Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.37(004.05)

Иванова Арина Алексеевна

Оценка качества радиотехнических систем методом анализа иерархий

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра технических наук
по специальности 7-06-0713-03
«Радиосистемы и радиотехнологии»

Иванова А.А.
_____

Научный руководитель
Гринкевич Антон Витальевич
кандидат технических наук, доцент
_____

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время радиотехнические системы широко применяются в различных областях науки и техники, включая медицину, телевещание, навигацию, военную сферу и многие другие. Повышение требований к функциональным возможностям, надежности и качеству таких систем обуславливает необходимость разработки и внедрения эффективных методов оценки и прогнозирования их параметров качества на этапах проектирования, эксплуатации и модернизации.

Оценка и прогнозирование параметров качества радиотехнических систем является важной научно-практической задачей, поскольку позволяет заблаговременно выявлять потенциальные ограничения и риски, принимать обоснованные технические решения и оптимизировать характеристики разрабатываемых и эксплуатируемых систем. Особую значимость данная задача приобретает в условиях ограниченности экспериментальных данных и невозможности проведения полноценных испытаний, что характерно для современных высокотехнологичных радиотехнических систем.

В ряде практических случаев оценка и прогнозирование параметров качества радиотехнических систем осуществляется на основе экспертных оценок, формируемых специалистами в соответствующей области проводимого исследования. Однако на практике количество доступных экспертов, обладающих необходимой квалификацией и опытом, зачастую является ограниченным. Это приводит к снижению достоверности прогнозируемых оценок и усложняет применение традиционных методов анализа, ориентированных на большие массивы данных.

Таким образом, возникает актуальная научная задача разработки и обоснования методов прогнозирования параметров качества радиотехнических систем в условиях малого количества экспертов, обеспечивающих получение результатов, которые отражают реальную ситуацию и могут быть использованы в дальнейших исследованиях.

Актуальность выбранной темы обусловлена также тем, что в условиях цифровизации и автоматизации процессов проектирования радиотехнических систем возрастает потребность в математических моделях, позволяющих интегрировать экспертные знания в процедуры анализа и принятия решений. Применение таких моделей позволяет повысить эффективность проектных решений, сократить сроки разработки и снизить затраты на экспериментальные образцы, а также затраты на производство.

В рамках данной магистерской диссертации рассматривается задача оценки и прогнозирования параметров качества радиотехнических систем при малом количестве экспертов с использованием математического аппарата метода анализа иерархий, адаптированных к условиям малого количества экспертов. Выбор данного подхода обусловлен его формальной строгостью, возможностью получения количественных оценок и оценки их надежности, а также широкой распространенностью статистических методов в технической

практике.

Результаты исследования ориентированы на применение в задачах анализа, проектирования и модернизации радиотехнических систем различного назначения. Разработанные методы и модели могут быть использованы при обосновании технических решений, сравнительной оценке альтернативных вариантов построения систем, а также при оценке влияния различных факторов на показатели качества радиотехнических комплексов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов в технической и научно-исследовательской деятельности. Предложенный подход к оценке и прогнозированию параметров качества радиотехнических систем может быть применен в проектных организациях, научно-исследовательских учреждениях и образовательных процессах при подготовке специалистов в области радиотехники и инфокоммуникационных технологий.

Кроме того, результаты работы могут быть использованы при разработке программных средств поддержки принятия решений, автоматизации процедур экспертной оценки и анализа качества радиотехнических систем, а также при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Таким образом, выбранная тема магистерской диссертации является актуальной с точки зрения современных задач радиотехники, имеет практическую направленность и соответствует приоритетным направлениям развития методов анализа и прогнозирования качества сложных технических систем.

Работа состоит из нескольких разделов, включая теоретическую часть, где рассматриваются различные математические аппараты для прогнозирования параметров РТС, происходит их сравнение и выбор наилучшего под рассматриваемые задачи. Рассматриваются критериальные методы оценивания с примерами и дальнейшими прогнозами. А также практическую часть, где на примере образца медицинской техники, а конкретнее КТ-аппаратов был представлен разработанный метод. А также проведен анализ результатов, что позволяет убедиться в правильности и реализации разработанной методики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель работы – разработка методики оценки и прогнозирования параметров качества радиотехнических систем при малом количестве экспертов.

Задачи исследования:

– анализ существующих подходов к оценке и прогнозированию параметров качества радиотехнических систем;

– выбор математического аппарата для дальнейшей оценки и прогнозирования качества РТС;

– выбор и обоснования метода оценки и прогнозирования параметров качества РТС при малом количестве экспертов

– разработка методики и математической модели оценки и прогнозирования параметров качества РТС при малом количестве экспертов.

Объект исследования – параметры качества РТС.

Предмет – методика прогнозирования параметров качества РТС.

Актуальность темы

В настоящее время радиотехнические системы широко применяются в различных областях техники и связи, при этом постоянно возрастают требования к их качественным характеристикам, таким как надежность, точность и безотказность. Для обеспечения соответствия этим требованиям необходимо использовать эффективные методы оценки и прогнозирования параметров качества на этапах проектирования и модернизации радиотехнических систем.

В условиях разработки и эксплуатации радиотехнических систем часто отсутствует возможность получения достаточного объема экспериментальных данных. В таких ситуациях значительная роль отводится экспертным оценкам, формируемым специалистами в данной области. Однако на практике количество доступных квалифицированных экспертов, как правило, является ограниченным.

Малое число экспертов приводит к повышенной неопределенности и снижению достоверности прогнозных оценок параметров качества радиотехнических систем. Традиционные методы прогнозирования, ориентированные на большие выборки данных, в подобных условиях оказываются малоэффективными и не обеспечивают требуемой точности результатов.

В связи с этим актуальной является задача разработки и применения методов прогнозирования, адаптированных к условиям малого количества экспертов и позволяющих получать количественно интерпретируемые и устойчивые оценки параметров качества. Использование математического аппарата статистических методов для анализа малых выборок позволяет учитывать разброс экспертных оценок и оценивать надежность полученных прогнозов.

Таким образом, исследование, направленное на прогнозирование параметров качества радиотехнических систем при малом количестве экспертов, является актуальным с научной и практической точек зрения и ориентировано на повышение обоснованности инженерных решений в области радиотехники.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика оценки и прогнозирования параметров качества радиотехнических систем, основанная на использовании критериальных методов (метода анализа иерархий) при малом количестве экспертов
2. Алгоритм оценки и прогнозирования, включающий этапы предварительной обработки исходных данных, выбора модели прогнозирования, оценки ее параметров и анализа точности полученного прогноза.
3. Предложены критерии оценки точности прогнозирования, позволяющие сравнивать результаты прогнозирования с фактическими значениями показателей радиотехнических систем.

Личный вклад соискателя

1. Совместно с научным руководителем магистрант провел анализ научно-технической литературы и нормативных источников, посвященных методам прогнозирования и оценке показателей качества радиотехнических средств.
2. Соискатель лично исследовал существующие методы прогнозирования показателей качества радиотехнических систем и обосновал выбор критериальных методов при малом количестве экспертов.
3. Сформирована и реализована методика прогнозирования, включающий этапы обработки исходных данных, выбора модели прогнозирования, оценки параметров модели и анализа точности прогнозных значений.
4. Выполнена практическая апробация разработанной методики на примере прогнозирования параметров КТ-аппаратов, проведен анализ полученных результатов.
5. Проведена интерпретация результатов исследования и сформулированы выводы и практические рекомендации по применению разработанной методики

Апробация результатов диссертации.

Материалы, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на конференции:

На 60-я Юбилейная научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, Минск, 2024

На открытой республиканской научно-практической интернет-конференции 21-22 ноября 2024 г., Минск, Республика Беларусь

На 61-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, Минск, 2025

Опубликованность результатов диссертации

Материалы, положенные в основу диссертационного исследования, докладывались и обсуждались на трех научных конференциях, в том числе:

на 60-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (Минск, 2024 г.);

на открытой республиканской научно-практической интернет-конференции (21–22 ноября 2024 г., Минск, Республика Беларусь);

на 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (Минск, 2025 г.).

Структура и объем диссертации

Магистерская диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Структура работы выстроена в логической последовательности, обеспечивающей поэтапное раскрытие цели и задач исследования, а также получение и обоснование научных и практических результатов.

Полный объем диссертационной работы 75 страниц, 2 блок-схемы, 13 рисунков, 11 таблица, библиографический список и 1 приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе магистерской диссертации рассмотрены теоретические основы оценки и прогнозирования параметров качества радиотехнических систем. Рассмотрена радиотехническая система как объект оценки качества.

Под радиотехнической системой в рамках данной диссертации понимается совокупность технических средств, реализующих процессы генерации, передачи, приема, обработки и интерпретации радиосигналов с целью получения информации или управления объектами. Обобщенная структура РТС может быть представлена в виде функциональной схемы, включающей передающее устройство, канал распространения радиоволн, приемное устройство и блок обработки сигналов. Обобщенная структурная схема представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема РТС

Также представлена классификация РТС по различным признакам. Радиотехническая система рассмотрена на ее всех этапах ее жизненного цикла. Приведены примеры параметров качества РТС, а также приведены основные определения для понимания полной картины понятия оценки качества.

Уровень качества продукции – это относительная оценка радиотехнической системы, которая может быть выражена через различные показатели или критерии.

Единичный показатель качества радиотехнической системы – это конкретно измеримый параметр системы, который характеризует одно из ее свойств.

Технический уровень (ТУ) – это совокупность технических характеристик и параметров, которые определяют степень современности. Эффективности и технологичности рассматриваемой радиотехнической системы.

В следующем подразделе приведены методы измерения и оценки параметров качества РТС:

– экспериментальные методы;

– расчетные методы;

– методы математического моделирования;

–статистические методы оценки;

– экспертные методы.

Также сделаны выводы о эффективности использования каждого из них. На практике наибольшую эффективность демонстрируют комплексные методы, сочетающие экспериментальные, расчетные, статистические и экспертные подходы. Такой подход позволяет компенсировать недостатки отдельных методов и повысить достоверность итоговых оценок.

Обоснован выбор математического аппарата, путем проведения сравнительного анализа различных математических аппаратов. А также сформирована схема применение критериальных методов.

Более подробно с примерами рассмотрены критериальные методы оценивания параметров радиотехнических систем.

Рассмотрены следующие методы:

– метод анализа иерархий;

– метод попарного сравнения, как составляющая метода анализа иерархий;

– метод экспертных оценок;

– метод анализа сетей.

Проведен сравнительный анализ методов. Все результаты сведены в общую таблицу, по которой сделано обоснование выбора наилучшего метода для дальнейшего проведения исследования.

Сравнение трех метод показало, что в условиях ограниченности данных и высокой сложности структуру РТС наиболее надежные результаты обеспечивает метод анализа иерархий при малом количестве экспертов. Малое количество экспертов в данном методе позволяет уменьшить субъективность мнений экспертов, повышает согласованность, что повышает стабильность прогноза.

Проведено обоснование цели и определение задач исследования:

Для поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Провести анализ параметров качества радиотехнических систем и обосновать выбор ограниченного набора ключевых показателей, наиболее существенно влияющих на технический уровень и перспективы развития;

2 Рассмотреть и проанализировать существующие подходы и методы к оценке и прогнозированию параметров качества радиотехнических систем.

3 Сформировать модель оценки и прогнозирования параметров радиотехнических систем

Основное внимание во второй главе диссертации уделено разработке и исследованию методов оценки и прогнозирования, учитывающих неопределенность и неполноту экспертных данных. Рассмотрены методы учета неопределенности и расхождения мнений экспертов, а также способы анализа согласованности экспертных оценок. Предложенные модели и алгоритмы базируются на современном математическом аппарате и демонстрируют логичную структуру и внутреннюю согласованность. Теоретические положения подтверждаются результатами вычислительных экспериментов и моделирования, что свидетельствует о корректности полученных выводов.

Обоснована необходимость разработки методики прогнозирования, а также разработан алгоритм прогнозирования. На рисунках в разделе представлена последовательность действий по оценке технического уровня РТС и блок-схема прогнозирования параметра качества.

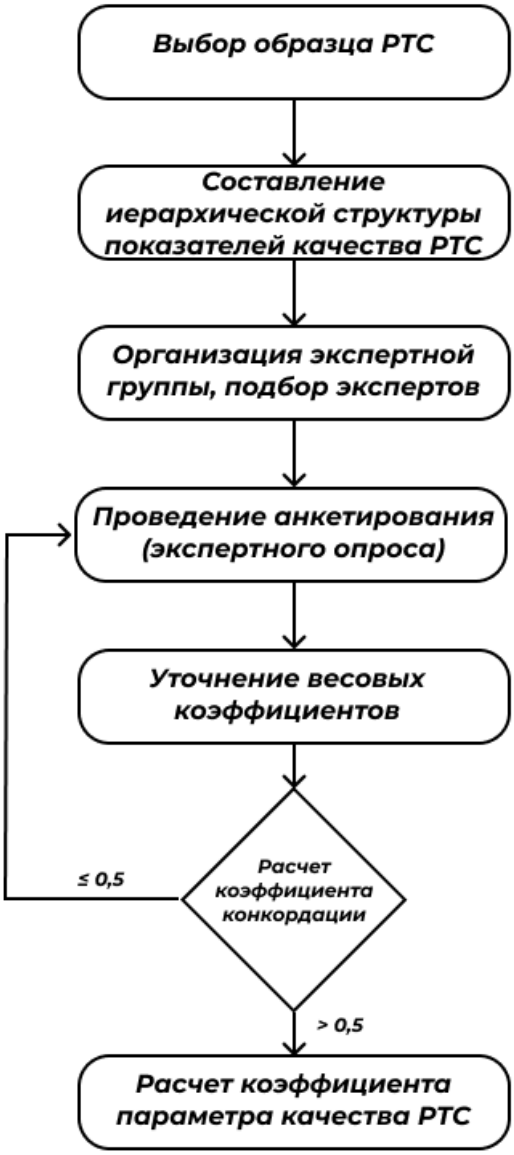

Рисунок 2.2 – Блок-схема прогнозирования параметра качества с корректировкой весовых коэффициентов

А также представлены основные результаты применения методики оценки и прогнозирования параметров качества РТС при малом количестве экспертов.

В целом результаты второй главы подтверждают возможность эффективной оценки и прогнозирования параметров качества радиотехнических систем в условиях малого количества экспертов за счет использования комбинированного экспертно-аналитического подхода. Разработанные модель и алгоритм создают методическую основу для практической реализации метода оценки и прогнозирования, его экспериментальной проверки, которые будут рассмотрены в третьей главе магистерской диссертации.

В третьей главе выполнена экспериментальная проверка разработанного метода. Приведена реализация алгоритма оценки и прогнозирования на примере КТ-аппаратов, в частности отечественного производства. Представлены результаты прогнозирования параметров качества КТ-аппарата отечественного производства *ADANI*. Проведен анализ эффективности и ограничений предложенного метода. Также предложены дальнейшие пути развития отечественного аппарата *ADANI*.

В условиях ограниченной финансируемой, а также необходимости большого количества импортных деталей. Отечественному производителю необходимо сосредоточиться на улучшение качества изображения, что отражает полученная математическая модель дальнейшего развития параметров КТ системы. Что также отражается в мнениях экспертной группы.

Необходимо проработать повышение качества пространственного разрешения, улучшения низкоконтрастной детализации, а также уменьшить уровень шумов при малых дозах. Также необходимо привести протоколы сканирования к мировым стандартам, для конкурентоспособности на мировом рынке.

Целевым ориентиром надо ставить качество изображений по уровню, не отличающемуся от современных зарубежных 64-срезовых систем с низкоконтрастным разрешением <3 мм и высоким пространственным разрешением (12-15 *LPM*).

Также ключевым конкурентным фактором может быть дозовая эффективность.

Опираясь на рассчитанную математическую модель прогнозирования параметров КТ-системы, эффективная лучевая нагрузка стоит на втором месте с показателем 28%, что уменьшение лучевой нагрузки без потери качества изображения приведет к увеличению спроса на рынке.

Добиться эффективной дозы можно за счет разработки новых адаптивных алгоритмов реконструкции изображения (использование *AI*-алгоритмов).

Также на основе экспертных весов и структуры качества КТ-аппаратов, прогноз также предполагает развитие алгоритмов реконструкции и оптимизации дозы облучения, улучшение разрешающих способностей аппарат, что должно привести к коммерческому успеху в средне-бюджетном ценовом сегменте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации был рассмотрен подход к оценке и прогнозированию параметров качества радиотехнических систем при малом количестве экспертов. Был подняты вопросы актуальности данной темы, т.к.

на практике разработка и модернизация РТС часто осуществляется в условиях неопределенности и отсутствия достаточных статистических данных и невозможности привлечения широкой экспертной выборки. В таких условиях возрастает роль формализованных экспертных методов, позволяющих получать обоснованные прогнозные оценки при минимальных ресурсных затратах.

Целью данной работы было разработать алгоритм оценки параметров качества радиотехнических систем и поставлены следующие задачи:

– Проведения анализа существующих способов оценки параметров качества РТС.

– Рассмотрены методы оценки параметров качества РТС.

– Разработка методики оценки параметров качества при малом количестве экспертов.

В рамках данных задач были проведены анализ современных подходов к оценке параметров качества сложных радиотехнических систем. Было установлено, что классические статистические методы в ряде случаев оказываются малоэффективными при малом объеме исходных данных. Исходя из выше сказанного использование метода экспертного оценивания при малом количестве экспертов, в частности ранжирования и агрегирования мнений, представляется более целесообразным и методически оправданным.

Одним из этапов работы стало формирование структуры и методики оценки параметров качества РТС при малом количестве экспертов. В рамках этого шага были разработаны математические модели и алгоритм представленный на рисунке для применение данного метода в дальнейших задачах прогнозирования.

Далее на опытном примере в рамках прогнозирования параметров КТ-аппаратов и модернизирования аппаратов отечественного производства было проведено исследование. Оно показало, что при грамотной организации малой экспертной группы и применения разработанного метода прогнозирования, получаются достоверные результаты. Использование малой высококвалифицированной экспертной группы позволяет снизить влияние случайных факторов, сговора и разобщенности мнений и упростить процедуру обработки данных. В тоже время, следует отметить, что результаты прогнозирования в значительной степени зависят от корректности выбора параметров и профессионального уровня экспертов, что требует особого внимания на этапе подготовки исследования.

В ходе магистерской диссертации поставленная цель – выполнена, а задачи были достигнуты. Разработанный подход к прогнозированию параметров качества РТС при малом количестве экспертов может быть рекомендован для использования на ранних этапах проектирования, модернизации РТС. Полученные результаты имеют как теоретическую, так и

практическую значимость и могут служить основой для дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Аксельсон К. Компьютерная томография: физические основы, качество изображений и дозиметрия. — М.: Техносфера, 2010.

[2] Алиев Р.А., Захарова Э.Г., Ульянов С.В. Нечёткие модели управления динамическими системами // Итоги науки и техники. Серия «Техническая кибернетика». — 2000. — Т. 28.

[3] Бандурин Ю.М. Статистические методы анализа экспертных оценок. — М.: Статистика, 1990.

[4] Беляев В.П., Кузьмин С.А. Основы медицинской визуализации. Компьютерная томография. — М.: Физматлит, 2015.

[5] Бестужев И.В. Рабочая книга по прогнозированию. — М.: Мысль, 1993.

[6] Ефимов В.В. Статистические методы в управлении качеством. — Ульяновск: УлГТУ, 2003.

[7] Калиниченко А.В., Литвиненко А.В. Параметры качества изображений в рентгеновской компьютерной томографии // Медицинская техника. — 2018. — № 4.

[8] Кумэ Х. Статистические методы повышения качества. — М.: Финансы и статистика, 1990.

[9] Лавриненко К.А., Толстых В.Н., Ершов В.Н. Семейства параметрических функций для аппроксимации экспериментальных данных // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. — 2024. — № 2.

[10] Лавринчик, Н. Н. Методический подход к обоснованию требований к элементам радиотехнических систем / Н. Н. Лавринчик, Ян Мьо Аунг // Информационные радиосистемы и радиотехнологии-2024: материалы открытой республиканской научно-практической интернет-конференции, Минск, 21–22 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 214–215.

[11] Лавринчик, Н. Н. Методика прогнозирования показателей радиотехнических средств на основе метода экстраполяции / Н. Н. Лавринчик, А. В. Гринкевич, А. А. Иванов // Радиотехника и электроника: сборник материалов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–23 апреля 2025 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2025. – С. 79–81.

[12] Мышкин Л.В. Прогнозирование развития сложных технических систем. — М.: Физматлит, 2008.

[13] Мясников В.В., Синицын В.Е. Качество изображений и дозовая нагрузка в компьютерной томографии // Медицинская физика. — 2020. — № 1.

[14] Тарасов В.К. Методы экспертных оценок в технических системах. — Л.: Машиностроение, 1989.

[15] Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. — М.: Высшая школа, 1977.

[16] Чинарова Л.Л., Андронов И.Л. Элементы теории вероятностей и математической статистики. — М.: Физматлит, 2022.

[17] *Seeram E. Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control. — Springer, 2016.*

[18] *Webb S. The Physics of Medical Imaging. — CRC Press, 2012.*