

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи
УДК.621.396.93

Абдукадыров Алишер Хабибуллаевич

**Выбор системы профессиональной мобильной радиосвязи с
учетом ограниченности радиочастотного ресурса**

Специальность 05.12.17 – Радиотехнические и телевизионные системы
и устройства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент – 2005 г.

Работа выполнена на кафедре «Теория электрических цепей» Ташкентского университета информационных технологий.

Научный руководитель:

**Доктор технических наук, профессор
Соколов Валерий Константинович**

Официальные оппоненты:

**Доктор технических наук, профессор
Халиков Абдулхак Абдулхаирович**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы. В докладе на XIV сессии Олий Мажлиса Республики Узбекистан первого созыва «Узбекистан, устремленный в XXI век» Президент Республики Узбекистан И.А.Каримов определяет развитие средств телекоммуникаций и современных информационных технологий как одну из составляющих тех глубоких структурных преобразований, которые осуществляются в экономике нашей Республики. Информатизация всех сфер государственной и общественной жизни стала на текущем этапе развития человечества повседневной реальностью. Телекоммуникационные системы производственно-технологического назначения не только являются основой устойчивого и эффективного функционирования различных отраслей народного хозяйства, но и сами становятся источником доходов государства. Исторически задачи производственно-технологической связи возлагаются на так называемые системы профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР)*. Системы ПМР создавались и развивались, прежде всего, в интересах государственных организаций: милиции и сил общественной безопасности, служб скорой медицинской помощи, пожарных бригад и пр. Внедрение ПМР во многие отрасли народного хозяйства позволяет значительно повысить производительность труда на подвижных объектах, обеспечить оперативное управление, взаимодействие и координацию действий подвижных групп пользователей, а также проводить дистанционный контроль за различными технологическими процессами.

Современный период развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) характеризуется сменой поколений практически по всем направлениям. Рост требований к системам радиосвязи, ограниченность радиочастотного спектра с одной стороны, и развитие микроэлектроники и компьютерной техники - с другой, привели к необходимости использовать новые, более прогрессивные цифровые стандарты и в области профессиональной мобильной радиосвязи. В технологиях ПМР появляются новые разработки, включающие в свои спецификации службы, учитывающие современные тенденции развития связи и растущие потребности пользователей.

Степень изученности рассматриваемой научно-технической задачи. Выбор наиболее подходящих технологий для развития систем ПМР является сложной задачей. В настоящее время в Узбекистане этот вопрос находится в стадии изучения и анализа, и еще не проработана программа дальнейшего развития систем связи производственно-технологического назначения. В такой ситуации может возникнуть состояние несогласованности при выборе различными организациями той или иной технологии ПМР в качестве своих будущих систем радиосвязи, что, в свою очередь, может привести к расточительному расходу финансов (в основном средств государственного бюджета) и незаконному использованию радиочастотного спектра. В связи с этим, выработка системного подхода в определении места и перспектив развития цифровых систем ПМР в Узбекистане является задачей актуальной.

Связь диссертации с планами научно-исследовательских работ. Диссертационная работа выполнена на кафедре «Теория электрических цепей» Ташкентского университета информационных технологий на основе ГНТП-20-«Разработка современных информационных систем, средств управления,

* Термин «Профессиональная мобильная радиосвязь» возможно не вполне корректен, но ввиду его распространенности этот термин использован в диссертационной работе, иногда в сокращенной форме – «профессиональная радиосвязь» и «мобильная радиосвязь».

баз данных и программных продуктов, обеспечивающих широкое развитие информационных и коммуникационных технологий».

Целью исследования является разработка методов и алгоритмов сравнения и выбора наиболее подходящей технологии профессиональной мобильной радиосвязи и определение рациональных путей внедрения и развития этого вида связи в Узбекистане.

Задачи исследования:

- проведение сравнительного анализа современных технологий ПМР, существующих в мире;
- анализ используемых в Узбекистане систем ПМР, специфики и требований различных классов пользователей, а также особенностей распределения радиочастотного спектра;
- анализ существующих методов оценки и выбора различных технологических объектов и разработка метода выбора наилучших вариантов при большом числе рассматриваемых характеристик, имеющих нечеткие границы и плохо формализуемые качественные показатели;
- разработка новых научно обоснованных подходов для решения задач внедрения, эксплуатации и развития систем ПМР в Узбекистане.

Научная новизна работы:

- получен новый конструктивный подход в решении оптимизационной задачи выбора технологического объекта на основе его качественных признаков с использованием математических методов обработки нечетких множеств и учетом диагностической ценности признаков;
- предложены новые подходы в решении вопросов планирования эксплуатации и совершенствования работы систем ПМР.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

- получен новый научный подход в решении задачи сравнения и выбора технологического объекта, на основе которого разработан алгоритм и проведено опытное сравнение технологий ПМР по экспериментальным данным применительно к условиям Узбекистана;
- выработаны практические рекомендации по внедрению, эксплуатации и развитию систем ПМР в Узбекистане, включая вопросы выделения радиочастот для развития цифровых систем профессиональной радиосвязи.

Реализация результатов работы. Собранные материалы и результаты исследований представлены в ТашИИТ для использования при решении задач сравнения и выбора различных технологических объектов. Получен положительный отзыв о практической применимости разработанного метода и получена справка о внедрении созданной программы в технологический процесс.

Абстракция работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались:

- на ежегодных научных семинарах кафедры ТЭЦ ТУИТ;
- на Республиканских научно-технических конференциях:
"Метрология в сфере почты и телекоммуникаций". 21-22 ноября 2000г;
"Внедрение новых технологий и либерализация рынка почты и телекоммуникаций", 19-20 апреля 2001г.;
"Информационные технологии в образовании, телекоммуникациях, экономике и управлении", 14 мая 2003г.
"Информационно-коммуникационные технологии", 6-7 апреля 2004г.
"Информационные технологии и проблемы образования", 12 мая 2004г.

Опубликованность результатов. Основные результаты работы опубликованы в научных журналах – 13 статей, из них в российских изданиях – 4, в международных изданиях (на английском языке) – 1. В сборниках научных статей и докладов опубликованы 3 статьи.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Работа содержит 124 страницы печатного текста, 16 рисунков, 9 таблиц, а также списки терминов, определений и сокращений. Список использованной литературы состоит из 55 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, указаны цели и задачи исследований, определена научная новизна. Представлены сведения об апробациях и публикациях основных положений диссертации, о реализации и внедрении результатов исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, указаны объем и структура работы.

В первой главе проведен обзор развития систем ПМР в мире и перспектив их дальнейшего развития. Отмечено, что глобальной стратегией развития систем ПМР в настоящее время является переход от аналоговых систем к цифровым, разработка и внедрение единых международных стандартов связи и создание на их основе национальных и даже международных сетей общего пользования. Профессиональная мобильная радиосвязь получает большое развитие в мире, а основными ее пользователями являются:

- организации по обеспечению общественной безопасности;
- административные, аварийные и коммунальные службы;
- транспортные и строительные организации и крупные производственные объекты.

Новое поколение систем ПМР - это цифровые транкинговые технологии, обладающие примерно одинаковыми характеристиками и набором функциональных возможностей, что делает сравнение их между собой непростой задачей. Для проведения сравнительного анализа целесообразно с учетом требований и особых условий пользователей Узбекистана выделить основные характеристики, по которым можно оценивать преимущества и недостатки каждой из рассматриваемых технологий ПМР. В качестве таких характеристик или критериев оценки выбраны следующие:

- обеспечение оперативной подвижной связи с возможностью гибкого управления работой персонала;
- надежность и живучесть сети связи;
- возможность бесперебойного наращивания и расширения сети связи;
- обеспечение высокого уровня защиты информации;
- рабочие диапазоны частот оборудования ПМР и эффективность использования радиочастотного спектра;
- открытость технологии и поддержка ее большим числом производителей;
- распространенность технологии и перспективы ее развития;
- возможность отечественного производства оборудования ПМР

В первой главе также приведены результаты анализа характеристик и сравнения технологий ПМР, получивших наибольшее распространение в мире: TETRAPOL, APCO-25 и TETRA.

Изучены состояние систем ПМР, специфика и особые требования различных классов пользователей, особенности распределения радиочастотного спектра в Узбекистане. Отмечено, что наличие на рынке Узбекистана малоэффективных и морально устаревших

сетей ПМР приводит к расточительному использованию радиочастотного спектра, невозможности взаимодействия оборудования различных производителей и др.

Проведена оценка рынка пользователей профессиональной радиосвязи в Узбекистане. С учетом перечня основных сфер, где эффективно используется ПМР, а также специфических условий страны все сети данного вида связи разделены на следующие 3 группы:

- сети служб общественной безопасности (правоохранительные и военные организации, скорая медицинская помощь, подразделения МЧС, аварийные службы);
- корпоративные сети (крупные промышленные объекты, муниципальные службы, транспортные организации);
- сети общего доступа для обслуживания гражданских служб и коммерческих пользователей.

На основе предлагаемых в настоящее время в Узбекистане услуг проведен анализ технической обоснованности использования услуг ПМР по сравнению с альтернативными видами подвижной связи. Отмечена эффективность использования сетей ПМР совместного пользования, в которые могут объединяться несколько организаций, осуществляющих свою деятельность в одной территориальной зоне, используя единую инфраструктуру связи.

Приведены результаты расчетов экономического эффекта, получаемого от внедрения систем ПМР в различные отрасли народного хозяйства страны.

Проведен анализ распределения РЧС для систем ПМР в Узбекистане и определены задачи по выделению или высвобождению необходимых полос частот для развития цифровых систем ПМР с учетом требований гармонизации с общеевропейским распределением РЧС. В заключении главы сформулированы основные особенности и специфические условия Узбекистана применительно к вопросу построения цифровых систем ПМР:

- геополитическое положение страны определяет важность четкой и слаженной работы служб общественной безопасности и охраны государственной границы;
- экономическое состояние страны в переходный этап ограничивает финансовые ресурсы для построения сетей радиосвязи и диктует необходимость поэтапной реализации проекта и постепенного наращивания сети радиосвязи;
- сравнительно немногочисленный парк находящегося в эксплуатации аналогового оборудования упрощает переход к цифровым системам;
- принадлежность Узбекистана к Району 1 международного радиочастотного распределения согласно МСЭ делает целесообразным гармонизацию с европейским радиочастотным спектром.

Вторая глава посвящена разработке научных подходов в решении задачи выбора технологии ПМР для условий Узбекистана.

Задача построения наиболее рациональной системы ПМР в Республике Узбекистан разделена на две подзадачи: 1) выбор наиболее перспективной технологии из имеющихся в мире и, соответственно, приобретение наиболее надежного и качественного оборудования; 2) внедрение выбранной технологии в национальную сеть телекоммуникаций Республики Узбекистан (рассматривается в 3-й главе).

Первая подзадача принята основополагающей, так как ввиду производственно-технологического характера решаемых задач системы ПМР, в основном, служат для государственных нужд и, соответственно, средства на их приобретение и внедрение выделяются из государственного бюджета. Следовательно, при решении данной подзадачи необходимо учитывать целый ряд требований, которым должна удовлетворять выбираемая система радиосвязи. Это соответствует своего рода критерию экономического оптимума.

В свою очередь, первая подзадача также разбита на несколько меньших подзадач, среди которых выделены вопросы изучения, анализа и выбора технологии с учетом вопросов приобретения, установки, обслуживания и эксплуатации оборудования и т.п.

Современный мировой рынок систем ПМР достаточно обширен как по принятым стандартам, так и по составу предлагаемого оборудования, и выбор наиболее рациональной технологии для конкретных условий страны является сложной и ответственной задачей.

Основная трудность формализации задачи отбора заключается в том, что в рассматриваемых технологиях наряду с другими есть характеристики, имеющие субъективный характер. Кроме того, для решения задачи выбора какой-либо технологии ПМР из многих вариантов необходимо оценивать большое число параметров, свойств, характеристик и т.д. С учетом этого в диссертации для отбора информации был принят алгоритмический подход, предложенный академиком А.Н. Колмогоровым. Это обусловлено тем, что, если конкурирующие с алгоритмическим (комбинаторный и вероятностный) подходы оперируют со статистическими характеристиками, то алгоритмический подход нацеливает на использование информации в определенном (заданном исследователем) направлении, чаще всего - для целей управления.

В целях конкретизации задачи выбора системы ПМР были сформулированы основные (общие для всех рассуждений) постулаты. Поскольку речь идет о технической системе, постулаты эти следующие:

1. В надежной системе все последовательные (в том числе – иерархические) звенья должны иметь равную надежность.
2. В высококачественной системе все последовательные звенья должны быть в одинаковой степени высококачественными (не должно быть «узких», некачественных звеньев).
3. В «эталонной» системе все, как последовательные, так и параллельные звенья должны сами быть «эталонными».

Выполнение требований декларируемых постулатов является основой того, что отдельные фрагменты или задачи исследования общей проблемы выбора, имеющие частные подцели, не будут противоречить общей цели исследования – выбору наиболее рациональных вариантов.

Применительно к задаче выбора наилучшей технологии ПМР для условий Узбекистана отмечена существенная неопределенность как критериев выбора, так и большинства основных характеристик и признаков технологий, проанализированных в Главе 1. Подчеркнуто, что в настоящее время не существует универсального метода решения подобных задач, но в математике имеются некоторые базовые теории и методы, содержащие основные идеи для их решения.

Очевидно, что только всесторонний совместный анализ множества технических и эксплуатационных характеристик технологий и соответствующего им оборудования с учетом особенностей их внедрения в Узбекистане может позволить сделать правильный выбор. В таких ситуациях оказывается полезным метод экспертных оценок. Метод экспертных оценок достаточно широко и давно применяется в сферах изучения общественного мнения, политики, экономики и т.п. Ряд методов математической статистики базируются на экспертных оценках, в качестве которых могут быть представлены значения каких-либо временных рядов или генеральных выборок, исследуемых статистическими или вероятностными методами. В практике отрасли связи имеется некоторый положительный опыт применения метода экспертных оценок, в частности, при оценке качества и информативности технических параметров узлов связи.

Применение метода экспертных оценок при решении технических задач требует осторожности при оценке полученных результатов, поскольку важным моментом является

непосредственно отбор экспертов. Прежде чем учитывать, а тем более, опираться на мнение экспертов, следует (и рекомендуется) оценить самих экспертов. Относительно справедливые результаты дает использование так называемых нормированных мастер-коэффициентов (рейтинга), когда, например, сумма коэффициентов Э всех экспертов отнесена к 1 (или 100%), что обеспечивает следующее условие:

$$\sum_{i=1}^N \mathcal{E}_i = 1. \quad (1)$$

Максимальные баллы, назначаемые для оценки какого-либо признака, могут быть различными (например, 10 или 100) и могут приниматься открытым голосованием экспертов, тем не менее, результирующая экспертная оценка будет следствием некоего коллективного мнения:

$$Ц = Ц_1 \mathcal{E}_1 + Ц_2 \mathcal{E}_2 + \dots + Ц_N \mathcal{E}_N = \sum_{i=1}^N Ц_i \mathcal{E}_i. \quad (2)$$

где: $Ц_i$ - оценка, выданная i -м экспертом (по оговоренной заранее шкале);

\mathcal{E}_i - мастер - коэффициент (рейтинг) i -го эксперта.

Для использования метода экспертных оценок требуется подготовительная работа по ранжированию экспертов, что обеспечивает относительную объективность получаемых оценок, но, однако, не гарантирует от односторонних и неадекватных оценок (результатов выбора).

Для получения более общих, многосторонних экспертных оценок может быть применен так называемый дельфийский метод (Delphi method), позволяющий получить экспертную оценку группы экспертов, относящихся к разным, но взаимосвязанным сторонам изучаемого явления, объекта, системы и т.п. Метод достаточно трудоемкий и громоздкий, т.к. анкеты или опросные листы рассылаются экспертам несколько раз (3-5 раз), при этом список оцениваемых параметров каждый раз пересматривается, чтобы исключить из рассмотрения те вопросы, по которым эксперты уже пришли к соглашению, либо чтобы внести изменения в само содержание анкет.

Данный метод был модифицирован таким образом, чтобы получать достоверные экспертные оценки за один опрос, имея при этом возможность учитывать любое количество признаков, заслуживающих внимания при анализе решаемых задач. Для этого экспертные оценки включают также весовые коэффициенты важности каждого из анализируемых признаков. Эти коэффициенты определяются самими же экспертами при опросе. Это снижает «абсолютную» объективность метода, но дает возможность повысить эффективность и оперативность его применения. (Примеры расчетов и оценки результатов приведены в диссертации).

Рассмотрена возможность решения задачи отбора технологического объекта методом взвешенных экспертных оценок.

Если, например, необходимо произвести отбор одной из M технологий ПМР (классов) на основании анализа N признаков (критериев) отбора, то этими признаками Z могут быть различного рода характеристики, в отдельных случаях не имеющие конкретных численных значений, например:

- надежность сети и оперативность связи;
- обеспечение высокого уровня защиты информации;
- удобство пользования абонентским оборудованием;
- возможности взаимодействия различных организаций.

Для этих целей вводится в рассмотрение матрица Z размерностью $M \times N$, смысл индексов элементов которой следующий: запись Z_{ji} означает принадлежность признака (характеристики технологии ПМР) " Z_j " i -му классу (технологии ПМР). Признак имеет численное значение, равное количеству баллов, выставленному каждым экспертом по этому признаку для каждого класса. Например, каждый эксперт имеет право оценивать каждый признак от 1 до 10 баллов. При этом эксперт имеет возможность, по своему усмотрению, присвоить весовой коэффициент w_j для каждого признака. Коэффициент w_j должен быть единым для всех рассматриваемых классов. При обработке результатов опроса каждого эксперта, можно получить за один опрос как собственно оценки каждого признака для каждого класса, так и суммарные, и взвешенные оценки всех признаков по каждому из классов. Усредняя или просто суммируя все виды оценок признаков, данных всеми экспертами по всем классам, можно получить достаточно объективные экспертные оценки и принять решение на основании какого-то заранее выбранного правила или принципа, например, выбрать технологию ПМР, имеющую наибольшую сумму взвешенных признаков Z :

$$Z_{opt} = \max \sum_{j=1}^N w_j Z_j. \quad (3)$$

Достоинством рассматриваемого метода является его «одномоментность» (получение результатов за один опрос экспертов), возможность учета и оценки большого числа характеристик и факторов, информационная насыщенность и многосторонность. Однако, назначение весовых коэффициентов признаков самими экспертами является недостатком метода, т.к. при таком способе обработки результатов экспертиз нельзя исключить субъективности и предвзятости мнений экспертов. В таком случае даже незначительные вариации в определении «веса» признаков могут привести к существенно неверным (необъективным) выводам.

С целью сохранения алгоритмической направленности разрабатываемых процедур выбора наилучших вариантов, предложен метод исследования, апробированный применительно к отбору параметров режимов электроэнергетических систем [1]. Основой этого метода является информационная ценность анализируемых признаков, где субъективность индивидуальной оценки каждого эксперта сводится к минимуму. Это достигается за счет того, что, во-первых, эксперт не присваивает индивидуальный и произвольный вес каждому признаку, а имеет право лишь расширить в определенных пределах диапазон изменения какого-либо признака для определенного класса. Например, эксперт имеет возможность оценить какую-либо характеристику (особенно важную, по его мнению) не заданным максимумом в 10 баллов, а 12-ю или 14-ю баллами. Во-вторых, описанный ниже способ обработки результатов экспертиз, фактически представляющий собой расчет информационной энтропии признаков для каждого класса по всем признакам и всем экспертам, является объективной мерой ценности информации как внутри каждой экспертизы, так и по всей совокупности анализа экспертных оценок.

В диссертации разработанный метод рассмотрен подробно. Вновь использована матрица размерностью $M \times N$, элементами которой являются признаки Z_{ji} , численные значения которых устанавливают эксперты. В целях повышения «свободы мнений» каждому эксперту предоставляется право присвоить любому из признаков для любого класса значение, превышающее максимально допустимую оценку. Тем самым, появляется возможность анализировать и сопоставлять классы с размытыми границами, а также значениями признаков, перекрывающимися установленные размеры классов. Наглядно это показано в таблице 1.

Таблица 1.

Принадлежность признаков к классам.

ПРИЗНАКИ	КЛАСС 1	КЛАСС 2	КЛАСС 3	КЛАСС 4
Z_1	_____	_____	_____	_____
Z_2	_____	_____	_____	_____
Z_3	_____	_____	_____	_____

Из таблицы 1. видно, что, каждый класс может иметь свой диапазон изменения значений признаков, а признаки могут «перекрывать» границы классов.

В диссертации предложено определение диагностического веса признаков Z_j как вероятностной меры их диагностической ценности для конкретного класса D_i . Анализируя возможные ситуации, определяется $p(D_i)$ – безусловная априорная вероятность наличия класса D_i . Эта вероятность равна отношению диапазона изменения (ширины или размера) данного класса D_i к суммарной ширине всех анализируемых классов:

$$p(D_i) = D_i / \sum D_i = D_i / D. \quad (4)$$

Учитывая, что реальные диапазоны изменения признаков в предложенной постановке задачи могут не совпадать с назначенными границами классов, необходимо определить фактическую безусловную вероятность наличия класса $p(z_{ji})$ как отношение фактической величины диапазона изменения признака z_{ji} к суммарной величине диапазона изменения всех признаков:

$$p(z_{ji}) = z_{ji} / D. \quad (5)$$

Далее определяется условная вероятность соответствия каждого признака каждому классу как отношение фактического значения признака к заданному диапазону его изменения:

$$p(z_{ji}/D_i) = z_{ji}/D_i. \quad (6)$$

Причем, в случае если значение признака Z_{ji} превышает значение диапазона его изменения D_i , т.е. при $Z_{ji} > D_i$, то условная вероятность соответствия признака классу будет определяться следующим образом:

$$p(D_i/Z_{ji}) = D_i/Z_{ji}. \quad (7)$$

В соответствии с [1] диагностическая ценность какого-либо признака Z_{ji} может быть вычислена по формуле:

$$C_{ii}(Z_{ji}) = \log_2 \frac{p(Z_{ji}/D_i)}{p(Z_{ji})}, \quad \text{при } Z_{ji} \leq D_i$$

или

$$C_{ii}(Z_{ji}) = \log_2 \frac{p(D_i/Z_{ji})}{p(D_i)}, \quad \text{при } Z_{ji} > D_i \quad (8)$$

Логика данного метода заключается в следующем: чем выше условная вероятность $p(z_j/D)$, тем большей ценностью обладает признак. Следует учитывать, что значимыми являются только положительные значения диагностической ценности признаков, т.е. $U_i(z_j) > 0$, что возможно лишь при условии $p(z_j/D) > p(z_j)$.

Если условные вероятности j -го признака во всех M классах равны безусловным фактическим вероятностям наличия классов $p(z_j/D) = p(z_j)$, признак имеет нулевую ценность, и его наличие никак не меняет вероятность выбора какого-либо класса. Это соответствует ситуации, когда, например, пытаются сделать выбор в пользу какой-либо технологии ПМР на основании оценки надежности, одинаково высокой для всех рассматриваемых технологий. Такой признак не несет значимой информации, и это логическое построение подтверждается нулевым значением ценности признака. Отрицательное значение диагностической ценности $U_i(z_j) < 0$ свидетельствует о неинформативности признака.

Полученные диагностические ценности признаков дают возможность учитывать любое количество плохо формализуемых характеристик. Анализируя каждую отдельную экспертизу, можно выделить только значимые признаки, т.е. такие, для которых значения $U_i(z_j) > 0$. При суммировании их значений по строкам матрицы ценностей («по горизонтали») получается ранжированный, например, по убыванию, список наиболее ценных с точки зрения информативности признаков внутри каждой экспертизы. Просуммировав все значимые признаки по столбцам матрицы ценностей («по вертикали»), можно получить сумму информационно значимых признаков для каждого класса внутри каждой экспертизы. По наибольшему значению такой суммы можно определить, к выбору какого класса склоняется тот или иной эксперт. Обработав подобным образом все рассмотренные экспертизы, можно осуществить выбор определенного класса на основании, например, максимального показателя среднего значения или суммы диагностической ценности классов по всем экспертам.

Если вернуться к поставленной задаче – выбору наиболее подходящей технологии ПМР применительно к условиям Узбекистана – то, суммируя диагностические ценности каждой из сравниваемых технологий внутри каждой экспертизы, а затем, вычислив средние значения этих ценностей для каждой из сравниваемых технологий по всем экспертизам, можно объективно отобрать «кандидатуру» с наивысшим значением диагностической ценности. Навысшая сумма (по вертикали) диагностических ценностей какой-либо технологии ПМР означает, что она наилучшим образом отвечает тем требованиям, которые были сформулированы и формализованы.

Понятие диагностической ценности признаков позволяет решить задачу выбора на основе другой идеологии, отличной от простого усреднения значений ценности признаков, а именно – насколько рассматриваемые системы (технологии) «далеки» от сформулированного эталона. В этом случае все подлежащие анализу признаки должны быть с учетом их индивидуальных масштабов и размерностей приведены к сопоставимому виду, т.е. как бы стать признаками одной физической природы. В частности, в качестве такого эталона можно рассматривать гипотетическую технологию с максимально возможными значениями экспертных оценок по всем признакам. При этом обобщенной числовой характеристикой «близости» анализируемого варианта к эталону является так называемое Евклидово расстояние L или расстояние по Хеммингу:

$$L = \left(\sum_{j=1}^n |Z_j - Z_{j0}|^2 \right)^{1/2}, \quad (9)$$

где Z_{j0} – эталонное значение признака Z_j , а само Z_j – его реальное значение.

Показатели степени ν и μ – могут выбираться из различных соображений, но наибольшее распространение имеет квадратичная форма ($\mu=1, \nu=2$), она вычисляет так называемую «квадратичную невязку»:

$$L = \sqrt{\sum_{j=1}^n |Z_j - Z_{j0}|^2}. \quad (10)$$

Наилучшим «приближением» к эталону является тот вариант, для которого метрическое расстояние L будет минимальным.

После отбора технологии ПМР по техническим характеристикам наступает этап учета цены оборудования (системы) и стоимости его последующей эксплуатации. Обычно эта часть задачи выбора наилучшего варианта с учетом еще и экономических факторов решается эвристическими методами. Однако процедура выбора с помощью метрических методов на основе сопоставления с эталоном была опробована и для этой задачи.

Сравнение с эталоном для многомерных объектов с признаками различной физической природы может проводиться на основе определения так называемого расстояния Махаланобиса X :

$$X = (Z - Z_0)^T R_z^{-1} (Z - Z_0), \quad (11)$$

где Z – вектор-столбец признаков системы (оборудования), которая сопоставляется с эталоном;

Z_0 – вектор-столбец признаков эталона;

T – знак транспонирования;

R_z – ковариационная матрица признаков данного класса.

Ввиду того, что диагональные элементы R_z^{-1} – матрицы, обратной ковариационной матрице, содержат величины, обратные дисперсии соответствующих признаков $\left(\frac{1}{\sigma_j^2} \right)$, при расчете расстояния X сами признаки учитываются со своими «вессами», определяемыми их дисперсией, при этом из именованных величин они переходят в относительные.

В работе [1] было предложено модернизировать расстояние Махаланобиса путем введения в состав матрицы R_z^{-1} соответствующих ценностных множителей. Эти ценностные множители становятся числителями диагональных элементов матрицы $\left(\frac{C_j}{\sigma_j^2} \right)$, а получаемая при этом новая матрица обозначается через Π . Подробная операция приводит к модернизированному расстоянию Махаланобиса X_m :

$$X_m = (Z - Z_0)^T \Pi (Z - Z_0). \quad (12)$$

Введение ценностных множителей, в определенном масштабе отвечающих за значимость каждого отдельного признака, переводит задачу сопоставления конкурирующих вариантов с эталоном в область экономических расчетов. Одновременно с ответом на вопрос о технической и технологической пригодности выбираемого варианта, может быть получено также решение по минимизации затрат на его приобретение.

На основе программы, использующей предложенный метод, в диссертации проведено сравнение трех технологий ПМР (TETRA, APCO-25 и Tetrapol). При этом использованы гипотетические, но в то же время достаточно близкие к реальности критерии оценки технологий ПМР. Их смысл и значения применительно к условиям и требованиям Узбекистана были представлены в виде независимых экспертиз и проанализированы с помощью описанных выше методов.

В третьей главе рассмотрены вопросы внедрения, эксплуатации и развития систем ПМР в Узбекистане, а также выработаны рекомендации по обеспечению их функционирования.

Определены подходы и выработаны рекомендации по высвобождению РЧС для развития новых технологий ПМР в Узбекистане, а также даны рекомендации по совершенствованию использования радиочастотного спектра.

Исследованы вопросы планирования эксплуатации телекоммуникационного оборудования. При организации эксплуатации сложных технических систем следует опираться на учет действия фактора времени в двух планах: физического износа оборудования и его морального устаревания. Каждый из этих процессов происходит со своей интенсивностью. Если предположить, что наиболее точно процесс старения таких систем отражает экспоненциальная зависимость, то каждая экспонента будет «затухать» со своей постоянной времени.

Процесс планирования эксплуатации оборудования рассмотрен при наличии двух альтернатив:

1) продолжается эксплуатация старого, но еще работоспособного оборудования и небольшие накопленные амортизационные средства в недалеком будущем будут расходоваться на проведение восстановительных ремонтных работ. Ремонтные работы будут иметь своей целью восстановление производительности оборудования. Может также оказаться, что для проведения капитального ремонта накопленных амортизационных средств и новых поступлений от продолжающейся эксплуатации старого оборудования недостаточно, то есть положение приближается к такому, что потребуются внешние заимствования;

2) приобретается новое оборудование того же предназначения, что и старое, с более широким спектром возможностей, включающим и прежние возможности старого оборудования. Производительность нового оборудования намного выше, чем ныне работающего, и к моменту времени, когда потребуются капитальный восстановительный ремонт старого оборудования, новое, хотя и отработает уже некоторое время, по своей производительности не будет уступать старому отремонтированному оборудованию.

С использованием математической модели найден пограничный отрезок времени, когда описанные альтернативы сходятся, то есть когда они становятся равноценными.

Сделан вывод, что в случае, если с полной очевидностью складывается ситуация наступления на рынок новой технологии, то с максимально возможной точностью следует определить тот момент времени, к наступлению которого все потребители (с учетом роста их числа) могли бы переключиться на потребление услуг (товаров) по новой технологии. Этот момент времени может быть найден с помощью статистической нелинейной экстраполяции (на основе маркетингового мониторинга).

Далее рассмотрены вопросы совершенствования работы сетей ПМР. В каждой телекоммуникационной системе существует целый ряд качественных показателей, по которым определяется работа системы в целом.

В общем виде задача совершенствования функционирования решается в двух оптимизационных постановках:

1) при заданном обобщенном показателе качества функционирования системы достичь минимального расходования средств и,

2) при заданных (ограниченных) средствах добиться такого их распределения на обеспечение частных качественных показателей, чтобы обобщенный качественный показатель системы получился максимально возможным.

Сформулируем эти условия:

Обобщенный показатель качества работы Q при вполне допустимом ограничении, что отдельные показатели качества X_i , $i=1,2, \dots, n$, независимы друг от друга, определяется как:

$$Q = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n = \prod_{i=1}^n X_i \quad (13)$$

Допустимые расходы при тех же ограничениях представляют собой сумму расходов, связанных с каждым показателем качества:

$$S_{\Sigma} = S_1(X_1) + S_2(X_2) + \dots + S_n(X_n) = \sum_{i=1}^n S_i(X_i). \quad (14)$$

Оптимизационная задача определения минимальных затрат при ограничении (13) решается методом неопределенных множителей Лагранжа:

$$S_{\Sigma} = S_1(X_1) + S_2(X_2) + \dots + S_n(X_n) = \sum_{i=1}^n S_i(X_i) \rightarrow \min, \quad (15)$$

или:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_i(X_i) + \lambda W \rightarrow \min, \quad (16)$$

где в качестве функции W использовано ограничение (13) в виде: $X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n - Q = 0$, а λ - неопределенный множитель, т.е.:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n S_i(X_i) + \lambda \left(\prod_{i=1}^n X_i - Q \right) \rightarrow \min. \quad (17)$$

Минимум этой функции будем искать, приравнявая нулю частные производные ее по показателям качества X_i :

$$\begin{cases} \partial S_1(X_1) / \partial X_1 + \lambda (X_2 \cdot X_3 \cdot \dots \cdot X_n) = 0 \\ \partial S_2(X_2) / \partial X_2 + \lambda (X_1 \cdot X_3 \cdot \dots \cdot X_n) = 0 \\ \dots \\ \partial S_n(X_n) / \partial X_n + \lambda (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{n-1}) = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Решение системы уравнений (18) относительно λ выглядит следующим образом:

$$\lambda = (\partial S_1(X_1) / \partial X_1) \cdot X_1 = (\partial S_2(X_2) / \partial X_2) \cdot X_2 = \dots = (\partial S_n(X_n) / \partial X_n) \cdot X_n = \text{const}. \quad (19)$$

Выражение (19) раскрывает условия достижения минимума затрат для обеспечения заданного качества работы системы ПМР. Минимальные затраты имеют место при равенстве (или близких значениях) произведений отдельных показателей качества на производные от затрат по данному показателю (по обеспечению данного показателя).

Отмечено, что добиваться повышения качества следует первоначально за счет наиболее просто и с наименьшими затратами достижимых целей: например – за счет увеличения качества показателя X_3 на рис. 1. Во вторую очередь следует наращивать значение показателя X_2 , тогда как показатель X_1 на всем протяжении рассматриваемого участка имеет высокие значения затрат на обеспечение данного показателя качества и на этот показатель можно уделять наименьшее внимание. После достижения значения $X_1 = 0,9$ (точки пересечения характеристик X_2 и X_3) по-прежнему уделяя наименьшее внимание первому показателю, теперь следует больше внимания уделить второму показателю, нежели третьему.

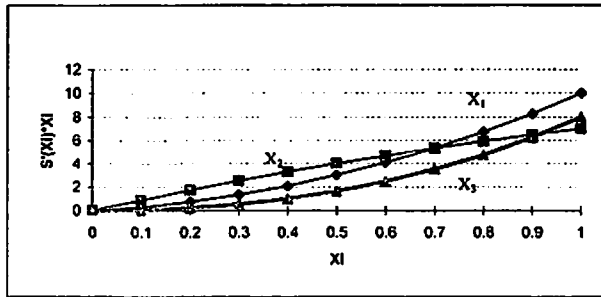


Рис.1. Условия достижения минимальных затрат на обеспечение требуемого качества радиосвязи.

В заключении обобщены основные результаты работы и их возможность применения на практике. Сформулированы предложения по созданию цифровых сетей ПМР в Узбекистане и рекомендации по развитию производственно-технологической связи в стране.

В приложениях приведен листинг программы, реализующей разработанную метод выбора технологии ПМР на основе экспертных оценок и с учетом диагностической ценности признаков сравниваемых объектов. Также приведены результаты сравнения и выбора технологических объектов на основе экспериментальных данных, выполненного с использованием разработанного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен сравнительный анализ перспективных цифровых технологий ПМР, существующих в мире, который показал, что наиболее динамично развивающимися среди них и перспективными с точки зрения применимости для создания единых сетей совместного пользования с возможностью взаимодействия различных организаций и расширения сети в масштабах государства являются три системы: TETRA, APCO-25 и Tetrapol. Определены также и пути дальнейшего развития этих технологий с планами разработки единых взаимосовместимых стандартов следующего поколения с широкими функциональными возможностями (проект MESA).

2. Получена оценка рынка пользователей профессиональной радиосвязи в Узбекистане и проведен анализ распределения радиочастот для систем ПМР. Показано, что наличие малоэффективных и морально устаревших сетей радиосвязи может приводить к расточительному использованию радиочастотного спектра, невозможности взаимодействия оборудования различных производителей, неэкономному расходованию материальных ресурсов и др.

3. Разработан новый конструктивный подход в решении задачи выбора наилучших вариантов технологий при большом числе рассматриваемых характеристик, имеющих плохо формализуемые качественные показатели при отсутствии количественных оценок большинства их характеристик. Различные модификации метода экспертных оценок требуют большой подготовительной работы и все же не дают высокой объективности при сравнении технологических объектов. В связи с этим в работе предложен новый подход, учитывающий диагностическую ценность анализируемых признаков, и, тем самым, минимизирующий субъективность индивидуальной оценки каждого эксперта. Разработанный подход является универсальным и его можно использовать для решения и других задач, связанных с выбором объекта при отсутствии количественных оценок большинства его характеристик.

4. Предложены новые подходы в решении вопросов внедрения, эксплуатации и развития систем ПМР в Узбекистане. Решены задачи планирования эксплуатации телекоммуникационного оборудования и совершенствования работы сетей ПМР за счет повышения их качественных показателей.

5. Получены результаты сравнения и выбора современных технологий ПМР по экспериментальным данным применительно к условиям Узбекистана с использованием разработанного алгоритма сравнения и выбора технологического объекта на основе предложенного научного подхода.

6. Определены подходы и выработаны рекомендации по высвобождению РЧС для развития новых технологий ПМР в стране, а также даны рекомендации по совершенствованию использования радиочастотного спектра.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Соколов В.К., Махмудов М.М., Абдукадыров А.Х. Мобильная связь в Узбекистане: вопросы государственного регулирования // Ж. Метрология и измерительная техника в связи. - Москва. - 2001. - № 5. - С. 2-4.
2. Анализ распределения в Узбекистане радиочастот, предназначенных для развертывания цифровых транкинговых систем двусторонней подвижной радиосвязи в диапазонах частот 400, 800 и 900МГц. /Рахимов Т.Г., Рахимов К.Р., Соколов В.К., Абдукадыров А.Х.// Ж. Мобильные системы. - Москва. -2002. -№10. - С.26-30.
3. Выбор рационального вида беспроводной связи для пользователей Узбекистана. /Рахимов Т.Г., Рахимов К.Р., Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. // Ж. Мобильные системы. - Москва. -2003. - №1. - С.27-29.
4. Рахимов Т.Г., Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. Выбор оптимального вида мобильной связи для пользователей Узбекистана // Ж. Мобильные системы. - Москва. - 2003. -№9. - С.46-49.
5. Абдукадыров А.Х. Развитие рынка ДПР как фактор экономического роста // Ж. Экономическое обозрение. - 2001. - №5-6. - С.21-23.
6. Абдукадыров А.Х. Определение систем двусторонней подвижной радиосвязи// Ж. InfoCOM.Uz. - 2003. - №3. - С.56-59.
7. Соколов В.К., Махмудов М.М., Абдукадыров А.Х. Метод потенциальной ценности информации применительно к задаче выбора перспективных направлений развития средств телекоммуникаций // «Радиотехнические системы и устройства». Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава, сотрудников и аспирантов ТЭИС УзАПИТ. - 2001. - №6. - С. 15-18.
8. Соколов В.К., Махмудов М.М., Абдукадыров А.Х. Экономические аспекты маркетинговой стратегии совершенствования обслуживания двусторонней подвижной радиосвязью // Сборник научных трудов Института Кибернетики АН РУз «Алгоритмы». - 2001. -№88. -С. 183-189.
9. Mr. Alisher Abdulkadirov. Two-way radio contribution to the gross domestic product of Uzbekistan // Всемирный Форум Информационного Сообщества (WFIS): Тез. докл. 10-12 декабря 2003г. – Женева, 2003. 1-2с.
10. Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. Экономическая оптимизация путей совершенствования качества услуг телекоммуникаций // Метрология в сфере почты и телекоммуникаций: Тез. докл. респ. науч.-тех. конф. 21-22 ноября 2000. – Ташкент, 2000. С.41-42.
11. Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. Вопросы государственного регулирования в сфере двусторонней подвижной радиосвязи // Внедрение новых технологий и либерализация

рынка почты и телекоммуникаций: Тез. докл. респ. науч.-тех. конф 19-20 апреля 2001г. – Ташкент, 2001. 45-46с.

12. Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. Применение теории нечетких множеств к распределению радиочастотного спектра Республики Узбекистан // Информационно-коммуникационные технологии: Тез. докл. респ. науч.-тех. конф. 6-7 апреля 2004г. – Ташкент, 2004. 261-263с.
13. Соколов В.К., Абдукадыров А.Х. Рыночные аспекты выбора технологии профессиональной мобильной радиосвязи для условий Узбекистана // Наука, образование и производство в сфере информационно-коммуникационных технологий и их интеграция: Тез. докл. респ. науч.-практ. конф. 31.05-1.06.2005г. – Ташкент, 2005. 45-46с.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов В.К. Целенаправленный отбор признаков при решении задачи распознавания режимных ситуаций в энергосистеме. //Ж Электронное моделирование. – Москва -1987. т 9- №1- С.56-60.

РЕЗЮМЕ

диссертации Абдукадырова Алишера Хабибуллаевича на тему
«Выбор системы профессиональной мобильной радиосвязи с учетом ограниченности
радиочастотного ресурса»

на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.17. – «Радиотехнические и телевизионные системы и устройства»

Ключевые слова: Профессиональная мобильная радиосвязь (ПМР), транкинговая связь, TETRA, APCO-25, Tetrapol, диагностическая ценность, Евклидово расстояние, расстояние Махаланобиса.

Объекты исследования: Технические системы профессиональной мобильной радиосвязи, предназначенные для предоставления услуг связи обычным и специальным категориям пользователей. Особенностью объекта исследования является отсутствие объективных количественных оценок большинства его характеристик и функциональных возможностей.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов сравнения и выбора наиболее подходящей технологии ПМР и определение рациональных путей внедрения и развития сетей ПМР в Узбекистане.

Метод исследования: математический метод сравнения и выбора объектов (систем) с большим числом признаков с использованием аппарата нечетких множеств и с учетом диагностической ценности признаков.

Полученные результаты и их новизна:

- получен новый конструктивный подход в решении оптимизационной задачи выбора технологического объекта на основе его качественных признаков;
- разработан метод и алгоритм выбора наиболее подходящей технологии профессиональной мобильной радиосвязи в условиях ограниченности радиочастотного ресурса;
- предложены новые подходы в решении вопросов планирования эксплуатации и совершенствования функциональных характеристик систем ПМР.

Практическая значимость: на основе проведенного исследования выработаны практические рекомендации по внедрению, эксплуатации и развитию систем ПМР в Узбекистане.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Собранные материалы и результаты исследований представлены в ТашИИТ для использования при решении задач сравнения и выбора различных технологических объектов. Получен положительный отзыв о практической применимости разработанного метода и получена справка о внедрении созданного алгоритма в технологический процесс.

Область применения: радиосвязь производственно-технологического назначения.

**Техника фанлари номзоди илмий даражасига
талабгор Абдуқодиров Алишер Хабибуллаевичнинг**

**05.12.17. – «Радиотехника ва телевизион тизимлари ва қурилмалари» ихтисослиги буйича
«Радиочастоталар ресурси танқислиги шаронтида профессионал мобил радиоалока
тизимларини танлаш» мавзусидаги диссертациянинг**

РЕЗЮМЕ СИ

Таянч сузлар: Профессонал мобил радиоалока (ПМР), Транкинг алокаси, TETRA, APCO-25, TetraPol, диагностика киймат, Евклид масофаси, Махаланобис масофаси.

Тадқиқот объектлари: Оддий ва махсус фойдаланувчилар категорияларига хизмат курсатиш учун мулжалланган профессионал мобил радиоалоканинг техник тизимлари. Тадқиқот объектнинг хусусияти унинг қупчилик характеристикалари ва функционал имкониятларининг объектив сонли баҳолари йуклигидир.

Ишнинг мақсади: Ўзбекистонда келгусида яратиш ва ривожлантириш мақсадида профессионал мобил радиоалока технологияларини такқослаш ва улар орасида энг мосини танлаш усулларини ва алгоритмларини ишлаб чиқишдир.

Тадқиқот усули: ноаник қупликлар аппарати фойдасида хусусиятларни катта сонига эга объектларни (тизимларни) уларни хусусиятларини диагностика кийматларини хисобга олган ҳолда такқослаш ва танлаш математик усули.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги:

- технологик объектни унинг сифат курсаткичлари асосида танлаш оптимизацион вазифасини ечимига янги конструктив ендошиш яратилган;
- радиочастота ресурси танқислиги шаронтида энг мос профессионал мобил радиоалока технологиясини танлаш буйича усул ва алгоритм ишлаб чиқилган;
- ПМР тизимларини функционал характеристикаларини такомиллаштириш ва уларни эксплуатациясини режалаштириш буйича янгича ендошишлар таклиф қилинган.

Амалий ахамияти: утқазилган тадқиқот асосида Ўзбекистонда ПМР тизимларини яратиш, ишлаши ва ривожлантириш буйича амалий тавсиялар ишлаб чиқарилган.

Тадқиқ этиш даражаси ва иктисодий самарадорлиги: тупланган материаллар ҳамда тадқиқот натижалари Тошкент темир йул мухандислари институтига ҳар хил технологик объектларни такқослаш ва танлаш вазифаларини ечишда қуллаш учун юборилган. Ишлаб чиқилган усулни амалий ахамияти хақида ижобий ҳулоса ҳамда яратилган алгоритмни технологик жараенга жорий этилгани хақида малумотнома олинган.

Қулланиш соҳаси: ишлабчиқариш-технологик радиоалокаси.

RESUME

Thesis of Mr. Alisher Abdukadirov
on the scientific degree competition of the doctor of sciences
in 05.12.17 specialty "Radiotechnics and television systems and devices"
subject:

"Selection of professional mobile radio system in condition of limited radio frequency resources"

Key words: professional mobile radio (PMR), trunking communication, TETRA, APCO-25, Tetrapol, diagnostic values, Euclidean Distance, Mahalns. Distance.

Subject of the inquiry: Technical systems of professional mobile radio dedicated to provide communication services for general and special users categories. Uniqueness of the subject is in absence of objective quantitative values of the majority of its characteristics and features.

Aim of the inquiry: Developing methods and algorithms of comparison and selection of the most applicable PMR technology for further application and development in Uzbekistan.

Method of inquiry: Mathematic methods of comparing and selection among objects (systems) with big number of characteristics using instrument of non-precise sets and by counting diagnostic values of these characteristics.

The results achieved and their novelty:

- a new constructive approach in solving optimization problem of selecting technological subject based on its qualitative characteristics has been obtained;
- the method and algorithm of selecting the most applicable PMR technology in condition of limited radio frequency resources has been worked out;
- new approaches of PMR systems' operation planning and functionality enhancement have been proposed.

Practical value: based on conducted inquiries the practical recommendations on PMR systems application, operation and development in Uzbekistan have been elaborated.

Degree of embed and economic effectiveness: materials collected and results of inquiry have been presented to the Tashkent Institute of Railroad Engineers to be used in solving the task of comparing and selection among various technologic objects. A positive reference on practical value of developed method as well as certificate of application of created algorithm into the technological process has been received.

Sphere of usage: radio communication of industrial and technological purpose.

АБДУКАДЫРОВ АЛИШЕР ХАБИБУЛЛАЕВИЧ

**ВЫБОР СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОЙ
РАДИОСВЯЗИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННОСТИ
РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА**

**Подписано к печати 10.08.2005. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Уч..изд. л.4,8. Усл. печ. л. 6,4
Тираж 100, заказ 561**

**Типография Узгидромета
Ташкент, 700052, Кодира Махсумова, 72.**