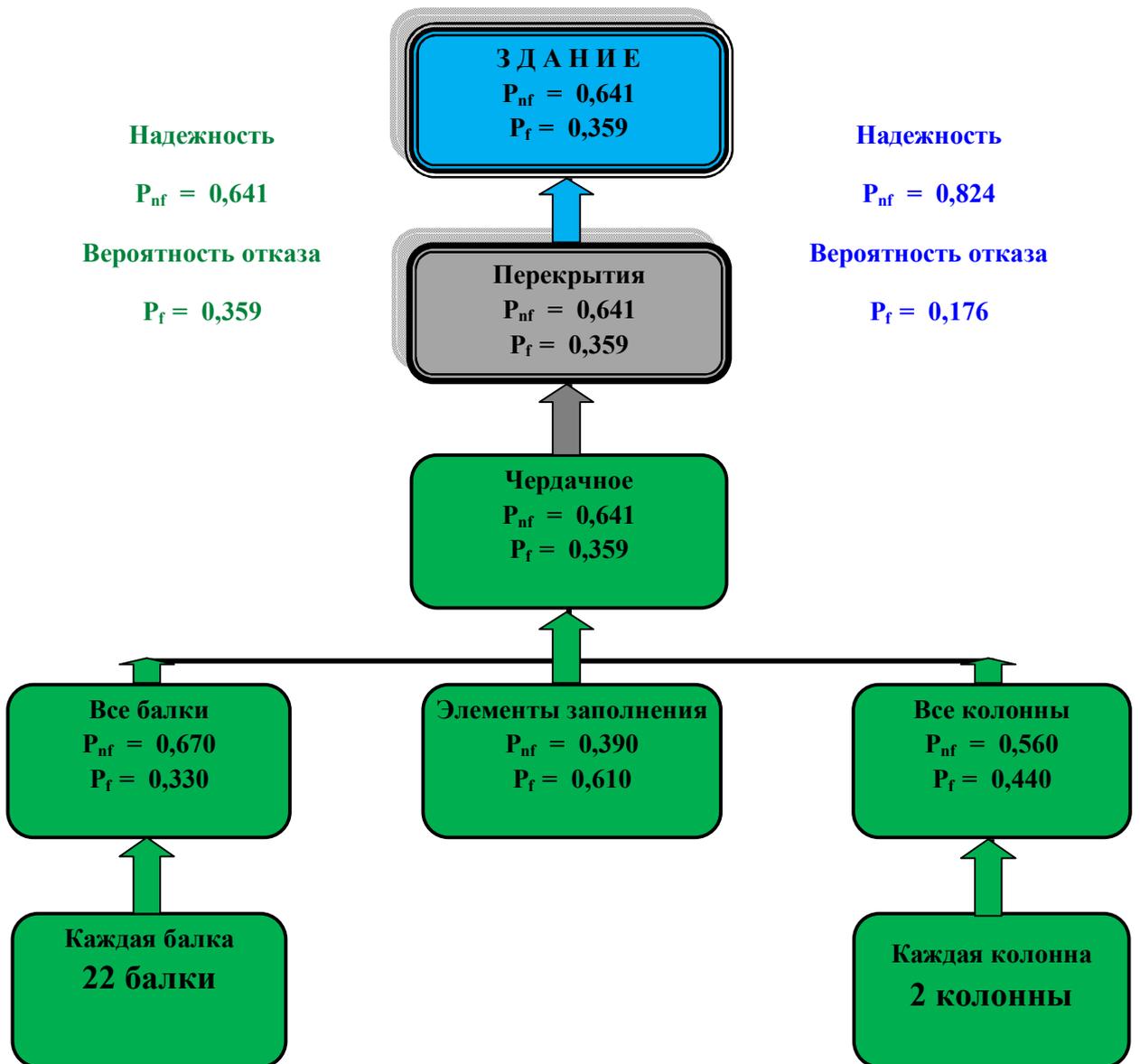


Рисунок 8.6 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «чердачное перекрытие»

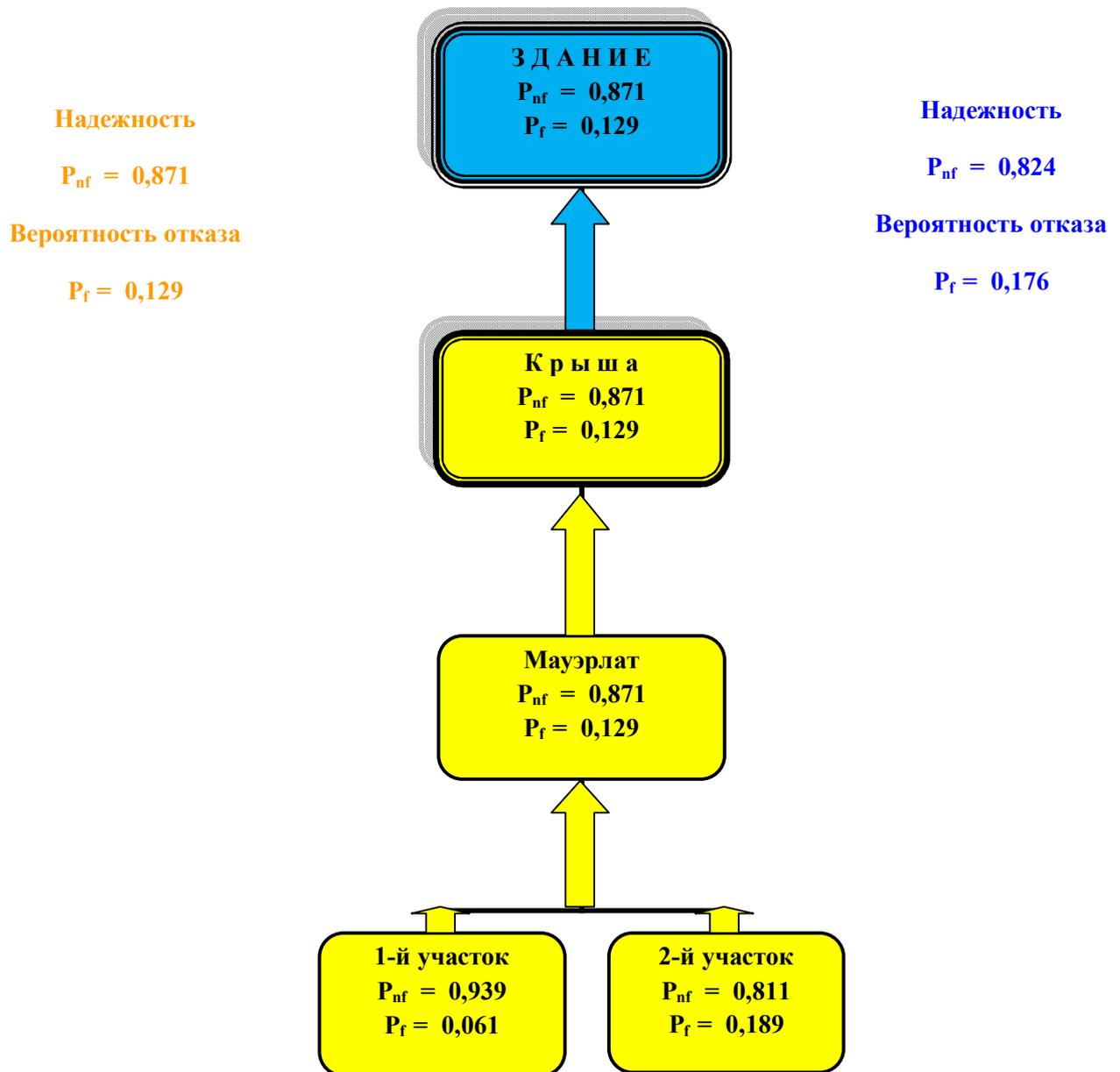


Рисунок 8.7 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «мауэрлат крыши»

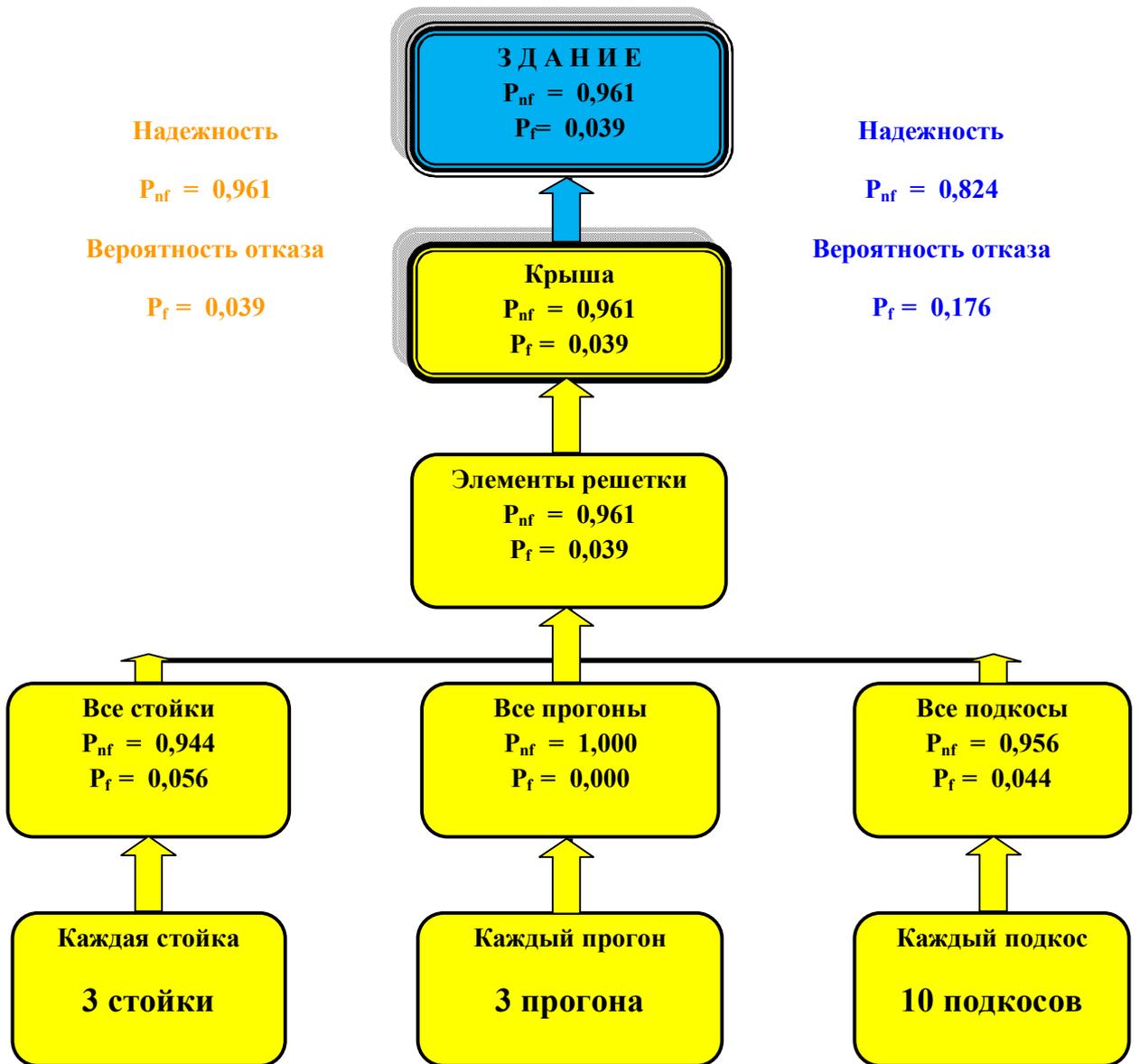


Рисунок 8.8 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «элементы решетки крыши»

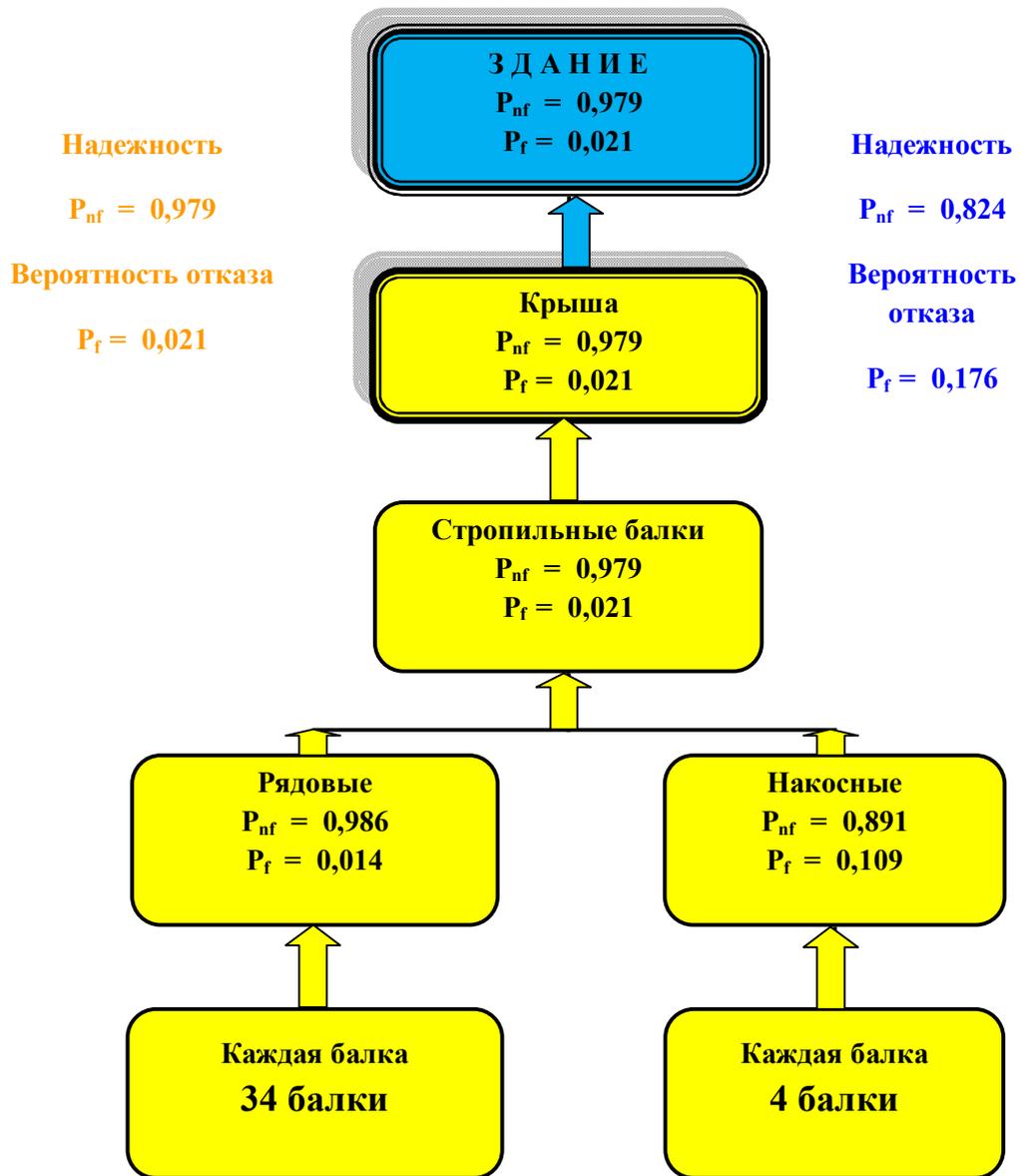


Рисунок 8.9 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «стропильные балки»

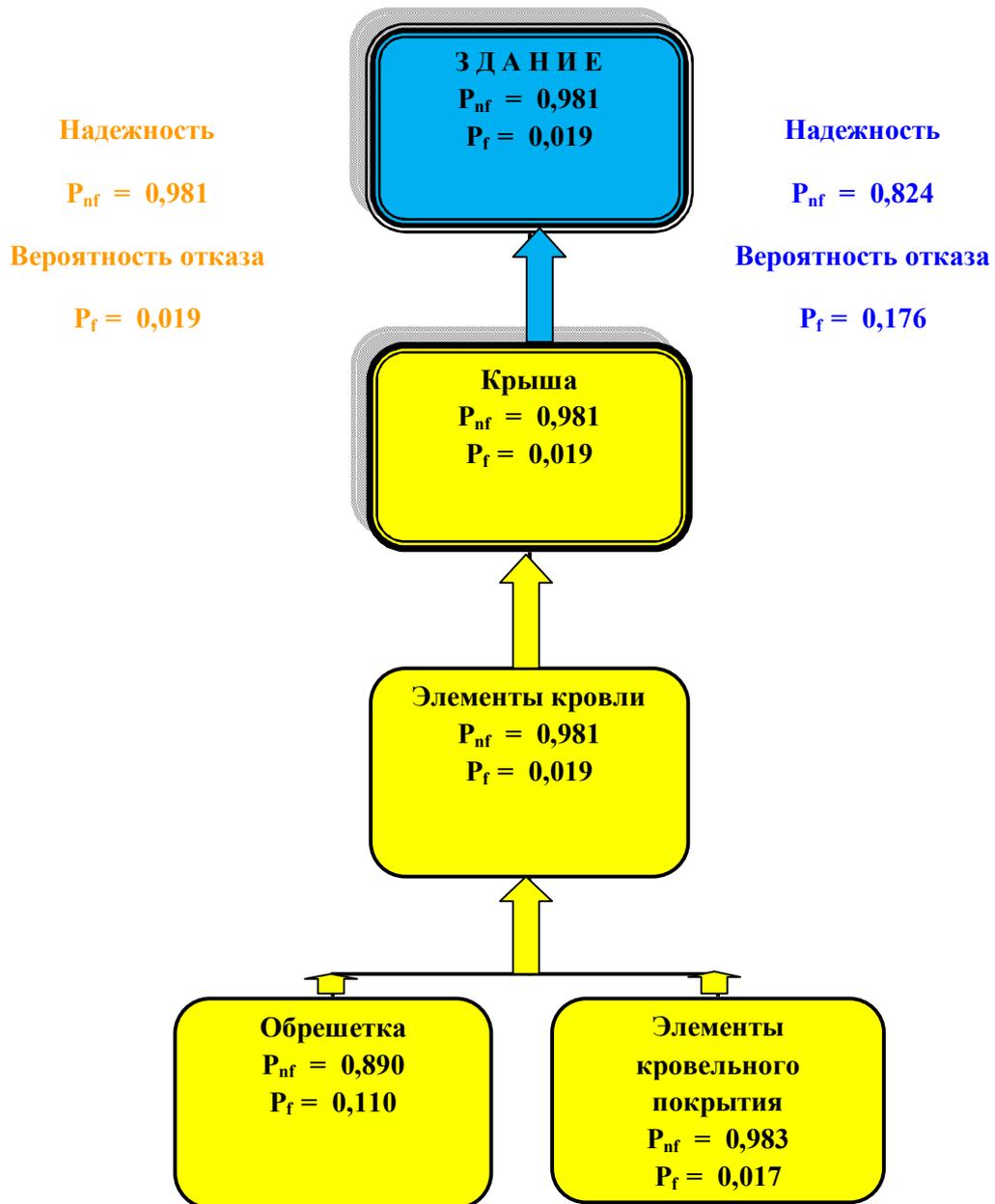


Рисунок 8.10 – Часть «дерева отказов» для подсистемы «элементы кровли»

### 8.3. Физический износ. Примеры расчетов

В соответствии с [23] под физическим износом конструктивного элемента и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств: несущей способности (прочности, устойчивости) и надежности в результате воздействия природно-климатических факторов и

жизнедеятельности человека. По нормам [23] физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости.

Методика расчета физического износа, представленная в [23], состоит в следующем.

Физический износ отдельных конструкций, элементов, систем или их участков оценивается путем сравнения признаков физического износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, с их значениями, приведенными в таблицах 1–71 норм [23].

Физический износ конструкции, элемента или системы, имеющих различную степень износа отдельных участков, определяется по формуле

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \cdot P_i / P_k \quad (8.3)$$

где  $\Phi_k$  – физический износ конструкции, элемента или системы, %;  $\Phi_i$  – физический износ участка конструкции, элемента или системы, определенный по таблицам 1 – 71 [23], %;  $P_i$  – геометрические параметры (площадь или длина) поврежденного участка,  $m^2$  или м;  $P_k$  – геометрические параметры всей конструкции,  $m^2$  или м;  $n$  – число поврежденных участков.

Физический износ всего здания определяется по формуле

$$\Phi_z = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{ni} \cdot l_i, \quad (8.4)$$

где  $\Phi_z$  – физический износ здания, %;  $\Phi_{ni}$  – физический износ отдельной конструкции, элемента или системы, %;  $l_i$  – коэффициент, соответствующий доле восстановительной стоимости отдельной конструкции, элемента или системы в общей восстановительной стоимости здания;  $n$  – число отдельных конструкций, элементов или систем в здании.

Доли восстановительной стоимости отдельных конструкций, элементов и систем в общей восстановительной стоимости здания, (в %), в этом нормативном документе [23] предлагается принимать по укрупненным показателям

восстановительной стоимости зданий, утвержденным в установленном порядке в 70-х годах прошлого века, а для конструкций, элементов и систем, не имеющих утвержденных показателей – по их сметной стоимости, рассчитанной по расценкам тех лет.

В данной работе, в главе 1 (п. 1.2) отмечено, что нормативный документ, введенный более 25-ти лет назад, в настоящее время устарел, имеет недостатки, т. е. требует существенной переработки. Там же было предложено вообще изменить принцип определения долевого вклада состояний отдельных элементов в состояние здания в целом. В условиях рыночной экономики и меняющегося ценообразования, при определении *физического* износа целесообразно заменить *стоимостную* основу долевого «участия» каждого элемента в формировании *технического (физического) показателя* состояния строительной системы (здания или сооружения) в целом, на долевой вклад, отражающий именно *техническое (физическое)* состояние каждого элемента. Этим долевым вкладом предложено считать информационную составляющую о техническом состоянии конструктивного элемента в виде количества внесенной информации (остаточной энтропии) о его состоянии, выраженной в вероятностной форме, в частности в виде вероятностей степени определенности. Этот параметр на каждом уровне диагностирования рассчитывается и вводится в процедуру построения решения, что продемонстрировано в главе 7, п. 7.2. Не исключено, что необходимо будет изменить и саму методику расчета физического износа, положив в основу вероятностные принципы построения решения и увязав эти принципы с категориями технического состояния.

На основании результатов проведенного многоуровневого вероятностного анализа технического состояния и надежности рассматриваемого здания можно предложить следующий принцип построения методики расчета физического износа элементов, групп элементов, подсистем и здания в целом.

На каждом уровне иерархической структуры в результате вероятностного расчета получены распределения вероятностей состояний для всех элементов всех уровней этой структуры. Предлагается физическим износом считать попадание

каждого элемента структуры в четвертое и пятое состояния (предаварийное и аварийное), что никак не противоречит представленному выше определению физического износа по нормам [23]. Таким образом, физическим износом предлагается считать сумму вероятностей этих состояний, выраженную в процентах. Для этого, как и в главе 6 (п. 6.5), выполняется разделение и последующее комбинирование апостериорных вероятностей состояний также по схеме «3 + 2». Для проверки возможности применения такого подхода наиболее наглядным является пример расчета физического износа для кирпичных стен здания.

Итак, требуется определить физический износ группы элементов – кирпичных стен четырех фасадов здания по нормам [23], т. е. по зависимости 8.3. Для этого признаки выявленных повреждений кирпичной кладки стен по [23] приняты близкими (насколько это возможно) к тем диагностическим признакам, которые составляют основу диагностических матриц участков кирпичных стен и которые использовались в выполненных вероятностных расчетах по диагностированию состояний всего здания (глава 6, п. 6.1.1, таблица 6.1). Признаки в [23] приняты по таблице № 10. Пусть площади фасадных стен в два раза больше площадей торцевых стен, а выявленные повреждения зафиксированы по всей площади. По правилам расчета физического износа для каждой стены в соответствии с таблицей 10 [23] получены следующие результаты: для кирпичной кладки стены лицевого фасада – 45 % износа с проявлением повреждений на 0,33 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены дворового фасада – 60 % износа с проявлением повреждений тоже на 0,33 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены торцевого фасада №1 – 25 % износа с проявлением повреждений на 0,17 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены торцевого фасада №2 – 60 % износа с проявлением повреждений тоже на 0,17 суммарной площади всех стен. Тогда по формуле (8.3) для подсистемы «наружные стены» физический износ получился равным

$$\Phi_k = 45\% \times 0,33 + 60\% \times 0,33 + 25\% \times 0,17 + 60\% \times 0,17 = 49,1\%.$$

Если использовать предлагаемую вероятностную методику и данные Приложения В (рисунки В.4, В.6, В.8, В.10), то для кирпичной кладки стены лицевого фасада получено 47,1 % износа, для кирпичной кладки стены дворового фасада – 81,2 %, для кирпичной кладки стены торцевого фасада №1 – 24,1 %, для кирпичной кладки стены торцевого фасада №2 – 59,9 %. Тогда для подсистемы «наружные стены» физический износ, следуя предложенной вероятностной методике, получился равным  $\Phi_k = 52,3$  % (Приложение В, рисунок В.11).

Стоит заметить, что по нормам [23] численные значения физического износа предлагается округлять, причем с точностью до величин, кратных 5%, что в современных условиях неприемлемо и даже ошибочно, хотя бы потому, что проценты износа участвуют в методиках стоимостных расчетов для объектов недвижимости, где фигурируют значительные денежные суммы.

Как видно из рассмотренного примера, значения физического износа для подсистемы «наружные стены», вычисленные двумя способами, получились достаточно близкими. Для других групп элементов и подсистем тоже получены близкие соотношения, но при условии полноты и достаточности информации и по количеству, и по описанию признаков износа конструктивных элементов в таблицах норм [23].

Ниже с использованием предложенного подхода выполнен расчет физического износа для всего, рассматриваемого в данном примере, здания. Результаты расчета проиллюстрированы на диаграммах, аналогичных ранее построенным (рисунки 8.11 – 8.20). Принцип представления результатов тоже аналогичен предыдущему: слева на каждом рисунке показан физический износ здания, полученный по данным расчета физического износа элементов представленной на этом рисунке подсистемы, а справа – по данным расчета физического износа элементов, групп элементов и подсистем всего здания.

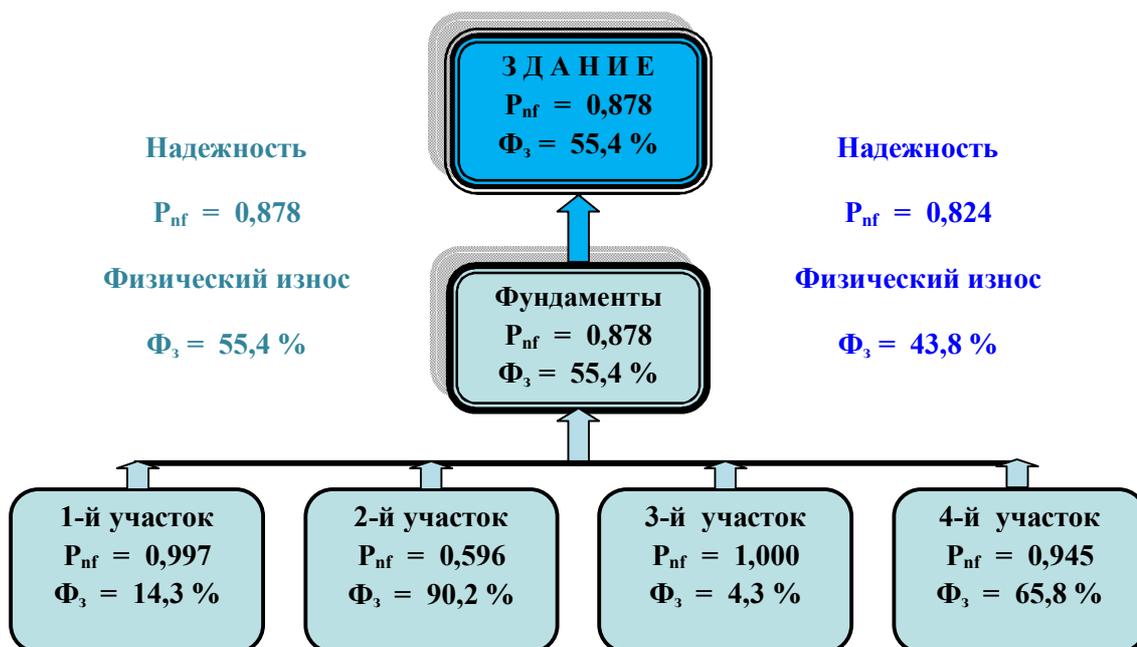


Рисунок 8.11 – Надежность и физический износ для подсистемы «фундаменты»

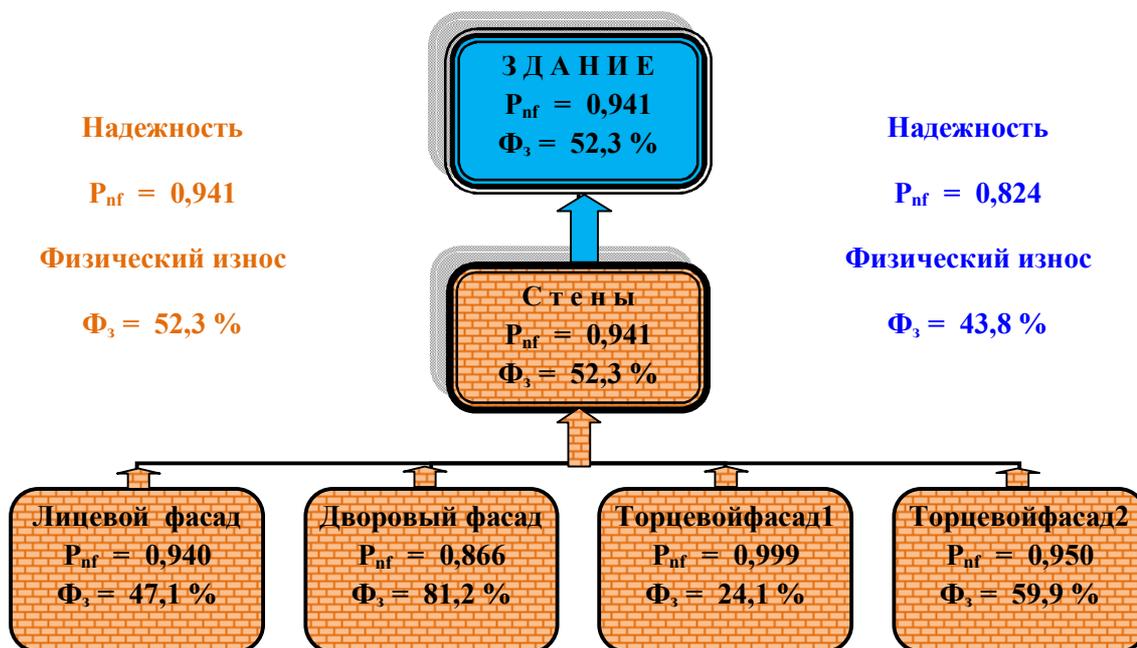


Рисунок 8.12 – Надежность и физический износ для подсистемы «наружные стены»

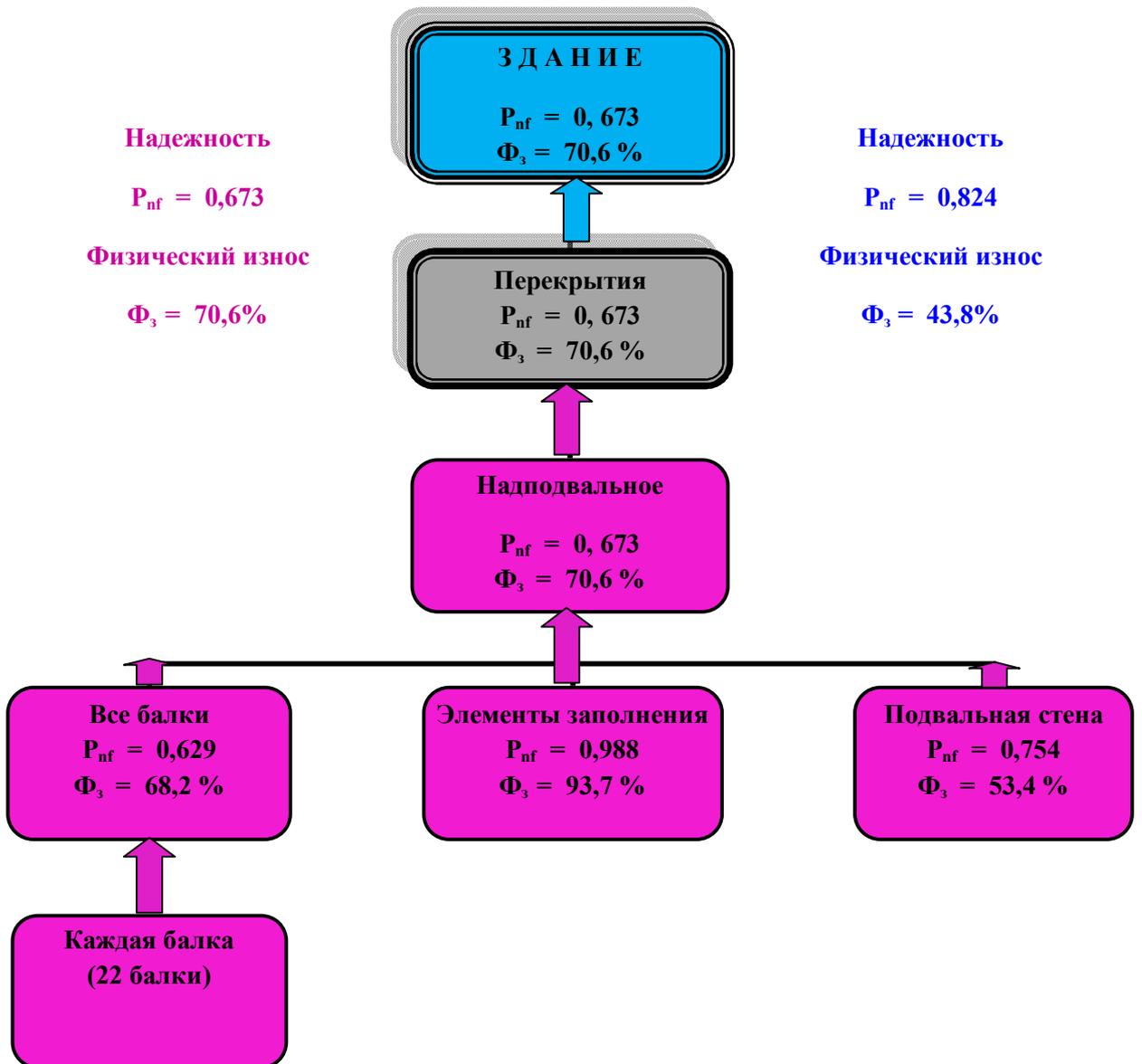


Рисунок 8.13 – Надежность и физический износ для подсистемы «надподвальное перекрытие»

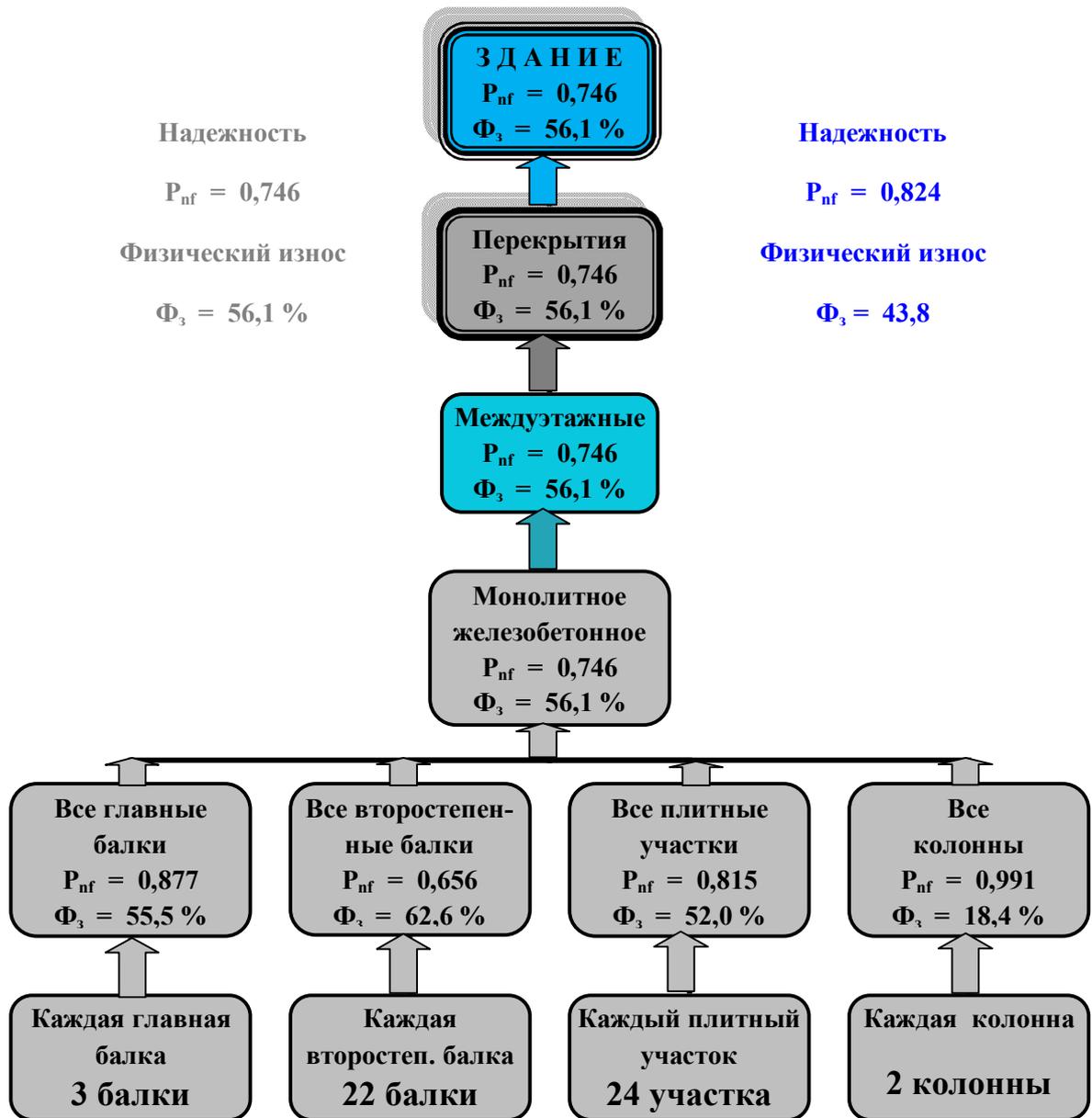


Рисунок 8.14 – Надежность и физический износ для подсистемы «монолитное железобетонное перекрытие»

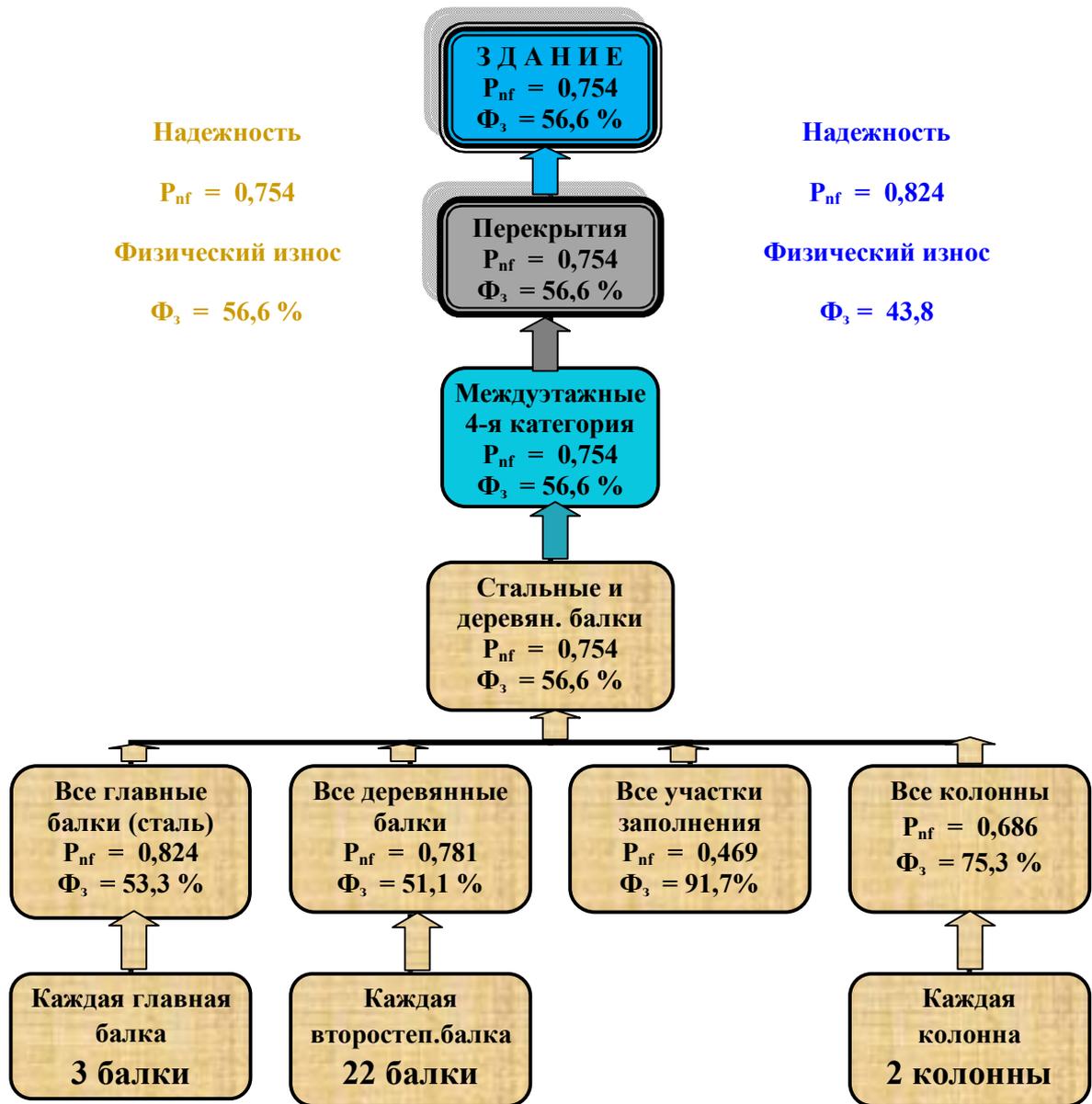


Рисунок 8.15 – Надежность и физический износ для подсистемы «сталедеревянное перекрытие»

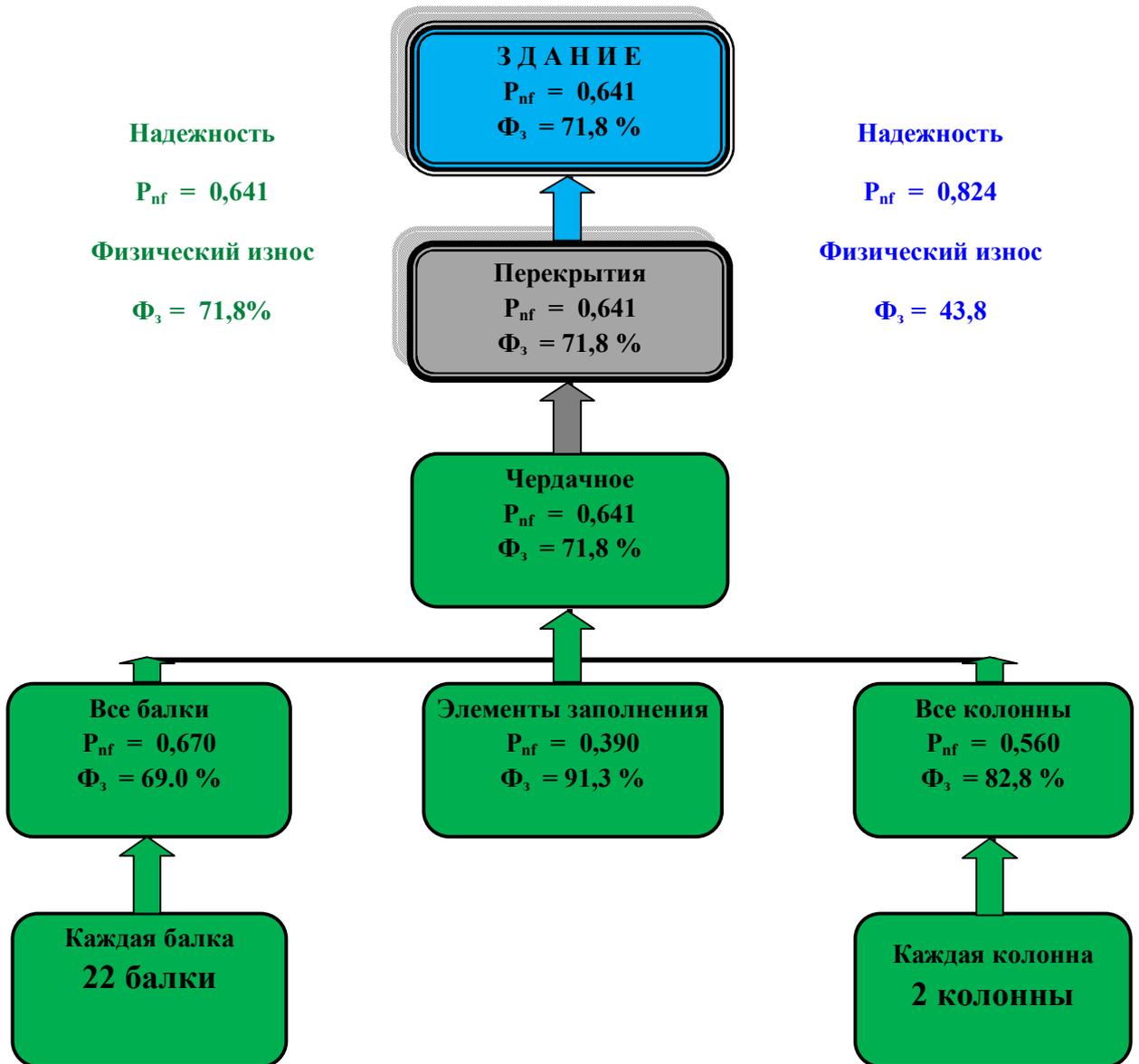


Рисунок 8.16 – Надежность и физический износ для подсистемы «чердачное перекрытие»

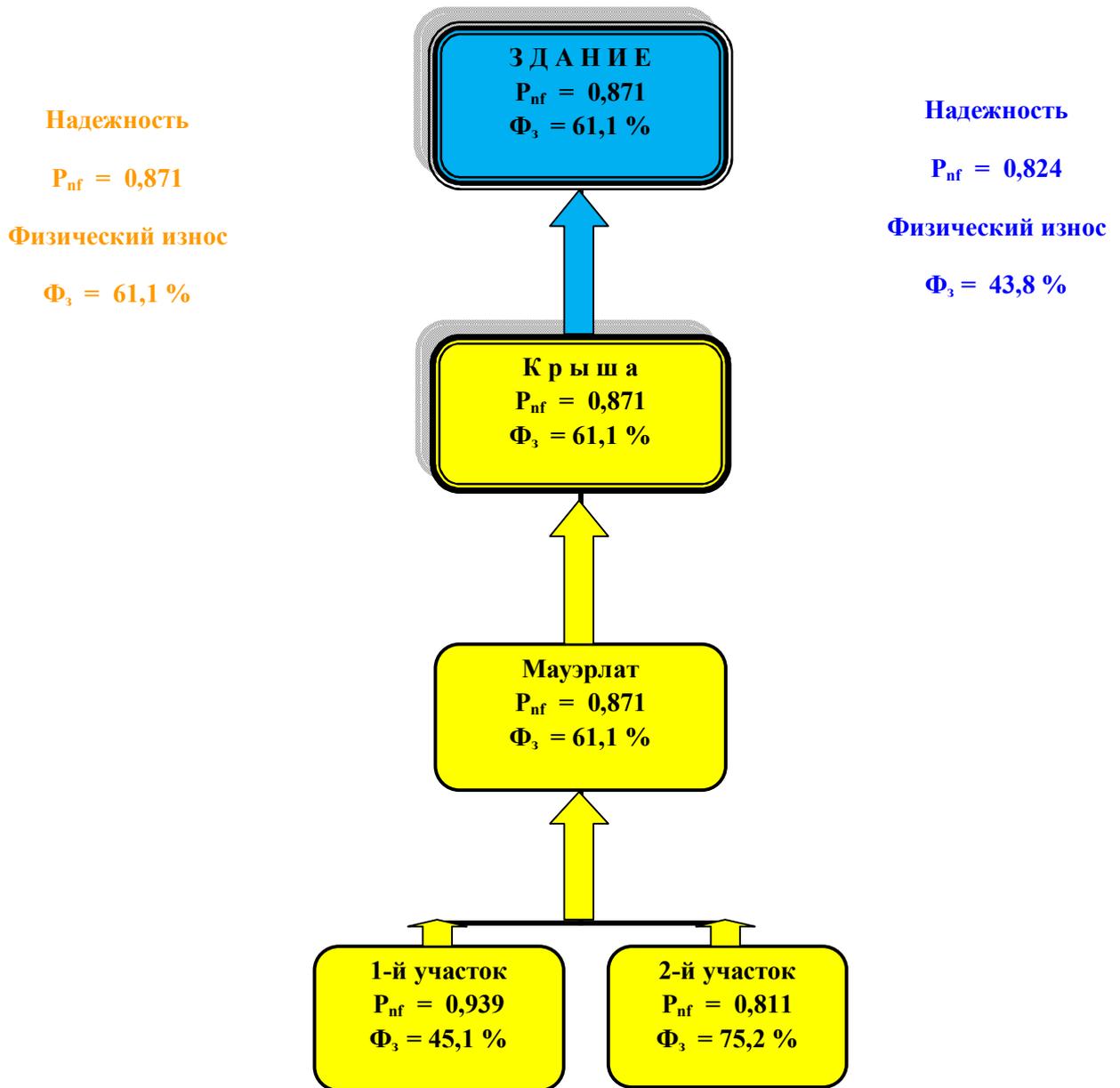


Рисунок 8.17 – Надежность и физический износ для подсистемы «мауэрлат крыши»

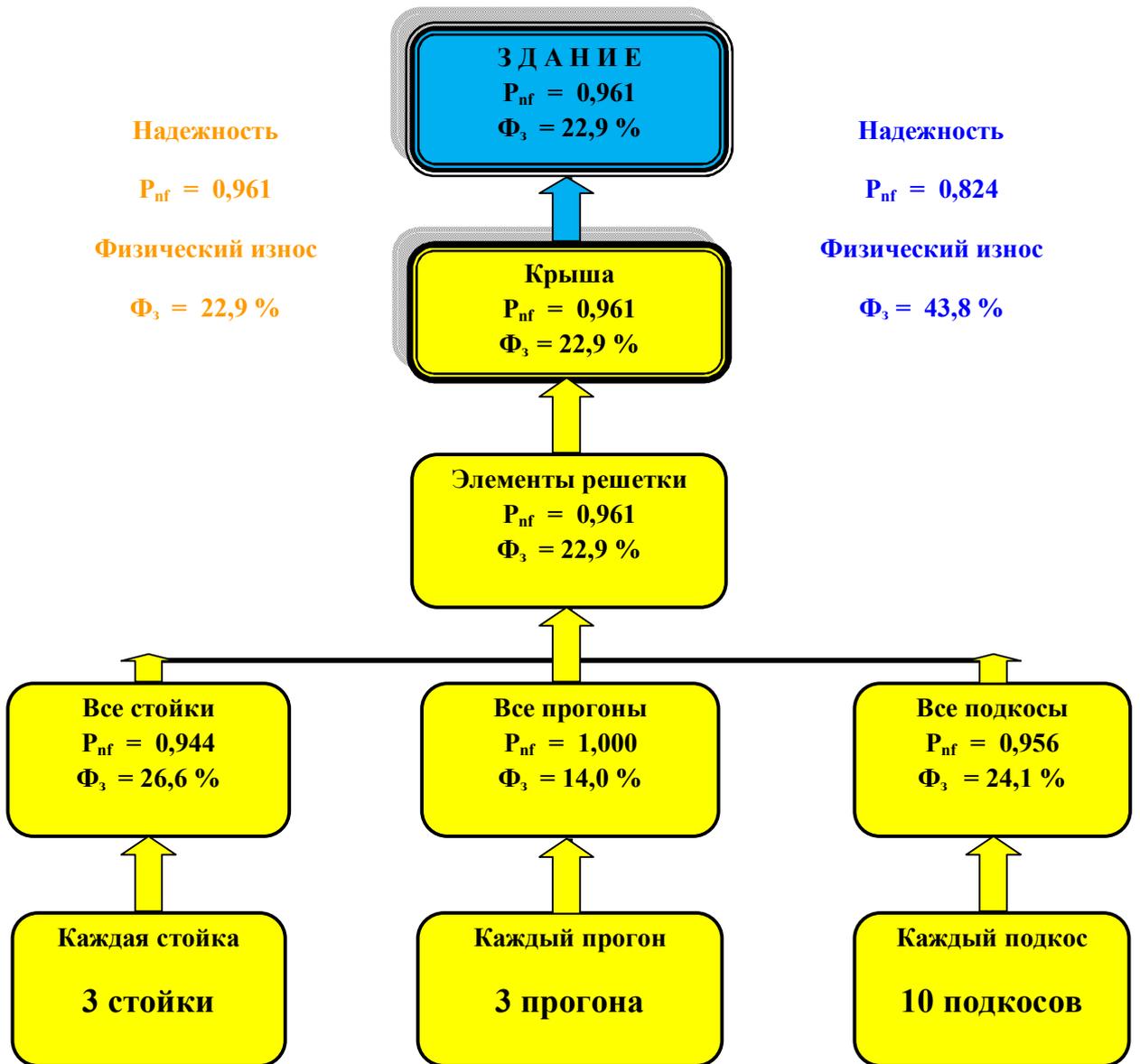


Рисунок 8.18 – Надежность и физический износ для подсистемы «элементы решетки крыши»

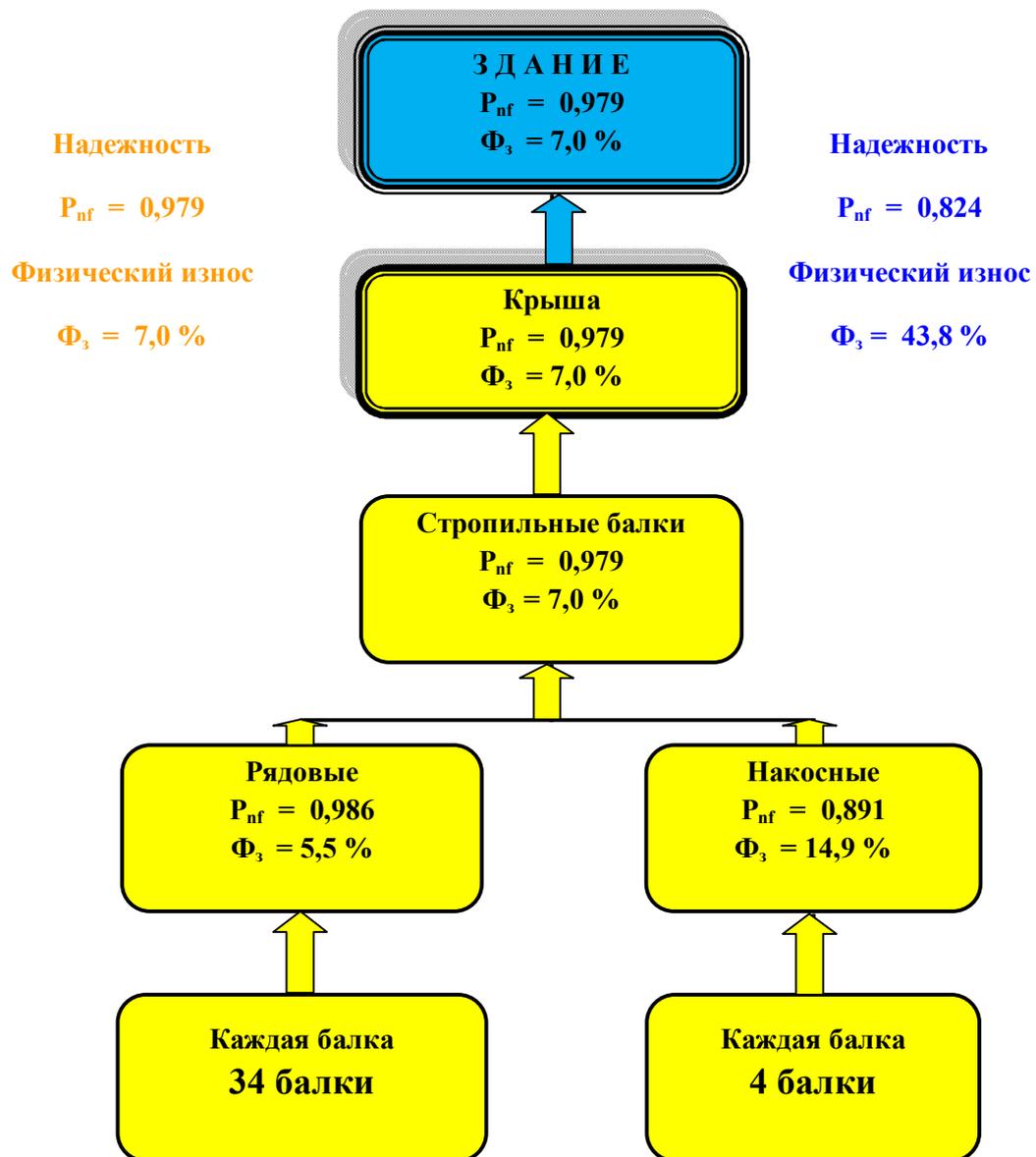


Рисунок 8.19 – Надежность и физический износ для подсистемы «стропильные балки»

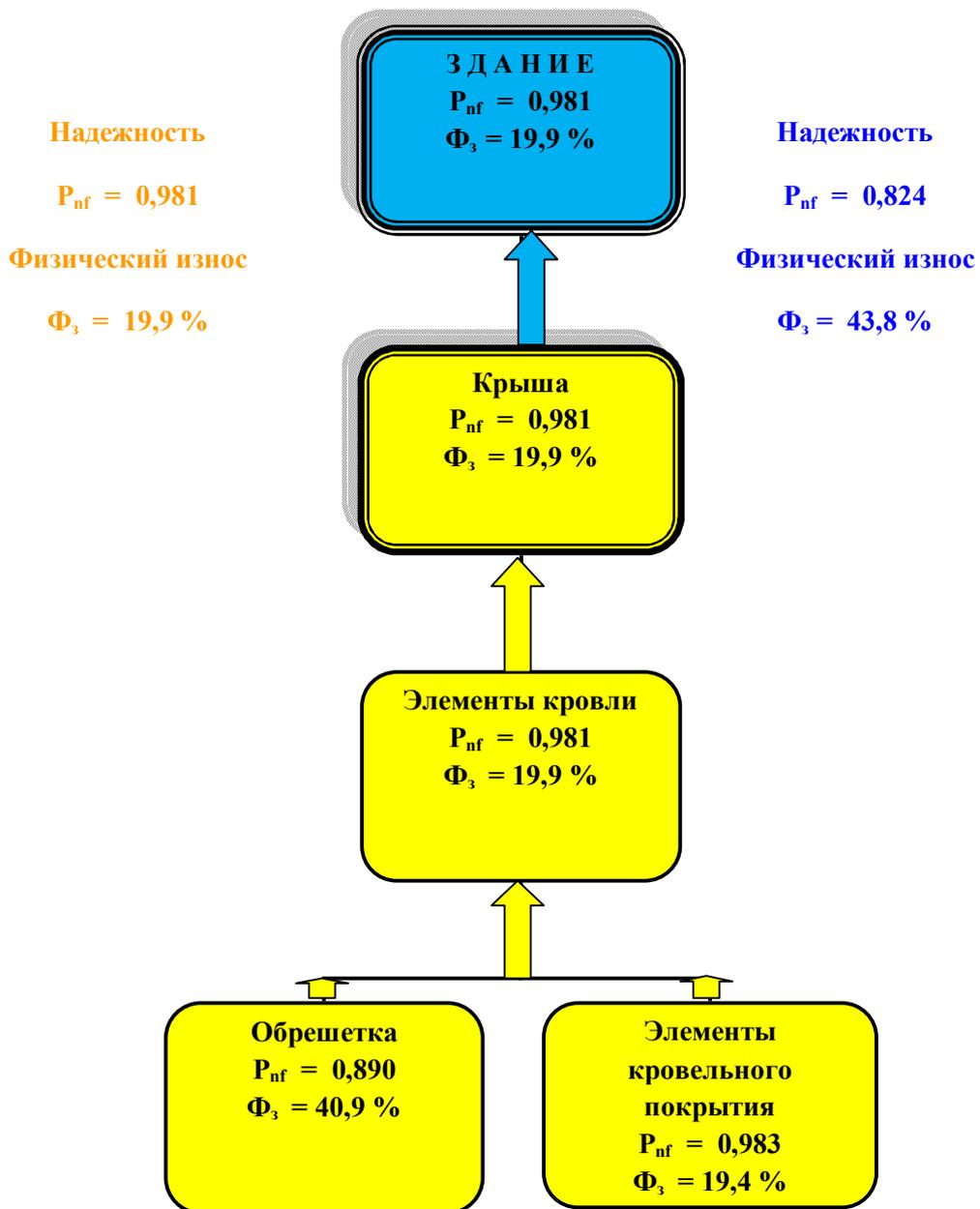


Рисунок 8.20 – Надежность и физический износ для подсистемы «элементы кровли»

Результаты выполненного вероятностного анализа физического износа всего здания по данным физического износа укрупненных конструктивных подсистем ниже представлены в табличном виде (таблица 8.3). В эту же таблицу сведены

также полученные ранее данные диагностирования технического состояния и надежности этих же подсистем.

Таблица 8.3 – Численные значения вероятностных параметров надежности, физического износа и состояний для основных конструктивных подсистем и здания в целом

Подсистемы	$P_{nf}$	Физический износ, %	$P(S_i/K^*)$	Категория
1	2	3	4	5
Фундаменты	0,878	55,4	0,332	4
Наружные стены	0,941	52,3	0,464	4
Надподвальное перекрытие	0,673	70,6	0,379	4
Монолитное жб перекрытие	0,746	56,1	0,307	4
Сталедеревянное перекрытие	0,754	56,6	0,320	4
Чердачное перекрытие	0,641	71,8	0,359	5
Мауэрлат крыши	0,871	61,1	0,482	4
Элементы решетки	0,961	22,9	0,329	2
Стропильные балки	0,979	7,0	0,564	2
Кровельное покрытие	0,981	19,9	0,433	3
<b>Здание в целом</b>	<b>0,824</b>	<b>43,8</b>	<b>0,262</b>	<b>4</b>

Как видно из представленного материала, в рассматриваемом примере максимальное значение дают показатели физического износа конструкций чердачного перекрытия, что выглядит достаточно убедительно и часто встречается в реальной практике обследований. Необходимо отметить, что физический износ здания, вычисленный на основании анализа физического износа только элементов решетки, стропильных балок и конструкций кровли не

превышает значения 43,8 %, вычисленного для здания в целом при прохождении по всем уровням и ветвям иерархии. Остальные значения, как видно (в третьей колонке выделены цветом), имеют заметно больший уровень износа.

Таким образом, разработанный вероятностный аппарат диагностирования состояний рассматриваемых зданий, основанный на статистическом материале многочисленных обследований прошлых лет, оказался вполне приемлемым и для расчета физического износа элементов, групп элементов и подсистем этих зданий. Получены достаточно убедительные результаты, свидетельствующие о возможности полностью пересмотреть существующую общепринятую методику расчета физического износа, распространив предложенный алгоритм и на другие конструктивные системы любых зданий и сооружений. Такой подход вполне может стать основой разработки новых современных нормативных документов в части создания научно обоснованных методик расчета физического износа. Очевидно, что при создании этих методик важно для каждого диагностируемого элемента ввести единую шкалу оценки технического состояния и при выполнении расчетов физического износа, и при определении категорий состояния. В современных литературных источниках встречаются подобные предложения в различных вариантах представления итоговой таблицы. Обобщая имеющийся материал и основываясь на результатах проведенного исследования, можно, например, для кирпичных стен предложить следующую совмещенную шкалу состояний и износа (таблица 8.4).

Таблица 8.4 – Совмещенная шкала состояний и износа

<b>Состояния</b>	Исправное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Недопустимое	Аварийное
<b>Номера категорий</b>	1	2	3	4	5
<b>Интервалы износа, %</b>	0 – 15	16 – 30	31 – 50	51 – 75	76 – 95

Выводы по главе 8 содержат следующие соображения.

1. Методика расчета показателей надежности с использованием данных вероятностного анализа технического состояния конструктивных элементов здания рассмотрена на примере ранее полученных результатов диагностирования главных балок монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия. Показано, что ранее построенное в этом случае «дерево диагнозов» после формулирования понятия отказа стало вполне обоснованной графической моделью оценки надежности, т. е. рассматривается как «дерево отказов». В основу построения методики расчета надежности положен принцип разделения и последующего комбинирования полученных по расчетам вероятностей состояний.

2. Последовательность решения этой задачи аналогична последовательности, представленной ранее в главе 6 (п. 6.6). Отличие состоит в том, что разделение здесь выполнено по схеме «4 + 1». Именно на основе этой формулы принято решение считать вероятность отказа, равной апостериорной вероятности пятого аварийного состояния. На диаграммах далее на этой основе проиллюстрирована процедура расчета надежности всего здания.

3. Предложенная вероятностная модель и реализованный на ее основе прямой ход диагностирования, который необходимо пройти обязательно, позволили также построить методику расчета физического износа элементов, групп элементов, подсистем и здания в целом на основе вероятностного подхода. Здесь тоже предложено выполнить разделение и последующее комбинирование апостериорных вероятностей состояний, но опять-таки по схеме «3 + 2». Принято решение физическим износом считать попадание каждого элемента структуры в четвертое и пятое состояния (предаварийное и аварийное), что никак не противоречит имеющемуся определению физического износа по нормам.

4. Тогда под физическим износом предлагается понимать сумму апостериорных вероятностей двух последних состояний, выраженную в

процентах. Приведены примеры, убедительно свидетельствующие о возможности такого подхода и целесообразности использовать его при разработке новых современных нормативных документов. В них при расчете физического износа предложено заменить *стоимостную* основу долевого «участия» каждого элемента в формировании *технического (физического)* состояния строительной системы (здания или сооружения) в целом на долевого вклад, отражающий именно *техническое (физическое)* состояние каждого элемента. Этим долевым вкладом предлагается считать информационную составляющую технического состояния в виде количества внесенной информации (остаточной энтропии) о состоянии, выраженного в вероятностной форме (вероятности степени определенности). Этот параметр введен в процедуру построения решения, как это продемонстрировано в главе 7, п. 7.2. Процедура расчета физического износа также проиллюстрирована на соответствующих диаграммах.

## ГЛАВА 9

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматриваемые строительные объекты – здания старой городской застройки, являются уникальными строительными системами.

И это не только потому, что очень многие из них относятся к объектам историко-культурного наследия и состоят, в связи с этим, на учете в государственных органах защиты и охраны архитектурно-исторических памятников (в Санкт-Петербурге – это КГИОП) или считаются расположенными в охранной исторической зоне городов.

И это не только потому, что подавляющее большинство из них сугубо индивидуально как по внешнему архитектурному образу, так и по особенностям планировочных компоновок и конструктивных схем.

При решении проблем оценки технического состояния и надежности уникальность этих строительных объектов состоит еще и в том, что для них нет и, вероятнее всего, не может быть никакой проектно-технической документации в современном понимании объема необходимой комплектации этих материалов. То есть инженер ничего не знает о проектном этапе для этих зданий (инженерные изыскания, обоснование и принятие решений по конструктивному исполнению элементов здания, принимаемый нормативный проектный уровень надежности и проектный уровень риска аварий для этих решений). С инженерной точки зрения совершенно ничего не известно и об этапе их возведения (последовательность, продолжительность, применяемые методы и средства производства работ). Таким образом, отсутствует своеобразная точка отсчета или, точнее, первоначальный отсчет, относительно которого по тем или иным имеющимся сегодня методикам оцениваются снижение уровня надежности по сравнению с проектным значением или отмечается увеличение риска принятых проектных решений вследствие длительной эксплуатации объекта. Сегодняшние методики состоят в том, что количественно оценить деграционные процессы в старых строительных материалах разных лет, а также процессы снижения, в связи с этим, несущей

способности конструктивных элементов зданий и, затем, дать заключение об их техническом состоянии, невозможно без этого начального отсчета.

Но есть подход, когда первоначального отсчета может и не быть. Это подход, который связан с разработкой методов сбора, упорядочения и обработки накопленного за многие годы обследований статистического материала, как по состояниям, так и по характерным повреждениям строительных конструкций этих зданий на основе имеющегося и уже зарекомендовавшего себя во многих отраслях техники теоретического аппарата технической диагностики. Этот подход предложен и положен в основу настоящей работы.

По большому счету на основании предложенной в работе методологии диагностирования и на основании полученных результатов исследования, для зданий старой городской застройки следует предложить и разработать свой, отдельный пакет нормативных документов. Эти документы должны регламентировать все процедуры, связанные с условиями эксплуатации старых зданий. Пусть они носят территориальный (ТСН) или ведомственный (ВСН) характер, а еще лучше, федеральный характер. В любом случае содержание этих документов должно быть наполнено строгими правилами обращения с рассматриваемыми объектами для всех условий их «жизненного эксплуатационного цикла» – обследование, мониторинг, реконструкция, восстановление, усиление, а возможно, и демонтаж, частичный или полный, но обязательно всесторонне обоснованный.

По результатам выполненной работы предлагаются следующие выводы.

1. На основе данных имеющейся в архитектурно-исторической среде классификации дано определение каменным зданиям старой городской застройки. Отмечено, что по литературным источникам к ним относятся гражданские (жилые и общественные) и промышленные здания, возведенные до 1917 года. По мнению автора можно несколько уточнить эту классификацию, дополнив к

рассматриваемому классу зданий и те, которые возводились до первых советских пятилеток.

2. Показано, что особенности объемно-планировочных и конструктивных решений старых городских каменных зданий, связанные со спецификой застройки выделяемых участков, играют важную роль на всех этапах оценки их технического состояния. Предложена классификация схем планировочных компоновок и конструктивных схем с дополнениями и корректировкой автора. Дано краткое описание особенностей конструктивного исполнения основных укрупненных несущих конструкций зданий. В процедуре вероятностного диагностирования их технического состояния они рассматриваются, как группы элементов и конструктивные подсистемы.

3. На основе опыта обследования зданий старой городской застройки предложена классификация характерных повреждений каменных конструкций стен, бетонных и железобетонных конструкций надподвальных и междуэтажных перекрытий, стальных и деревянных конструкций перекрытий, а также деревянных конструкций крыши. Приведены примеры повреждений, взятые из фотографического материала отчетов по обследованиям реальных объектов в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Показано, что все выделенные повреждения конструкций составляют основу формирования диагностических признаков со своими разрядами и основу построения диагностических матриц с последующим упорядочением этих признаков и представлением их в вероятностном виде.

4. Подходы и принципы технической диагностики, как области знаний, включающей теоретический аппарат, предназначенный для распознавания состояний систем, позволили построить процедуру распознавания состояний таких сложных технических систем, как рассматриваемые в данной работе здания старой городской застройки. Приведен обзор литературных источников, свидетельствующий о глубоких исторических корнях работ по испытаниям различных материалов и конструкций таких зданий, представляющих собой часть обследовательской деятельности в современном ее понимании. Отмечено, что

комплексный подход к работам по обследованию и диагностике технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в полном, широком понимании этой деятельности, сформировался недавно.

5. Подчеркнуто, что для такого практического и весьма специфического рода деятельности, конкретные и четкие рекомендации по принятию обоснованных решений о фактическом техническом состоянии находящегося в длительной эксплуатации строительного объекта, закрепленные в имеющихся нормативных документах, разработаны недостаточно четко. Имеющиеся в этой литературе разночтения, привносят в реальную практику обследований сложности при принятии конкретных решений. Отмечено, что сказанное особенно актуально для специфики условий старой городской застройки и что именно здания старой городской застройки, их строительная часть, в первую очередь нуждаются в проведении регулярных обследований технического состояния и четкой научно обоснованной организации этих работ.

6. Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния, надежности и износа конструктивных элементов и здания в целом, а также для приведения в современный и согласованный вид существующую в обследовательской деятельности нормативную литературу, в данной работе впервые предлагается использовать теоретический (математический) аппарат технической диагностики, основанный на статистических методах и теории вероятностей с включением в процедуру диагностирования элементов теории информации.

7. Применительно к строительным системам сформулирована постановка задачи при использовании вероятностных методов распознавания технической диагностики и построено решающее правило по назначению соответствующего диагноза. Введены основные соотношения теории вероятностей, применительно к задачам диагностирования состояний строительных систем. Показано, что для диагностирования наиболее распространенными являются статистические методы, основанные на формуле Байеса. Разработана методика применения байесовской процедуры для диагностики состояний элементов строительных

систем. Принято решающее правило диагностирования в методе Байеса, которое состоит в том, что объект с комплексом признаков  $K^*$  относится к состоянию  $S_i$ , если вычисленная по методу Байеса апостериорная вероятность этого состояния является наибольшей.

8. Для строительных конструкций рассматриваемых зданий кроме Байесовской процедуры разработана процедура построения решения на основе методов статистических решений. Это позволило получить соотношения, которые в рассматриваемом вероятностном анализе используются для обоснования назначения пороговых вероятностных параметров.

9. Показано, что в процедуру принятия решений о назначении диагноза для строительных конструкций, можно ввести положения и понятия теории информации, основным из которых является понятие энтропии системы. На этой основе даны определения максимальной энтропии, максимальной энтропии с учетом априорной статистики, остаточной энтропии, как степени определенности (количество внесенной информации), а также определение вероятности степени определенности. Доказано, что для статистически независимых систем, состоящих из нескольких элементов, энтропия системы равна сумме энтропий этих элементов. Это же свойство относится и к остаточной энтропии.

10. На первых этапах диагностирования с использованием аппарата теоретических методов технической диагностики введено понятие «состояния» и определено их количество. Приведены данные о многочисленных разночтениях в формулировании состояний и определении их количества, которые имеют место в различных литературных источниках (таблица 5.1). Отмечено, что эти обстоятельства четкости при принятии конкретных решений в реальной практической деятельности не добавляют. Обосновано и принято решение в дальнейшем вероятностном анализе техническое состояние строительных систем рассматривать на основе сформулированных в [131] пяти категорий. Предложено считать это минимальным количеством для таких сложных технических систем, как здания старой городской застройки.

11. На основании изучения многочисленных литературных источников и руководствуясь накопленным опытом обследований, а также данными статистической обработки разработанных по результатам обследований рекомендаций, предложены конкретные мероприятия по приведению конструктивных элементов рассматриваемых зданий в исправное состояние и по поддержанию этого состояния на протяжении как минимум пятилетнего срока эксплуатации (до следующего обследования). Мероприятия расписаны в зависимости от присвоенной по результатам обследований категории технического состояния для конструкций стен (кирпичных кладок), для бетонных и железобетонных конструкций перекрытий, для стальных и деревянных конструкций перекрытий, для деревянных конструкций крыши, а также для бутовых кладок фундаментных конструкций. В таком конкретном виде для каждого состояния каждого конструктивного элемента рассматриваемых зданий мероприятия предложены впервые.

12. Введено и сформулировано понятие диагностических матриц. Диагностические матрицы участвуют в построении решения на основе уровневой формулировки задачи на самом «низшем» (базисном) уровне и только на этом уровне проходят байесовскую обработку накопленной статистики. Это уровень отдельных конструктивных элементов, из которых для рассматриваемых зданий составляются вышележащие структуры: группы элементов и подсистемы и, наконец, здание в целом. В шестой главе, имея в виду важность прохождения базисного уровня, диагностические матрицы подвергаются всестороннему анализу на предмет выявления степени влияния входной в этот уровень статистической информации на «выход» из него.

13. Для характерных примеров конструктивных элементов исследуются полученные обследовательской статистикой распределения априорных вероятностей состояний и в итоге определяются аппроксимирующие эти распределения известные из математики функции. Анализируется возможность такой аппроксимации, возникающие погрешности и их влияние на искомый выходной результат диагностирования. Показано (в том числе и на конкретных

примерах), что с достаточной степенью точности предложенный подход вполне может быть использован на практике в том случае, когда объем статистической информации недостаточен или вообще отсутствует. Отмечено, что это свидетельствует об устойчивости диагностических матриц.

14. Анализ информативности вероятностной статистики диагностических матриц проводится с позиций таких понятий теории информации, как диагностический вес и диагностическая ценность признаков (или малоинформативность признаков), а также диагностическая ценность самого обследования. Для элементов строительных систем такие методики предложены и реализованы впервые. На конкретном примере продемонстрирован эффект увеличения степени определенности (или уменьшения энтропии) состояния рассматриваемого конструктивного элемента (почти в 1,5 раза), а значит и уверенности при принятии решения о его состоянии после исключения из расчетной байесовской процедуры малоинформативной статистики. Разработанные в диссертации методики позволяют выполнить и такой анализ.

15. Оценена степень влияния изменчивости входной информации (априорной статистики) на выходную (распределение апостериорных вероятностей состояний) с использованием методик интервального подхода, когда основные вероятностные параметры диагностических матриц вводятся в байесовскую процедуру в виде интервальных чисел. На основе многовариантного счета (численного эксперимента) получены результаты, которые с большой степенью уверенности подтвердили устойчивость диагностических матриц. Численно показана стабильность качественного результата диагностирования даже в том случае, когда априорные вероятности состояний (статистика) вводились в байесовскую процедуру расчета в виде равновероятного распределения, т. е. при максимальной энтропии.

16. Впервые для диагностирования элементов строительных конструкций зданий старой городской застройки на основе рассмотрения пяти состояний, использованы методы теории нечетких множеств. Определены основные понятия этой теории применительно к строительным объектам и выполнен анализ

устойчивости диагностических матриц с использованием методов нечеткой логики. Приведен пример диагностирования состояний одного и того же конструктивного элемента на основе двух подходов – метода Байеса и методов нечеткой логики. Результаты расчетов привели практически к одинаковым выводам, еще раз подтверждающим устойчивость диагностических матриц с точки зрения влияния входной статистики на результат диагностирования.

17. Предложена методика определения очень важного параметра, позволяющего с большей уверенностью принимать решение о присвоении категории состояния. Это методика, которая связана с назначением порогового значения для вероятностных параметров состояний. По-новому предложено сформулировать решающее правило диагностирования, учитывающее выведенные границы пороговых вероятностных параметров. Минимальное приемлемое пороговое значение для назначения категорий технического состояния принято считать равным 0,690.

18. Все представленные и всесторонне проверенные диагностические матрицы сформированы автором на основе глубокого ретроспективного анализа результатов обследований прошлых лет и собственного опыта работы в данной области. Автором же разработана удобная для анализа табличная форма размещения и упорядочения вероятностного материала в диагностических матрицах.

19. Для разработки моделей принятия решений о состояниях многоэлементной системы – здания в целом, создана методология построения многоуровневой, иерархической структуры диагностики, которая позволяет оценивать состояние высших структур на каждом, интересующем пользователя, уровне. Такая модель построена. В основу ее построения положен принцип передачи информации о состояниях с низших на последующие уровни через информационный вклад вероятностных параметров состояний отдельных элементов, в вероятностные параметры состояний групп элементов и подсистем следующих уровней иерархии. Этот информационный вклад (или доля) формулируется и определяется с использованием понятий и методов теории

информации, в частности, с использованием основного понятия этой теории – информационной энтропии. Для этого в первую очередь построена графическая модель диагностирования в виде «диагностического дерева».

20. Построение «диагностического дерева» рассмотрено на примере типичного для старой застройки здания. Основные конструктивные структуры здания выделены укрупненно, для элементов и групп элементов которых уже сформированы и проанализированы диагностические матрицы. Для этого здания показан пример построения «диагностического дерева» с учетом выделенных конструктивных подсистем. Получилась графическая модель, которая в рассматриваемом примере по максимуму представлена в виде шестиуровневой иерархической структуры.

21. Разработан алгоритм построения решения для уровневого вероятностного анализа состояний элементов иерархической структуры в общем виде. С использованием основных понятий теории информации выведены зависимости, позволяющие осуществлять переход с уровня на уровень. Таким образом, создана своеобразная математическая переходная модель для продвижения от низших уровней на высшие, обеспечивая прямой ход диагностирования (по «дереву диагнозов» – продвижение снизу вверх). Для отдельных ветвей «дерева диагнозов» – подсистем «монолитное железобетонное перекрытие» и «сталедеревянное перекрытие» в качестве примера выполнен расчет и получены численные значения распределения вероятностей состояний для всех элементов и групп элементов, входящих в эти подсистемы.

22. Рассмотрен численный пример построения решения для выполнения многоуровневого вероятностного анализа технического состояния всех элементов, групп элементов и всех подсистем *всего рассматриваемого здания*. При этом предложенная уровневая иерархическая схема характеризуется тем, что выделенные в ней уровни диагностирования, различные для различных конструктивных подсистем, не являются строго иерархически соподчиненными. Это важно и означает, что нет необходимости обязательно проходить все уровни всех подсистем, чтобы выйти на вершину иерархии – здание в целом. Можно это

делать по отдельности для каждой интересующей эксперта «ветви дерева». Для наглядности при демонстрации работы алгоритма предложенное «диагностическое дерево» разделено на отдельные фрагменты – ветви, для элементов которых вычисляются и анализируются получившиеся вероятностные параметры. Для проведения всех необходимых вычислений создан программный продукт «ВАТС» (приложение В).

23. После реализации прямого хода диагностирования (он должен быть пройден обязательно) оказалось возможным построить процедуру прохождения иерархической структуры сверху вниз, т. е. в обратном направлении. Наглядно на диаграммах представлен результат этой процедуры. Показанное на диаграммах процентное распределение долей информации о состояниях между элементами вероятностной иерархической структуры вполне может дополнить полученную чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами. Не исключено, что представленное в рамках обратного хода долевое распределение вклада о состояниях может быть положено в основу проведения стоимостных расчетов в методиках оценки строительной части объектов недвижимости.

24. Дано определение понятия «надежность» применительно к рассматриваемым строительным системам, находящимся в условиях длительной эксплуатации. Обсуждаются проблемы эксплуатационной надежности. Рассмотрены общие положения применения вероятностно-статистических методов определения показателей надежности, которые рекомендованы современными нормативными документами и которые в данном случае вписываются в разработанную методологию вероятностного многоуровневого диагностирования технического состояния зданий.

25. Сформулировано основное понятие теории надежности – отказ применительно к зданиям старой городской застройки и обсуждены классификация и особенности определения этого понятия. Отмечено, что для этих объектов нет полноценной статистики отказов ни для элементов, ни для объекта в целом. Однако для этих зданий накопился значительный материал по статистике

диагнозов, который в данной работе удалось в определенной степени упорядочить и уложить в рамки уже имеющихся, разработанных методик теоретического аппарата технической диагностики и теории информации. Построенная на этой основе процедура прямого хода диагностирования (см. главу 7) и ее результаты позволяют несколько по иному посмотреть и на проблему надежности, и на ее решение.

26. Методика расчета одного из основных показателей надежности – безотказности с использованием данных вероятностного анализа технического состояния конструктивных элементов здания рассмотрена на примере ранее полученных результатов диагностирования главных балок монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия. В основу построения методики расчета надежности (безотказности) положен принцип разделения и последующего комбинирования полученных по расчетам вероятностей состояний. Последовательность решения этой задачи состоит в том, что разделение априорных и апостериорных вероятностей пяти состояний выполнено по схеме «4 + 1». Именно на основе этой формулы принято решение на момент обследования считать вероятность отказа, равной апостериорной вероятности пятого аварийного состояния, а вероятность безотказной работы – сумме вероятностей четырех первых состояний. На диаграммах на этой основе проиллюстрирована процедура расчета этих вероятностных параметров для всех элементов и здания в целом.

27. Предложенная вероятностная модель и реализованный на ее основе прямой ход диагностирования, который необходимо пройти обязательно, позволили также построить методику расчета физического износа элементов, групп элементов, подсистем и здания в целом на основе разработанного вероятностного подхода. Для этого тоже выполняется разделение и последующее комбинирование априорных и апостериорных вероятностей пяти состояний, но по схеме «3 + 2». Принято решение физическим износом считать попадание каждого элемента структуры в четвертое и пятое состояния (недопустимое и аварийное), что никак не противоречит имеющемуся в существующих нормах определению

физического износа. Таким образом, физическим износом для каждого элемента предлагается считать сумму вероятностей этих двух состояний, выраженную в процентах.

28. Приведенные в диссертации примеры расчета физического износа, убедительно свидетельствуют о возможности такого подхода и целесообразности использовать его при разработке новых современных нормативных документов. В них при расчете физического износа предложено заменить *стоимостную* основу долевого «участия» каждого элемента в формировании *технического (физического)* состояния строительной системы (здания или сооружения в целом) на долевой вклад, отражающий именно *техническое (физическое)* состояние каждого элемента. Этим долевым вкладом и предлагается считать информационную составляющую технического состояния в виде количества внесенной информации (остаточной энтропии или степени определенности), выраженной в вероятностной форме (вероятности степени определенности). Этот параметр рассчитывается и вводится в процедуру построения решения для каждого элемента на каждом уровне, как это продемонстрировано в главе 7. Процедура расчета физического износа также проиллюстрирована на соответствующих диаграммах в главе 8.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК****Список использованных источников**

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. В 4-х книгах. – М.: Издательство АСВ, 1995 – 1998. – 1322 с.
2. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании [Текст] / Г.Г. Азгальдов. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
3. Аистов, Н. Н. Испытание сооружений [Текст] / Н. Н. Аистов . – 2 изд. испр. и доп. – М. ; Л. : Госстройиздат, 1960 . – 315 с.
4. Айвазян, С.А.и др. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание [Текст] / С.А. Айвазян, Н.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471с.
5. Алексеева, Е. Л. Оценка технического состояния строительных конструкций на основе закономерностей повреждаемости главных корпусов предприятий теплоэнергетики: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Л. Алексеева; МГСУ. – М., 2012. – 20 с.
6. Астафьев, Д. О. Теория и расчет реконструируемых железобетонных конструкций: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Д.О. Астафьев; СПбГАСУ. – СПб, 1995. – 40 с.
7. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании [Текст] / Пер. с англ. Ю.Д. Сухова. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.
8. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции [Текст] / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1977. – 783 с.
9. Бедов, А. И. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий [Текст] / А. И. Бедов, В. Ф. Сапрыкин. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 192 с.

10. Бейлезон, Ю.В. Конспект лекций по основным принципам оценки технического состояния зданий и сооружений [Текст] / Ю.В. Бейлезон. – М.: Изд-во РОО, 2006. – 46 с.
11. Беллендир, Е. Н. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений [Текст] / Е.Н. Беллендир, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин, О.М. Финагенов, С.Г. Шульман. Том 2. – СПб: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2004. – 524 с.
12. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях. – В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 46 с.
13. Бирбраер, А. Н. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях [Текст] / А.Н. Бирбраер, С. Г. Шульман. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 303 с.
14. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: изд. "Машиностроение", 1978. – 240 с.
15. Бойко, М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий [Текст] / М.Д. Бойко. – Л.: Стройиздат, 1975. – 336 с.
16. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений [Текст] / В.В. Болотин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 351с.
17. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
18. Буторин, С.Л. Методы анализа безопасности АЭС при технологических авариях [Текст] / Буторин С.Л., Шульман Г.С, Шульман С.Г. – М.: Машиностроение, 2012. – 437 с.
19. Введение в методы байесовского статистического вывода [Текст] / Дж. Макхейл. – М.: Изд-во «Книга по требованию», 2012. – 337 с.

20. ВСН 57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий. Госстрой России – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 92 с.
21. ВСН 48-86(р). Правила безопасности при проведении обследований жилых домов для проектирования капитального ремонта. – М.: Госгражданстрой, 1986. – 68 с.
22. ВСН 6-90. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. – М.: Минавтодор, 1990. – 96 с.
23. ВСН 53-86(Р). Правила оценки физического износа жилых зданий. – М.: Госгражданстрой, 1986. – 71 с.
24. ВСН 2-89. Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга. – Л.: ЛенжилНИИпроект, 1989. – 82 с.
25. Галиуллин, Р. Р. Оценка технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.Р. Галиуллин; Казан. гос. архитектур.-строит. акад. – Казань, 2012. – 20 с.
26. Гарагаш, Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение-основание» при неравномерных деформациях основания. В 2-х томах. [Текст] / Б.А. Гарагаш. – Изд-во АСВ, 2012. – 888 с.
27. Годунова, А. А. Вероятностный метод расчета строительных конструкций как сложных систем со стохастически зависимыми элементами: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Годунова; МГСУ. – М., 1993. – 145 с.
28. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст] / Введ. 2012-04-12. – М.: ГУП МНИИТЭП, 2011. – 89 с.
29. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Общие требования [Текст] / Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 66 с.
30. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования [Текст] / Введ. 2011-09-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 13 с.

31. ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст] / Введ. 2012 – 03 – 01 Техническим комитетом по стандартизации ТК 318 "Морфлот". – М.: Стандартинформ, 2012. – 105 с.
32. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст] / Введ. 1991 – 01– 01. – М.: Стандартинформ, 1991. – 34 с.
33. Гроздов, В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений [Текст] / В.Т. Гроздов. – СПб, Издательский дом KN+, 2002 – 140 с.
34. Гуров, С.В. Надежность систем при неполной информации [Текст] / С. В. Гуров, Л.В. Уткин. – СПб, 1999 – 160 с.
35. Добромыслов, А. Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: справочное пособие [Текст] / А. Н. Добромыслов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 256 с.
36. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288с.
37. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений [Текст] // Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – 5 – 49 с.
38. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167с.
39. Замыцкий, О. Н. Разработка метода оценки технического состояния деревоклееных элементов строительных конструкций по показателям надежности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Н. Замыцкий; ОГТУ. – Орел, 2010. – 19 с.
40. Зельнер, А. Байесовские методы в эконометрии [Текст] / А. Зельнер. – М.: Статистика, 1980. – 434 с.

41. Землянский, А. А. Обследование и испытание зданий и сооружений [Текст] / А. А. Землянский: учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 240 с.
42. Исайкин, А. Я. Оценка надежности статически неопределимых железобетонных конструкций на основе метода предельного равновесия: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А.Я. Исайкин; Науч.-исслед., проектно-конструкт. и технол. ин-т бетона и железобетона. – М., 2000. – 48 с.
43. Исследование конструкций старых зданий и разработка рекомендаций по их передвижке // Отчет о НИР / АЛТИ; Руков. Б.В. Лабудин. № ГР 01.86.0040979. – Архангельск, 1987. – 76 с.
44. Исследование технического состояния и разработка рекомендаций по реконструкции производственных зданий ЛДК им. Ленина // Отчет о НИР / АЛТИ; Руков. Б.В. Лабудин. № ГР 01.83.070848. – Архангельск, 1984. – 97 с.
45. К вопросу оценки эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений / Финагенов О. М., Шульман С. Г. // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 1999. – Т. 234. – С. 7 – 15.
46. Калашников, М. О. Диагностика и контроль качества строительных конструкций вибрационными методами: дис. ... канд. техн. наук / М.О. Калашников; гос. ун-т - учебно-научно-произв. комплекс. – Орел, 2011. – 154 с.
47. Калинин, В.М. Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений [Текст] / В.М. Калинин, С.Д. Соколова, А.Н. Топилин. – М.: Инфра-М, 2006. – 336 с.
48. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов [Текст] / Госархстройнадзор, М: 1993. – 95 с.
49. Клевцов, В. А. Вопросы проектирования конструкций с использованием теории надежности [Текст] / В. А. Клевцов, Д. В. Кузеванов // Бетон и железобетон. – 2009. – №2. – С. 9 – 12.

50. Коковин А.Ю. Новый подход к определению категорий технического состояния несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Предотвращение аварий зданий и сооружений // Сборник научных трудов. Под ред. Еремина К.И. – Москва: НИИ "Промбезопасность", Холдинговая компания "Велд", ГОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", 2008, С. 109 – 117.
51. Колемаев, В.А. Теория вероятности и математической статистики: Учебное пособие для вузов [Текст] / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский; под ред. В.А. Колемаева. – М.: Высшая школа, 1991.–400 с.
52. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
53. Кошелева, Ж. В. Оценка несущей способности, надежности и остаточного ресурса элементов железобетонных конструкций при ограниченной информации о контролируемых параметрах: дис. ... канд. техн. наук / Ж.В. Кошелева; ВоГТУ. – Вологда, 2004. – 190 с.
54. Кудзис, А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций [Текст] / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Моклас, 1985. – 155 с.
55. Кузнецов, В.П. Интервальные статистические модели [Текст] / В.П. Кузнецов. – Радио и связь, 1991. – 544с.
56. Лабудин, Б.В. Инженерные проблемы сохранения и реконструкции застройки в г. Архангельске / Б.В. Лабудин, Л.И. Левин // М.В. Ломоносов и Север: сб. тез. докл. Всесоюз. конф., июнь 1986 г. Архангельск, 1986. – С. 415 – 416.
57. Лужин, О.В. Вероятностные методы расчета сооружений [Текст] / О.В. Лужин. – М.: МИСИ им. Куйбышева, 1983. – 122 с.
58. Лычев, А. С. Надежность строительных конструкций [Текст] / А. С. Лычев. – М: АСВ, 2008. – 184 с.

59. МДС 13-20.2004 Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий. Пособие по проектированию [Текст] / ЦНИИпромзданий. – М.: 1996. – 85 с.
60. Мельчаков, А.П. Оценка и обеспечение конструктивной безопасности строящихся зданий и сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.04 / А.П. Мельчаков; ЮУрГУ. – Челябинск, 1998. – 50 с.
61. Мельчаков, А.П. Квалиметрия при оценке технического состояния объектов строительства. Предотвращение аварий зданий и сооружений // Сборник научных трудов. Под ред. Еремина К.И. – Москва: НИИ "Промбезопасность", Холдинговая компания "Велд", ГОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова", 2006. – С. 46 – 51.
62. Мельчаков, А.П. Методология регулирования риска аварии зданий и сооружений на стадиях возведения и эксплуатации [Текст] / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров // Строительство и образование: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008. – С. 55 – 59.
63. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварий зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: Монография [Текст] / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 114 с.
64. Мельчаков, А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов: Учебное пособие [Текст] / А.П. Мельчаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.
65. МРР 2.2.07-98 Методика обследований зданий и сооружений при их реконструкции и перепланировке [Текст] / МНИИТЭП. – М.: 1998. – 19 с.
66. Надежность технических систем: справочник [Текст] / Под ред. проф. И. А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

67. Обследование и испытание сооружений: Учеб. для вузов [Текст] / О.В. Лужин, А.Б. Злочевский, В.А. Волохов; Под ред. О.В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.
68. Орлович, Р.Б. Длительная прочность и деформативность конструкций из современных древесных материалов при основных эксплуатационных воздействиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Р.Б. Орлович; Ленинградский инженерно-строительный институт. – Л., 1991. – 50 с.
69. Орлович, Р.Б. Методы ремонта и усиления каменных конструкций / Р.Б. Орлович, В.Н. Деркач // Доклад на научно-практическом семинаре в ФГБОУ ВПО «СПбГПУ». – 2011.
70. Орлович, Р.Б. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий / Р.Б. Орлович, В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – СПб: ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», – 2011. – № 7, С. 12 – 16.
71. Орлович, Р.Б. Использование метода пробных нагрузок для оценки технического состояния эксплуатируемых конструкций / Р.Б. Орлович // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: труды IV Научно-практической конференции. – СПб: ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», 2013.
72. Панкевич, О.Д. Диагностирование трещин строительных конструкций с помощью нечетких баз знаний [Текст] / О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба. – Винница. УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с. (на укр. языке).
73. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 256 с.
74. Попов, Г.Т. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки [Текст] / Г.Т. Попов, Л.Я. Бурак. – 2-е изд., перераб. И доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 240 с.
75. Пособие по классификации дефектов и повреждений строительных конструкций [Текст] / Мин. арх. и стр-ва р. Беларусь. – Минск: 1998. – 65 с.

76. Пособие по практическому выявлению пригодности к восстановлению поврежденных строительных конструкций зданий и сооружений и способом их оперативного усиления [Текст] / ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1996. – 105 с.
77. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий [Текст] / ЦНИИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1997. – 216 с.
78. Предотвращение аварий зданий и сооружений / Сборник научных трудов под ред. К.И. Еремина, выпуск 9. – М., 2010. – 704 с.
79. Предотвращение аварий зданий и сооружений / Сборник научных трудов под ред. К.И. Еремина, выпуск 10. – М., 2011. – 694 с.
80. Применение метода Байеса в диагностике гидропневмоагрегатов / Н. Н. Фатеева // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – №37 (1010). – С. 200 – 206.
81. Применение метода Байеса при оценке вероятности «полета» погружного насосного агрегата на забой скважины / А.Р. Атнагулов и др. // Нефтегазовое дело. – Уфа: УГНТУ, 2008. – С. 1 – 7.
82. Прядко, Н.В. Обследование и реконструкция жилых зданий [Текст] / Н.В. Прядко: Учебное пособие. – Макеевка: ДонНАСА, 2006. – 156 с.
83. Райзер, В.Д. К оценке надежности железобетонных конструкций при нелинейном деформировании / В.Д. Райзер // Бетон и железобетон. – 2000. – №3. – С.15 – 19.
84. Райзер, В.Д. Теория надёжности в строительном проектировании: Монография [Текст] / В.Д. Райзер – М.: изд-во АСВ, 1998. – 304 с.
85. Райзер, В.Д. Расчёт и нормирование надёжности строительных конструкций [Текст] / В.Д. Райзер. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
86. РД 10-89-95. Методические указания по обследованию предприятий (владельцев), эксплуатирующих подъемные сооружения [Текст] / Госгортехнадзор России. – М.: 1995. – 31 с.

87. РД 10-138-97. Методические указания. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин. Часть 1-я [Текст] / Госгортехнадзор России. – М.: 1997. – 53 с.
88. РД 34.21.363-95. Методические указания по обследованию производственных зданий и сооружений тепловых электростанций, подлежащих реконструкции [Текст] / АО "Фирма ОРГРЭС". – М.: 1995. – 62 с.
89. РД 10-197-98. Инструкция по оценке технического состояния болтовых и заклепочных соединений грузоподъемных кранов [Текст] / Госгортехнадзор России. – М.: 1998. – 42 с.
90. РД 22-01-97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследование строительных конструкций специализированными организациями) [Текст] / Госгортехнадзор России. – М.: ЦНИИ «Проектстальконструкция», 1997. – 48 с.
91. Рекомендации по натурным обследованиям железобетонных конструкций. НИИЖБ [Текст] / НИИЖБ. – М., 1972. – 36 с.
92. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Госстрой, 1987. – 31 с.
93. Рекомендации по обследованию стальных конструкций производственных зданий [Текст] / ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова. – М.: Госстрой, 1988. – 105 с.
94. Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам [Текст] / ЦНИИИПромзданий. – М.: Госстрой, 2001. – 131 с.
95. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений [Текст] / НИИСК. – М.: Стройиздат, 1989. – 83 с.

96. Ремнев, В.В. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / В.В. Ремнев, Морозов А.С., Тонких Г.П. – М.: Маршрут, 2005. – 196 с.
97. Римшин, В. И. Обследование и испытание зданий и сооружений : Учеб. для вузов [Текст] / В. Г. Казачек и др. ; под ред. В. И. Римшина . – Изд. 2-е, перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 2006 . – 652 с.
98. Римшин, В. И. Повреждения и методы расчета усиления железобетонных конструкций: дис. ... докт. техн. наук / В.И. Римшин; МГСУ. – М., 2001. – 333 с.
99. Ржаницын, А.Р. Применение статистических методов в расчётах сооружений на прочность и безопасность [Текст] / А.Р. Ржаницын // Строительная промышленность. – 1952. – №6. – С. 12 – 15.
100. Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность [Текст] / А. Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
101. Рогонский, В.А. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений [Текст] / В.А. Рогонский, А.И. Костриц, В.Ф. Шеряков и др. – С.-Петербург: Стройиздат, 2004. – 172 с.
102. Ройтман, А.Г. Деформации и повреждения зданий [Текст] / А.Г. Ройтман – М.: Стройиздат, 1987. – 160 с.
103. Ройтман, А.Г. Надёжность конструкций эксплуатируемых зданий [Текст] / А.Г. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1985. – 175 с.
104. Ройтман, А.Г. Предупреждение аварий жилых зданий [Текст] / А.Г. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1990. – 240 с.
105. Ротштейн, А.П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов [Текст] / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба. – Винница: Континент-ПРИМ, 1997. – 142 с.

106. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ – Винница, 1999. – 320 с.
107. Ротштейн, А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике [Текст] / А.П. Ротштейн. – Винница: Континент – ПРИМ, 1996. – 132 с.
108. Руководство по проведению натурных обследований промышленных зданий и сооружений [Текст] / ЦНИИПромзданий. – М., 1975. – 79 с.
109. Рязанский, А. О. Вероятностная оценка качества строительных конструкций на примере железобетонных сегментных форм: дисс. канд. техн. наук / А.О. Рязанский; Иваново, 1997. – 131 с.
110. Савин, С.Н. Результаты исследования состояния тяжей в оконных проемах барабана купола Кронштадского Морского собора / С.Н. Савин и др. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций // Материалы XV научно-методической конференции ВИТУ. – СПб., 2011. – С. 8 – 12.
111. Савин, С.Н. Результаты динамического мониторинга технического состояния Кронштадского Морского собора за пятилетний период / С.Н. Савин, И.Л. Данилов, И.В. Ситников. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций // Материалы XIV научно-методической конференции ВИТУ. – СПб, 2010. – С. 17 – 21.
112. Савин, С.Н. Мониторинг покрытия цеха сборного железобетона ДСК-3 в Санкт-Петербурге / С.Н. Савин // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: труды IV Научно-практической конференции. – СПб: ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», 2013.
113. Савйовский, В.В. Оценка технического состояния строительных конструкций реконструируемых зданий [Текст] / В.В. Савйовский, И.В. Черняковская. – ИД "Ватерпас", 2002. – 209 с.

114. Савчук, В.П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов [Текст] / В.П. Савчук. – М: Наука, 1989. – 328 с.
115. Сауц А.В., Савин С.Н. Применение конечно-элементного анализа при техническом обследовании железнодорожного моста // Современные научные исследования и инновации. – Апрель 2013. – № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/04/23441>.
116. Свод правил по проектированию и строительству Российской Федерации. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: СП 52-101-2003. – Введ. 2004-03-01 Госстроем России 25.12.2003 №215. – М.:2005. – 62 с.
117. Складнев Н.Н., Дрейер Ф.Э. О вероятностном расчете и проектировании железобетонных изгибаемых элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 3. – С. 1 – 4.
118. Скоробогатов, С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов [Текст] / С.М. Скоробогатов. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2000. – 420 с.
119. Соколов, В.А. Вероятностный анализ технического состояния (ВАТС) строительных конструкций зданий старой городской застройки [Текст] / В.А. Соколов: Монография. – Saarbrücken, Germany: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG. Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121, 2013 . – 152 с.
120. Соколов, В.К. Основные методы и принципы реконструкции жилых зданий [Текст] / В.К. Соколов. – М.: Стройиздат, 1969. – 232 с.
121. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: 2012. – 91 с.
122. СП 64.13330. 2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М.: Минрегион РФ, 2011. – 88 с.

123. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003"
124. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М., 1997. – 103 с.
125. СП 15.13330.2010. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-11. – М.: Минрегион РФ, 2011. – 76 с.
126. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07 – 85\*. – М.: Минрегион РФ, 2011. – 95 с.
127. СП 118.13330.201. Свод правил. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. – 56 с.
128. СП 56.13330.2011 Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001. – 27 с.
129. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М., 2011. – 86 с.
130. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. М., 2011. – 162 с.
131. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Свод правил по проектированию и строительству. [Текст] / М: Госстрой России. ГУЛ ЦПП, 2003. – 28 с.
132. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М.: Минрегион РФ, 2011. – 173 с.
133. Стандарт организации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: СТО 36554501-014-2008. – Введ. 2008 – 10 – 01. – М.: ФГУП «НИЦ Строительство», 2008. – 11 с.
134. Стернин, М.Ю. Метод представления знаний в интеллектуальных системах поддержки экспертных решений [Текст] / М.Ю. Стернин, Г.П. Шепелев // Математическое моделирование и интеллектуальные системы: сборник статей. – 2004. М: – С. 1 – 16.

135. Стрелецкий, Н.С. Основа статистического учета коэффициента запаса, прочности сооружений [Текст] / Н.С. Стрелецкий.– М.: Стройиздат, 1947. – 92 с.
136. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: проект.
137. Тамразян, А.Г. Количественная оценка риска большепролетных сооружений методом анализа "дерева событий" и логико-вероятностного подхода [Текст] / А.Г. Тамразян. Предотвращение аварий зданий и сооружений // Электронный журнал. – М., 2009.
138. Тамразян, А.Г. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера [Текст] / С. Н. Булгаков, Тамразян А.Г., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Под общ. ред. А.Г. Тамразяна – М. : МАКС Пресс, 2004. – 301 с.
139. Техническая эксплуатация жилых зданий [Текст] / С.Н. Нотенко, А.Г. Ройтман, Е.Я Соколова и др. – М.: Высш. шк., 2000. – 429 с.
140. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384 – ФЗ // Российская газета. – 2009. – Федеральный выпуск № 5079.
141. Тимашев, С.А. Надежность больших механических систем [Текст] / С. А. Тимашев. – М.: Наука, 1982. – 184 с.
142. Тимашев, С.А. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций [Текст] / С.А Тимашев. – Свердловск: Уральский Промстройпроект, 1974. – 103 с.
143. ТСН 50-302-96. Устройство фундаментов гражданских зданий и сооружений в Санкт-Петербурге и на территориях, административно подчиненных Санкт-Петербургу. – СПб, 1997. – 86 с.
144. ТСН 50-302-2004. Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. – СПб, 2004. – 75 с.

145. ТСН 30-306-2002. Санкт-Петербурга. Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга. – СПб, «ЛенжилНИИпроект», 2004. – 42 с.
146. Тур, В.В. Модификация частных коэффициентов безопасности при оценке надежности существующих конструкций / В.В. Тур, Н.Н. Шалобыта. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций // Материалы XIV научно-методической конференции ВИТУ. – СПб, 2010. – С. 21 – 27.
147. Улицкий, В.М. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки) [Текст] / В. М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – Санкт-Петербург: «Стройиздат Северо-Запад», 2010. – 552 с.
148. Урочное Положение. Пособие при составлении и проверке смет, при проектировании и исполнении работ [Текст] / Граф Н.И. де-Рошефор, 6-е издание. – Петроград, 1916. – 694 с.
149. Уткин, В. С. Новые методы расчетов надежности строительных конструкций [Текст] / В. С. Уткин, Л. В. Уткин. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 98 с.
150. Уткин, В.С. Экспертный метод определения физического износа зданий / В.С. Уткин, Л.В. Уткин // Промышленное и гражданское строительство, 2000. – № 1. – с. 48.
151. Уткин, В.С. Новый подход к оценке надежности конструкций при наличии интервальных экспертных оценок [Текст] / В.С. Уткин, А.Л. Кузьминов, А.В. Кожевников, А.К. Кудрявцева // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сборник трудов Международной конференции, № 7. – М., 2008, – С. 117 – 120.

152. Уткин, В.С. Расчет надежности строительных конструкций при различных способах описания неполноты информации: учебное пособие [Текст] / В. С. Уткин, Л. В. Уткин. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 126 с.
153. Уткин, Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации: монография [Текст] / Л.В. Уткин. – СПб: Наука, 2007. – 404 с.
154. Файнштейн, А. Основы теории информации [Текст] / А. Файнштейн. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 240 с.
155. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска [Текст] / Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой; Под общ. Ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
156. Хоциалов, Н.Ф. Запасы прочности // Строительная промышленность. –1929.– №10. – С.840 – 844.
157. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетики [Текст] / К. Шеннон. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 504 с.
158. Шишмарев, В.Ю. Надежность технических систем: учебник для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010 – 304 с.
159. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций [Текст] / Г. Шпете; пер. с нем. О. О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с.
160. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
161. Шульман, Г.С. Надежность инженерных сооружений: учеб. пособие [Текст] / Г.С. Шульман, М.В. Романов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.– 48 с.
162. Шульман, С.Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений [Текст] / С.Г. Шульман, Д. В. Стефанишин. – СПб,,: Изд-во ВНИИГ, 1991. – 49 с.
163. Эдвард, А. Патрик. Основы теории распознавания образов. Перевод с англ. В. М. Баронкина и др. [Текст] / Эдвард А. Патрик. – М.: Сов. радио, 1980. – 408 с.

164. Ayyub, B. M. Safety assessment methodology for construction operations / B. M. Ayyub Z., Eldukair Proc. of ICOSSAR'89, ASCE, New York // N.Y., 1989. – P. 771 – 778.
165. Ayyub, B. Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks / B. Ayyub, CRC Press, 2001.
166. Bardossy, A. Fuzzy fatigue life prediction / A. Bardossy, I. Bogardi // Structural Safety, № 6, 1989. – P. 25 – 38.
167. Cai K. Y. Introduction to Fuzzy Reliability / Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996.
168. Cai K.Y., Wen C. Y., Zhang M.,L. Reliability behavior of combined hardware-software systems / In T. Onisaws and J. Kacprzyk, editors, Reliability and Safety Analyses under Fuzziness // Phisica-Verlag, 1995. – P. 183 – 195 p.
169. Cai, K.Y. Fuzzy variables as a basis for a theory of fuzzy reliability in the possibility context / K.Y. Cai , C.Y. Wen, M.L. Zhand // Fuzzy sets syst., №42, 1991. – P. 145 – 172.
170. Ferson, S. Whereof one cannot speak: when input distributions are unknown / S. Ferson, L. Ginzburg, R. Akcakaya // To appear in Risk Analysis, 1996. – P. 135 – 152.
171. Ferson, S. Uncertainty in risk analysis: Towards a general second-order approach combining interval, probabilistic, and fuzzy techniques / S. Ferson, L. Ginzburg, V. Kreinovich, H. Nguyen , S. Starks // In: Proceedings of FUZZ-IEEE'2002. Honolulu, Hawaii, May 2002. – P. 1342 – 1347.
172. Feth, Th. Propagation of uncertainty through multivariate functions in the framework of sets of probability measures / Th. Feth, M. Oberguggenberger // Reliability Engineering and System Safety, Vol. 85, № 1– 3, 2004. – P. 73 – 87.
173. Freudenthal, A.M. Safety and the probability of structural failure / A.M. Freudenthal // Transaction ASCE, 121, 1956. – P. 1337 – 1397.
174. Goutsias, J. Random Sets – Theory and Applications / J. Goutsias, R. Mahler, H. Nguyen, Springer, New York, 1997.

175. Hall, J. Imprecise probabilities of engineering system failure from random and fuzzy set reliability analysis / J. Hall, J. Lawry, J. // In: de Cooman, G.; Fine, T.; Seidenfeld, T. (eds.): Imprecise Probabilities and Their Applications. Proc. of the 1st Int. Symposium ISIPTA'01. Shaker Publishing, Ithaca, USA, June 2001. – P. 195 – 204.
176. Mayer, M. Die Sicherheit der Bauwerte und ihr Berechnung nach Granzkraf statt nach zalassigen Spannungen / M. Mayer // Springer Verlag, Berlin, 1926. – P. 111. – 126.
177. Misra, K.B. A new method for fuzzy fault tree analysis / K. B. Misra, G. G. Weber // Microelectronics and Reliability. V. 29, 1989. – P. 195 – 216.
178. Moeller, B.; Beer, M.; Graf, W.; Hoffmann, A.: Possibility theory based safety assessment / B. Moeller, M. Beer, W. Graf, A. Hoffmann // Comp.-Aided Civil and Infrastruct. Eng., 14, 1999. – P. 81 – 91.
179. Penmetsa, R. Efficient estimation of structural reliability for problems with uncertain intervals / R. Penmetsa, R. Grandhi // International Journal of Computers and Structures, 80, March 2002. – P. 1103 – 1112.
180. Tanaka H., Fan L.T., Lai F.S., Toguchai K. Fault tree analysis by fuzzy probability / H. Tanaka, L. T. Fan, F. S. Lai // IEEE Trans. Reliab. V.32, 1983. – P. 453 – 457.
181. Tonon, F. A random set approach to optimization of uncertain structure / F. Tonon, A. Bernardini // Computers and Structures, 68, 1998. – P. 583 – 600.
182. Tonon, F. Concept of random sets as applied to the design of structures and analysis of expert opinions for aircraft crash / F. Tonon, A. Bernardini, I. Elishakoff // Chaos, Solutions and Fractals, 10, 1999. – P. 1855 – 1868.
183. Tonon, F. Determination of parameters range in rock engineering by means of random set theory / F. Tonon, A. Bernardini, A. Mammino // Reliability Engineering and System Safety, 70, 2000. – P. 241 – 261.

184. Tonon, F. Reliability analysis of rock mass response by means of random set theory / F. Tonon, A. Bernardini, A. Mammino // Reliability Engineering and System Safety, 70, 2000. – P. 263 – 282.
185. Utkin, L.V. Fuzzy reliability of repairable systems in the possibility context / L. V. Utkin // Microelectronics and Reliability. V.34 (12), 1994. – P. 1865 – 1876.
186. Utkin, L.V. The paradox of monotony of systems by fuzzy probability / L. V. Utkin // Microelectronics and Reliability. V. 33(7), 1993. – P. 951 – 955.
187. Utkin, L.V. A general formal approach for fuzzy reliability analysis in the possibility context / L. V. Utkin , S. V. Gurov // Fuzzy Sets and Systems. V. 83, 1996. – P. 203 – 213.
188. Utkin, L.V. Steady-state reliability of repairable systems by combined probability and possibility assumptions / L. V. Utkin , S. V. Gurov // Fuzzy Sets and Systems. V. 97(2), 1998. – P. 193 – 202.
189. Utkin, L.V. Analysis of CIMS by fuzzy human operator behavior / L. V. Utkin , S. V. Gurov, I.B. Shubinsky // Journal of Quality in Maintenance Engineering. V. 3(3), 1997. – P. 189 – 198.
190. Utkin, L.V. Reliability of systems by mixture forms of uncertainty / L. V. Utkin , S. V. Gurov, I.B. Shubinsky // Microelectronics and Reliability. V. 37(5), 1997. – P. 779 – 789.
191. Walley, P. Statistical Reasoning with Imprecise Probabilities / P .Walley, Chapman and Hall, London, 1991. – 706 p.
192. Walley, P. Inferences from multinomial data: Marning about a bag of marbles / P. Walley // Journal of the Royal Statistical Society. Series B, 58, 1996. – P. 3 – 57.
193. Weichselberger, K. Elementare Grundbegriffe einer allgemeineren Wahrscheinlichkeitsrechnung / K. Weichselberger. Physika, Heidelberg, 2001. – 256 p.

194. Wu, J.S. Uncertainties in system analysis: Probabilistic versus non probabilistic theories / J.S. Wu, G.E. Apostolakis, D. Okrent // Reliability Engineering and System Safety. V. 30, 1990. – P. 163 – 181.
195. Yubin, L. Fuzzy random reliability of structures based on fuzzy random variables / L. Yubin, Q. Zhong, W. Guangyuan // Fuzzy Sets and Systems, 86, 1997. – P. 345 – 355.

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО"

*На правах рукописи*

**СОКОЛОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ**

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И  
НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ  
СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Специальность **05.23.01** – **Строительные конструкции, здания и  
сооружения**

**ПРИЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2015

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Приложение А. Диагностические матрицы конструктивных элементов здания .....</b>	<b>3</b>
<b>Приложение Б. Описание программного продукта «ВАТС» .....</b>	<b>25</b>
<i>Б.1. Теоретическая база алгоритма .....</i>	<i>26</i>
<i>Б.2. Логическая последовательность расчета .....</i>	<i>27</i>
<i>Б.3. Иерархия элементов. Информационный вклад.....</i>	<i>28</i>
<i>Б.4. Работа с программным продуктом «ВАТС» .....</i>	<i>32</i>
<i>Б.5. Ввод информации .....</i>	<i>35</i>
<i>Б.6. Результаты расчета.....</i>	<i>40</i>
<i>Б.7. Пример статистического анализа с применением «ВАТС» .</i>	<i>43</i>
<b>Приложение В. Пример вероятностного расчета для всего здания.....</b>	<b>49</b>
<b>Приложение Г. Документы по использованию.....</b>	<b>104</b>

**ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ КОНСТРУКТИВНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ**

Таблица А.1 – Диагностическая матрица для участков фундаментов

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Разряды приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,05</b>	<b>0,43</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>
1	Разрушение материалов кладки	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,02	0,07	0,12	0,26	0,60
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,98	0,93	0,88	0,49	0,40
2	Наличие гидроизоляции	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,65	0,49	0,22	0,14	0,02
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,35	0,51	0,78	0,86	0,98
3	Трещины	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,03	0,05	0,23	0,55	0,95
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,97	0,95	0,77	0,45	0,05
4	Недопустимая дополнительная осадка	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,01	0,09	0,14	0,41	0,87
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,99	0,91	0,86	0,59	0,13
5	Проверка прочности каменной кладки	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,96	0,92	0,87	0,75	0,56
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,04	0,08	0,13	0,25	0,44
6	Удовлетворение условия $p < R$	$k_{61}$	да	$p(k_{61})$	0,99	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{62}$	нет	$p(k_{62})$	0,01	0,10	0,14	0,31	0,80

Таблица А.2 – Диагностическая матрица для участков кирпичных стен

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Разряды признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,12</b>	<b>0,16</b>	<b>0,41</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>
1	Повреждения защитных и отделочных слоев	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,08	0,25	0,51	0,65	0,82
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,92	0,83	0,49	0,46	0,18
2	Нарушение сплошности кладки, деструкция	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,19	0,43	0,77	0,87
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,81	0,57	0,23	0,13
3	Отклонения элементов стен от вертикали	$k_{31}$	нет	$p(k_{31})$	0,96	0,76	0,50	0,40	0,07
		$k_{32}$	< пред.	$p(k_{32})$	0,03	0,18	0,35	0,20	0,03
		$k_{33}$	≥ пред.	$p(k_{33})$	0,01	0,06	0,15	0,40	0,90
4	Увлажн. и замачивание, вымыв. и выветр. раствора	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,51	0,80
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,49	0,20
5	Трещинообразование в результате неравномерных осадок	$k_{51}$	нет	$p(k_{51})$	0,93	0,88	0,69	0,35	0,17
		$k_{52}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{52})$	0,05	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{53}$	> 2,0 мм	$p(k_{53})$	0,02	0,05	0,10	0,25	0,30
6	Силовое трещинообразование	$k_{61}$	нет	$p(k_{61})$	0,89	0,70	0,35	0,20	0,07
		$k_{62}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{62})$	0,08	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{63}$	> 2,0 мм	$p(k_{63})$	0,03	0,05	0,10	0,25	0,30
7	Трещинообразование в результате температурных деформаций	$k_{71}$	нет	$p(k_{71})$	0,84	0,75	0,59	0,25	0,07
		$k_{72}$	≤ 2,0 мм	$p(k_{72})$	0,10	0,15	0,26	0,45	0,53
		$k_{73}$	> 2,0 мм	$p(k_{73})$	0,06	0,10	0,15	0,30	0,40
8	Удовлетворение условия по несущей способности	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,08
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,92

Таблица А.3 – Диагностическая матрица для стальных балок надподвальных перекрытий

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост. $S_1$	Сост. $S_2$	Сост. $S_3$	Сост. $S_4$	Сост. $S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,10</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	<b>0,20</b>	<b>0,16</b>
1	Поврежд. штукатурного слоя и обнажение балок	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,03	0,16	0,33	0,65	0,84
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,97	0,84	0,67	0,35	0,16
2	Коррозия балок	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	поверхност.	$p(k_{22})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	точечная	$p(k_{23})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{24}$	пластинчат.	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
3	Прогиб	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,87	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	до 1/100	$p(k_{32})$	0,10	0,26	0,33	0,43	0,28
		$k_{33}$	$\geq$ 1/100	$p(k_{33})$	0,03	0,08	0,19	0,32	0,61
4	Выполнение условия прочности	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68
5	Выполнение условия жесткости	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,90	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,10	0,16	0,39	0,58	0,77

Таблица А.4 – Диагностическая матрица для бетонного заполнения надподвальных перекрытий по стальным балкам

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,15</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,18</b>	<b>0,12</b>
1	Поврежд. штукатурного слоя	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,13	0,22	0,39	0,67	0,86
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,87	0,78	0,61	0,33	0,14
2	Трещины в бетоне заполнения	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,90	0,66	0,56	0,27	0,03
		$k_{22}$	до 1 мм	$p(k_{22})$	0,08	0,19	0,22	0,34	0,29
		$k_{23}$	$\geq 1$ мм	$p(k_{23})$	0,02	0,15	0,37	0,39	0,68
3	Повреждения бет. заполнения (вывалы, выбоины)	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,04	0,12	0,44	0,78	0,91
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,96	0,88	0,56	0,22	0,09
5	Увлажнение, следы протечек	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,07	0,16	0,38	0,62	0,87
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,93	0,84	0,62	0,38	0,13

Таблица А.5 – Диагностическая матрица для кирпичных кладок подвальных стен и колонн

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Разряды приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,10</b>	<b>0,19</b>	<b>0,22</b>	<b>0,31</b>	<b>0,18</b>
1	Повреждения пов. слоев кладки (деструкция, утрата и т.п.)	$k_{11}$	$\leq 50\%$ площади	$p(k_{11})$	0,07	0,06	0,05	0,11	0,12
		$k_{12}$	$> 50\%$ площади	$p(k_{12})$	0,04	0,12	0,24	0,49	0,72
		$k_{13}$	нет	$p(k_{13})$	0,89	0,82	0,71	0,40	0,06
2	Участки увлажнения и на- мокания	$k_{21}$	$\leq 50\%$ площади	$p(k_{21})$	0,09	0,10	0,12	0,24	0,11
		$k_{22}$	$> 50\%$ площади	$p(k_{22})$	0,03	0,04	0,11	0,53	0,82
		$k_{23}$	нет	$p(k_{23})$	0,88	0,86	0,77	0,23	0,07
3	Силовые трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	нет	$p(k_{31})$	0,97	0,84	0,60	0,15	0,05
		$k_{32}$	$\leq 2,0$ мм	$p(k_{32})$	0,02	0,09	0,23	0,62	0,05
		$k_{33}$	$> 2,0$ мм	$p(k_{33})$	0,01	0,07	0,17	0,23	0,90
4	Выпучивание, отклонение от вертикали	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,15	0,20	0,34	0,41	0,53
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,85	0,80	0,66	0,59	0,47
5	Осадочные трещины (ширина раскрытия)	$k_{51}$	нет	$p(k_{51})$	0,96	0,48	0,47	0,25	0,06
		$k_{52}$	$\leq 2,0$ мм	$p(k_{52})$	0,03	0,31	0,22	0,39	0,11
		$k_{53}$	$> 2,0$ мм	$p(k_{53})$	0,01	0,21	0,31	0,46	0,83
6	Выполнение условия по несущей способности	$k_{61}$	да	$p(k_{61})$	0,98	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{62}$	нет	$p(k_{62})$	0,02	0,10	0,14	0,31	0,80

Таблица А.6 – Диагностическая матрица для главных балок монолитного железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Разряды приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,18</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,11	0,17	0,29	0,54	0,80
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,89	0,83	0,71	0,46	0,20
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,14	0,23	0,77	0,60
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,86	0,77	0,23	0,40
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p(k_{31})$	0,76	0,59	0,40	0,15	0,20
		$k_{32}$	до 1,0 мм	$p(k_{32})$	0,18	0,34	0,43	0,62	0,40
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p(k_{33})$	0,06	0,07	0,17	0,23	0,40
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,31	0,20
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,69	0,80
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,72	0,48	0,49	0,15	0,20
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	0,22	0,31	0,20	0,39	0,20
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,06	0,21	0,31	0,46	0,60
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p(k_{61})$	0,76	0,59	0,29	0,15	0,20
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,18	0,24	0,37	0,39	0,20
		$k_{63}$	> 20%	$p(k_{63})$	0,06	0,17	0,34	0,46	0,60
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каемый	$p(k_{71})$	0,83	0,48	0,51	0,31	0,20
		$k_{72}$	≤ 30%	$p(k_{72})$	0,11	0,38	0,23	0,46	0,20
		$k_{73}$	> 30%	$p(k_{73})$	0,06	0,14	0,26	0,23	0,60
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,20
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,80
9	Условие прочности по наклонным сечениям	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	0,94	0,83	0,60	0,61	0,20
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,06	0,17	0,40	0,39	0,80

Таблица А.7 – Диагностическая матрица для второстепенных балок монолитного железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,15</b>	<b>0,32</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,11</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,12	0,31	0,42	0,66	0,84
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,88	0,69	0,58	0,34	0,16
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,06	0,25	0,40	0,58	0,89
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,75	0,60	0,42	0,11
3	Нормальные трещины (ширина раскрытия)	$k_{31}$	< 0,4 мм	$p(k_{31})$	0,85	0,75	0,66	0,53	0,24
		$k_{32}$	до 1,0 мм	$p(k_{32})$	0,13	0,21	0,27	0,35	0,47
		$k_{33}$	≥ 1,0 мм	$p(k_{33})$	0,02	0,03	0,07	0,12	0,29
4	Наклонные трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,05	0,11	0,26	0,33	0,36
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,95	0,89	0,74	0,67	0,64
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,75	0,50	0,34	0,27	0,22
		$k_{52}$	≤ 30%	$p(k_{52})$	0,18	0,31	0,35	0,39	0,41
		$k_{53}$	> 30%	$p(k_{53})$	0,07	0,19	0,31	0,34	0,37
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	< 5%	$p(k_{61})$	0,75	0,53	0,33	0,24	0,16
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,20	0,26	0,34	0,40	0,41
		$k_{63}$	> 20%	$p(k_{63})$	0,05	0,21	0,33	0,36	0,43
7	П р о г и б	$k_{71}$	допус- каемый	$p(k_{71})$	0,90	0,81	0,61	0,33	0,14
		$k_{72}$	≤ 30%	$p(k_{72})$	0,07	0,12	0,27	0,37	0,41
		$k_{73}$	> 30%	$p(k_{73})$	0,03	0,07	0,12	0,30	0,45
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,93	0,91	0,51	0,32	0,10
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,07	0,09	0,49	0,68	0,90
9	Условие прочности по наклонным сечениям	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	0,91	0,87	0,76	0,57	0,31
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,09	0,13	0,24	0,43	0,69

Таблица А.8 – Диагностическая матрица для плитных участков железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,13	0,33	0,40	0,63	0,85
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,87	0,67	0,60	0,37	0,15
2	Прод. трещины в защ. слое вдоль армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,05	0,25	0,44	0,61	0,87
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,95	0,75	0,56	0,39	0,13
3	Протечки техн. жидкостей (в том числе масел, нефтепродуктов)	$k_{31}$	нет	$p(k_{31})$	0,89	0,70	0,64	0,50	0,14
		$k_{32}$	период.	$p(k_{32})$	0,09	0,26	0,30	0,38	0,57
		$k_{33}$	постоян.	$p(k_{33})$	0,02	0,04	0,06	0,12	0,29
4	Силовые трещ. (наличие)	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,03	0,13	0,25	0,37	0,39
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,97	0,87	0,75	0,63	0,61
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,79	0,51	0,33	0,26	0,24
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p(k_{52})$	0,16	0,30	0,34	0,39	0,37
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p(k_{53})$	0,05	0,19	0,33	0,35	0,39
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	$< 5\%$	$p(k_{61})$	0,79	0,55	0,34	0,22	0,14
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,18	0,25	0,35	0,41	0,42
		$k_{63}$	$> 20\%$	$p(k_{63})$	0,03	0,20	0,31	0,37	0,44
7	П р о г и б (наличие)	$k_{71}$	да	$p(k_{71})$	0,03	0,11	0,19	0,27	0,35
		$k_{72}$	нет	$p(k_{72})$	0,97	0,89	0,81	0,73	0,65
8	Условие прочности по нормальным сечениям	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,92	0,84	0,61	0,42	0,20
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,08	0,16	0,39	0,58	0,80

Таблица А.9 – Диагностическая матрица для колонн монолитного железобетонного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,25</b>	<b>0,31</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>
1	Поврежд. бетона, сниж. его св-ва по отн. к арм.	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,07	0,19	0,31	0,69	0,87
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,93	0,81	0,69	0,31	0,13
2	Трещины в защ. слое вдоль прод. армат. стержней	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,03	0,12	0,36	0,57	0,91
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,97	0,88	0,64	0,43	0,09
3	Трещины в защ. слое вдоль попер. армат. стержней	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,04	0,11	0,46	0,73	0,94
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,96	0,89	0,54	0,27	0,06
4	Силовые прод. трещины	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,02	0,08	0,12	0,23	0,37
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,98	0,92	0,88	0,77	0,63
5	Прочность бетона	$k_{51}$	про- ектная	$p(k_{51})$	0,75	0,50	0,34	0,27	0,22
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p(k_{52})$	0,18	0,31	0,35	0,39	0,41
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p(k_{53})$	0,07	0,19	0,31	0,34	0,37
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	$< 5\%$	$p(k_{61})$	0,85	0,59	0,47	0,34	0,25
		$k_{62}$	5 – 20	$p(k_{62})$	0,12	0,23	0,30	0,36	0,39
		$k_{63}$	$> 20\%$	$p(k_{63})$	0,03	0,18	0,23	0,30	0,36
7	Отклонение от вертикали	$k_{71}$	в пред. допуска	$p(k_{71})$	0,90	0,81	0,61	0,33	0,14
		$k_{72}$	$\leq 10\%$	$p(k_{72})$	0,07	0,12	0,27	0,37	0,41
		$k_{73}$	$> 10\%$	$p(k_{73})$	0,03	0,07	0,12	0,30	0,45
8	Выполн. условия прочности	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,93	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,07	0,16	0,39	0,58	0,77

Таблица А.10 – Диагностическая матрица для стальных балок междуэтажных перекрытий

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,12</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>
1	Поврежд. штукатурного слоя и обнажение балок	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,03	0,16	0,33	0,65	0,84
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,97	0,84	0,67	0,35	0,16
2	Коррозия балок	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	повер хност.	$p(k_{22})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	точеч ная	$p(k_{23})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{24}$	пласт инчат.	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
3	Прогиб	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,87	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	до 1/100	$p(k_{32})$	0,10	0,26	0,33	0,43	0,28
		$k_{33}$	$\geq$ 1/100	$p(k_{33})$	0,03	0,08	0,19	0,32	0,61
4	Выполнение условия прочности	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68
5	Выполнение условия жесткости	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,90	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,10	0,16	0,39	0,58	0,77

Таблица А.11 – Диагностическая матрица для деревянных балок междуэтажных перекрытий

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,24</b>	<b>0,29</b>	<b>0,25</b>
1	Биопоражение балок	$k_{11}$	нет	$p(k_{11})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{12}$	повер хност.	$p(k_{12})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{13}$	до 10%	$p(k_{13})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{14}$	$\geq 10\%$ сеч-я	$p(k_{14})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
2	Прогиб балок	$k_{21}$	доп.	$p(k_{21})$	0,86	0,63	0,47	0,21	0,07
		$k_{22}$	до 1/100	$p(k_{22})$	0,12	0,28	0,36	0,49	0,37
		$k_{23}$	более 1/100	$p(k_{23})$	0,02	0,09	0,17	0,30	0,56
3	Выполн. условия прочности балок	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68
4	Выполн. условия жесткости балок	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,90	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,10	0,16	0,39	0,58	0,77

Таблица А.12 – Диагностическая матрица для элементов заполнения

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,08</b>	<b>0,14</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	<b>0,24</b>
1	Повреждения штукатурного слоя	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,13	0,18	0,35	0,66	0,87
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,87	0,82	0,65	0,34	0,13
2	Трещины в штукатурном слое	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,73	0,68	0,55	0,28	0,13
		$k_{22}$	до 1 мм	$p(k_{22})$	0,18	0,19	0,23	0,33	0,35
		$k_{23}$	$\geq 1$ мм	$p(k_{23})$	0,09	0,13	0,37	0,39	0,52
3	Повреждения элементов заполнения	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,07	0,15	0,46	0,80	0,92
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,93	0,85	0,54	0,20	0,08

Таблица А.13 – Диагностическая матрица для стальных колонн междуэтажных перекрытий

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,12</b>	<b>0,25</b>	<b>0,29</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>
1	Поврежд. штукатурного слоя и обнажение колонн	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,03	0,16	0,33	0,65	0,84
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,97	0,84	0,67	0,35	0,16
2	Коррозия колонн	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,85	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	поверхност.	$p(k_{22})$	0,08	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	точечная	$p(k_{23})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{24}$	пластинчат.	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
3	Отклонения от вертикали	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,87	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	до 1/100	$p(k_{32})$	0,10	0,26	0,33	0,43	0,28
		$k_{33}$	$\geq$ 1/100	$p(k_{33})$	0,03	0,08	0,19	0,32	0,61
4	Выполнение условия устойчивости	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,97	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,03	0,28	0,39	0,56	0,68

Таблица А.14 – Диагностическая матрица для деревянных балок чердачного перекрытия

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,09</b>	<b>0,12</b>	<b>0,24</b>	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>
1	Биопоражение балок	$k_{11}$	нет	$p(k_{11})$	0,88	0,64	0,40	0,28	0,06
		$k_{12}$	поверхност.	$p(k_{12})$	0,07	0,13	0,20	0,24	0,17
		$k_{13}$	до 10%	$p(k_{13})$	0,04	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{14}$	≥10% сеч-я	$p(k_{14})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,55
2	Прогиб балок	$k_{21}$	доп.	$p(k_{21})$	0,86	0,63	0,47	0,21	0,07
		$k_{22}$	до 1/100	$p(k_{22})$	0,12	0,28	0,36	0,49	0,37
		$k_{23}$	более 1/100	$p(k_{23})$	0,02	0,09	0,17	0,30	0,56
3	Выполн. условия прочности балок	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,98	0,72	0,61	0,44	0,32
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,02	0,28	0,39	0,56	0,68
4	Выполн. условия жесткости балок	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,91	0,84	0,61	0,42	0,22
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,09	0,16	0,39	0,58	0,78

Таблица А.15 – Диагностическая матрица для элементов заполнения чердачного перекрытия

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,08</b>	<b>0,14</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,26</b>
1	Повреждения штукатурного слоя	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,12	0,18	0,35	0,66	0,89
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,88	0,82	0,65	0,34	0,11
2	Трещины в штукатурном слое	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,73	0,68	0,55	0,28	0,13
		$k_{22}$	до 1 мм	$p(k_{22})$	0,18	0,19	0,23	0,33	0,35
		$k_{23}$	≥ 1 мм	$p(k_{23})$	0,09	0,13	0,37	0,39	0,52
3	Повреждения элементов заполнения	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,06	0,14	0,46	0,80	0,93
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,94	0,86	0,54	0,20	0,07

Таблица А.16 – Диагностическая матрица для стальных колонн чердачного перекрытия

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост. $S_1$	Сост. $S_2$	Сост. $S_3$	Сост. $S_4$	Сост. $S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,14</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>
1	Поврежд. штукатурного слоя и обнажение колонн	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,02	0,16	0,33	0,65	0,86
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,98	0,84	0,67	0,35	0,14
2	Коррозия колонн	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,86	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	повер хност.	$p(k_{22})$	0,07	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	точеч ная	$p(k_{23})$	0,06	0,12	0,15	0,18	0,23
		$k_{24}$	пласт инчат.	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,34
3	Отклонения от вертикали	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,89	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	до 1/100	$p(k_{32})$	0,08	0,26	0,33	0,43	0,27
		$k_{33}$	$\geq$ 1/100	$p(k_{33})$	0,03	0,08	0,19	0,32	0,62
4	Выполнение условия устойчивости	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,98	0,72	0,61	0,44	0,31
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,02	0,28	0,39	0,56	0,69

Таблица А.17 – Диагностическая матрица для участков мауэрлата и лежней

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,11</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,18</b>
1	Увлажнение и намокание из-за протечек кровли	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,11	0,18	0,35	0,66	0,89
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,89	0,82	0,65	0,34	0,11
2	Биопоражение древесины	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,83	0,68	0,55	0,28	0,13
		$k_{22}$	до 30 % дл.	$p(k_{22})$	0,10	0,19	0,23	0,33	0,35
		$k_{23}$	≥ 30 % дл.	$p(k_{23})$	0,07	0,13	0,37	0,39	0,52
3	Трещины усушки, косослой	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,16	0,14	0,46	0,80	0,93
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,84	0,86	0,54	0,20	0,07
4	Повреждение узлов соединения и опирания	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,96	0,81	0,62	0,33	0,10
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,04	0,19	0,38	0,67	0,90

Таблица А.18 – Диагностическая матрица для стоек стропильной системы

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>	<b>0,09</b>
1	Трещины усушки, косослой	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,03	0,16	0,33	0,65	0,89
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,97	0,84	0,67	0,35	0,11
2	Биопоражение	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,95	0,64	0,40	0,28	0,16
		$k_{22}$	поверхност.	$p(k_{22})$	0,03	0,13	0,20	0,24	0,27
		$k_{23}$	< 10% сеч-я	$p(k_{23})$	0,02	0,12	0,15	0,18	0,22
		$k_{24}$	≥10% сеч-я	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,35
3	Отклонение от вертикали	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,94	0,66	0,48	0,25	0,11
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,06	0,35	0,52	0,75	0,89
4	Повреждения узлов опирания	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,05	0,12	0,29	0,51	0,87
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,95	0,88	0,71	0,49	0,13
5	Выполнение условия несущей способности	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,96	0,84	0,61	0,42	0,23
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,04	0,16	0,39	0,58	0,77

Таблица А.19 – Диагностическая матрица для прогонов стропильной системы

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,18</b>	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>	<b>0,18</b>	<b>0,04</b>
1	Трещины усушки, косослой	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,05	0,16	0,33	0,65	0,92
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,95	0,84	0,67	0,35	0,08
2	Биопоражение	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,94	0,64	0,40	0,28	0,03
		$k_{22}$	повер хност.	$p(k_{22})$	0,03	0,13	0,20	0,24	0,05
		$k_{23}$	< 10% сеч-я	$p(k_{23})$	0,02	0,12	0,15	0,18	0,07
		$k_{24}$	≥10% сеч-я	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,85
3	Прогиб	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,91	0,66	0,48	0,30	0,21
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,09	0,35	0,52	0,70	0,79
4	Повреждения узлов опирания	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,10	0,12	0,29	0,51	0,91
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,90	0,88	0,71	0,49	0,09
5	Выполнение условия несущей способности	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,97	0,84	0,61	0,42	0,13
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,03	0,16	0,39	0,58	0,87

Таблица А.20 – Диагностическая матрица для подкосов стропильной системы

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали зация приз наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,21</b>	<b>0,30</b>	<b>0,19</b>	<b>0,20</b>	<b>0,10</b>
1	Трещины усушки, косослой	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,05	0,16	0,33	0,65	0,92
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,95	0,84	0,67	0,35	0,08
2	Биопоражение	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,96	0,64	0,40	0,28	0,06
		$k_{22}$	повер хност.	$p(k_{22})$	0,02	0,13	0,20	0,24	0,12
		$k_{23}$	< 10% сеч-я	$p(k_{23})$	0,02	0,12	0,15	0,18	0,07
		$k_{24}$	≥10% сеч-я	$p(k_{24})$	0,01	0,11	0,25	0,30	0,75
3	Отклонение от вертикали	$k_{31}$	доп.	$p(k_{31})$	0,91	0,66	0,48	0,30	0,21
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,09	0,35	0,52	0,70	0,79
4	Повреждения узлов опирания	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,10	0,12	0,29	0,51	0,91
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,90	0,88	0,71	0,49	0,09
5	Выполнение условия несущей способности	$k_{51}$	да	$p(k_{51})$	0,97	0,84	0,61	0,42	0,13
		$k_{52}$	нет	$p(k_{52})$	0,03	0,16	0,39	0,58	0,87

Таблица А.21 – Диагностическая матрица для рядовых стропильных балок и нарожников

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали- зация призна- ков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,11</b>	<b>0,32</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,13</b>
1	Выполнение условия прочности	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,91	0,63	0,43	0,25	0,14
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,09	0,37	0,57	0,75	0,86
2	Выполнение условия жесткости	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,79	0,47	0,50	0,25	0,11
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,21	0,53	0,50	0,75	0,89
3	Соответствие требованиям пожарной безопасности	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,86	0,96	0,87	0,48	0,43
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,14	0,04	0,13	0,52	0,57
4	Нарушение условий темп.-влажност. режима	$k_{41}$	нет	$p(k_{41})$	0,96	0,92	0,78	0,47	0,43
		$k_{42}$	да	$p(k_{42})$	0,04	0,08	0,22	0,53	0,57
5	Прогиб	$k_{51}$	доп.	$p(k_{51})$	0,91	0,77	0,43	0,23	0,12
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p(k_{52})$	0,08	0,14	0,34	0,46	0,47
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p(k_{53})$	0,01	0,09	0,23	0,31	0,41
6	Биопоражения и прочие поражения	$k_{61}$	$< 10\%$ сечения	$p(k_{61})$	0,91	0,81	0,43	0,35	0,25
		$k_{62}$	$10\div 30\%$ сечения	$p(k_{62})$	0,06	0,16	0,33	0,40	0,29
		$k_{63}$	$> 30\%$	$p(k_{63})$	0,03	0,03	0,24	0,25	0,46
7	Повреждение узлов опирания элементов	$k_{71}$	нет	$p(k_{71})$	0,96	0,77	0,72	0,55	0,36
		$k_{72}$	да	$p(k_{72})$	0,04	0,23	0,28	0,45	0,64
8	Наличие продольных трещин усушки по длине балки	$k_{81}$	нет	$p(k_{81})$	0,91	0,66	0,46	0,25	0,08
		$k_{82}$	да	$p(k_{82})$	0,09	0,34	0,54	0,75	0,92

Таблица А.22 – Диагностическая матрица для накосных (диагональных) стропильных балок

№ № п/п	Диагностические п р и з н а к и	$k_{ij}$	Реали- зация приз- наков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,08</b>	<b>0,20</b>	<b>0,27</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>
1	Выполнение условия прочности	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,96	0,63	0,43	0,25	0,12
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,04	0,37	0,57	0,75	0,88
2	Выполнение условия жесткости	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,89	0,46	0,44	0,25	0,11
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,11	0,54	0,56	0,75	0,89
3	Соответствие требованиям пожарной безопасности	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,84	0,96	0,87	0,48	0,43
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,16	0,04	0,13	0,52	0,57
4	Нарушение условий темп.-влажност. режима	$k_{41}$	нет	$p(k_{41})$	0,95	0,92	0,78	0,47	0,43
		$k_{42}$	да	$p(k_{42})$	0,05	0,08	0,22	0,53	0,57
5	Прогиб	$k_{51}$	доп.	$p(k_{51})$	0,95	0,77	0,43	0,23	0,12
		$k_{52}$	$\leq 30\%$	$p(k_{52})$	0,03	0,14	0,34	0,46	0,47
		$k_{53}$	$> 30\%$	$p(k_{53})$	0,02	0,09	0,23	0,31	0,41
6	Биопоражения и прочие поражения	$k_{61}$	$< 10\%$ сечения	$p(k_{61})$	0,89	0,81	0,43	0,35	0,24
		$k_{62}$	$10\div 30\%$ сечения	$p(k_{62})$	0,07	0,16	0,33	0,40	0,28
		$k_{63}$	$> 30\%$	$p(k_{63})$	0,04	0,03	0,24	0,25	0,48
7	Повреждение узлов опирания элементов	$k_{71}$	нет	$p(k_{71})$	0,94	0,77	0,72	0,55	0,36
		$k_{72}$	да	$p(k_{72})$	0,06	0,23	0,28	0,45	0,64
8	Наличие продольных трещин усушки по длине балки	$k_{81}$	нет	$p(k_{81})$	0,92	0,66	0,46	0,25	0,08
		$k_{82}$	да	$p(k_{82})$	0,08	0,34	0,54	0,75	0,92

Таблица А.23 – Диагностическая матрица для элементов обрешетки кровли

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,14</b>	<b>0,40</b>	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>
1	Увлажнение и намокание из-за протечек кровли	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,14	0,28	0,35	0,66	0,89
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,86	0,72	0,65	0,34	0,11
2	Биопоражение древесины	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,93	0,68	0,45	0,28	0,15
		$k_{22}$	да	$p(k_{22})$	0,07	0,19	0,55	0,72	0,85
3	Трещины усушки, косослой	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,23	0,34	0,46	0,80	0,93
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,77	0,66	0,54	0,20	0,07

Таблица А.24 – Диагностическая матрица для элементов кровельного покрытия

№ № п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Реализация признаков	$p(k_{ij})$	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.	Сост.
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					<b>0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,30</b>	<b>0,26</b>
1	Участки протечек кровли	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,12	0,18	0,35	0,66	0,92
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,88	0,82	0,65	0,34	0,08
2	Нарушение элементов водостока	$k_{21}$	нет	$p(k_{21})$	0,93	0,68	0,55	0,28	0,05
		$k_{22}$	да	$p(k_{22})$	0,07	0,32	0,45	0,72	0,95
3	Нарушения в местах примыкания к элементам здания	$k_{31}$	да	$p(k_{31})$	0,06	0,24	0,46	0,80	0,93
		$k_{32}$	нет	$p(k_{32})$	0,94	0,76	0,54	0,20	0,07

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ВАТС»**

Программный продукт «ВАТС» является компьютерной моделью, реализующей вероятностный метод оценки технического состояния (далее ТС) зданий и сооружений (далее ЗиС) в программной среде Microsoft Excel. Построенный алгоритм производит статистическую обработку данных технического обследования элементов ЗиС с целью присвоения объекту наиболее вероятной категории ТС. При этом продукт позволяет просматривать, контролировать и анализировать промежуточные результаты на всех уровнях расчета, что делает его ценным инструментом с исследовательской точки зрения. Алгоритм организован в табличной форме и снабжен множеством пояснений и механизмов отслеживания возможных ошибок при вводе данных, он сравнительно прост в работе и пригоден для неподготовленного пользователя.

Программный продукт «ВАТС» является разработкой кафедры «Строительные конструкции и материалы» Инженерно-строительного факультета СПбГПУ.

### **Б.1. Теоретическая база алгоритма**

В настоящее время всё большее применение при решении задач диагностики ТС ЗиС получают вероятностные (статистические) методы, преимущество которых состоит в возможности одновременного учета признаков различной физической природы, так как они характеризуются безразмерными вероятностями проявления при различных состояниях системы.

Программный продукт «ВАТС» реализует статистический метод, основанный на формуле Байеса. Суть метода состоит в следующем. Формулируется некоторое количество технических состояний  $S_i$ , с помощью которых планируется производить диагностику, и совокупность  $K^*$  диагностических признаков  $k_{ij}$ , каждый из которых с определенными вероятностями характеризует заданные состояния. Диагностические признаки и их условные вероятности, получаемые путем обработки большого количества накопленных статистических данных, сводятся в диагностические матрицы.

Диагностирование выполняется с использованием обобщенной формулы Байеса.

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)} . \quad (\text{Б.1})$$

После вычисления апостериорных вероятностей состояний конструкции по указанной зависимости осуществляется анализ полученных результатов с использованием аппарата теории информации, в частности, с использованием понятий информационной энтропии.

## Б.2. Логическая последовательность расчета

В реализованном алгоритме в качестве заданных состояний  $S_i$  рассматриваются пять ТС, закрепленных в настоящий момент применительно к ЗиС в нормативной литературе. Таким образом, используются следующие обозначения ТС:  $S_1$  – исправное;  $S_2$  – работоспособное;  $S_3$  – ограниченно работоспособное;  $S_4$  – недопустимое;  $S_5$  – аварийное.

Совокупность  $K^*$  диагностических признаков (далее ДП)  $k_{ij}$ , формулируется отдельно для всех типов элементов конструкций ЗиС на основании накопленного опыта обследований аналогичных систем. ДП могут быть как двухразрядные (например, да/нет), так и иметь большее количество разрядов. Апостериорные вероятности ДП (вероятности совместного появления каждого ДП и ТС) определяются эмпирическим путем на основании статистической обработки результатов произведенных ранее обследований аналогичных систем и сводятся в табличной форме в т.н. диагностические матрицы, которые в ходе расчета рассматриваются как уже заданные данные.

В представленном алгоритме вводимой пользователем информацией является последовательное описание наличия/отсутствия предложенных ДП у элементов системы. Эти данные выявляются в ходе производства технического обследования диагностируемого объекта, оценка ТС которого и является целью работ.

Таким образом, происходит формирование компьютерной модели системы элементов, после чего алгоритм автоматически производит статистическую обработку введенных данных, первичным результатом которой является вычисление апостериорных вероятностей ТС (вероятностей совместного появления каждого ТС и описанной совокупности  $K^*$  ДП) для каждого заданного пользователем элемента.

### Б.3. Иерархия элементов. Информационный вклад

В рамках излагаемого диагностического метода здание предложено рассматривать как сложную систему конструкций и элементов, многие из которых, в свою очередь, также являются совокупностями более простых объектов.

Таким образом, представляется возможным создать некоторую универсальную логическую модель ЗиС, выступающих в качестве возможных объектов диагностирования.

Подобное «дерево элементов», очевидно, должно иметь иерархическую структуру, где самый «низ» занимают относительно примитивные пригодные для непосредственного обследования строительные конструкции/элементы, а при движении вверх по «дереву» из них складываются всё более сложные системы, образуя «здание» как наивысшее звено иерархии.

В качестве отправного пункта к созданию «дерева элементов» предлагается деление здания на четыре основные системы: фундамент, наружные стены, перекрытия, крыша (рисунок Б.1).



Рисунок Б.1 – Основные системы элементов здания

К настоящему моменту, наиболее проработанной частью «дерева», реализованной в алгоритме «ВАТС», является ветвь «перекрытия».

В зданиях старой городской застройки, вопрос диагностики ТС которых стоит особенно остро, перекрытия, в зависимости от расположения и конструктивно-функциональных особенностей, могут быть надподвальными, междуэтажными и чердачными.

До сих пор программный продукт «ВАТС» моделирует системы элементов, относящиеся только к междуэтажным перекрытиям.

Междуэтажные перекрытия конструктивно могут быть выполнены из железобетона или по стальным и деревянным балкам. В них можно выделить элементы, представленные на рисунок Б.2.

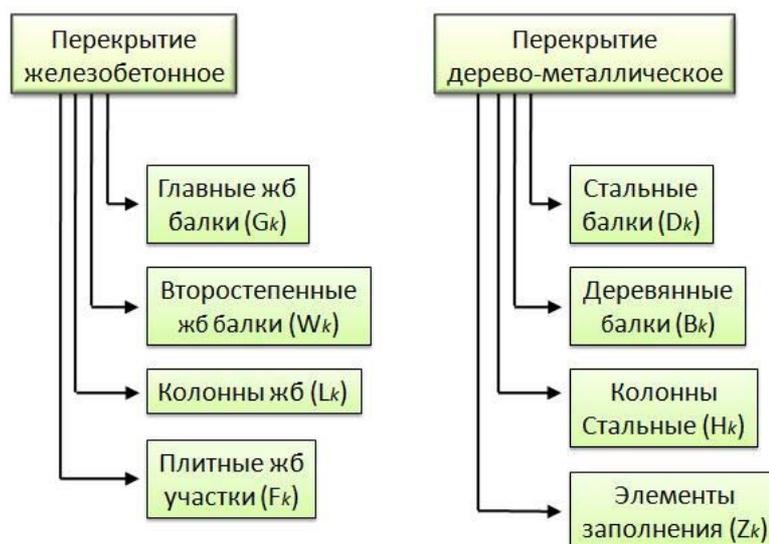


Рисунок Б.2 – Основные элементы междуэтажных перекрытий

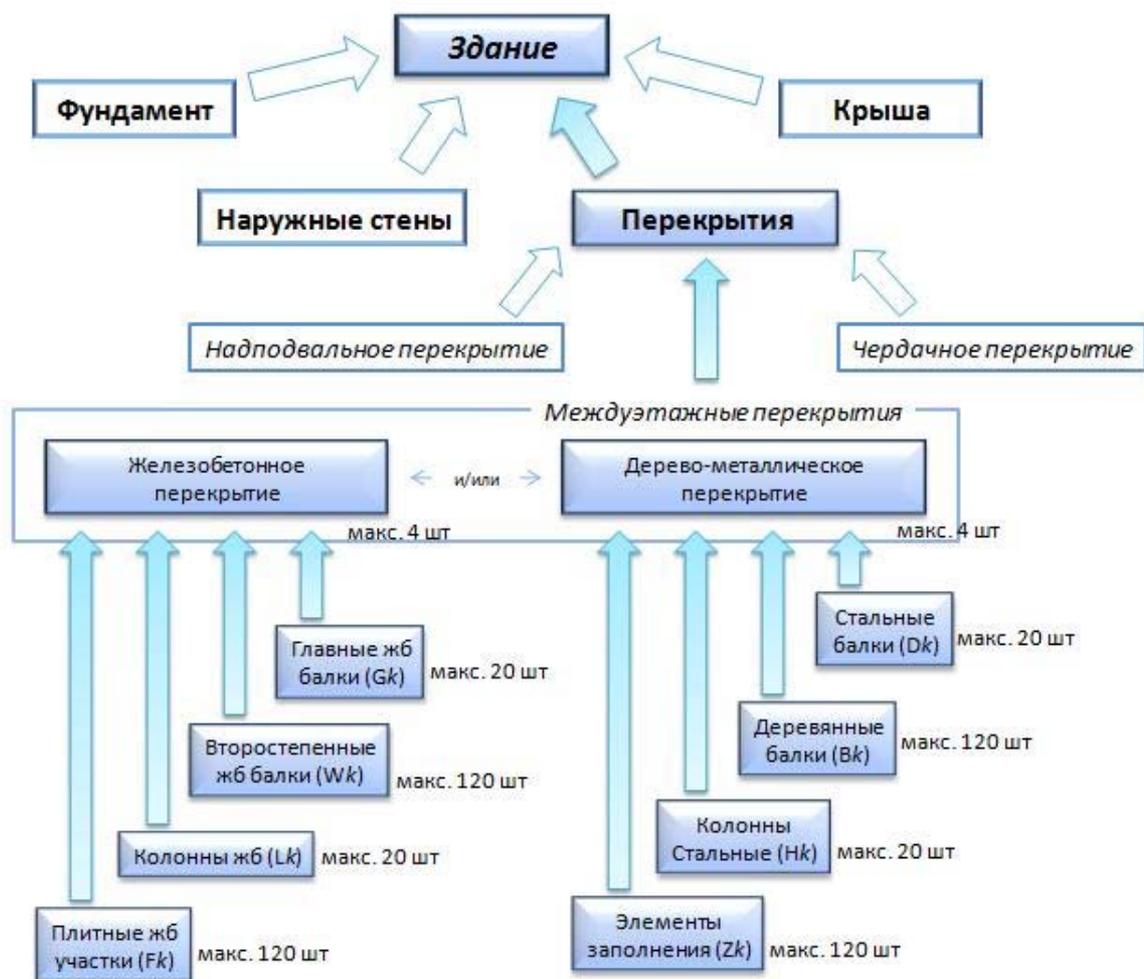


Рисунок Б.3 – Пример реализации в продукте «ВАТС» «дерево элементов»

На основании изложенного выше, алгоритм «ВАТС» реализует логическую схему элементов («дерево элементов»), представленную на рисунке Б.3.

На наличие/отсутствие соответствующих диагностических признаков обследуются элементы самого «низа» иерархии, после чего оказывается возможным при помощи «ВАТС» в автоматическом режиме произвести статистическую обработку данных и назначить наиболее вероятные категории ТС. На основе полученных результатов при помощи методов теории информации проводится анализ и оценка ТС систем более высоких уровней иерархии.

При этом ключевую роль играет понятие *энтропии*. В теории информации энтропия системы, имеющей  $n$  возможных состояний с вероятностями  $P(S_1)$ ,  $P(S_2)$ , ...,  $P(S_n)$ , определяется зависимостью.

$$H = \sum_{i=1}^n P(S_i) \log \frac{1}{P(S_i)} = - \sum_{i=1}^n P(S_i) \log P(S_i) \quad (\text{Б.2})$$

Энтропия характеризует степень неопределенности системы.

По зависимости (Б.2), исходя из полученных по расчету условных вероятностей ТС, энтропия вычисляется для каждого заданного пользователем элемента. Аналогично рассчитывается максимально возможная энтропия – в этом случае в формулу (Б.1) подставляются априорные вероятности сформулированных ТС.

Чем ближе энтропия к максимальному значению, тем меньше определенность диагноза. Разность максимальной и фактической энтропии называют *степенью определенности или вкладом*:

$$V = H_{\max} - H. \quad (\text{Б.3})$$

Наибольшей степени определенности системы соответствует значение вклада, равное максимально возможной энтропии, наименьшей – значение, равное нулю. Для оценки достоверности диагноза нагляднее оказывается величина *относительной степени определенности* (или *удельный вклад*) – это вклад, отнесенный к максимальной энтропии:

$$V_{y\partial} = V / H_{\max}. \quad (\text{Б.4})$$

Значение  $V_{y\partial}$  в любой системе колеблется от 0 до 1.

Вклад характеризует количество информации, которое состояние элемента вносит в состояние системы более высокого уровня иерархии. Именно эта величина используется для определения ТС системы элементов, диагнозы которых уже поставлены.

В системе  $G^*$  из  $k$  элементов по вычисленным вкладам для каждого элемента  $G_i$  определяется значение *вероятности степени определенности*:

$$P[V(G_i)] = V(G_i) / \sum_{g=1}^k V(G_g). \quad (\text{Б.5})$$

У системы  $G^*$  условная вероятность первого состояния  $S_1$  определяется следующим образом:

$$P_{G^*}(S_1 / K^*) = \sum_{i=1}^k P_{G_i}(S_1 / K^*) P[V(G_i)]. \quad (\text{Б.6})$$

Аналогично определяются условные вероятности всех пяти состояний системы, а техническое состояние, соответствующее наибольшей вероятности, является её диагнозом.

Исходя из статистической независимости элементов системы  $G^*$ , для неё определяются значения фактической и максимальной энтропии и степени определенности (вклада) по следующим выражениям соответственно:

$$H(G^*) = \sum_{g=1}^k H(G_g); \quad (\text{Б.7})$$

$$H_{\max}(G^*) = \sum_{g=1}^k H_{\max}(G_g); \quad (\text{Б.8})$$

$$V(G^*) = \sum_{g=1}^k H_{\max}(G_g) - \sum_{g=1}^k H(G_g). \quad (\text{Б.9})$$

Расчет по выражениям 4 – 8 последовательно повторяется для всех систем «дерева элементов» снизу вверх, в результате чего назначаются диагнозы всем элементам иерархии. Образуется, так называемое, «дерево диагнозов». Конечным результатом расчета является определение ТС объекта диагностирования (здания).

Программный продукт «ВАТС» позволяет производить описанные выше вычисления в автоматическом режиме. Результаты расчета предоставляются в простой наглядной форме на всех этапах алгоритма для всех элементов иерархии.

#### **Б.4. Работа с программным продуктом «ВАТС»**

Программный продукт «ВАТС» представляет собой книгу Microsoft Excel. Для каждой крупной системы «дерева элементов» отводятся отдельные рабочие

листы. Также существуют специальные листы, например, лист «Итоги» для элементов верха иерархии (рисунок Б.4).



Рисунок Б.4 – Пример рабочих листов Excel продукта «ВАТС»

Разложение сформулированного в п. 2.3 «дерева элементов» по листам книги Microsoft Excel, реализованное в программном продукте «ВАТС», наглядно представлено на рисунке Б.5.



Рисунок Б.5 – Распределение систем иерархии по листам Excel

Рабочий лист представляет собой совокупность таблиц, описывающих все группы «простых» элементов (условно неделимые элементы «низа» иерархии), относящихся к данной системе. Например, на листе «ЖБ перекрытие №1» находятся таблицы, посвященные группам главных балок, второстепенных балок, колонн и плитных участков, совокупность которых образует данное перекрытие. Схематично такой лист выглядит, как показано на рисунке Б.6.

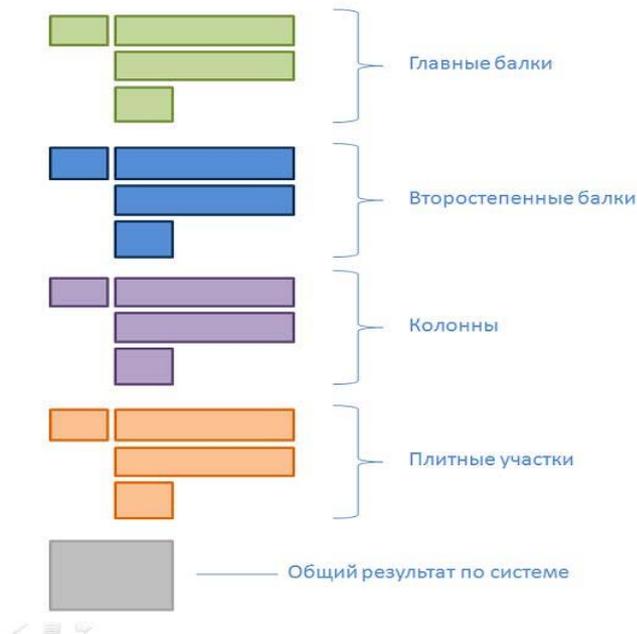


Рисунок Б.6 – Схематическая структура рабочего листа Excel

Каждая такая группа «простых» элементов описывается четырьмя таблицами: диагностической матрицей, таблицей для ввода данных, таблицей с результатами анализа по каждому элементу и таблицей с результатами для всей группы (рисунок Б.7).

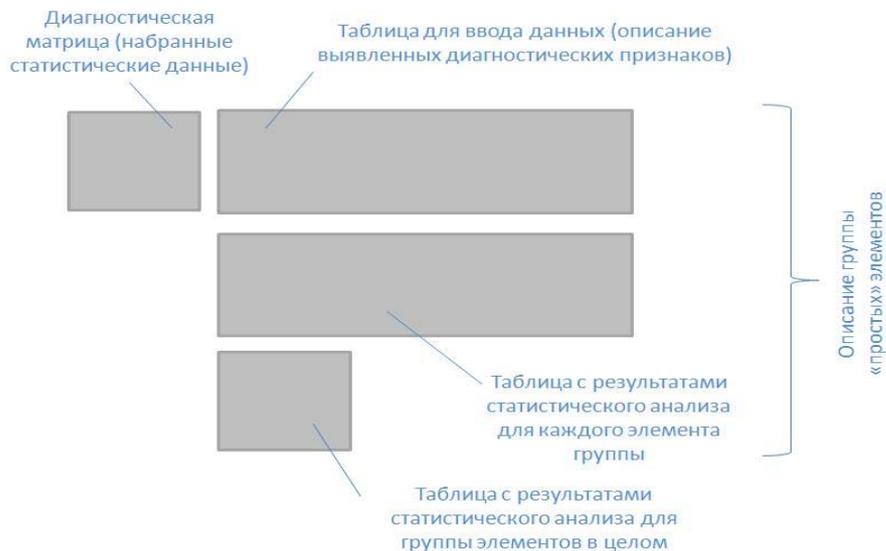


Рисунок Б.7 – Таблицы для описания группы «простых» элементов

### **Б.5. Ввод информации**

Как ранее упоминалось, в соответствии с построенным «деревом элементов», здание разбивается на системы более простых элементов. Эта иерархия определенным образом раскладывается по таблицам с данными на рабочих листах книги Microsoft Excel.

Для реализации расчета необходимо описать «простые» элементы самого нижнего звена иерархии элементов строительной системы.

Вводимая пользователем информация представляет собой перечень наличия/отсутствия диагностических признаков, выявленных у «простых» элементов в ходе технического обследования.

В программном продукте «ВАТС» в среде Excel для каждой группы «простых» элементов в блоке соответствующих таблиц существует таблица для ввода данных (рисунок Б.8). Строки этой таблицы представляют собой список сформулированных для конкретной группы элементов диагностических признаков разной разрядности. Каждый столбец такой таблицы отводится под описание каждого «простого» элемента группы. Внешний вид таблицы для ввода данных на примере группы главных балок междуэтажного железобетонного перекрытия представлен на рисунке Б.8.

Выявленные признаки у главных балок $G_k$ (max 20 штук)					
Признак $k_{ij}$	Балка $G_1$	Балка $G_2$	Балка $G_3$	Балка $G_4$	
	Наличие $k_{ij}$	Наличие $k_{ij}$	Наличие $k_{ij}$	Наличие $k_{ij}$	
$k_{11}$	0	0	0	0	
$k_{12}$	0	0	0	0	
$k_{21}$	0	0	0	0	
$k_{22}$	0	0	0	0	
$k_{31}$	0	0	0	0	
$k_{32}$	0	0	0	0	
$k_{33}$	0	0	0	0	
$k_{41}$	0	0	0	0	
$k_{42}$	0	0	0	0	
$k_{51}$	0	0	0	0	
$k_{52}$	0	0	0	0	
$k_{53}$	0	0	0	0	
$k_{61}$	0	0	0	0	
$k_{62}$	0	0	0	0	
$k_{63}$	0	0	0	0	
$k_{71}$	0	0	0	0	
$k_{72}$	0	0	0	0	
$k_{73}$	0	0	0	0	
$k_{81}$	0	0	0	0	
$k_{82}$	0	0	0	0	
$k_{91}$	0	0	0	0	
$k_{92}$	0	0	0	0	
КОНТРОЛЬ/Задано пр-ков $\sum k_{ij} =$	0	0	0	0	

Рисунок Б.8 – Вид таблицы для ввода данных по группе главных балок

Рабочее поле таблицы для ввода данных представляет собой множество ячеек, в которые заносится информация о наличии/отсутствии каждого диагностического признака для каждого элемента группы. В такую ячейку пользователь может ввести «1», если соответствующий признак у соответствующего элемента обнаружен («1» = да), в противном случае вводится «0» («0» = нет). Ввод других численных/текстовых переменных не допускается. По умолчанию во всех ячейках всех таких таблиц стоят значения «0» - таким образом, «нулевые» элементы считаются незадаанными и из расчета выводятся.

Для удобства работы все ячейки для ввода данных снабжены подсказками и примечаниями, которые появляются при активации ячейки (рисунок Б.9).

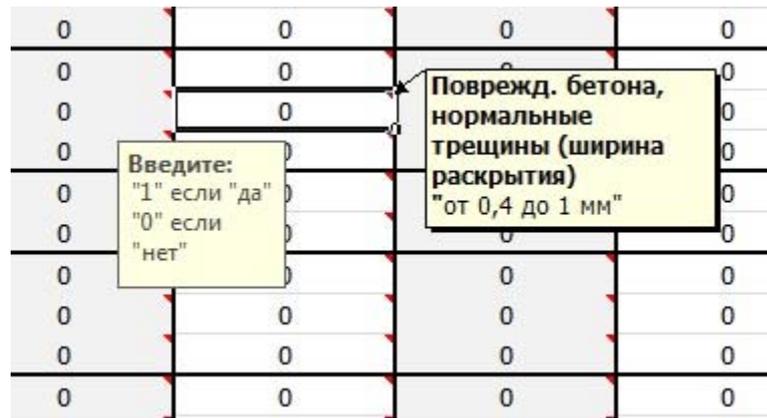


Рисунок Б.9 – Пояснения при вводе данных

В программном продукте «ВАТС» существует двухступенчатая система контроля корректности вводимых пользователем данных.

Первая ступень заключается в проверке вводимого значения в пределах активной ячейки: контроль проходят только значения «1» (= да) или «0» (= нет), во всех остальных случаях появляется диалоговое окно, сообщающее об ошибке (рисунок Б.10).

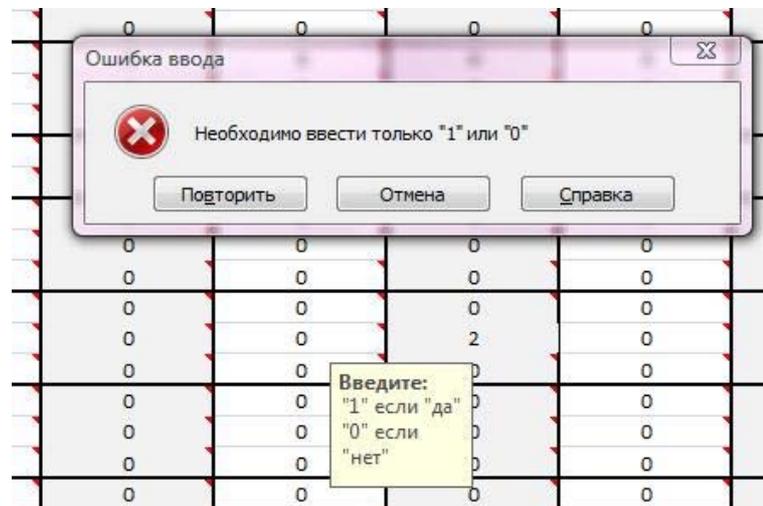


Рисунок Б.10 – Сообщение об ошибке ввода

Вторая ступень представляет собой специальную строку «КОНТРОЛЬ/Задано признаков  $\sum k_{ij} =$ » внизу каждой таблицы для ввода данных (рисунок Б.11).

$k_{82}$	0	0	0
$k_{71}$	0	0	0
$k_{72}$	0	0	0
$k_{73}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
КОНТРОЛЬ/Задано пр-ков $\sum k_{ij} =$	0	0	0

Рисунок Б.11 – Строка «КОНТРОЛЬ/Задано признаков  $\sum k_{ij} =$ »

Эта ступень следит, чтобы для каждого описанного элемента в пределах любого заданного признака был только один положительный ("да") разряд. Если имеется ошибка ввода, «неправильный» элемент выводится из расчета, а в соответствующей ячейке контроля отображается сообщение «ошибка в  $k_i$ » с номером некорректно заданного признака (рисунок Б.12), в противном случае в ячейке контроля отображается количество верно заданных признаков (рисунок Б.13).

$k_{82}$	0	0	0
$k_{71}$	0	1	0
$k_{72}$	0	0	0
$k_{73}$	0	1	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
КОНТРОЛЬ/Задано пр-ков $\sum k_{ij} =$	0	ошибка в $k_7$	0

Рисунок Б.12 – Ошибка ввода: два «да» в признаке  $k_7$ 

$k_{82}$	0	0	0
$k_{71}$	0	1	0
$k_{72}$	0	0	0
$k_{73}$	0	0	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	1	0
$k_{82}$	0	0	0
$k_{82}$	0	1	0
КОНТРОЛЬ/Задано пр-ков $\sum k_{ij} =$	0	9	0

Рисунок Б.13 – Элемент №2 задан корректно, описано девять признаков

Таким образом, при условии внимательной работы с «ВАТС» контроль ввода данных практически полностью исключает вероятность ошибки пользователя.

В программном продукте «ВАТС» для каждой группы «простых» элементов предусмотрена отдельная таблица, куда заводятся статистические данные: априорные вероятности технических состояний и условные вероятности диагностических признаков. Эти данные устанавливаются опытным путем в результате статистической обработки большого количества информации, полученной в ходе технических обследований аналогичных систем.

Эти таблицы, как упоминалось выше, называются диагностическими матрицами. Пример такой матрицы представлен на рисунке Б.14.

Диагностическая матрица для главных балок									
№ п/п	Диагностические признаки	$k_{ij}$	Разр. призн.	$p(k_{ij})$	Сост. $S_1$	Сост. $S_2$	Сост. $S_3$	Сост. $S_4$	Сост. $S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					0,18	0,29	0,35	0,13	0,05
1	Поврежд. бетона, сниж. его	$k_{11}$	да	$p(k_{11})$	0,14	0,29	0,4	0,56	0,76
		$k_{12}$	нет	$p(k_{12})$	0,86	0,71	0,6	0,44	0,24
2	Прод. трещины в защ. слое	$k_{21}$	да	$p(k_{21})$	0,05	0,27	0,38	0,59	0,88
		$k_{22}$	нет	$p(k_{22})$	0,95	0,73	0,62	0,41	0,12
3	Нормальные трещины (шир	$k_{31}$	<0,4мм	$p(k_{31})$	0,92	0,78	0,67	0,54	0,22
		$k_{32}$	от 0,4 до 1 мм	$p(k_{32})$	0,07	0,21	0,28	0,34	0,48
		$k_{33}$	>=1мм	$p(k_{33})$	0,01	0,01	0,05	0,12	0,3
4	Наклонные трещины (налич	$k_{41}$	да	$p(k_{41})$	0,03	0,05	0,28	0,3	0,35
		$k_{42}$	нет	$p(k_{42})$	0,97	0,95	0,72	0,7	0,65
5	Прочность бетона	$k_{51}$	проектная	$p(k_{51})$	0,79	0,49	0,33	0,28	0,2
		$k_{52}$	<=30%	$p(k_{52})$	0,17	0,33	0,36	0,39	0,42
		$k_{53}$	>30%	$p(k_{53})$	0,04	0,18	0,31	0,33	0,38
6	Коррозия арматуры	$k_{61}$	<5%	$p(k_{61})$	0,73	0,52	0,33	0,26	0,13
		$k_{62}$	5-20%	$p(k_{62})$	0,23	0,28	0,34	0,39	0,4
		$k_{63}$	>20%	$p(k_{63})$	0,04	0,2	0,33	0,35	0,47
7	Прогиб	$k_{71}$	допускаем.	$p(k_{71})$	0,93	0,82	0,59	0,35	0,11
		$k_{72}$	<=30%	$p(k_{72})$	0,05	0,11	0,28	0,39	0,43
		$k_{73}$	>30%	$p(k_{73})$	0,02	0,07	0,13	0,26	0,46
8	Условие прочности по норм	$k_{81}$	да	$p(k_{81})$	0,93	0,75	0,53	0,29	0,09
		$k_{82}$	нет	$p(k_{82})$	0,07	0,25	0,47	0,71	0,91
9	Условие прочности по накл	$k_{91}$	да	$p(k_{91})$	0,94	0,83	0,75	0,55	0,33
		$k_{92}$	нет	$p(k_{92})$	0,06	0,17	0,25	0,45	0,67
				Сформ. пр-нов $\sum p(k_{ij})=$	9	9	9	9	9

Рисунок Б.14 – Диагностическая матрица для главных балок

В программном продукте «ВАТС» диагностические матрицы по умолчанию уже заполнены статистическими данными. Кроме того, на листе «Библиотека

матриц» предусмотрено пространство для размещения различных версий матриц так же в табличном виде, пригодных для копирования и быстрого использования.

Несмотря на наличие по умолчанию статистических данных в диагностических матрицах, эти таблицы пригодны для внесения пользовательских изменений в значения вероятностей. Таким образом, матрицы так же могут рассматриваться как пространство для ввода данных.

В заключение отметим, что для расчета необходимо задание хотя бы одного элемента «низа» иерархии. Элемент расценивается заданным, если положительно (т.е. с помощью ввода значения «1») описан, по крайней мере, один диагностический признак. В случае расчета анализ автоматически производится на всех уровнях иерархии элементов. Оценка достаточности/информативности вводимых данных представляет собой отдельную задачу, которая, к настоящему моменту, находится в разработке.

### **Б.6. Результаты расчета**

После описания пользователем нужных элементов строительной конструкции в автоматическом режиме производится расчет в соответствии с изложенным ранее алгоритмом. Результаты статистического анализа сводятся в соответствующие таблицы (в порядке подъема «вверх» по дереву элементов):

- 1) по всем «простым» элементам;
- 2) по всем группам элементов;
- 3) по системе элементов;
- 4) для самого «верха» иерархии

В качестве примера на рисунке Б.15 представлена таблица, содержащая результаты статистического анализа для всех четырех групп элементов междуэтажного железобетонного перекрытия.

Группы элементов перекрытия (резюме вышепредставленных расчетов)				
	Гл. балки	Втор. балки	Колонны	Плиты
Вероятность $P(S_i/K^*)$	0,000	0,147	0,114	0,001
Вероятность $P(S_2/K^*)$	0,009	0,456	0,132	0,072
Вероятность $P(S_3/K^*)$	0,304	0,273	0,237	0,399
Вероятность $P(S_4/K^*)$	0,537	0,118	0,371	0,416
Вероятность $P(S_5/K^*)$	0,149	0,006	0,146	0,112
$\sum P(S_i/K^*) =$	1	1	1	1
Распределение $P(S_i/K^*)$				
Энтропия системы $H$	0,444	0,555	1,109	0,508
Макс. энтр. сист. $H_{max}$	0,630	0,677	1,338	0,677
Вклад системы $V$	0,186	0,121	0,228	0,168
Вер-ти степ. опр-ти $P[V]$	0,264	0,173	0,325	0,239
Вероятность диагноза	0,537	0,456	0,371	0,416
Диагноз (состояние)	S4	S2	S4	S4
Отн. опр-ть диагноза	0,295	0,179	0,171	0,249

Рисунок Б.15 – Пример результатов статистического анализа

Все такие таблицы для элементов любого уровня иерархии содержат ряд полученных путем расчета в автоматическом режиме величин:

- *Апостериорные (условные) вероятности всех пяти технических состояний* – эта величина характеризует вероятность совместного появления  $i$ -го состояния и заданной пользователем совокупности диагностических признаков. Наибольшая вероятность соответствует состоянию, которое назначается в качестве диагноза.
- *Промежуточный контроль расчета* – сумма всех условных вероятностей ТС всегда должна быть равна 1.

- *Диаграммы распределения условных вероятностей* – наглядно демонстрирует полученные вероятности ТС в виде круговой диаграммы.
- *Энтропия* – характеризует степень неопределенности диагноза. Меняется от 0 до значения максимальной энтропии. Нулю соответствует минимальная неопределенность.
- *Максимально возможная энтропия* – определяется из предположения об отсутствии сведений о выявленных диагностических признаках по априорным вероятностям состояний.
- *Степень определенности (вклад)* – превышение максимальной энтропии над фактической. Характеризует определенность диагноза. Меняется от 0 до значения максимальной энтропии. Нулю соответствует минимальная определенность.
- *Вероятность степени определенности* – характеризует количество информации, которое система вносит в систему более высокого уровня, позволяет оценить информативность («важность») сведений об элементе.
- *Вероятность диагноза* – максимальное значение из пяти условных вероятностей ТС. Соответствует состоянию, принимаемому в качестве диагноза.
- *Диагноз* – наиболее вероятное техническое состояние.
- *Относительная определенность диагноза (удельный вклад)* – вклад, отнесенный к максимальной энтропии. Величина, наиболее наглядно характеризующая определенность системы. Меняется от 0 до 1 (единице соответствует максимальная определенность).

Если элемент не задан, в соответствующих ему ячейках таблицы с результатами появляется надпись «нет элемента». В случае если допущена ошибка ввода данных, ячейки отображают надпись «ОШИБКА!»

Анализ описанных выше величин позволяют назначить техническое состояние объекту диагностирования и его элементам и системам, а также оценить вероятность поставленного диагноза и достоверность полученных выводов.

### Б.7. Пример статистического анализа с применением «ВАТС»

В качестве примера работы с программным продуктом «ВАТС» рассмотрим описание железобетонного междуэтажного перекрытия по трем обследованным главным балкам.

Схема такого перекрытия представлена на рисунке Б.16.

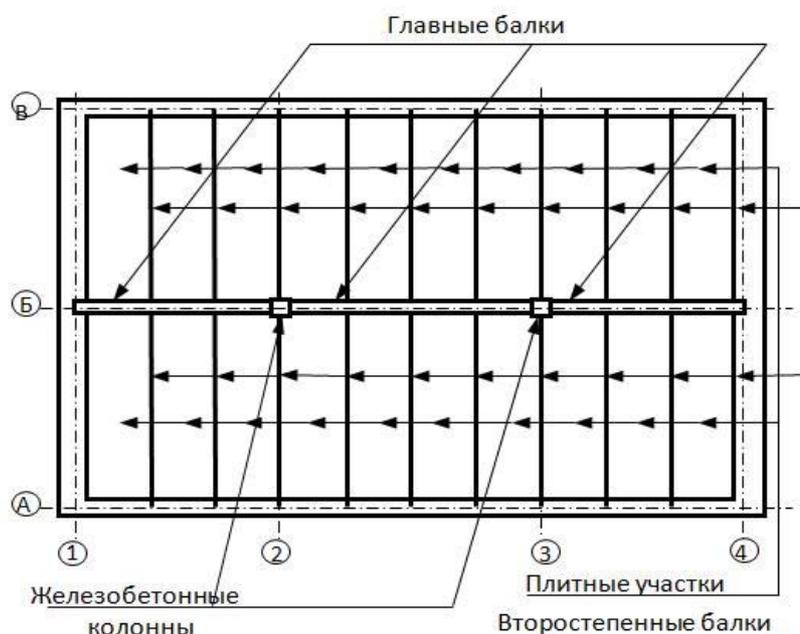


Рисунок Б.16 – Схема раскладки элементов железобетонного монолитного перекрытия

Заметим, что такое перекрытие также образовано второстепенными балками, колоннами и плитными участками, однако, их описание в данном примере не рассматривается.

Допустим, в ходе обследования трех главных балок перекрытия было установлено следующее

Таблица Б.1 – Результаты обследования группы главных балок

Диагностический признак	Главная балка G <sub>1</sub>	Главная балка G <sub>2</sub>	Главная балка G <sub>3</sub>
Повреждения наружной поверхности	есть	есть	нет
Продольные трещины в защитном слое	есть	нет	нет
Нормальные трещины в растянутой зоне раскрытием	до 0,4 мм	до 0,4 мм	до 0,4 мм
Наклонные трещины	есть	нет	есть
Прочность бетона	< проектн. на 10%	проектная	проектная
Арматура поражена коррозией	5%	<5%	<5%
Прогиб	допустимый	> нормат. на 10%	допустимый
Условие прочности по нормальным сечениям	удовл-ся	удовл-ся	удовл-ся
Условие прочности по наклонным сечениям	удовл-ся	удовл-ся	не удовл-ся

Эти результаты заносятся в таблицу (таблица Б.1) для описания группы главных балок на листе, посвященном одному из междуэтажных перекрытий здания, как показано на рисунке Б.17.

Выявленные признаки у главных балок G <sub>к</sub> (max 20 штук)				
Признак k <sub>ij</sub>	Балка G <sub>1</sub>	Балка G <sub>2</sub>	Балка G <sub>3</sub>	
	Наличие k <sub>ij</sub>	Наличие k <sub>ij</sub>	Наличие k <sub>ij</sub>	
k <sub>11</sub>	1	0	0	
k <sub>12</sub>	0	1	1	
k <sub>21</sub>	1	1	0	
k <sub>22</sub>	0	0	1	
k <sub>31</sub>	1	1	1	
k <sub>32</sub>	0	0	0	
k <sub>33</sub>	0	0	0	
k <sub>41</sub>	1	0	1	
k <sub>42</sub>	0	1	0	
k <sub>51</sub>	0	1	1	
k <sub>52</sub>	1	0	0	
k <sub>53</sub>	0	0	0	
k <sub>61</sub>	0	1	1	
k <sub>62</sub>	1	0	0	
k <sub>63</sub>	0	0	0	
k <sub>71</sub>	1	0	1	
k <sub>72</sub>	0	1	0	
k <sub>73</sub>	0	0	0	
k <sub>81</sub>	1	1	1	
k <sub>82</sub>	0	0	0	
k <sub>91</sub>	1	1	0	
k <sub>92</sub>	0	0	1	
КОНТРОЛЬ/Задано пр-ков $\sum k_{ij} =$	9	9	9	

Рисунок Б.17 – Результаты обследования заносятся в соответствующую таблицу

Как упоминалось выше, в нужные ячейки заносятся значение «1», если соответствующий признак обнаружен, в противном случае необходимо ввести (оставить) «0».

Стоит обратить внимание, что для всех трех главных балок в ячейках строки «КОНТРОЛЬ/Задано признаков  $\sum k_{ij} =$  » автоматически отображается число «9» - это означает, что описание элементов произведено корректно, задано девять диагностических признаков.

По окончании ввода данных алгоритм автоматически обрабатывает полученную информацию. Результаты статистического анализа для каждой главной балки выводятся в соответствующей таблице (рисунок Б.18).

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой главной балки			
	Балка $G_1$	Балка $G_2$	Балка $G_3$
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,003	0,123	0,244
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,107	0,507	0,313
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,735	0,329	0,417
Вероятность $P_{\alpha}(S_4/K^*)$	0,152	0,041	0,025
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,004	0,000	0,000
$\sum P_{\alpha}(S_i/K^*)=$	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{\alpha}(S_i/K^*)$			
Энтропия $H(G_k)$	0,343	0,478	0,506
Макс. энтропия $H_{max}(G_k)$	0,630	0,630	0,630
Вклад $V(G_k)$	0,287	0,152	0,123
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(G_k)]$	0,511	0,270	0,219
Вероятность диагноза	0,735	0,507	0,417
Диагноз (состояние)	S3	S2	S3
Отн. определенность диагноза	0,456	0,241	0,196

Рисунок Б.18 – Результаты анализа для каждой балки сведены в таблицу

На основании полученных данных автоматически производится анализ для группы главных балок, результат отображается так же в табличной форме (рисунок Б.19).

Результаты статистического анализа для группы главных балок $G^*$	
$\sum P[V(G_k)]=$	1
Энтропия системы $H(G^*)$	1,327
Макс. энтр. сист. $H_{max}(G^*)$	1,889
Вклад системы $V(G^*)$	0,562
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,088
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,260
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,556
Вероятность $P_{\alpha}(S_4/K^*)$	0,094
Вероятность $P_{\alpha}(S_2/K^*)$	0,002
$\sum P_{\alpha}(S_i/K^*)=$	1
Вероятность диагноза	0,556
Диагноз (состояние)	S3
Отн. определенность диагноза	0,298

Апостериорные вероятности состояний системы

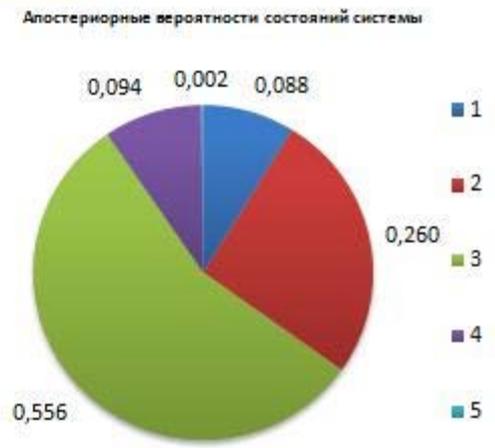


Рисунок Б.19 – Результаты анализа для группы главных балок

Поскольку данные по остальным элементам перекрытия отсутствуют, полученные результаты распространяются выше по иерархии в неизменном виде: в качестве диагноза перекрытию так же назначается третье (ограниченно работоспособное) состояние (рисунок Б.20).

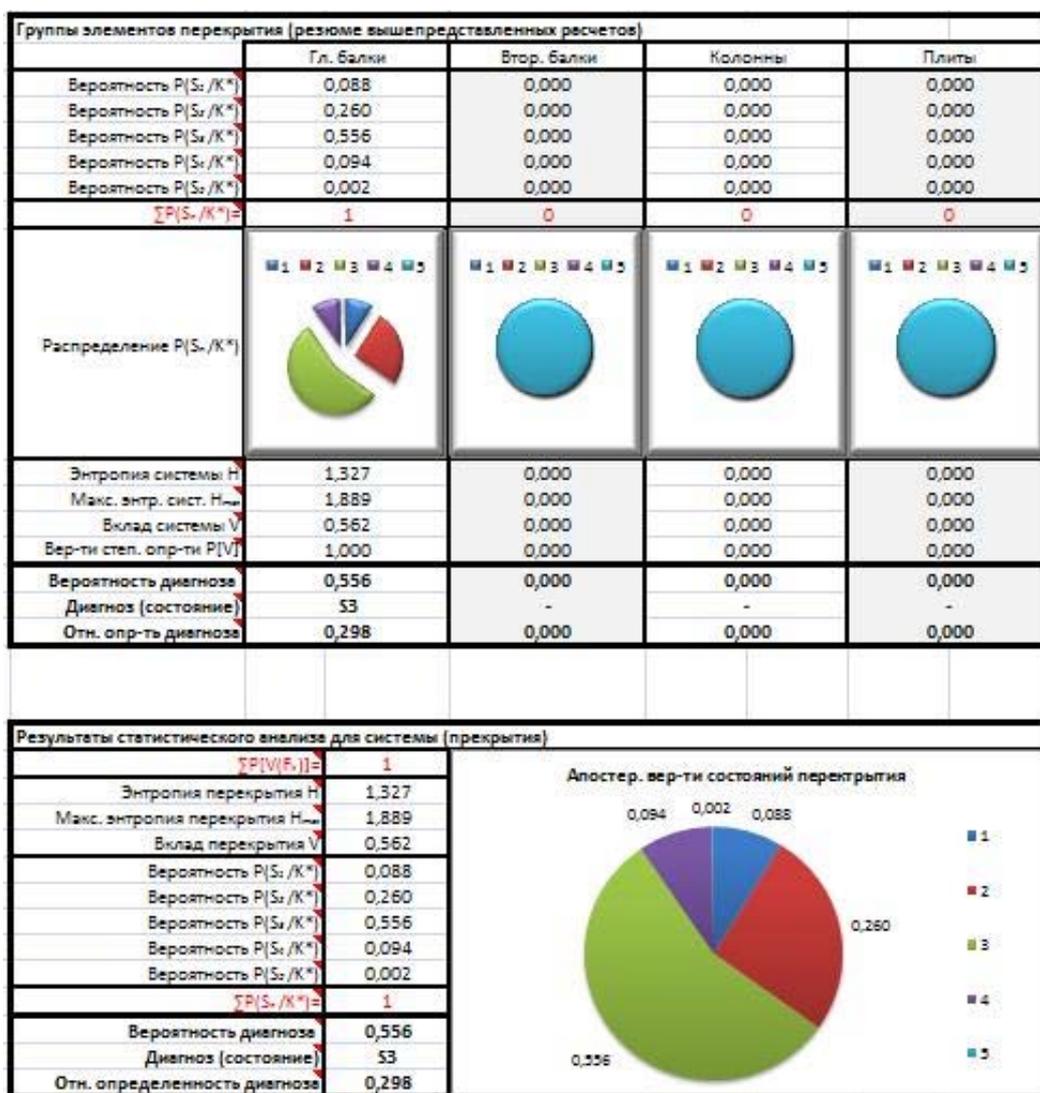


Рисунок Б.20 – Результаты анализа для системы элементов (железобетонное перекрытие)

В ходе автоматического расчета такое же распределение вероятностей состояний будет и у объекта диагностирования (здания), однако, из-за недостаточности информации (обследовано всего три главные балки, см. условие) рассматривать элементы «верха» иерархии нет смысла.

Как видно из приведенного примера, программный продукт «ВАТС» позволяет эффективно производить вероятностный анализ технического состояния строительной системы на основании статистической обработки данных, выявленных в ходе технического обследования. Автоматизация этой обработки в программной среде Microsoft Excel позволяет значительно сократить затраты времени и минимизировать вероятность ошибки.

**ПРИМЕР ВЕРОЯТНОСТНОГО РАСЧЕТА ДЛЯ ВСЕГО ЗДАНИЯ**

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого k-ого участка фундамента				
	Участок U <sub>1</sub>	Участок U <sub>2</sub>	Участок U <sub>3</sub>	Участок U <sub>4</sub>
Вероятность P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,004	0,000	0,061	0,001
Вероятность P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,460	0,010	0,567	0,049
Вероятность P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,393	0,088	0,330	0,293
Вероятность P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,140	0,498	0,043	0,603
Вероятность P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,003	0,404	0,000	0,055
$\sum P_{U_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я P <sub>U<sub>k</sub></sub> (S <sub>n</sub> /K*)				
Энтропия H(U <sub>k</sub> )	0,451	0,422	0,431	0,425
Макс. энтропия H <sub>max</sub> (U <sub>k</sub> )	0,598	0,598	0,598	0,598
Вклад V(U <sub>k</sub> )	0,147	0,175	0,167	0,173
Вер-ти степ. опр-ти P[V(U <sub>k</sub> )]	0,221	0,265	0,252	0,262
Вероятность диагноза	0,460	0,498	0,567	0,603
Диагноз (состояние)	S2	S4	S2	S4
Отн. определенность диагноза	0,245	0,293	0,279	0,290

Рисунок В.1 – Результаты ВАТС для каждого участка фундамента

Результаты статистического анализа для группы участков фундамента U*		
$\sum P[V(U_k)] =$	1,000	<p>Апостериорные вероятности состояний системы</p>
Энтропия системы H(U*)	1,730	
Макс. энтр. сист. H <sub>max</sub> (U*)	2,392	
Вклад системы V(U*)	0,662	
Вероятность P <sub>U*</sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,016	
Вероятность P <sub>U*</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,260	
Вероятность P <sub>U*</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,270	
Вероятность P <sub>U*</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,332	
Вероятность P <sub>U*</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,122	
$\sum P_{U^*}(S_n/K^*) =$	1,000	
Вероятность диагноза	0,332	
Диагноз (состояние)	S4	
Отн. определенность диагноза	0,277	

Рисунок В.2 – Результаты ВАТС для системы участков фундамента

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого поэтажа			
	Участок $E_1$	Участок $E_2$	Участок $E_3$
Вероятность $P_{E_k}(S_1/K^*)$	0,000	0,000	0,000
Вероятность $P_{E_k}(S_2/K^*)$	0,001	0,004	0,008
Вероятность $P_{E_k}(S_3/K^*)$	0,167	0,430	0,799
Вероятность $P_{E_k}(S_4/K^*)$	0,598	0,558	0,191
Вероятность $P_{E_k}(S_5/K^*)$	0,235	0,009	0,001
$\sum P_{E_k}(S_n/K^*)=$	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{E_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(E_k)$	0,414	0,326	0,236
Макс. энтропия $H_{max}(E_k)$	0,646	0,646	0,646
Вклад $V(E_k)$	0,232	0,320	0,409
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(E_k)]$	0,241	0,333	0,426
Вероятность диагноза	0,598	0,558	0,799
Диагноз (состояние)	S4	S4	S3
Отн. определенность диагноза	0,359	0,495	0,634

Рисунок В.3 – Результаты ВАТС для каждого поэтажного участка фасада №1

Результаты статистического анализа для группы участков $E^*$ стены фасада №1 ( $A_1$ )		Апостериорные вероятности состояний системы
$\sum P[V(E_k)]=$	1,000	
Энтропия системы $H(E^*)$	0,976	
Макс. энтр. сист. $H_{max}(E^*)$	1,938	
Вклад системы $V(E^*)$	0,961	
Вероятность $P_{E^*}(S_1/K^*)$	0,000	
Вероятность $P_{E^*}(S_2/K^*)$	0,005	
Вероятность $P_{E^*}(S_3/K^*)$	0,524	
Вероятность $P_{E^*}(S_4/K^*)$	0,411	
Вероятность $P_{E^*}(S_5/K^*)$	0,060	
$\sum P_{E^*}(S_n/K^*)=$	1,000	
Вероятность диагноза	0,524	
Диагноз (состояние)	S3	
Отн. определенность диагноза	0,496	

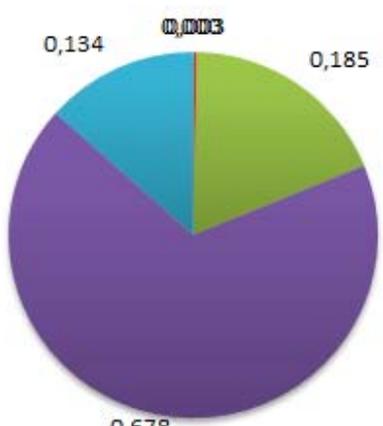
Рисунок В.4 – Результаты ВАТС для фасада №1

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого поэтажа			
	Участок $E_1$	Участок $E_2$	Участок $E_3$
Вероятность $P_{E_k}(S_1/K^*)$	0,000	0,000	0,000
Вероятность $P_{E_k}(S_2/K^*)$	0,001	0,001	0,007
Вероятность $P_{E_k}(S_3/K^*)$	0,135	0,094	0,326
Вероятность $P_{E_k}(S_4/K^*)$	0,637	0,749	0,635
Вероятность $P_{E_k}(S_5/K^*)$	0,226	0,156	0,031
$\sum P_{E_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{E_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(E_k)$	0,392	0,319	0,347
Макс. энтропия $H_{max}(E_k)$	0,646	0,646	0,646
Вклад $V(E_k)$	0,254	0,326	0,299
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(E_k)]$	0,289	0,371	0,340
Вероятность диагноза	0,637	0,749	0,635
Диагноз (состояние)	S4	S4	S4
Отн. определенность диагноза	0,393	0,505	0,463

Рисунок В.5 – Результаты ВАТС для каждого поэтажного участка фасада №2

Результаты статистического анализа для группы участков $E^*$ стены фасада №2 ( $A_2$ )	
$\sum P[V(E_k)] =$	1,000
Энтропия системы $H(E^*)$	1,058
Макс. энтр. сист. $H_{max}(E^*)$	1,938
Вклад системы $V(E^*)$	0,879
Вероятность $P_{E^*}(S_1/K^*)$	0,000
Вероятность $P_{E^*}(S_2/K^*)$	0,003
Вероятность $P_{E^*}(S_3/K^*)$	0,185
Вероятность $P_{E^*}(S_4/K^*)$	0,678
Вероятность $P_{E^*}(S_5/K^*)$	0,134
$\sum P_{E^*}(S_n/K^*) =$	1,000
Вероятность диагноза	0,678
Диагноз (состояние)	S4
Отн. определенность диагноза	0,454

Апостериорные вероятности состояний системы



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

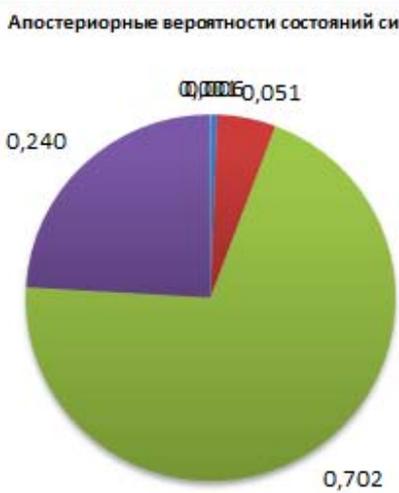
Рисунок В.6 – Результаты ВАТС для фасада №2

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого поэтажа			
	Участок $E_1$	Участок $E_2$	Участок $E_3$
Вероятность $P_{E_k}(S_1/K^*)$	0,002	0,000	0,013
Вероятность $P_{E_k}(S_2/K^*)$	0,062	0,013	0,075
Вероятность $P_{E_k}(S_3/K^*)$	0,629	0,600	0,839
Вероятность $P_{E_k}(S_4/K^*)$	0,305	0,385	0,073
Вероятность $P_{E_k}(S_5/K^*)$	0,002	0,002	0,000
$\sum P_{E_k}(S_n/K^*)=$	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{E_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(E_k)$	0,370	0,322	0,256
Макс. энтропия $H_{max}(E_k)$	0,646	0,646	0,646
Вклад $V(E_k)$	0,276	0,323	0,389
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(E_k)]$	0,279	0,327	0,394
Вероятность диагноза	0,629	0,600	0,839
Диагноз (состояние)	S3	S3	S3
Отн. определенность диагноза	0,428	0,501	0,603

Рисунок В.7 – Результаты ВАТС для каждого поэтажного участка фасада №3

Результаты статистического анализа для группы участков $E^*$ стены фасада №3 ( $A_3$ )	
$\sum P[V(E_k)]=$	1,000
Энтропия системы $H(E^*)$	0,948
Макс. энтр. сист. $H_{max}(E^*)$	1,938
Вклад системы $V(E^*)$	0,989
Вероятность $P_{E^*}(S_1/K^*)$	0,006
Вероятность $P_{E^*}(S_2/K^*)$	0,051
Вероятность $P_{E^*}(S_3/K^*)$	0,702
Вероятность $P_{E^*}(S_4/K^*)$	0,240
Вероятность $P_{E^*}(S_5/K^*)$	0,001
$\sum P_{E^*}(S_n/K^*)=$	1,000
Вероятность диагноза	0,702
Диагноз (состояние)	S3
Отн. определенность диагноза	0,510

Апостериорные вероятности состояний системы



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Рисунок В.8 – Результаты ВАТС для фасада №3

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого поэтажа			
	Участок $E_1$	Участок $E_2$	Участок $E_3$
Вероятность $P_{E_k}(S_1/K^*)$	0,000	0,000	0,000
Вероятность $P_{E_k}(S_2/K^*)$	0,009	0,020	0,000
Вероятность $P_{E_k}(S_3/K^*)$	0,348	0,691	0,115
Вероятность $P_{E_k}(S_4/K^*)$	0,632	0,288	0,745
Вероятность $P_{E_k}(S_5/K^*)$	0,011	0,001	0,140
$\sum P_{E_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{E_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(E_k)$	0,327	0,304	0,324
Макс. энтропия $H_{max}(E_k)$	0,646	0,646	0,646
Вклад $V(E_k)$	0,319	0,342	0,322
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(E_k)]$	0,325	0,348	0,327
Вероятность диагноза	0,632	0,691	0,745
Диагноз (состояние)	S4	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,494	0,530	0,498

Рисунок В.9 – Результаты ВАТС для каждого поэтажного участка фасада №4

Результаты статистического анализа для группы участков $E^*$ стены фасада №4 ( $A_4$ )	
$\sum P[V(E_k)] =$	1,000
Энтропия системы $H(E^*)$	0,954
Макс. энтр. сист. $H_{max}(E^*)$	1,938
Вклад системы $V(E^*)$	0,983
Вероятность $P_{E^*}(S_1/K^*)$	0,000
Вероятность $P_{E^*}(S_2/K^*)$	0,010
Вероятность $P_{E^*}(S_3/K^*)$	0,391
Вероятность $P_{E^*}(S_4/K^*)$	0,549
Вероятность $P_{E^*}(S_5/K^*)$	0,050
$\sum P_{E^*}(S_n/K^*) =$	1,000
Вероятность диагноза	0,549
Диагноз (состояние)	S4
Отн. определенность диагноза	0,507

Апостериорные вероятности состояний системы



Рисунок В.10 – Результаты ВАТС для фасада №4

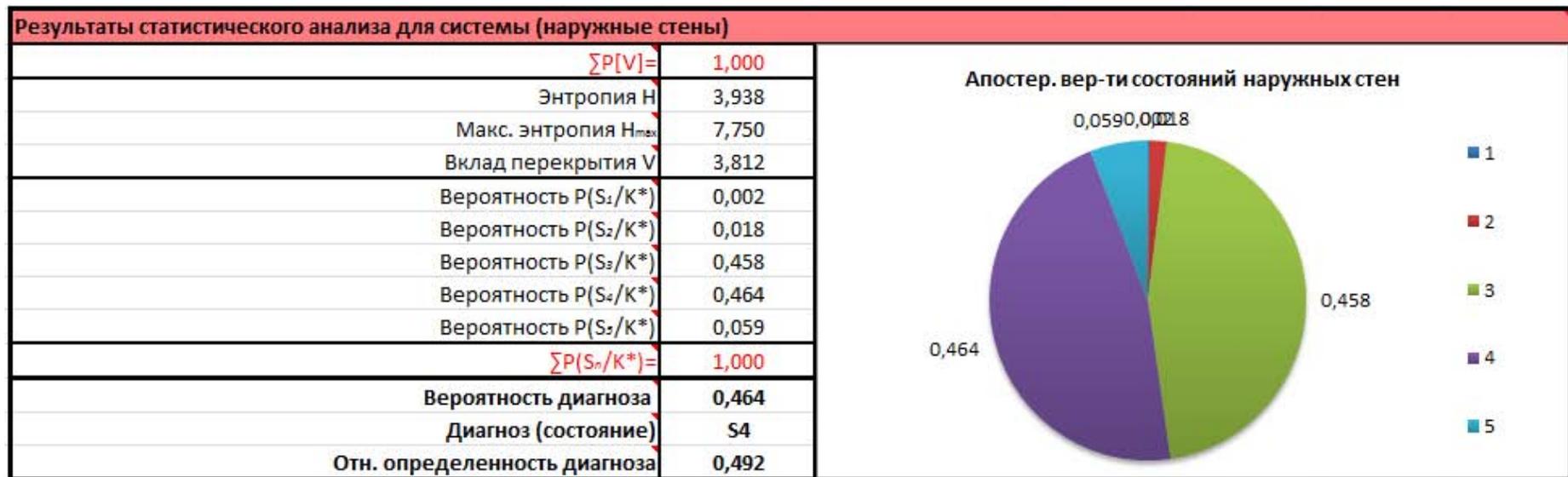


Рисунок В.11 – Результаты ВАТС для системы «наружные стены»

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой стальной балки								
	Балка $R_1$	Балка $R_2$	Балка $R_3$	Балка $R_4$	Балка $R_5$	Балка $R_6$	Балка $R_7$	Балка $R_8$
Вероятность $P_{jk}(S_1/K^*)$	0,001	0,001	0,074	0,074	0,007	0,001	0,001	0,049
Вероятность $P_{jk}(S_2/K^*)$	0,021	0,026	0,315	0,315	0,087	0,026	0,006	0,181
Вероятность $P_{jk}(S_3/K^*)$	0,192	0,186	0,443	0,443	0,315	0,186	0,094	0,475
Вероятность $P_{jk}(S_4/K^*)$	0,454	0,439	0,162	0,162	0,434	0,439	0,287	0,224
Вероятность $P_{jk}(S_5/K^*)$	0,332	0,349	0,021	0,021	0,161	0,349	0,614	0,086
$\sum P_{jk}(S_n/K^*)=$	1,001	1,001	1,013	1,013	1,004	1,001	1,001	1,015
Диаграммы распр-я $P_{jk}(S_n/K^*)$								
Энтропия $H(R_k)$	0,492	0,497	0,561	0,561	0,550	0,497	0,397	0,589
Макс. энтропия $H_{max}(R_k)$	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674
Вклад $V(R_k)$	0,182	0,177	0,113	0,113	0,124	0,177	0,277	0,085
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(R_k)]$	0,045	0,043	0,028	0,028	0,031	0,043	0,068	0,021
Вероятность диагноза	0,454	0,439	0,443	0,443	0,434	0,439	0,614	0,475
Диагноз (состояние)	S4	S4	S3	S3	S4	S4	S5	S3
Отн. определенность диагноза	0,270	0,262	0,167	0,167	0,185	0,262	0,411	0,126

Рисунок В.12 – Результаты ВАТС для стальных балок (№1-8) надподвального перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой стальной балки								
	Балка R <sub>9</sub>	Балка R <sub>10</sub>	Балка R <sub>11</sub>	Балка R <sub>12</sub>	Балка R <sub>13</sub>	Балка R <sub>14</sub>	Балка R <sub>15</sub>	Балка R <sub>16</sub>
Вероятность $P_{R_k}(S_1/K^*)$	0,001	0,001	0,266	0,000	0,004	0,187	0,074	0,000
Вероятность $P_{R_k}(S_2/K^*)$	0,006	0,006	0,386	0,014	0,224	0,549	0,315	0,014
Вероятность $P_{R_k}(S_3/K^*)$	0,094	0,094	0,311	0,191	0,506	0,230	0,443	0,191
Вероятность $P_{R_k}(S_4/K^*)$	0,287	0,287	0,045	0,452	0,221	0,039	0,162	0,452
Вероятность $P_{R_k}(S_5/K^*)$	0,614	0,614	0,004	0,342	0,047	0,002	0,021	0,342
$\sum P_{R_k}(S_i/K^*)=$	1,001	1,001	1,013	1,000	1,001	1,008	1,013	1,000
Диаграммы распр-я $P_{R_k}(S_i/K^*)$ 								
Энтропия $H(R_k)$	0,397	0,397	0,541	0,480	0,511	0,487	0,561	0,480
Макс. энтропия $H_{max}(R_k)$	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674
Вклад $V(R_k)$	0,277	0,277	0,133	0,194	0,163	0,187	0,113	0,194
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(R_k)]$	0,068	0,068	0,033	0,048	0,040	0,046	0,028	0,048
Вероятность диагноза	0,614	0,614	0,386	0,452	0,506	0,549	0,443	0,452
Диагноз (состояние)	S5	S5	S2	S4	S3	S2	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,411	0,411	0,197	0,288	0,241	0,278	0,167	0,288

Рисунок В.13 – Результаты ВАТС для стальных балок (№9-16) надподвального перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой стальной балки						
	Балка R <sub>17</sub>	Балка R <sub>18</sub>	Балка R <sub>19</sub>	Балка R <sub>20</sub>	Балка R <sub>21</sub>	Балка R <sub>22</sub>
Вероятность $P_{Rk}(S_1/K^*)$	0,000	0,001	0,000	0,001	0,007	0,049
Вероятность $P_{Rk}(S_2/K^*)$	0,007	0,007	0,006	0,006	0,087	0,181
Вероятность $P_{Rk}(S_3/K^*)$	0,083	0,089	0,087	0,094	0,315	0,475
Вероятность $P_{Rk}(S_4/K^*)$	0,391	0,272	0,408	0,287	0,434	0,224
Вероятность $P_{Rk}(S_5/K^*)$	0,519	0,632	0,499	0,614	0,161	0,086
$\sum P_{Rk}(S_n/K^*)=$	1,000	1,001	1,000	1,001	1,004	1,015
Диаграммы распр-я $P_{Rk}(S_n/K^*)$						
Энтропия $H(R_k)$	0,413	0,390	0,415	0,397	0,550	0,589
Макс. энтропия $H_{max}(R_k)$	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674	0,674
Вклад $V(R_k)$	0,262	0,284	0,259	0,277	0,124	0,085
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(R_k)]$	0,064	0,070	0,064	0,068	0,031	0,021
Вероятность диагноза	0,519	0,632	0,499	0,614	0,434	0,475
Диагноз (состояние)	S5	S5	S5	S5	S4	S3
Отн. определенность диагноза	0,388	0,421	0,384	0,411	0,185	0,126

Рисунок В.14 – Результаты ВАТС для стальных балок (№17-22) надподвального перекрытия



Рисунок В.15 – Результаты ВАТС для группы стальных балок надподвального перекрытия



Рисунок В.16 – Результаты ВАТС для кирпичной кладки стены надподвального перекрытия



Рисунок В.17 – Результаты ВАТС для группы участков заполнения надподвального перекрытия



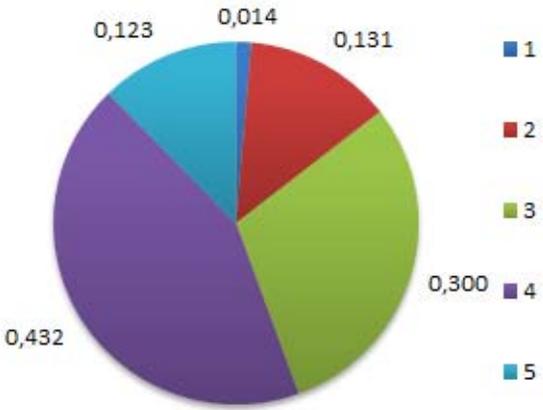
Рисунок В.18 – Результаты ВАТС для подсистемы «надподвальное перекрытие»

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой главной балки			
	Балка $G_1$	Балка $G_2$	Балка $G_3$
Вероятность $P_{G_k}(S_1/K^*)$	0,008	0,055	0,000
Вероятность $P_{G_k}(S_2/K^*)$	0,167	0,378	0,007
Вероятность $P_{G_k}(S_3/K^*)$	0,582	0,404	0,080
Вероятность $P_{G_k}(S_4/K^*)$	0,221	0,160	0,677
Вероятность $P_{G_k}(S_5/K^*)$	0,022	0,003	0,236
$\sum P_{G_k}(S_n/K^*) =$	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{G_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(G_k)$	0,464	0,522	0,367
Макс. энтропия $H_{max}(G_k)$	0,630	0,630	0,630
Вклад $V(G_k)$	0,165	0,108	0,263
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(G_k)]$	0,308	0,201	0,491
Вероятность диагноза	0,582	0,404	0,677
Диагноз (состояние)	S3	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,262	0,171	0,418

Рисунок В.19 – Результаты ВАТС для каждой главной балки междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа для группы главных балок $G^*$	
$\sum P[V(G_k)] =$	1
Энтропия системы $H(G^*)$	1,353
Макс. энтр. сист. $H_{max}(G^*)$	1,889
Вклад системы $V(G^*)$	0,536
Вероятность $P_{G^*}(S_1/K^*)$	0,014
Вероятность $P_{G^*}(S_2/K^*)$	0,131
Вероятность $P_{G^*}(S_3/K^*)$	0,300
Вероятность $P_{G^*}(S_4/K^*)$	0,432
Вероятность $P_{G^*}(S_5/K^*)$	0,123
$\sum P_{G^*}(S_n/K^*) =$	1
Вероятность диагноза	0,432
Диагноз (состояние)	S4
Отн. определенность диагноза	0,284

Апостериорные вероятности состояний системы



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Рисунок В.20 – Результаты ВАТС для группы главных балок междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой второстепенной балки								
	Балка $W_1$	Балка $W_2$	Балка $W_3$	Балка $W_4$	Балка $W_5$	Балка $W_6$	Балка $W_7$	Балка $W_8$
Вероятность $P_{W_k}(S_1/K^*)$	0,103	0,038	0,036	0,000	0,044	0,000	0,046	0,002
Вероятность $P_{W_k}(S_2/K^*)$	0,529	0,289	0,702	0,004	0,605	0,000	0,435	0,024
Вероятность $P_{W_k}(S_3/K^*)$	0,270	0,455	0,198	0,069	0,302	0,006	0,325	0,315
Вероятность $P_{W_k}(S_4/K^*)$	0,097	0,216	0,062	0,477	0,049	0,121	0,188	0,533
Вероятность $P_{W_k}(S_5/K^*)$	0,001	0,003	0,001	0,449	0,000	0,872	0,006	0,126
$\sum P_{W_k}(S_n/K^*)=$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{W_k}(S_n/K^*)$								
Энтропия $H(W_k)$	0,503	0,516	0,378	0,400	0,414	0,176	0,527	0,462
Макс. энтропия $H_{max}(W_k)$	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672
Вклад $V(W_k)$	0,169	0,156	0,294	0,272	0,258	0,495	0,145	0,210
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(W_k)]$	0,032	0,029	0,055	0,051	0,048	0,092	0,027	0,039
Вероятность диагноза	0,529	0,455	0,702	0,477	0,605	0,872	0,435	0,533
Диагноз (состояние)	S2	S3	S2	S4	S2	S5	S2	S4
Отн. определенность диагноза	0,251	0,232	0,437	0,404	0,384	0,737	0,215	0,313

Рисунок В.21 – Результаты ВАТС для второстепенных балок (№1-8) междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой второстепенной балки								
	Балка $W_9$	Балка $W_{10}$	Балка $W_{11}$	Балка $W_{12}$	Балка $W_{13}$	Балка $W_{14}$	Балка $W_{15}$	Балка $W_{16}$
Вероятность $P_{W_k}(S_2/K^*)$	0,000	0,034	0,000	0,001	0,000	0,047	0,038	0,000
Вероятность $P_{W_k}(S_3/K^*)$	0,045	0,395	0,025	0,042	0,011	0,321	0,195	0,060
Вероятность $P_{W_k}(S_4/K^*)$	0,228	0,439	0,198	0,351	0,104	0,448	0,529	0,268
Вероятность $P_{W_k}(S_5/K^*)$	0,602	0,131	0,538	0,500	0,511	0,179	0,206	0,503
Вероятность $P_{W_k}(S_7/K^*)$	0,124	0,002	0,239	0,106	0,373	0,005	0,031	0,170
$\sum P_{W_k}(S_n/K^*)=$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{W_k}(S_n/K^*)$								
Энтропия $H(W_k)$	0,454	0,487	0,473	0,473	0,433	0,522	0,527	0,507
Макс. энтропия $H_{max}(W_k)$	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672
Вклад $V(W_k)$	0,218	0,185	0,199	0,198	0,239	0,150	0,145	0,164
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(W_k)]$	0,041	0,034	0,037	0,037	0,045	0,028	0,027	0,031
Вероятность диагноза	0,602	0,439	0,538	0,500	0,511	0,448	0,529	0,503
Диагноз (состояние)	S4	S3	S4	S4	S4	S3	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,325	0,275	0,296	0,295	0,355	0,223	0,215	0,245

Рисунок В.22 – Результаты ВАТС для второстепенных балок (№9-16) междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой второстепенной балки						
	Балка $W_{17}$	Балка $W_{18}$	Балка $W_{19}$	Балка $W_{20}$	Балка $W_{21}$	Балка $W_{22}$
Вероятность $P_{Wk}(S_1/K^*)$	0,000	0,036	0,046	0,000	0,000	0,001
Вероятность $P_{Wk}(S_2/K^*)$	0,000	0,342	0,435	0,000	0,001	0,040
Вероятность $P_{Wk}(S_3/K^*)$	0,011	0,399	0,325	0,006	0,031	0,306
Вероятность $P_{Wk}(S_4/K^*)$	0,151	0,215	0,188	0,106	0,387	0,619
Вероятность $P_{Wk}(S_5/K^*)$	0,839	0,008	0,006	0,888	0,582	0,035
$\sum P_{Wk}(S_n/K^*) =$	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{Wk}(S_n/K^*)$						
Энтропия $H(W_k)$	0,209	0,530	0,527	0,162	0,345	0,394
Макс. энтропия $H_{max}(W_k)$	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672
Вклад $V(W_k)$	0,463	0,141	0,145	0,510	0,327	0,278
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(W_k)]$	0,086	0,026	0,027	0,095	0,061	0,052
Вероятность диагноза	0,839	0,399	0,435	0,888	0,582	0,619
Диагноз (состояние)	S5	S3	S2	S5	S5	S4
Отн. определенность диагноза	0,689	0,210	0,215	0,759	0,486	0,413

Рисунок В.23 – Результаты ВАТС для второстепенных балок (№9-22) междуэтажного железобетонного перекрытия



Рисунок В.24 – Результаты ВАТС для группы второстепенных балок междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой колонны		
	Колонна L <sub>1</sub>	Колонна L <sub>2</sub>
Вероятность P <sub>ik</sub> (S <sub>i</sub> /K*)	0,005	0,059
Вероятность P <sub>ik</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,139	0,654
Вероятность P <sub>ik</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,539	0,213
Вероятность P <sub>ik</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,299	0,072
Вероятность P <sub>ik</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,018	0,001
$\sum P_{ik}(S_i/K^*) =$	1	1
Диаграммы распределения P <sub>ik</sub> (S <sub>i</sub> /K*)		
Энтропия H(L <sub>k</sub> )	0,463	0,422
Макс. энтропия H <sub>max</sub> (L <sub>k</sub> )	0,669	0,669
Вклад V(L <sub>k</sub> )	0,205	0,247
Вер-ти степ. опр-ти P[V(L <sub>k</sub> )]	0,454	0,546
Вероятность диагноза	0,539	0,654
Диагноз (состояние)	S3	S2
Отн. определенность диагноза	0,307	0,370

Рисунок В.25 – Результаты ВАТС для колонн междуэтажного железобетонного перекрытия

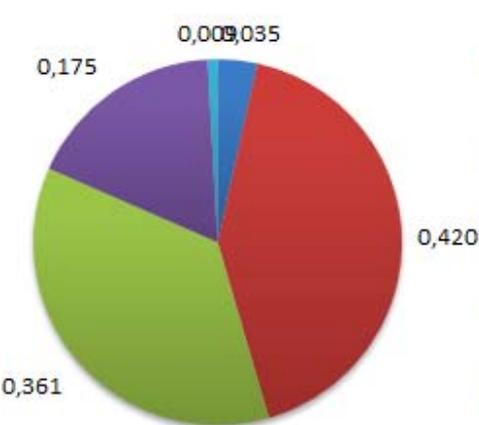
Результаты статистического анализа для группы колонн L*		
$\sum P[V(L_k)] =$	1	<p>Апостериорные вероятности состояний системы</p> 
Энтропия системы H(L*)	0,885	
Макс. энтр. сист. H <sub>max</sub> (L*)	1,338	
Вклад системы V(L*)	0,453	
Вероятность P <sub>i</sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,035	
Вероятность P <sub>i</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,420	
Вероятность P <sub>i</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,361	
Вероятность P <sub>i</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,175	
Вероятность P <sub>i</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,009	
$\sum P_{i}(S_i/K^*) =$	1	
Вероятность диагноза	0,420	
Диагноз (состояние)	S2	
Отн. определенность диагноза	0,338	

Рисунок В.26 – Результаты ВАТС для группы колонн междуэтажного железобетонного перекрытия

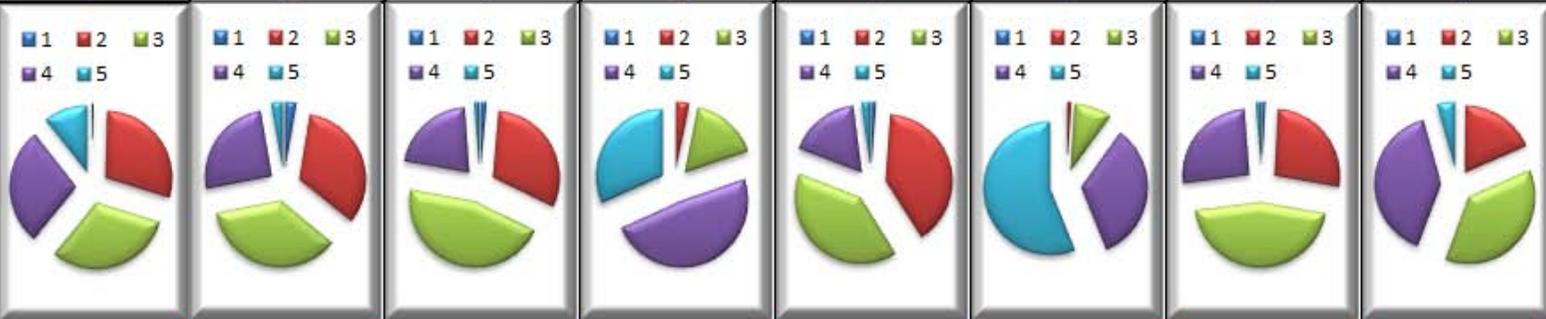
Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого плитного участка								
	Плита F <sub>1</sub>	Плита F <sub>2</sub>	Плита F <sub>3</sub>	Плита F <sub>4</sub>	Плита F <sub>5</sub>	Плита F <sub>6</sub>	Плита F <sub>7</sub>	Плита F <sub>8</sub>
Вероятность $P_{F_k}(S_2/K^*)$	0,004	0,026	0,014	0,000	0,011	0,000	0,008	0,001
Вероятность $P_{F_k}(S_3/K^*)$	0,294	0,332	0,309	0,031	0,398	0,010	0,269	0,183
Вероятность $P_{F_k}(S_4/K^*)$	0,312	0,362	0,456	0,167	0,398	0,089	0,452	0,373
Вероятность $P_{F_k}(S_5/K^*)$	0,284	0,253	0,210	0,485	0,172	0,339	0,259	0,400
Вероятность $P_{F_k}(S_7/K^*)$	0,106	0,028	0,011	0,317	0,020	0,562	0,012	0,043
$\sum P_{F_k}(S_i/K^*) =$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{F_k}(S_i/K^*)$ 								
Энтропия $H(F_k)$	0,583	0,554	0,503	0,487	0,507	0,413	0,501	0,517
Макс. энтропия $H_{max}(F_k)$	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677
Вклад $V(F_k)$	0,094	0,123	0,173	0,189	0,170	0,263	0,175	0,160
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(F_k)]$	0,021	0,028	0,039	0,043	0,039	0,060	0,040	0,036
Вероятность диагноза	0,312	0,362	0,456	0,485	0,398	0,562	0,452	0,400
Диагноз (состояние)	S3	S3	S3	S4	S2	S5	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,139	0,182	0,256	0,280	0,251	0,389	0,259	0,236

Рисунок В.27 – Результаты ВАТС для плитных участков (№1-8) междуэтажного железобетонного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого плитного участка								
	Плита F <sub>9</sub>	Плита F <sub>10</sub>	Плита F <sub>11</sub>	Плита F <sub>12</sub>	Плита F <sub>13</sub>	Плита F <sub>14</sub>	Плита F <sub>15</sub>	Плита F <sub>16</sub>
Вероятность $P_{F_k}(S_1/K^*)$	0,070	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,026	0,000
Вероятность $P_{F_k}(S_2/K^*)$	0,463	0,002	0,085	0,049	0,315	0,045	0,310	0,097
Вероятность $P_{F_k}(S_3/K^*)$	0,349	0,045	0,434	0,244	0,472	0,152	0,441	0,382
Вероятность $P_{F_k}(S_4/K^*)$	0,113	0,308	0,398	0,530	0,198	0,416	0,207	0,435
Вероятность $P_{F_k}(S_5/K^*)$	0,005	0,645	0,083	0,178	0,006	0,386	0,017	0,086
$\sum P_{F_k}(S_i/K^*) =$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{F_k}(S_i/K^*)$ 								
Энтропия $H(F_k)$	0,513	0,347	0,498	0,493	0,483	0,504	0,526	0,508
Макс. энтропия $H_{\max}(F_k)$	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677
Вклад $V(F_k)$	0,163	0,330	0,179	0,183	0,194	0,173	0,150	0,169
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(F_k)]$	0,037	0,075	0,041	0,042	0,044	0,039	0,034	0,038
Вероятность диагноза	0,463	0,645	0,434	0,530	0,472	0,416	0,441	0,435
Диагноз (состояние)	S2	S5	S3	S4	S3	S4	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,241	0,488	0,264	0,271	0,287	0,255	0,222	0,249

Рисунок В.28 – Результаты ВАТС для плитных участков (№9-16) междуэтажного железобетонного перекрытия

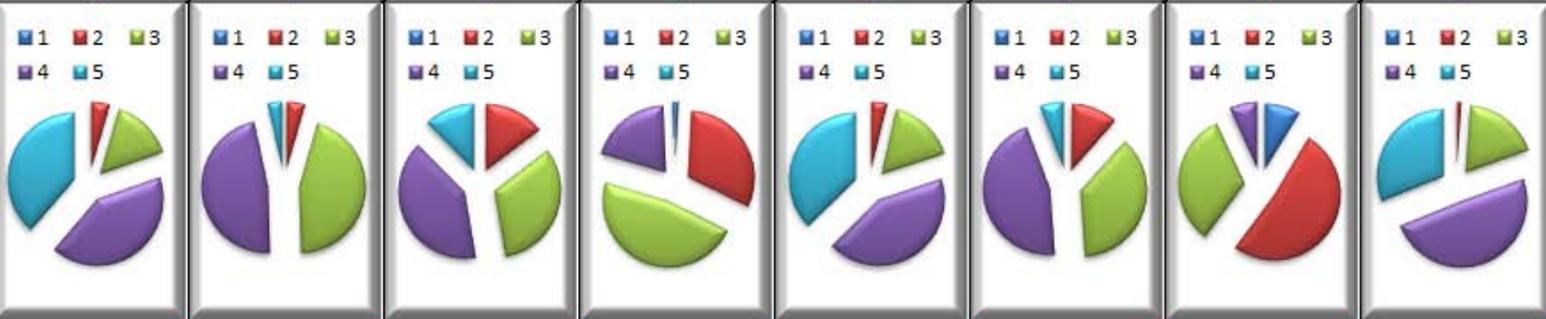
Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого плитного участка								
	Плита F <sub>17</sub>	Плита F <sub>18</sub>	Плита F <sub>19</sub>	Плита F <sub>20</sub>	Плита F <sub>21</sub>	Плита F <sub>22</sub>	Плита F <sub>23</sub>	Плита F <sub>24</sub>
Вероятность $P_{F_k}(S_1/K^*)$	0,000	0,000	0,001	0,008	0,000	0,001	0,086	0,000
Вероятность $P_{F_k}(S_2/K^*)$	0,045	0,045	0,145	0,315	0,036	0,115	0,516	0,011
Вероятность $P_{F_k}(S_3/K^*)$	0,152	0,451	0,327	0,472	0,164	0,373	0,329	0,185
Вероятность $P_{F_k}(S_4/K^*)$	0,416	0,470	0,403	0,198	0,427	0,454	0,069	0,494
Вероятность $P_{F_k}(S_5/K^*)$	0,386	0,034	0,124	0,006	0,373	0,057	0,001	0,310
$\sum P_{F_k}(S_n/K^*) =$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{F_k}(S_n/K^*)$ 								
Энтропия $H(F_k)$	0,504	0,421	0,555	0,483	0,499	0,498	0,481	0,466
Макс. энтропия $H_{max}(F_k)$	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677	0,677
Вклад $V(F_k)$	0,173	0,256	0,122	0,194	0,178	0,179	0,196	0,210
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(F_k)]$	0,039	0,058	0,028	0,044	0,041	0,041	0,045	0,048
Вероятность диагноза	0,416	0,470	0,403	0,472	0,427	0,454	0,516	0,494
Диагноз (состояние)	S4	S4	S4	S3	S4	S4	S2	S4
Отн. определенность диагноза	0,255	0,378	0,180	0,287	0,263	0,264	0,289	0,311

Рисунок В.29 – Результаты ВАТС для плитных участков (№17 – 24) междуэтажного железобетонного перекрытия



Рисунок В.30 – Результаты ВАТС для группы плитных участков междуэтажного железобетонного перекрытия



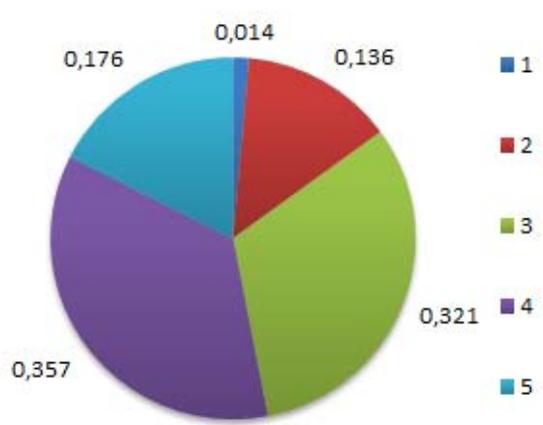
Рисунок В.31 – Результаты ВАТС для подсистемы «междуэтажное железобетонное перекрытие»

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой стальной			
	Балка $D_1$	Балка $D_2$	Балка $D_3$
Вероятность $P_{Dk}(S_1/K^*)$	0,038	0,002	0,007
Вероятность $P_{Dk}(S_2/K^*)$	0,280	0,026	0,153
Вероятность $P_{Dk}(S_3/K^*)$	0,461	0,200	0,358
Вероятность $P_{Dk}(S_4/K^*)$	0,194	0,456	0,377
Вероятность $P_{Dk}(S_5/K^*)$	0,035	0,317	0,108
$\sum P_{Dk}(S_n/K^*) =$	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{Dk}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(D_k)$	0,553	0,499	0,565
Макс. энтропия $H_{max}(D_k)$	0,676	0,676	0,676
Вклад $V(D_k)$	0,123	0,177	0,112
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(D_k)]$	0,299	0,430	0,271
Вероятность диагноза	0,461	0,456	0,377
Диагноз (состояние)	S3	S4	S4
Отн. определенность диагноза	0,182	0,262	0,165

Рисунок В.32 – Результаты ВАТС для каждой стальной балки междуэтажного сталедревянного перекрытия

Результаты статистического анализа для группы стальных балок $D^*$	
$\sum P[V(D_k)] =$	1
Энтропия системы $H(D^*)$	1,616
Макс. энтр. сист. $H_{max}(D^*)$	2,029
Вклад системы $V(D^*)$	0,412
Вероятность $P_{D^*}(S_1/K^*)$	0,014
Вероятность $P_{D^*}(S_2/K^*)$	0,136
Вероятность $P_{D^*}(S_3/K^*)$	0,321
Вероятность $P_{D^*}(S_4/K^*)$	0,357
Вероятность $P_{D^*}(S_5/K^*)$	0,176
$\sum P_{D^*}(S_n/K^*) =$	1
Вероятность диагноза	0,357
Диагноз (состояние)	S4
Отн. определенность диагноза	0,203

Апостериорные вероятности состояний системы



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Рисунок В.33 – Результаты ВАТС для группы стальных балок междуэтажного сталедревянного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки								
	Балка $B_1$	Балка $B_2$	Балка $B_3$	Балка $B_4$	Балка $B_5$	Балка $B_6$	Балка $B_7$	Балка $B_8$
Вероятность $P_{S_k}(S_1/K^*)$	0,249	0,564	0,039	0,000	0,249	0,010	0,206	0,257
Вероятность $P_{S_k}(S_2/K^*)$	0,196	0,258	0,097	0,014	0,196	0,048	0,301	0,254
Вероятность $P_{S_k}(S_3/K^*)$	0,377	0,148	0,323	0,111	0,377	0,234	0,298	0,359
Вероятность $P_{S_k}(S_4/K^*)$	0,153	0,028	0,398	0,353	0,153	0,375	0,170	0,115
Вероятность $P_{S_k}(S_5/K^*)$	0,024	0,002	0,143	0,523	0,024	0,333	0,025	0,015
$\sum P_{S_k}(S_i/K^*) =$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{S_k}(S_i/K^*)$								
Энтропия $H(B_k)$	0,613	0,463	0,592	0,439	0,613	0,550	0,626	0,598
Макс. энтропия $H_{max}(B_k)$	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666
Вклад $V(B_k)$	0,053	0,202	0,074	0,226	0,053	0,116	0,040	0,068
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(B_k)]$	0,021	0,080	0,029	0,089	0,021	0,046	0,016	0,027
Вероятность диагноза	0,377	0,564	0,398	0,523	0,377	0,375	0,301	0,359
Диагноз (состояние)	S3	S1	S4	S5	S3	S4	S2	S3
Отн. определенность диагноза	0,079	0,304	0,111	0,340	0,079	0,174	0,059	0,102

Рисунок В.34 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№1-8) междуэтажного сталедревянного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки								
	Балка $B_9$	Балка $B_{10}$	Балка $B_{11}$	Балка $B_{12}$	Балка $B_{13}$	Балка $B_{14}$	Балка $B_{15}$	Балка $B_{16}$
Вероятность $P_{S_k}(S_1/K^*)$	0,015	0,055	0,015	0,055	0,015	0,257	0,002	0,257
Вероятность $P_{S_k}(S_2/K^*)$	0,192	0,094	0,192	0,094	0,192	0,254	0,040	0,254
Вероятность $P_{S_k}(S_3/K^*)$	0,446	0,445	0,446	0,445	0,446	0,359	0,309	0,359
Вероятность $P_{S_k}(S_4/K^*)$	0,285	0,309	0,285	0,309	0,285	0,115	0,427	0,115
Вероятность $P_{S_k}(S_5/K^*)$	0,061	0,097	0,061	0,097	0,061	0,015	0,223	0,015
$\sum P_{S_k}(S_i/K^*) =$	1	1	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{S_k}(S_i/K^*)$								
Энтропия $H(B_k)$	0,552	0,578	0,552	0,578	0,552	0,598	0,521	0,598
Макс. энтропия $H_{max}(B_k)$	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666
Вклад $V(B_k)$	0,114	0,088	0,114	0,088	0,114	0,068	0,144	0,068
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(B_k)]$	0,045	0,035	0,045	0,035	0,045	0,027	0,057	0,027
Вероятность диагноза	0,446	0,445	0,446	0,445	0,446	0,359	0,427	0,359
Диагноз (состояние)	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S4	S3
Отн. определенность диагноза	0,171	0,132	0,171	0,132	0,171	0,102	0,217	0,102

Рисунок В.35 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№9-16) междуэтажного дерево-металлического перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки						
	Балка $V_{17}$	Балка $V_{18}$	Балка $V_{19}$	Балка $V_{20}$	Балка $V_{21}$	Балка $V_{22}$
Вероятность $P_{Bk}(S_1/K^*)$	0,001	0,021	0,000	0,000	0,001	0,136
Вероятность $P_{Bk}(S_2/K^*)$	0,035	0,134	0,022	0,008	0,053	0,272
Вероятность $P_{Bk}(S_3/K^*)$	0,307	0,370	0,145	0,113	0,239	0,434
Вероятность $P_{Bk}(S_4/K^*)$	0,424	0,363	0,367	0,309	0,467	0,140
Вероятность $P_{Bk}(S_5/K^*)$	0,233	0,112	0,466	0,570	0,240	0,019
$\sum P_{Bk}(S_n/K^*)=$	1	1	1	1	1	1
Диаграммы распр-я $P_{Bk}(S_n/K^*)$						
Энтропия $H(B_k)$	0,516	0,578	0,473	0,422	0,521	0,581
Макс. энтропия $H_{max}(B_k)$	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666	0,666
Вклад $V(B_k)$	0,150	0,087	0,193	0,244	0,144	0,085
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(B_k)]$	0,059	0,034	0,076	0,096	0,057	0,033
Вероятность диагноза	0,424	0,370	0,466	0,570	0,467	0,434
Диагноз (состояние)	S4	S3	S5	S5	S4	S3
Отн. определенность диагноза	0,225	0,131	0,290	0,366	0,217	0,127

Рисунок В.36 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№17-22) междуэтажного сталедревянного перекрытия



Рисунок В.37 – Результаты ВАТС для группы деревянных балок междуэтажного сталедеревянного перекрытия

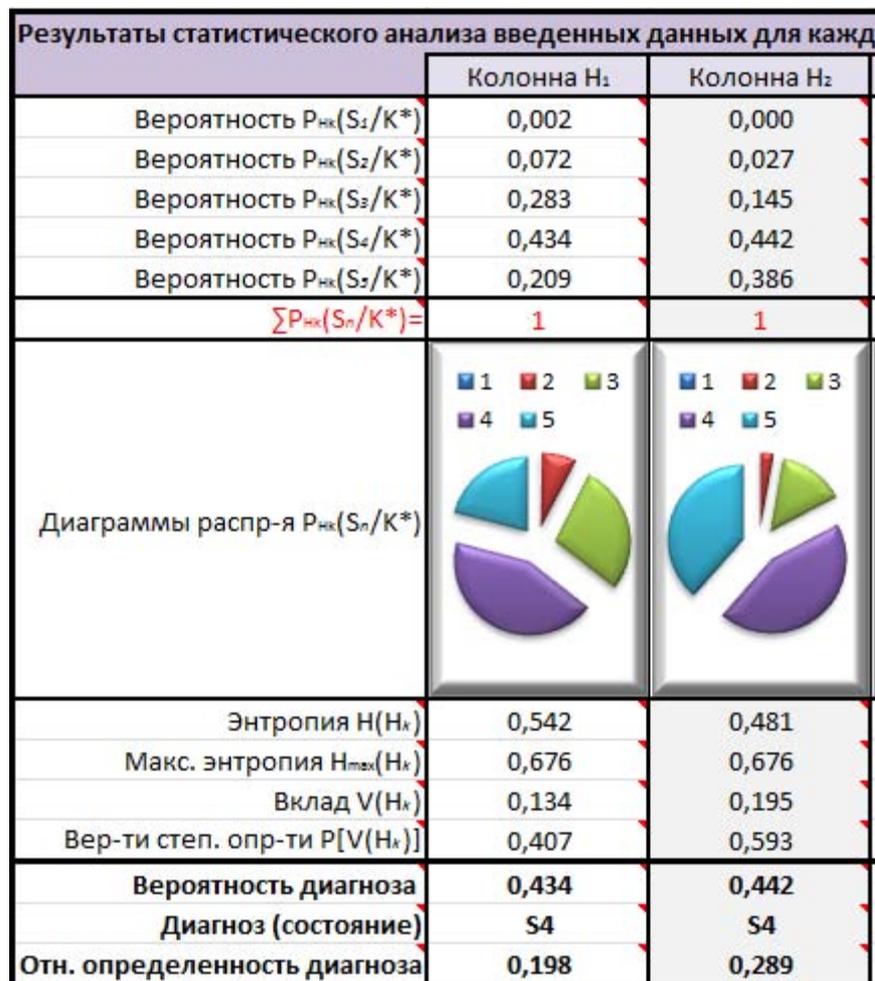


Рисунок В.38 – Результаты ВАТС для колонн междуэтажного сталедеревянного перекрытия



Рисунок В.39 – Результаты ВАТС для группы колонн междуэтажного сталедеревянного перекрытия



Рисунок В.40 – Результаты ВАТС для группы участков заполнения междуэтажного сталедеревянного перекрытия



Рисунок В.41 – Результаты ВАТС для подсистемы «междуэтажное сталедревянного перекрытие»

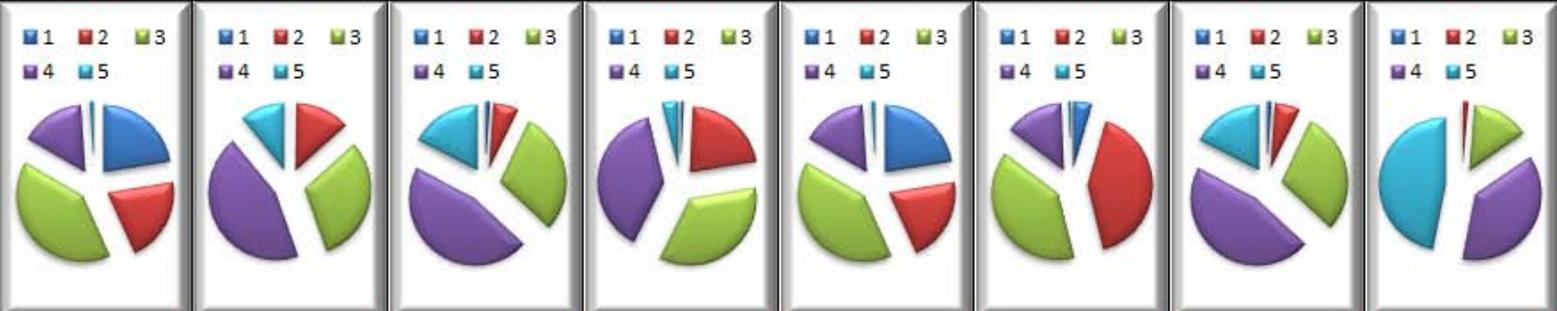
Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки								
	Балка $l_1$	Балка $l_2$	Балка $l_3$	Балка $l_4$	Балка $l_5$	Балка $l_6$	Балка $l_7$	Балка $l_8$
Вероятность $P_{ik}(S_1/K^*)$	0,224	0,002	0,011	0,007	0,224	0,045	0,011	0,001
Вероятность $P_{ik}(S_2/K^*)$	0,208	0,131	0,061	0,216	0,208	0,415	0,061	0,012
Вероятность $P_{ik}(S_3/K^*)$	0,401	0,312	0,297	0,352	0,401	0,392	0,297	0,142
Вероятность $P_{ik}(S_4/K^*)$	0,157	0,445	0,459	0,386	0,157	0,141	0,459	0,376
Вероятность $P_{ik}(S_5/K^*)$	0,011	0,109	0,173	0,038	0,011	0,006	0,173	0,469
$\sum P_{ik}(S_n/K^*)=$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{ik}(S_n/K^*)$ 								
Энтропия $H(l_k)$	0,594	0,541	0,539	0,533	0,594	0,513	0,539	0,460
Макс. энтропия $H_{max}(l_k)$	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662
Вклад $V(l_k)$	0,068	0,121	0,123	0,129	0,068	0,149	0,123	0,202
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(l_k)]$	0,019	0,034	0,035	0,036	0,019	0,042	0,035	0,057
Вероятность диагноза	0,401	0,445	0,459	0,386	0,401	0,415	0,459	0,469
Диагноз (состояние)	S3	S4	S4	S4	S3	S2	S4	S5
Отн. определенность диагноза	0,103	0,182	0,186	0,194	0,103	0,225	0,186	0,305

Рисунок В.42 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№1 – 8) чердачного перекрытия

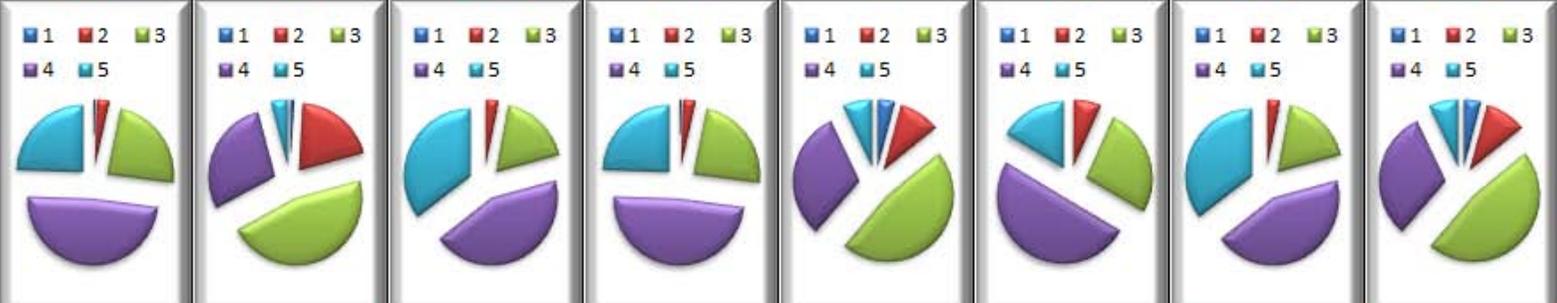
Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки								
	Балка $I_9$	Балка $I_{10}$	Балка $I_{11}$	Балка $I_{12}$	Балка $I_{13}$	Балка $I_{14}$	Балка $I_{15}$	Балка $I_{16}$
Вероятность $P_{ik}(S_1/K^*)$	0,004	0,009	0,000	0,004	0,042	0,001	0,000	0,042
Вероятность $P_{ik}(S_2/K^*)$	0,029	0,200	0,030	0,029	0,099	0,067	0,030	0,099
Вероятность $P_{ik}(S_3/K^*)$	0,237	0,464	0,179	0,237	0,472	0,266	0,179	0,472
Вероятность $P_{ik}(S_4/K^*)$	0,485	0,287	0,437	0,485	0,316	0,502	0,437	0,316
Вероятность $P_{ik}(S_5/K^*)$	0,245	0,042	0,354	0,245	0,070	0,165	0,354	0,070
$\sum P_{ik}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{ik}(S_n/K^*)$ 								
Энтропия $H(I_k)$	0,504	0,525	0,497	0,504	0,551	0,513	0,497	0,551
Макс. энтропия $H_{max}(I_k)$	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662
Вклад $V(I_k)$	0,158	0,137	0,164	0,158	0,111	0,148	0,164	0,111
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(I_k)]$	0,045	0,039	0,047	0,045	0,031	0,042	0,047	0,031
Вероятность диагноза	0,485	0,464	0,437	0,485	0,472	0,502	0,437	0,472
Диагноз (состояние)	S4	S3	S4	S4	S3	S4	S4	S3
Отн. определенность диагноза	0,238	0,207	0,248	0,238	0,168	0,224	0,248	0,168

Рисунок В.43 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№9 – 16) чердачного перекрытия

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой деревянной балки						
	Балка I <sub>17</sub>	Балка I <sub>18</sub>	Балка I <sub>19</sub>	Балка I <sub>20</sub>	Балка I <sub>21</sub>	Балка I <sub>22</sub>
Вероятность $P_{ik}(S_1/K^*)$	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Вероятность $P_{ik}(S_2/K^*)$	0,029	0,030	0,014	0,002	0,004	0,008
Вероятность $P_{ik}(S_3/K^*)$	0,237	0,201	0,172	0,040	0,071	0,090
Вероятность $P_{ik}(S_4/K^*)$	0,485	0,410	0,353	0,209	0,291	0,367
Вероятность $P_{ik}(S_5/K^*)$	0,245	0,357	0,460	0,749	0,634	0,534
$\sum P_{ik}(S_n/K^*)=$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{ik}(S_n/K^*)$						
Энтропия $H(I_k)$	0,504	0,511	0,474	0,298	0,372	0,417
Макс. энтропия $H_{max}(I_k)$	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662	0,662
Вклад $V(I_k)$	0,158	0,151	0,188	0,364	0,290	0,245
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(I_k)]$	0,045	0,043	0,053	0,103	0,082	0,069
Вероятность диагноза	0,485	0,410	0,460	0,749	0,634	0,534
Диагноз (состояние)	S4	S4	S5	S5	S5	S5
Отн. определенность диагноза	0,238	0,228	0,284	0,550	0,438	0,370

Рисунок В.44 – Результаты ВАТС для деревянных балок (№17 – 22) чердачного перекрытия



Рисунок В.45 – Результаты ВАТС для группы деревянных балок чердачного перекрытия

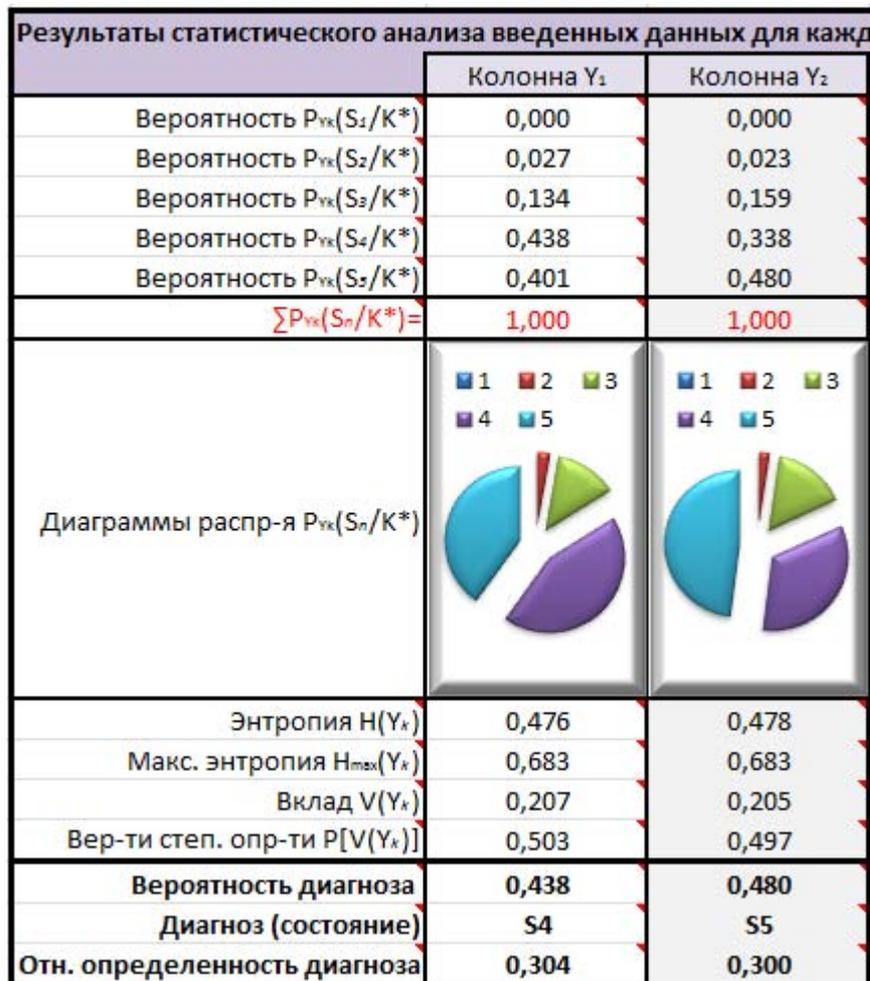


Рисунок В.46 – Результаты ВАТС для колонн чердачного перекрытия



Рисунок В.47 – Результаты ВАТС для группы колонн чердачного перекрытия



Рисунок В.48 – Результаты ВАТС для группы участков заполнения чердачного перекрытия



Рисунок В.49 – Результаты ВАТС для подсистемы «чердачное перекрытие»

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого участка		
	Участок M <sub>1</sub>	Участок M <sub>2</sub>
Вероятность P <sub>Mk</sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,015	0,007
Вероятность P <sub>Mk</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,075	0,025
Вероятность P <sub>Mk</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,459	0,216
Вероятность P <sub>Mk</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,390	0,563
Вероятность P <sub>Mk</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,061	0,189
$\sum P_{Mk}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000
Диаграммы распределения P <sub>Mk</sub> (S <sub>n</sub> /K*)		
Энтропия H(M <sub>k</sub> )	0,500	0,476
Макс. энтропия H <sub>max</sub> (M <sub>k</sub> )	0,679	0,679
Вклад V(M <sub>k</sub> )	0,179	0,203
Вер-ти степ. опр-ти P[V(M <sub>k</sub> )]	0,468	0,532
Вероятность диагноза	0,459	0,563
Диагноз (состояние)	S3	S4
Отн. определенность диагноза	0,263	0,299

Рисунок В.50 – Результаты ВАТС для участков мауэрлата

Результаты статистического анализа для группы участков мауэрлата M*		
$\sum P[V(M_k)] =$	1,000	<p>Апостериорные вероятности состояний системы</p> 
Энтропия системы H(M*)	0,977	
Макс. энтр. сист. H <sub>max</sub> (M*)	1,358	
Вклад системы V(M*)	0,382	
Вероятность P <sub>M*</sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,010	
Вероятность P <sub>M*</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,049	
Вероятность P <sub>M*</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,330	
Вероятность P <sub>M*</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,482	
Вероятность P <sub>M*</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,129	
$\sum P_{M*}(S_n/K^*) =$	1,000	
Вероятность диагноза	0,482	
Диагноз (состояние)	S4	
Отн. определенность диагноза	0,281	

Рисунок В.51 – Результаты ВАТС для группы участков мауэрлата

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой стойки		
	Стойка K <sub>1</sub>	Стойка K <sub>2</sub>
Вероятность P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,200	0,003
Вероятность P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,552	0,123
Вероятность P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,186	0,306
Вероятность P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,060	0,432
Вероятность P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,002	0,137
$\sum P_{K_i}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000
Диаграммы распределения P <sub>K<sub>1</sub></sub> (S <sub>n</sub> /K*)		
Энтропия H(K <sub>1</sub> )	0,496	0,552
Макс. энтропия H <sub>max</sub> (K <sub>1</sub> )	0,670	0,670
Вклад V(K <sub>1</sub> )	0,174	0,118
Вер-ти степ. опр-ти P[V(K <sub>1</sub> )]	0,596	0,404
Вероятность диагноза	0,552	0,432
Диагноз (состояние)	S2	S4
Отн. определенность диагноза	0,260	0,176

Рисунок В.52 – Результаты ВАТС для стоек (решетка)

Результаты статистического анализа для группы стоек K*		
$\sum P[V(K^*)] =$	1,000	<p>Апостериорные вероятности состояний системы</p>
Энтропия системы H(K*)	1,048	
Макс. энтр. сист. H <sub>max</sub> (K*)	1,339	
Вклад системы V(K*)	0,292	
Вероятность P <sub>K*</sub> (S <sub>1</sub> /K*)	0,121	
Вероятность P <sub>K*</sub> (S <sub>2</sub> /K*)	0,379	
Вероятность P <sub>K*</sub> (S <sub>3</sub> /K*)	0,234	
Вероятность P <sub>K*</sub> (S <sub>4</sub> /K*)	0,210	
Вероятность P <sub>K*</sub> (S <sub>5</sub> /K*)	0,056	
$\sum P_{K^*}(S_n/K^*) =$	1,000	
Вероятность диагноза	0,379	
Диагноз (состояние)	S2	
Отн. определенность диагноза	0,218	

Рисунок В.53 – Результаты ВАТС для группы стоек (решетка)

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого подкоса										
	Подкос $PO_1$	Подкос $PO_2$	Подкос $PO_3$	Подкос $PO_4$	Подкос $PO_5$	Подкос $PO_6$	Подкос $PO_7$	Подкос $PO_8$	Подкос $PO_9$	Подкос $PO_{10}$
Вероятность $P_{PO_k}(S_1/K^*)$	0,263	0,118	0,118	0,021	0,627	0,627	0,006	0,263	0,000	0,263
Вероятность $P_{PO_k}(S_2/K^*)$	0,492	0,271	0,271	0,392	0,324	0,324	0,134	0,492	0,016	0,492
Вероятность $P_{PO_k}(S_3/K^*)$	0,171	0,282	0,282	0,335	0,044	0,044	0,279	0,171	0,116	0,171
Вероятность $P_{PO_k}(S_4/K^*)$	0,074	0,310	0,310	0,248	0,005	0,005	0,525	0,074	0,595	0,074
Вероятность $P_{PO_k}(S_5/K^*)$	0,000	0,018	0,018	0,003	0,000	0,000	0,056	0,000	0,272	0,000
$\sum P_{PO_k}(S_i/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{PO_k}(S_i/K^*)$										
Энтропия $H(PO_k)$	0,520	0,608	0,608	0,513	0,357	0,357	0,503	0,520	0,427	0,520
Макс. энтропия $H_{max}(PO_k)$	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676	0,676
Вклад $V(PO_k)$	0,156	0,068	0,068	0,163	0,319	0,319	0,173	0,156	0,249	0,156
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(PO_k)]$	0,085	0,037	0,037	0,089	0,175	0,175	0,095	0,085	0,136	0,085
Вероятность диагноза	0,492	0,310	0,310	0,392	0,627	0,627	0,525	0,492	0,595	0,492
Диагноз (состояние)	S2	S4	S4	S2	S1	S1	S4	S2	S4	S2
Отн. определенность диагноза	0,230	0,101	0,101	0,241	0,473	0,473	0,257	0,230	0,369	0,230

Рисунок В.54 – Результаты ВАТС для подкосов (решетка)



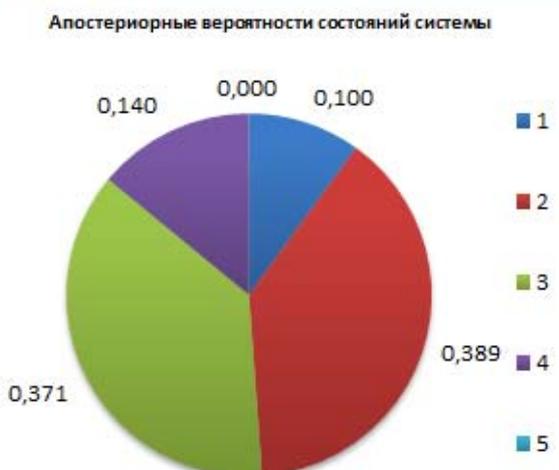
Рисунок В.55 – Результаты ВАТС для группы подкосов (решетка)

Результаты статистического анализа введенных данных для каждого $k$ -ого прогона			
	Прогон PG <sub>1</sub>	Прогон PG <sub>2</sub>	Прогон PG <sub>3</sub>
Вероятность $P_{PG_k}(S_1/K^*)$	0,209	0,024	0,082
Вероятность $P_{PG_k}(S_2/K^*)$	0,481	0,347	0,344
Вероятность $P_{PG_k}(S_3/K^*)$	0,247	0,438	0,418
Вероятность $P_{PG_k}(S_4/K^*)$	0,063	0,191	0,155
Вероятность $P_{PG_k}(S_5/K^*)$	0,000	0,000	0,001
$\sum P_{PG_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{PG_k}(S_n/K^*)$			
Энтропия $H(PG_k)$	0,521	0,494	0,534
Макс. энтропия $H_{max}(PG_k)$	0,638	0,638	0,638
Вклад $V(PG_k)$	0,117	0,144	0,104
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(PG_k)]$	0,321	0,395	0,284
Вероятность диагноза	0,481	0,438	0,418
Диагноз (состояние)	S2	S3	S3
Отн. определенность диагноза	0,183	0,225	0,162

Рисунок В.56 – Результаты ВАТС для прогонов (решетка)

Результаты статистического анализа для группы прогонов PG*	
$\sum P[V(PG_k)] =$	1,000
Энтропия системы $H(PG^*)$	1,549
Макс. энтр. сист. $H_{max}(PG^*)$	1,913
Вклад системы $V(PG^*)$	0,364
Вероятность $P_{PG^*}(S_1/K^*)$	0,100
Вероятность $P_{PG^*}(S_2/K^*)$	0,389
Вероятность $P_{PG^*}(S_3/K^*)$	0,371
Вероятность $P_{PG^*}(S_4/K^*)$	0,140
Вероятность $P_{PG^*}(S_5/K^*)$	0,000
$\sum P_{PG^*}(S_n/K^*) =$	1,000
Вероятность диагноза	0,389
Диагноз (состояние)	S2
Отн. определенность диагноза	0,190

Апостериорные вероятности состояний системы



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Рисунок В.57 – Результаты ВАТС для группы прогонов (решетка)

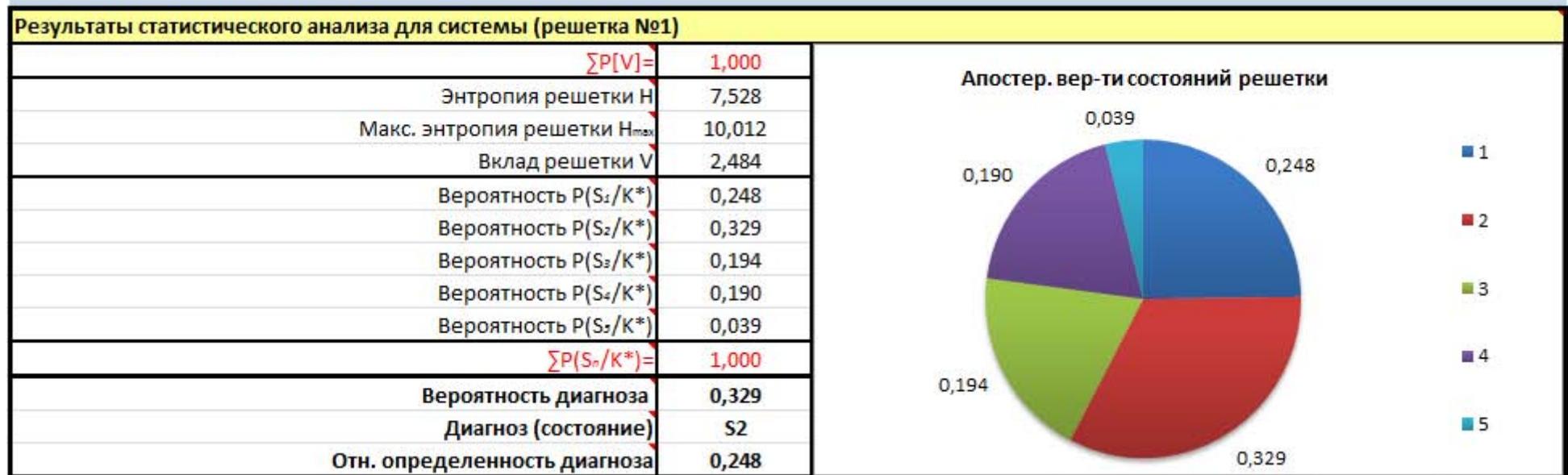


Рисунок В.58 – Результаты ВАТС для группы «решетка»

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой рядовой стропильной балки								
	Балка $SS_1$	Балка $SS_2$	Балка $SS_3$	Балка $SS_4$	Балка $SS_5$	Балка $SS_6$	Балка $SS_7$	Балка $SS_8$
Вероятность $P_{SS_k}(S_1/K^*)$	0,064	0,016	0,000	0,003	0,064	0,238	0,064	0,281
Вероятность $P_{SS_k}(S_2/K^*)$	0,795	0,427	0,003	0,195	0,795	0,671	0,795	0,670
Вероятность $P_{SS_k}(S_3/K^*)$	0,124	0,343	0,032	0,517	0,124	0,083	0,124	0,046
Вероятность $P_{SS_k}(S_4/K^*)$	0,015	0,176	0,597	0,238	0,015	0,007	0,015	0,002
Вероятность $P_{SS_k}(S_5/K^*)$	0,002	0,038	0,368	0,048	0,002	0,000	0,002	0,000
$\sum P_{SS_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{SS_k}(S_n/K^*)$ 								
Энтропия $H(SS_k)$	0,300	0,533	0,349	0,505	0,300	0,371	0,300	0,339
Макс. энтропия $H_{max}(SS_k)$	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668
Вклад $V(SS_k)$	0,368	0,135	0,319	0,163	0,368	0,297	0,368	0,329
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(SS_k)]$	0,036	0,013	0,031	0,016	0,036	0,029	0,036	0,032
Вероятность диагноза	0,795	0,427	0,597	0,517	0,795	0,671	0,795	0,670
Диагноз (состояние)	S2	S2	S4	S3	S2	S2	S2	S2
Отн. определенность диагноза	0,551	0,203	0,478	0,245	0,551	0,445	0,551	0,493

Рисунок В.59 – Результаты ВАТС для рядовых стропил (№1 – 8)

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой рядовой стропильной балки								
	Балка SS <sub>9</sub>	Балка SS <sub>10</sub>	Балка SS <sub>11</sub>	Балка SS <sub>12</sub>	Балка SS <sub>13</sub>	Балка SS <sub>14</sub>	Балка SS <sub>15</sub>	Балка SS <sub>16</sub>
Вероятность $P_{SSk}(S_1/K^*)$	0,064	0,281	0,021	0,137	0,021	0,281	0,184	0,281
Вероятность $P_{SSk}(S_2/K^*)$	0,795	0,670	0,548	0,681	0,548	0,670	0,739	0,670
Вероятность $P_{SSk}(S_3/K^*)$	0,124	0,046	0,278	0,152	0,278	0,046	0,075	0,046
Вероятность $P_{SSk}(S_4/K^*)$	0,015	0,002	0,136	0,029	0,136	0,002	0,003	0,002
Вероятность $P_{SSk}(S_5/K^*)$	0,002	0,000	0,016	0,001	0,016	0,000	0,000	0,000
$\sum P_{SSk}(S_n/K^*)=$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{SSk}(S_n/K^*)$								
Энтропия $H(SS_k)$	0,300	0,339	0,480	0,403	0,480	0,339	0,323	0,339
Макс. энтропия $H_{max}(SS_k)$	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668
Вклад $V(SS_k)$	0,368	0,329	0,188	0,265	0,188	0,329	0,345	0,329
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(SS_k)]$	0,036	0,032	0,018	0,026	0,018	0,032	0,034	0,032
Вероятность диагноза	0,795	0,670	0,548	0,681	0,548	0,670	0,739	0,670
Диагноз (состояние)	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
Отн. определенность диагноза	0,551	0,493	0,282	0,396	0,282	0,493	0,517	0,493

Рисунок В.60 – Результаты ВАТС для рядовых стропил (№9 – 16)

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой рядовой стропильной балки								
	Балка SS <sub>17</sub>	Балка SS <sub>18</sub>	Балка SS <sub>19</sub>	Балка SS <sub>20</sub>	Балка SS <sub>21</sub>	Балка SS <sub>22</sub>	Балка SS <sub>23</sub>	Балка SS <sub>24</sub>
Вероятность $P_{SS_k}(S_1/K^*)$	0,107	0,014	0,389	0,281	0,107	0,014	0,623	0,037
Вероятность $P_{SS_k}(S_2/K^*)$	0,374	0,703	0,452	0,670	0,374	0,703	0,350	0,770
Вероятность $P_{SS_k}(S_3/K^*)$	0,489	0,244	0,152	0,046	0,489	0,244	0,027	0,177
Вероятность $P_{SS_k}(S_4/K^*)$	0,029	0,037	0,006	0,002	0,029	0,037	0,000	0,015
Вероятность $P_{SS_k}(S_5/K^*)$	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001
$\sum P_{SS_k}(S_n/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы распр-я $P_{SS_k}(S_n/K^*)$ 								
Энтропия $H(SS_k)$	0,463	0,341	0,454	0,339	0,463	0,341	0,332	0,304
Макс. энтропия $H_{max}(SS_k)$	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668
Вклад $V(SS_k)$	0,206	0,327	0,214	0,329	0,206	0,327	0,337	0,364
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(SS_k)]$	0,020	0,032	0,021	0,032	0,020	0,032	0,033	0,035
Вероятность диагноза	0,489	0,703	0,452	0,670	0,489	0,703	0,623	0,770
Диагноз (состояние)	S3	S2	S2	S2	S3	S2	S1	S2
Отн. определенность диагноза	0,308	0,490	0,321	0,493	0,308	0,490	0,504	0,544

Рисунок В.61 – Результаты ВАТС для рядовых стропил (№17 – 24)

Результаты статистического анализа введенных данных для каждой $k$ -ой рядовой стропильной балки										
	Балка SS <sub>25</sub>	Балка SS <sub>26</sub>	Балка SS <sub>27</sub>	Балка SS <sub>28</sub>	Балка SS <sub>29</sub>	Балка SS <sub>30</sub>	Балка SS <sub>31</sub>	Балка SS <sub>32</sub>	Балка SS <sub>33</sub>	Балка SS <sub>34</sub>
Вероятность $P_{SS_k}(S_1/K^*)$	0,623	0,184	0,037	0,037	0,623	0,623	0,623	0,623	0,312	0,009
Вероятность $P_{SS_k}(S_2/K^*)$	0,350	0,739	0,770	0,770	0,350	0,350	0,350	0,350	0,526	0,201
Вероятность $P_{SS_k}(S_3/K^*)$	0,027	0,075	0,177	0,177	0,027	0,027	0,027	0,027	0,158	0,698
Вероятность $P_{SS_k}(S_4/K^*)$	0,000	0,003	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,077
Вероятность $P_{SS_k}(S_5/K^*)$	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016
$\sum P_{SS_k}(S_i/K^*) =$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Диаграммы расп-я $P_{SS_k}(S_i/K^*)$										
Энтропия $H(SS_k)$	0,332	0,323	0,304	0,304	0,332	0,332	0,332	0,332	0,441	0,381
Макс. энтропия $H_{max}(SS_k)$	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668	0,668
Вклад $V(SS_k)$	0,337	0,345	0,364	0,364	0,337	0,337	0,337	0,337	0,227	0,287
Вер-ти степ. опр-ти $P[V(SS_k)]$	0,033	0,034	0,035	0,035	0,033	0,033	0,033	0,033	0,022	0,028
Вероятность диагноза	0,623	0,739	0,770	0,770	0,623	0,623	0,623	0,623	0,526	0,698
Диагноз (состояние)	S1	S2	S2	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S3
Отн. определенность диагноза	0,504	0,517	0,544	0,544	0,504	0,504	0,504	0,504	0,340	0,430

Рисунок В.62 – Результаты ВАТС для рядовых стропил (№25 – 34)



Рисунок В.63 – Результаты ВАТС для группы рядовых стропил

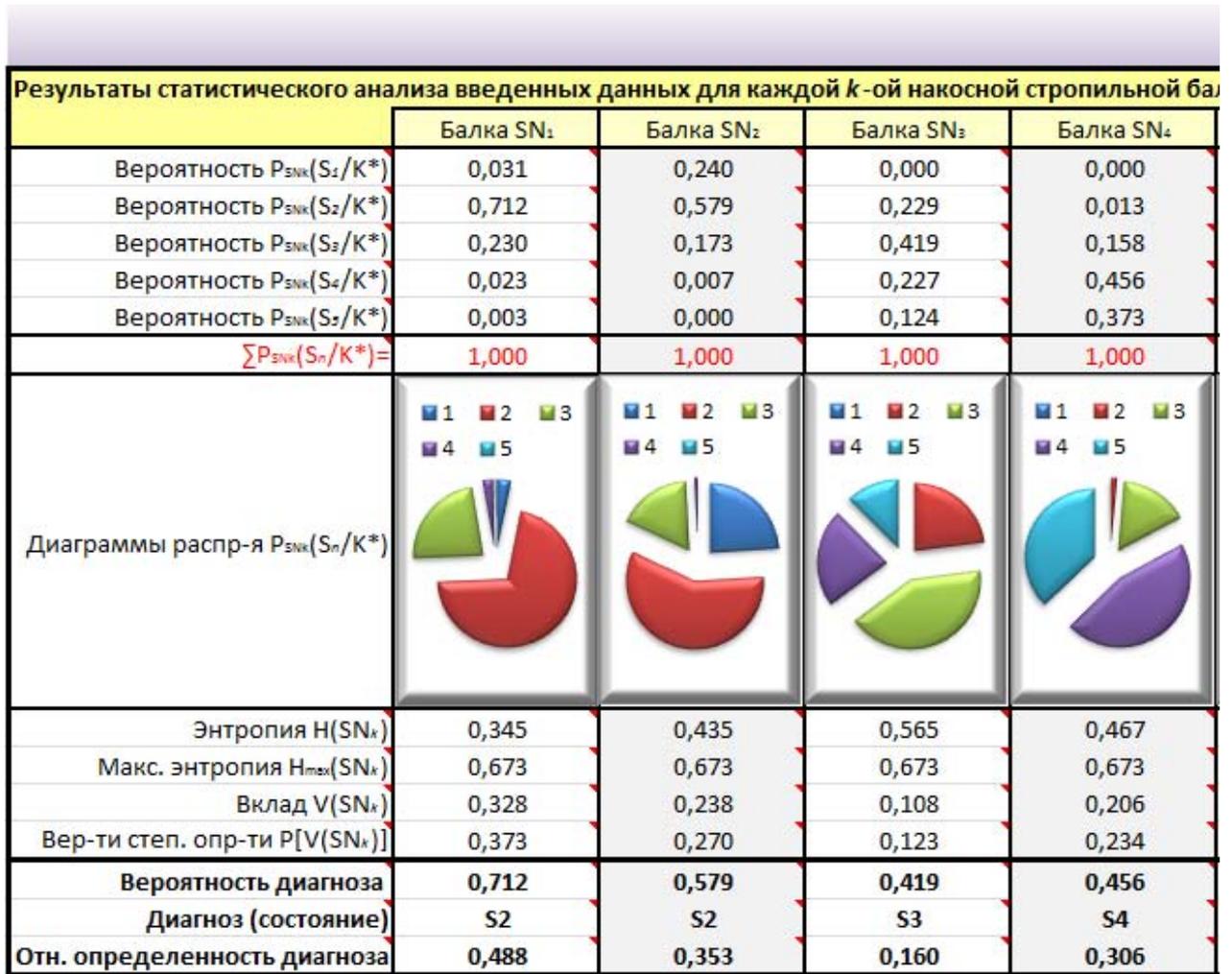


Рисунок В.64 – Результаты ВАТС для накосных стропил



Рисунок В.65 – Результаты ВАТС для группы накосных стропил

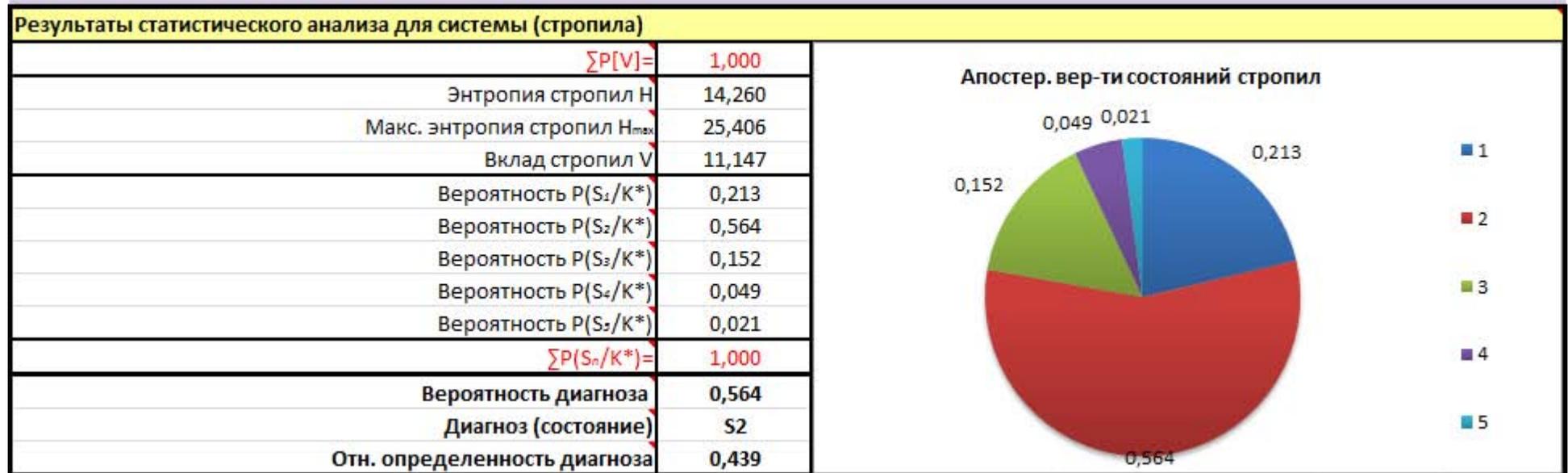


Рисунок В.66 – Результаты ВАТС для подсистемы «стропила»



Рисунок В.67 – Результаты ВАТС для группы элементов обрешетки (кровля)



Рисунок В.68 – Результаты ВАТС для группы элементов покрытия (кровля)



Рисунок В.69 – Результаты ВАТС для подсистемы «кровля»



Рисунок В.70 – Результаты ВАТС для подсистемы «междуэтажные перекрытия»



Рисунок В.71 – Результаты ВАТС для подсистемы «перекрытия»



Рисунок В.72 – Результаты ВАТС для подсистемы «крыша»



Рисунок В.73 – Результаты ВАТС для всего здания

**ДОКУМЕНТЫ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ «ФУНДА-САН»

Специализированная компания по проектированию и устройству свайных фундаментов

173000, г. Великий Новгород, ул. Никольская, д. №53  
E-mail: funda-san@yandex.ru

тел. 8 964 692 49 10  
8 905 291 18 84



Утверждаю:  
Генеральный директор  
ООО «Фунда-Сан»  
Президент  
реставрационно-строительной компании  
«Синдикат МВТ»  
Доктор технических наук

исх. №32 от 30.06.2015.

В.Т. Макось

**С П Р А В К А**

**о создании вероятностных методов оценки технического состояния  
зданий и сооружений с их практическим использованием при проведении  
комплексных инженерно-диагностических исследований - мониторингов**

1. Настоящая справка дана Соколову Владимиру Алексеевичу - профессору Санкт-Петербургского политехнического университета в том, что **разработанные** им в 1992 – 1995 годах вероятностные методы оценки технического состояния зданий и сооружений получены и подтверждены выполненной диссертационной работой «Вероятностный анализ технического состояния и надёжности строительных конструкций зданий старой городской застройки» на соискание учёной степени доктора технических наук, а так же **внедрены** под руководством В.А. Соколова в ходе комплексного инженерно-диагностического исследования-мониторинга:
  - 1.1 **На объектах Хутынского монастыря** - памятника истории и культуры Федерального значения близ Великого Новгорода при проведении аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.
  - 1.2 **На объектах Новгородского кремля**, в том числе его оборонительных сооружениях - памятнике истории и культуры Федерального значения при проведении аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.



Общество с ограниченной ответственностью  
Реставрационно-строительная компания  
«Синдикат МВТ»



173000, г. ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД, ул. Никольская, дом № 53,

тел. 8 964 692 49 10, 8 905 291 18 84

- 1.3 **На Знаменском соборе** - памятнике истории и культуры Федерального значения в г. Великом Новгороде при проведении ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.
- 1.4 **На церкви Жён Мироносиц Ярославого Дворища** - памятнике истории и культуры Федерального значения в городе Великом Новгороде при проведении аварийно-спасательных работ.
- 1.5 **На 14-ти этажной жилой вставке между двумя эксплуатируемыми жилыми домами в г. Великом Новгороде по ул. Псковской, дом №32.**  
Устройство свайного фундамента с применением технологии устройства свай типа «Мега» в формате «НОУ-ХАУ» под 14-этажную жилую вставку.
- 1.6 **На эксплуатируемом жилом доме №22 по ул. Псковской г. Великого Новгорода, где произошло разуплотнение оснований под всей его площадью.** Аварийно-спасательные работы через реализацию проекта усиления существующих ленточных фундаментов свайным фундаментом с применением технологии вдавливания свай типа «Мега» в подвале **для устранения чрезвычайной ситуации** с целью:
- ликвидации угрозы безопасности людей,
  - ликвидации угрозы дальнейшего разуплотнения грунтовых оснований жилого дома,
  - ликвидации угрозы дальнейших разрушений строительных конструкций жилого дома,
  - ликвидации угрозы экономического и морального ущерба людей.
- 1.7 **На Часовне Воскресенского собора** - памятнике истории и культуры Федерального значения в городе Старая Русса Новгородской области с целью проведения ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.
- 1.8 **В зоне некрополя А.С. Пушкина и Ганибаллов Святогорского монастыря в Пушкинских горах Псковской области** - памятнике истории и культуры Федерального значения при проведении аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.
- 1.9 **В г. Пскове. Снетогорский монастырь – памятник истории и культуры Федерального значения.**  
Устройство свайного фундамента **на основе технологии устройства свай типа «Мега»** под Келейный корпус и Колокольную с примыкающими строениями, где недопустимы динамические воздействия.
- 1.10 **В зоне Снетогорского монастыря** - памятнике истории и культуры Федерального значения в городе Пскове при проведении аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ с целью устранения угрозы дальнейших деформаций и обрушений оснований и объектов монастыря

от воздействия природных разрушительных сил, а так же безопасности (здоровью и жизни) людей.

- 1.11 **В г. Пскове. Эксплуатируемое здание центрального универсама.** Аварийно-спасательные работы (подводка свайных фундаментов на базе статического погружения свай типа «Мега») в ходе разуплотнений оснований под конструкцией фундаментов общественного здания.
- 1.12 **В г. Пскове. Жилой дом №11 по ул. Верхне-Береговая,** стоящий на естественном откосе реки Псковы. Аварийно-спасательные работы из-за потери устойчивости откосов, на которые опираются фундаменты и конструкции здания.
- 1.13 **На церкви Святых Ворот Тихвинского монастыря - памятнике истории и культуры Федерального значения в городе Тихвине Ленинградской области** при проведении аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.
- 1.14 **В г. Санкт-Петербурге, ул. Галерная,10. Здание под офисы с гостиницей.** Разработка проектной документации с устройством свайных фундаментов на базе технологии статического погружения свай типа «Мега».
- 1.15 **В здании полевого учреждения №62228 Банка России** по адресу: г. Санкт-Петербург, Дальневосточный проспект, дом №28 при проведении аварийно-спасательных работ.
- 1.16 **В здании торгово-развлекательного комплекса** по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Савушкина, дом №132 при проведении аварийно-спасательных работ.
- 1.17 **В г. Санкт-Петербург, Петроградская набережная, дом №18, корп. А, литер Р.** Мониторинг за деформациями, определением механических характеристик грунтов и строительных конструкций с разработкой проектной документации и устройством свайных фундаментов на базе технологии устройства свай типа «Мега» методом вдавливания статической нагрузкой диаметром 219 мм на глубину до 16 метров на объекте «Реконструкция административно-бытового здания».
- 1.18 **В г. Москве, на Старом Арбате - театр им. Вахтангова.** Разработка проектной документации по устранению деформаций здания с выполнением СМР на предмет устройства свайных фундаментов методом устройства свай типа «Мега», без приостановки производственной жизнедеятельности театра.
- 1.19 **В г. Москве, при строительстве «Культурного центра Украины».** Подводка железобетонного фундамента методом «Стена в грунте» под существующую стену при реконструкции здания с применением технологии устройства свай типа «Мега».

- 1.20 В г. Москве. Генеральное представительство нефтяной компании «Коминнефть».  
Строительство подземного гаража под существующим зданием с применением технологии устройства свай типа «Мега».
- 1.21 В г. Москве. Театр «Новая опера».  
Строительство подземного гаража под существующим зданием с применением технологии устройства свай типа «Мега».
- 1.22 В г. Москве. Представительство «Credit Swiss».  
Строительство подземного хранилища ценных бумаг под существующим зданием с применением технологии устройства свай типа «Мега» (устройство ограждающих конструкций котлована).
- 1.23 В г. Москве. Никитский бульвар. Здание отделения сбербанка г. Москвы.  
Устройство ограждающих конструкций с применением технологии устройства свай типа «Мега».
2. На основании проводимых профессором В.А. Соколовым инженерно-диагностических исследований-мониторингов - реставрационно-строительной компанией «Синдикат МВТ» (президент, д.т.н. В.Т. Макось) совместно со специализированной строительной компанией по проектированию и устройству свайных фундаментов ООО «Фунда-Сан» (ген. директор, д.т.н. В.Т. Макось) разрабатывалась проектная документация и осуществлялось производство аварийно-спасательных, ремонтно-восстановительных и реставрационных работ на вышеназванных зданиях, сооружениях, памятниках.
3. Профессор В.А. Соколов регулярно информировал о результатах своей работы на проводимых научных конференциях:
- 3.1 Соколов В.А. Комплексные инженерно-диагностические исследования Новгородского Кремля. / В.А. Соколов, П.А. Гарибин // Всероссийская научная конференция «Задачи инженерной геологии в реставрации и сохранении памятников истории и культуры». Сборник тр. – Рязань, 1993. – С. 40 – 44.
- 3.2 Соколов В.А. Методология оценки эксплуатационной надежности зданий и сооружений исторических территорий (системный подход) / В.А. Соколов, Е.Л. Свешников, П.А. Гарибин // Научно-практическая конференция по вопросам реставрации «Памяти Г. М. Штендера». Тезисы докладов – Новгород, 1993. – С. 15 – 18.
- 3.3 Соколов В.А. Применение статистических методов в прогнозировании ресурса строительных конструкций / В.А. Соколов // IV Международная конференция «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения». Труды. – СПб, 2001. – С. 278 – 279.
- 3.4 Соколов В.А. Современный инженерный подход к вопросам сохранения и реконструкции исторических зданий и сооружений Санкт-Петербурга /

- /В.А. Соколов, В.И. Козловский, В.А. Мишаков, Л.Н. Синяков // Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство. Сборник статей международной конференции в честь 300-летия СПб. – СПб, 2003. – С. 67 – 71.
- 3.5 Соколов В.А. Комплексный научно-технический подход к вопросам сохранения и реконструкции исторических зданий и сооружений Санкт-Петербурга / В.А. Соколов М.Н. Лебедев, В.А. Мишаков, Л.Н. Синяков // V Международная конференция «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения», СПбГПУ. – СПб, 2003. – С. 272 – 279.
- 3.6 Соколов В.А. Обследование состояния жилого здания на Двинской улице в Санкт-Петербурге / В.А. Соколов, В.А. Мишаков, Л.Н. Синяков, Д.А. Страхов // Международная конференция по геотехнике. Сборник статей. – СПб, 2004. – С. 57 – 64.
- 3.7 Соколов В.А. Вероятностный анализ технического состояния (ВАТС) зданий и сооружений / В.А. Соколов // Современные металлические и деревянные конструкции / Сборник научных трудов Международного симпозиума. – Брест, 2009. – С. 289 – 294.
- 3.8 Соколов В.А. Применение вероятностных методов для оценки технического состояния железобетонных балок / В.А. Соколов // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник трудов Второго Международного симпозиума, ч.1. – Минск, 2009. – С. 399 – 408.
- 3.9 Соколов В.А. Определение технического состояния зданий и сооружений с применением вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Научные исследования и инновационная деятельность / Материалы научно-практической конференции СПбГПУ. – СПб, 2009. – С. 156 – 164.
- 3.10 Соколов В.А. Определение категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Предотвращение аварий зданий и сооружений. Сборник научных трудов IV Международной конференции. – Москва, 2010. – С. 375 – 387.
- 3.11 Соколов В.А. Вероятностный анализ технического состояния (ВАТС) элементов строительных систем / В.А. Соколов // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Сборник трудов XIV научно-методической конференции. – СПб, ВИТУ, 2010. – С. 41 – 49.
- 3.12 Соколов В.А. Вероятностный анализ технического состояния (ВАТС) конструкций железобетонного монолитного перекрытия промышленного здания старой городской застройки / В.А. Соколов // Журнал «ВІСНИК Одеської Державної академії будівництва та архітектури». Выпуск №37. – Одесса, 2010. – С. 329 – 342.
- 3.13 Соколов В.А. Диагностический вес признаков и диагностическая ценность обследования при распознавании состояний элементов строительных систем / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал, № 3. – СПбГПУ, 2010. – С. 27 – 31.
- 3.14 Соколов В.А. Вероятностный метод оценки технического состояния конструкций железобетонного монолитного перекрытия зданий старой городской застройки /

- /В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал, № 4. – СПбГПУ, 2010. – С. 49 – 58.
- 3.15 Соколов В.А. Диагностика технического состояния конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории нечетких множеств / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал, № 5. – СПбГПУ, 2010. – С. 31 – 37.
- 3.16 Соколов В.А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал, № 6. – СПбГПУ, 2010. – С. 48 – 57.
- 3.17 Соколов В.А. Вероятностный анализ технического состояния конструкций зданий старой городской застройки // Сборник трудов Международного симпозиума «Современные строительные конструкции из металла, дерева и пластмасс», №14, часть 1. – ОГАСА, Одесса, 2010.– С. 67 – 71.
- 3.18 Соколов В.А. Вероятностный метод оценки технического состояния конструкций железобетонного монолитного перекрытия зданий старой городской застройки / В.А. Соколов // Сборник трудов Международной научно-технической конференции. – Архангельск, 2010. – С. 336 – 352.
- 3.19 Соколов В.А. Вероятностный анализ и определение категорий технического состояния конструкций междуэтажного перекрытия здания старой городской застройки / В.А. Соколов // «Научные исследования и инновационная деятельность». Материалы научно-практической конференции. – СПбГПУ, 2010, С. 125 –135.
- 3.20 Соколов В.А. Оценка технического состояния элементов строительных систем с использованием вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Научный электронный журнал «Наука и безопасность», №1, 2011.
- 3.21 Соколов В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал, № 7. – СПбГПУ, 2011. – С. 45 – 51.
- 3.22 Соколов В.А. Интервальные методы в байесовском подходе при диагностировании технического состояния строительных конструкций зданий / В.А. Соколов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 4 (135). – СПб, 2011. – С. 227 – 235.
- 3.23 Соколов В.А. Многоуровневый вероятностный анализ технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / В.А. Соколов // Материалы XV научно-методической конференции ВИТИ «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций». – СПб, 2011. – С. 54 – 63.
- 3.24 Соколов В.А. Определение технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа / В.А. Соколов // Научный электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – М., 2012.
- 3.25 Соколов В.А. Инженерно-диагностическое обследование строительных объектов Северо-Западной ТЭЦ / В.А. Соколов, В.А. Мишаков, Л.Н. Синяков, Д.А. Страхов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 2 (147), том 2. – СПб, 2012. – С. 209 – 217.

- 3.26 Соколов В.А. Методы статистических решений для распознавания состояний конструкций монолитных железобетонных перекрытий / В.А. Соколов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, том 269, СПб. – 2012, С. 10 – 16.
  - 3.27 Соколов В.А. Расчет сооружений башенного типа на динамические воздействия с учетом податливости свайного фундамента и основания / В.А. Соколов, Л.Н. Синяков, Д.А. Страхов // Инженерно-строительный журнал, № 4. – СПбГПУ, 2013. – С. 46 – 50.
  - 3.28 Соколов В.А. О пороговом значении при определении вероятностей состояний строительных конструкций / В.А. Соколов // Вестник гражданских инженеров, № 4. – СПбГАСУ, 2013. – С. 67 – 73.
  - 3.29 Соколов, В.А. Оценка технического состояния и надежности строительных конструкций на основе вероятностных методов технической диагностики / В.А. Соколов // Электронный журнал «Современные проблемы науки и образования» № 6, Москва. – 2013.
  - 3.30 Соколов В.А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики / В.А. Соколов // Известия вузов, №1. НГАСУ (Сибстрин), 2014. – С. 94 – 100.
  - 3.31 Соколов В.А. Статистические методы технической диагностики при распознавании состояний строительных конструкций зданий / В.А. Соколов // Academic science – problems and achievements III. Vol 1. Сборник научных трудов – Create Space 4900 La Cross Road, North Charleston, SC USA 29406, 2014. – С. 142 – 145.
  - 3.32 Соколов В.А. Категории технического состояния строительных конструкций зданий при их диагностике вероятностными методами / В.А. Соколов // Журнал "Фундаментальные исследования", № 6 (часть 6), 2014. – С. 1159 – 1164.
  - 3.33 Sokolov V.A. Probabilistic Analysis of Intermediate Floor Steel and Wooden Structures in the Old Urban Development Building (2014) Applied Mechanics and Materials, vol. 633 – 634, pp. 1040 – 1048.
  - 3.34 Соколов В.А. Оценка технического состояния фундаментов зданий старой городской застройки с использованием вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Журнал "Фундаментальные исследования", № 2 (часть 8), 2015. – С. 1652 – 1657.
4. Настоящей справкой **специалисты** по разработке проектной документации и производству ремонтно-восстановительных и реставрационных работ **свидетельствуют, что внедрённая система инженерно-диагностического исследования-мониторинга на вероятностных методах оценки технического состояния зданий основана на опыте профессора Соколова В.А. и глубинных его знаниях, в том числе нестандартных, которые относятся к высочайшей инженерно-технической интеллектуальной оценке в области обеспечения эксплуатационной надёжности и безопасности строительного производства.**
  5. Предложенные методы являются основой диссертационной работы профессора Соколова В.А. на соискание учёной степени доктора технических наук «Вероятностный анализ технического состояния и надёжности строительных

конструкций зданий старой городской застройки» по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения.

Профессор В.А. Соколов В.А. с 2007 года руководит по настоящее время «30 июня 2015 года» комплексным производством по инженерно-диагностическому мониторингу за деформациями аварийных береговых откосов реки Великой в зоне Снетогорского монастыря, являющегося памятником истории и культуры 14 века Федерального значения в г. Пскове.

Главный инженер

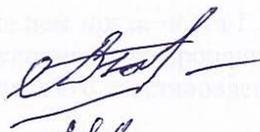
к.т.н.



О.В. Лимарев

Начальник производства

к.т.н.



В.П. Достовалов

Производитель работ



В.В. Григорьев

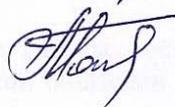
Начальник проектной мастерской,

Главный архитектор



В.А. Попов

Архитектор



М.И. Попова





Утверждаю:  
 Генеральный директор  
 ООО «НПСФ «Спецстройсервис»

Иваньков В.А.

### СПРАВКА

*об использовании материалов обследований, принадлежащих ООО «НПСФ «Спецстройсервис», в диссертационном исследовании В.А. Соколова и о внедрении разработок его докторской диссертации «Вероятностный анализ технического состояния и надежности строительных конструкций зданий старой городской застройки» на объектах НПСФ*

Соколов Владимир Алексеевич в ООО «Научно-проектно-строительная фирма (НПСФ) «Спецстройсервис» работает в должности главного специалиста по строительным конструкциям (по совместительству) с 1996 года по настоящее время. За эти годы принимал участие в инженерно-техническом обследовании более 100 объектов в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Подавляющее большинство из них относится к зданиям старой городской застройки. Все материалы обследований прошлых лет, нашедшие отражение в его диссертационной работе, были использованы на основе анализа данных отчетов по объектам, которые обследовались, главным образом, при его личном участии, а также при участии его коллег. Следует отметить, что НПСФ «Спецстройсервис» неоднократно становилась победителем Всероссийского конкурса строительных организаций за активную деятельность, в том числе и в области обследований зданий. Получению дипломов победителя в 2003, 2006, 2007, 2008 и 2009 годах (прилагаются) способствовала и обследовательская работа В.А. Соколова.

В.А. Соколов сумел собрать обширный статистический материал по характерным повреждениям и состояниям конструкций старых зданий, обобщить его, упорядочить и уложить в рамки вероятностных методов технической диагностики. При этом, каждый раз уточняя статистику от объекта к объекту, использовал эти уточненные данные уже при обследовании вновь появляющихся объектов, совершенствуя, таким образом, методику диагностирования их состояний. Разработанные и предложенные в диссертации вероятностные подходы позволяли постоянно осуществлять такое уточнение. Так, эти подходы и основанные на них методики оценки технического состояния и назначения категорий состояний, нашли применение на следующих основных объектах города и области.

1. Дворовый флигель БДТ им. Г.Н. Товстоногова, отчет по Инженерно-техническому обследованию № 6-1997, 1997 год. По рекомендациям отчета разработан проект усиления стен и перекрытий флигеля, который был успешно реализован. В.А. Соколов осуществлял авторский надзор при выполнении строительных работ.

2. Дворовый флигель Музея городской скульптуры, отчет по Инженерно-техническому обследованию № 16-1998, 1998 год. По рекомендациям отчета разработан проект усиления чердачного перекрытия флигеля, который был успешно реализован. В.А. Соколов осуществлял авторский надзор при выполнении строительных работ.

3. Обследование технического состояния здания по адресу: Синопская наб., дом №22 (эдукоцентр). Научно-технический отчет по теме №149-99, 1999 год.

4. Инженерно-техническое обследование состояния здания техникума по адресу: Бородинская ул., д.6. Научно-технический отчет по теме №31П-2000, 2000 год.

5. Инженерно-техническое обследование здания по адресу: ул.Вишневская, д.15. Научно-технический отчет по теме №125-2000, 2000 год.

6. Выполнение обследования межевой стены и стен, примыкающих к ней, зданий ГУ ЦБ по РФ по адресу: наб. реки Фонтанки, д.68 и проведение экспертизы проекта пристройки к д.№68. Научно-технический отчет по теме №139-2000, 2000 год.

7. Дополнительное обследование технического состояния и расчетно-теоретическое исследование конструкций здания Полевого учреждения банка по адресу: Дальневосточный пр., д.28. Научно-технический отчет по теме №115-2001 и проект усиления, 2001 – 2003 год. По данному объекту являлся главным инженером проекта.

8. Выполнение обследования технического состояния конструкций зданий по адресу: наб. реки Фонтанки, д.72/1, 70/1 (здания ГУ ЦБ по РФ). Научно-технический отчет по теме №141-2000, 2001 г.

9. Выполнение детального инженерно-технического обследования состояния здания по адресу: ул. Яблочкова, д.12. Научно-технический отчет по теме №109-2003, 2003 год.

10. Инженерно-техническое обследование состояния здания Выборгской городской больницы по адресу: г. Выборг, ул. Октябрьская, д.2. Научно-технический отчет по теме №101-2003, 2003 год.

11. Обследование технического состояния несущих конструкций здания по адресу: Лиговский пр., д.87 для целей устройства мансарды. Научно-технический отчет по теме №129-2003, 2004 год.

12. Выполнение обследования технического состояния здания по адресу: СПб. М. Сампсониевский пр., д.5, литер А. Научно-технический отчет по теме №167-2005, 2005 год.

13. Техническое обследование зданий и сооружений Сестрорецкого Инструментального завода и выполнение обмерных работ по этим зданиям. Научно-технический отчет по теме №113-2006, 2006 год.

14. Обследование технического состояния строительных конструкций здания по адресу: Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 7 литер А для целей реконструкции. Инженерно-технический отчет по теме №149-2006, 2006 год.

15. Обследование зданий окружающей застройки в связи с предполагаемой реконструкцией здания по адресу: г. СПб, Б. Сампсониевский пр., 61. Инженерно-технический отчет по теме №192-2007, 2007 год.

16. Техническое обследование государственного учреждения культуры «Санкт-Петербургский государственный театр балета им. Леонида Якобсона» по адресу: СПб, ул. Маяковского,15. Инженерно-технический отчет по теме ГК №46, Комитет СПб по строительству, 2008 год.

17. Инженерно-техническое обследование части корпусов литер Р4 и литер Р6 здания по адресу: Санкт-Петербург, В.О., Малый пр., д. 64. Инженерно-технический отчет по теме №110-2008, 2008 год.

18. Инженерно-техническое обследование зданий по адресу: Санкт-Петербург, Клинский пр., д. 25, литер А, литеры Б-Г, литеры Д-Е. Инженерно-технические отчеты по темам №123-2008, №129-2008, №167-2008, 2009 год.

19.Обследование строительных конструкций надземной части здания котельной, находящегося на территории ИЗ-47/1 ГУФСИН России по СПб ЛО по адресу: СПб, Арсенальная наб., д. 7. Инженерно-технический отчет по теме ИЗ-47/1 ГУФСИН России по СПб и ЛО, 2010 год.

20.Обследование конструкций многоквартирного дома по адресу: г. Выборг, ул. Приморская, д.15, усилению несущих и ограждающих конструкций указанного здания с учетом дополнительных воздействий на конструкции здания от сейсмических нагрузок. Инженерно-технический отчет по теме № МК 661-р, 2011 год.

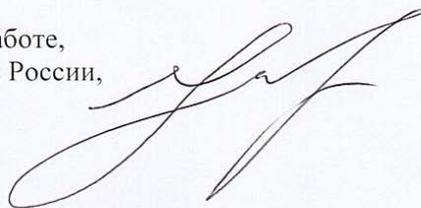
21.Обследование основных несущих и ограждающих конструкций здания, расположенного по адресу: Санкт-Петербург, ул. Моисеенко д. 16а лит. А. Инженерно-технический отчет по теме №117-2012, 2012 год.

22.Комплексное обследование технического состояния жилого дома после проведения капитального ремонта, расположенного по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, д.17. Инженерно-технический отчет по теме № 125-2013, 3/ЗП-2013, 2013 год.

23.Обследование части здания литера Д, расположенного на территории ОАО «Киностудия Ленфильм» по адресу: г. С Санкт-Петербург, Каменноостровский проспект, д. 10. Инженерно-технический отчет по теме № 150-2013, 2014 год.

25. Обследование зданий окружающей застройки после окончания работ по реконструкции здания детского сада, расположенного по адресу: Климов пер., д. 4-6, лит. А. Инженерно-технический отчет по теме № 110-2015, 2015 год.

Директор по научной работе,  
Заслуженный строитель России,  
к.т.н., доцент



В.А. Мишаков



Государственный комитет  
Российской Федерации  
по строительству и жилищно-  
коммунальному комплексу

Российский  
Союз  
строителей

Профсоюз работников  
строительства  
и промышленности  
строительных материалов

# ДИПЛОМ

## I степени

Присуждается победителю VII Всероссийского конкурса  
на лучшую строительную организацию, предприятие  
строительных материалов и стройиндустрии  
**Научно-проектно-строительная фирма "Спецстройсервис",**  
г. Санкт-Петербург  
за достижение высокой эффективности и конкурентоспособности  
в строительстве и промышленности строительных материалов

Председатель  
Госстроя России

Н.П. Кошман

Президент  
Российского Союза  
строителей

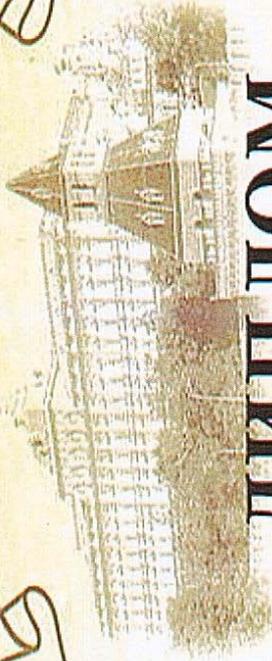
В.И. Забелин

г. Москва, 2003 год

Председатель Профсоюза работников  
строительства и промышленности  
строительных материалов

Б.А. Сошенко

X ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС



# ДИПЛОМ

ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

ПОБЕДИТЕЛЯ X ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА НА ЛУЧШУЮ СТРОИТЕЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ,  
ПРЕДПРИЯТИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬСТВА

общество с ограниченной ответственностью

## НПС фирма «СПЕЦСТРОЙСЕРВИС»

за достижение высокой эффективности и конкурентоспособности в строительстве  
и промышленности строительных материалов

Руководитель  
Федерального агентства  
по строительству и жилищно-  
коммунальному хозяйству

С.Н. Крутник

июль, 2006 год



Президент  
Российского Союза  
строителей

В.Н. Забелин

Президент  
Профсоюза работников  
строительства и промышленности  
строительных материалов

Б.А. Сошнина

МОСКВА-2006





# ДИПЛОМ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

ПОБЕДИТЕЛЯ XII ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА НА ЛУЧШУЮ  
СТРОИТЕЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ

общество с ограниченной ответственностью

«Научно-проектно-строительная фирма «Спецстройсервис»

за достижение высокой эффективности и конкурентоспособности  
в строительстве и промышленности строительных материалов за 2007 год

Заместитель министра  
Регионального развития  
Российской Федерации

*[Signature]*  
С.И. Крутиль

Президент  
Российского Союза строителей

*[Signature]*  
В.Н. Зобелин

Пресс-секретарь  
Профсоюза работников  
строительства и промышленности  
строительных материалов

*[Signature]*  
Б.А. Соленко

август, 2008



**ДИПЛОМ**  
ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

ПОБЕДИТЕЛЯ XIII ВСЕРОССИЙСКОГО КОНКУРСА  
НА ЛУЧШУЮ СТРОИТЕЛЬНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ

общества с ограниченной ответственностью  
«НПСФ «Спецстройсервис»

за достижение высокой эффективности и конкурентоспособности в строительстве  
и промышленности строительных материалов

Заместитель министра  
Регистрационного управления  
Российской Федерации

Президент  
Российского Союза строителей

Президент  
Публичного объединения  
строителей и производителей  
строительных материалов

*[Signature]*  
С.М. Корзин

*[Signature]*  
В.А. Яковлев

*[Signature]*  
В.А. Солтанов

август, 2009

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ КУЛЬТУРЫ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РУССКИЙ МУЗЕЙ»

Инженерная ул., д. 4, Санкт-Петербург, 191186

Тел.: (812) 595-42-40, Факс: 314-41-53; E-mail: info@rusmuseum.ru; http://www.rusmuseum.ru

## СПРАВКА

об использовании методик оценки технического состояния, разработанных в докторской диссертации профессора В.А. Соколова «Вероятностный анализ технического состояния и надежности строительных конструкций зданий старой городской застройки»

Методы диагностики технического состояния, предложенные профессором В.А.Соколовым, были использованы при проведении обследования строительных конструкций частей здания, примыкающих к внутренним дворам Михайловского дворца, по адресу г. Санкт-Петербург, ул. Инженерная, дом 2-4, литера Д.

Работы по обследованию выполнялись в соответствии с Договором № 06/2014 – ПИР/СУБ-2 от 15 июля 2014 г. на проведение научно-исследовательских и изыскательских работ по реконструкции внутренних дворов Михайловского дворца. Руководство проведением работ осуществляло ООО «Ренессанс», в котором В.А.Соколов в период обследования выполнял функции главного инженера.

Результаты обследования использованы при разработке проектных решений для реконструкции внутренних дворов.

Заместитель директора  
по комплексной реконструкции  
и капитальному ремонту

  
В.П. Баженов