

16+

# Современное развитие телекоммуникационных систем и компьютерных сетей

**МОНОГРАФИЯ**

Ал-Али Хайдер Тахсин Али, Аль-Фархан Гхассан Хассан Али, Бурнашев И.Я., Звездина М.Ю., Назарова О.Ю.,  
Прыгунов А.Г., Русанов Р.И., Шокова Ю.А.

**НАУЧНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА**

**Современное развитие  
телекоммуникационных систем и  
компьютерных сетей**

Монография

[www.scipro.ru](http://www.scipro.ru)  
Нижний Новгород, 2018

УДК 004  
ББК 32  
С56

**Рецензенты:**

**Сагитов Рамиль Фаргатович** — кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем»

**Авторы:**

Ал-Али Хайдер Тахсин Али, Аль-Фархан Гхассан Хассан Али, Бурнашев И.Я., Звездина М.Ю., Назарова О.Ю., Прыгунов А.Г., Русанов Р.И., Шокова Ю.А.

Современное развитие телекоммуникационных систем и компьютерных сетей [Электронный ресурс]: монография. – Эл. изд. - Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 91 с.). - Нижний Новгород: НОО "Профессиональная наука", 2018. – Режим доступа: <http://scipro.ru/conf/monographtelecommunicationsystems.pdf>. Сист. требования: Adobe Reader; экран 10".

ISBN 978-5-907072-30-5

Монография посвящена формированию, развитию, функционированию информационного общества и глобальной информационной телекоммуникационной инфраструктуре. Обобщены и систематизированы отечественные и зарубежные исследования научных представлений о развитии информационной среды, информационного общества.

Материалы монографии будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам в области информационных технологий, а также студентам, магистрантам и аспирантам.

При верстке электронной книги использованы материалы с ресурсов: Designed by Freepik

© Авторский коллектив, 2018 г.

ISBN 978-5-907072-30-5



© Издательство НОО Профессиональная наука, 2018 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА В РОССИИ И В ДРУГИХ СТРАНАХ	8
ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ АРХИТЕКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СРЕД ДОСТУПА К НИМ.....	29
ГЛАВА 3. МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОЛОГРАММ .....	43
ГЛАВА 4. РАЗНОСТНО-СКОРОСТНОЙ СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	81
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	89

## Введение

Современный этап системных преобразований в мире неразрывно связан с развитием процессов информатизации общества. Информационнокоммуникационные и телкоммуникационные технологии оказывают все большее влияние на общественное развитие, процессы информатизации затрагивают все социальные практики человека, все пространства его существования в современном обществе. Под их влиянием происходят изменения в экономике, политике, культуре, образовании, образуется информационная инфраструктура, обеспечивающая функционирование и развитие информационного пространства страны и средств информационного взаимодействия.

Развитие региональных информационных систем и их интеграция с глобальными информационными инфраструктурами и системами цифрового телевидения и радиовещания, спутниковых систем и подвижной связи привело к созданию глобальной информационной телекоммуникационной инфраструктуры, что является платформой для решения задач более высокого уровня - модернизации экономики и общественных отношений, обеспечения конституционных прав граждан и высвобождения ресурсов для личностного развития.

Монография состоит из 4-х глав.

**В первой главе «Исследование построения информационного общества в России и в других странах»** приводятся результаты анализа влияния инфокоммуникационных технологий на развитие экономики государства, выраженного с использованием простых и композиционных индексов. Показано, что рассчитываемые при этом рейтинги государств позволяют оценить конкурентоспособность экономики относительно других стран, а, следовательно, правильно скорректировать политику государства в условиях жесткой конкурентной борьбы на мировых рынках.

Приводятся результаты известных аналитических исследований, позволившие сделать вывод о том, что развитие инфокоммуникационных технологий обусловили переход общества от индустриального к информационному. При этом понятие «информационное общество» может рассматриваться с двух точек зрения – философской и технической. В соответствии с первой точкой зрения информационное общество рассматривается как один из этапов развития цивилизации, соответствующий по критерию развития производительных сил постиндустриальной (информационной) цивилизации. В соответствии со второй точкой зрения информационное общество – это общество, основным видом деятельности является производство и потребление информации, а самым главным ресурсом – информация. Приводятся критерии определения информационного общества в динамике

их развития. Показано, что новым уровнем развития экономики на современном этапе является цифровая экономика, базирующаяся на использовании мобильных технологий широкополосного доступа в Интернет.

Приводится описание известных в настоящее время шести моделей построения информационного общества континентальной, англосаксонской, азиатской, латиноамериканской, российской и африканской. Дается их анализ в соответствии с известными ключевыми факторами: макроскопической политикой государства в контексте формирования информационного общества, особенностями идеологии построения информационного общества, спецификой законодательства в области инфокоммуникаций, национальными особенностями культуры и менталитета. Делается вывод о том, что учет национальных особенностей экономики при выборе модели развития информационного общества обеспечивает построение конкурентоспособной экономики государства.

Во второй главе «Современные архитектуры распределенных сетевых информационных систем и сред доступа к ним» говорится о том, что среди всех отраслей производства и предоставления товаров и услуг наибольшее развитие получили средства, сети и системы телекоммуникаций и вычислительной техники. Ярким примером этих достижений является трансляция и видеоповтор матчей чемпионата мира по футболу, которые проходят в Российской Федерации и где в полной мере можно увидеть и услышать на уровне высокого качества степень развития указанных направлений.

Однако данные направления развивались самостоятельно, и при взаимодействии соответствующих специалистов между собой иногда имеют место некоторые трения. В работе проведен небольшой анализ данной проблемы и даны предложения по снижению градуса противоречий.

В третьей главе «Метод стабилизации частоты генераторного оборудования с использованием голограмм» проведён анализ современных методов получения высокостабильных выходных колебаний автогенераторов. Показаны сущность, достоинства и недостатки основных современных методов решения этой задачи. Обоснована актуальность решения задачи разработки голографического метода компенсации уходов частоты колебаний автогенераторов. Сформулирована сущность голографического метода автоматической подстройки частоты (АПЧ) колебаний автогенераторов и приведены с описаниями два варианта структурных схем, реализующих этот метод. Получены математические соотношения, позволяющие оценить достоинства и точность работы голографических систем АПЧ. Показана возможность повышения точности работы голографических систем АПЧ путём использования усилительного эффекта тонкой собирающей линзы. Сделан

обоснованный вывод о перспективности разработки и использования систем АПЧ на основе голографического метода автоматической подстройки частоты.

**В четвертой главе «Разностно-скоростной способ стабилизации частоты генераторного оборудования»** показана актуальность задачи повышения стабильности и точности частот выходных колебаний автогенераторов. Приведены достоинства и недостатки современных систем автоматической подстройки частоты. Рассмотрена сущность статистических способов стабилизации частоты колебаний автогенераторов. Показана, что использования разностно-скоростного способа стабилизации частоты выходных колебаний автогенераторов обеспечивает повышение на порядки их стабильности. Доказано, что оптимальным законом управление частотой в разностно-скоростном способе ее стабилизации является линейный закон. Получена формула зависимости частоты свободных колебаний от энергии колебательной системы с учётом нелинейности, которая позволяет учесть параметры исходного состояния колебательной системы при её запуске.

Показано, что нелинейность колебательной системы автогенератора существенным образом влияет на точность и стабильность частот его выходных колебаний.

#### **Авторский коллектив:**

**Звезда М.Ю., Шокова Ю.А., Ал-Али Хайдер Тахсин Али, Аль-Фархан Гхассан Хассан Али** (Глава 1. Исследование построения информационного общества в России и в других странах);

**Бурнашев И.Я., Назарова О.Ю.** (Глава 2. Современные архитектуры распределенных сетевых информационных систем и сред доступа к ним);

**Прыгунов А.Г., Русанов Р.И.** (Глава 3. Метод стабилизации частоты генераторного оборудования с использованием голограмм);

**Прыгунов А.Г., Русанов Р.И.** (Глава 4. Разностно-скоростной способ стабилизации частоты генераторного оборудования)

## Глава 1. Исследование построения информационного общества в России и в других странах

### ВВЕДЕНИЕ.

Конец XX века характеризовался бурным развитием вычислительной техники, созданием всемирной информационной сети Интернет, предоставлением новых товаров и услуг в информационной сфере. Как отмечается в работе Ю.Н. Соловьевой и Г.Н. Фейгина<sup>1</sup>, данный период характеризовался переходом мировой хозяйственной системы к новой, постиндустриальной экономике, а её основной особенностью было «... сокращение доли обрабатывающей промышленности при стремительном росте сферы услуг». При этом инфокоммуникационные технологии (ИКТ), зародившиеся в тот период объединением информационных (аппаратных и программных средств) технологий и телекоммуникационного абонентского и сетевого оборудования, дополненных телекоммуникационными услугами, в том числе в сетях Интернет, стали оказывать существенное влияние на экономический рост и производительность труда, что подчеркивается в Окинавской Хартии глобального информационного общества<sup>2</sup>, Декларации принципов «Построение информационного общества – глобальная задача в новом тысячелетии»<sup>3</sup>, «Тунисском обязательстве»<sup>4</sup> 2005 года. Так, высокие скорости передачи данных по сетям связи приводят к существенному увеличению объемов передаваемой информации между элементами мировой экономической системы. Это, в свою очередь, делает прозрачными деловые операции в мировой экономике, увеличивает их вклад в модернизацию экономических структур, а также снижает координационные издержки и упрощение процесса поиска партнёров на международных рынках<sup>5,6</sup>. Таким образом, инфокоммуникационные технологии превратились в

<sup>1</sup> Соловьева Ю.Н., Фейгин Г.Ф. Развитие информационных и коммуникационных технологий как индикатор глобализации: Мировые тенденции и российская специфика // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2016. С. 17-30.

<sup>2</sup> Окинавская хартия Глобального информационного общества: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/3170> (дата обращения: 22.06.2018).

<sup>3</sup> Декларация принципов «Построение информационного общества – глобальная задача в новом тысячелетии». Всемирная встреча на высшем уровне по вопросам информационного общества. Женева, 2003 г. – Тунис, 2005 г.: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.un.org/ru/events/pastevents/pdf/dec\\_wsis.pdf](http://www.un.org/ru/events/pastevents/pdf/dec_wsis.pdf) (дата обращения: 20.06.2018).

<sup>4</sup> Тунисское обязательство. Тунис, 2005 г.: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.itu.int/net/wsis/outcome/booklet/tunisru.html> (дата обращения: 20.06.2018).

<sup>5</sup> Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).

<sup>6</sup> Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) / под ред. Л.М. Гохберга. М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, национальный исследовательский ун-т «Высшая школа экономики», 2014. 244 с. [Электронный ресурс]: URL: [https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz\\_2030\\_final.pdf](https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf) (дата обращения: 11.06.2018).



системообразующую отрасль современной цивилизации и стали причиной её глобальных трансформаций.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭКОНОМИКУ.

Для оценки влияния инфокоммуникационных технологий на развитие экономики наиболее часто применяется метод бенчмаркинга<sup>7</sup>, позволяющий изучить достижения лидеров, сопоставить их со своими, а также внедрить полученные результаты. На первом этапе исследований рассчитывается совокупность индексов<sup>8</sup>, позволяющих учесть суммарное влияние нескольких факторов. На втором этапе анализа для принятия решения строятся диаграммы Парето, позволяющие на основе статистического анализа выявить причинно-следственную связь. При многофакторном анализе строятся несколько диаграмм Парето<sup>9</sup>. В качестве факторов влияния рассматриваются рассчитываемые индексы, а в качестве объекта их влияния обычно берется индекс конкурентоспособности экономики государства, который, как показано, например, в работе В.В. Петрущенко<sup>10</sup>, рассчитывается с использованием модели оболочечного анализа.

Среди рассчитываемых на первом этапе исследований индексов можно выделить:

- индекс конкурентоспособности экономики, включающий индикаторы, отражающие развитие институтов и инфраструктуры, макроэкономические показатели, уровень образования и здравоохранения, эффективность рынков, уровень организации бизнеса и инновационной деятельности, состояние и использование высоких технологий в целом;

- индекс развития ИКТ-инфраструктуры - индикатор, отражающий доступность телекоммуникационных каналов, тарифы на телекоммуникационные услуги, уровень проникновения оборудования и распространенность широкополосного доступа в Интернет;

- индекс цифровой экономики и развития общества (I-DESI) – композитный индекс, разработанный для оценки цифровой конкурентоспособности и развития инфокоммуникационных технологий для стран Евросоюза, позволяющий учесть

---

<sup>7</sup> Бенчмаркинг: поиск примеров эффективной маркетинговой практики инновационных релей-центров // Центр исследований проблем развития науки РАН: редколл.: В. Иванов, С. Колесова, П. Линдхольм, О. Лукша. М.: ЦИПРАНРАН, 2006. 264 с.

<sup>8</sup> Лебедев А.А., Савинов Ю.А. Информационные технологии в формировании национальной конкурентоспособности стран в мировой экономике // Российский экономический вестник. 2011. №8. С.25-54.

<sup>9</sup> Разу М.Л. Применение диаграмм Парето на практике: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.elitarium.ru/diagramma-pareto-princip-80-20-reshenie-metod-abc-analiz/> (дата обращения: 17.06.2018).

<sup>10</sup> Петрущенко В.В. Учет неоднородностей в оболочечном анализе данных // Control science. 2013. №5. С.2-11.

пять основных параметров: развитие связи, человеческий капитал, использование Интернет населением, интеграцию цифровых технологий в цифровизации банков и использовании онлайн-каналов продаж, цифровые государственные услуги.<sup>11</sup> Для примера на рисунке 1 из данного источника приводится рейтинг европейских стран в соответствии с рассчитанными значениями I-DESI на конец 2016 года. Анализ данного рейтинга позволяет учесть влияние как отдельных факторов, так и их совокупности.

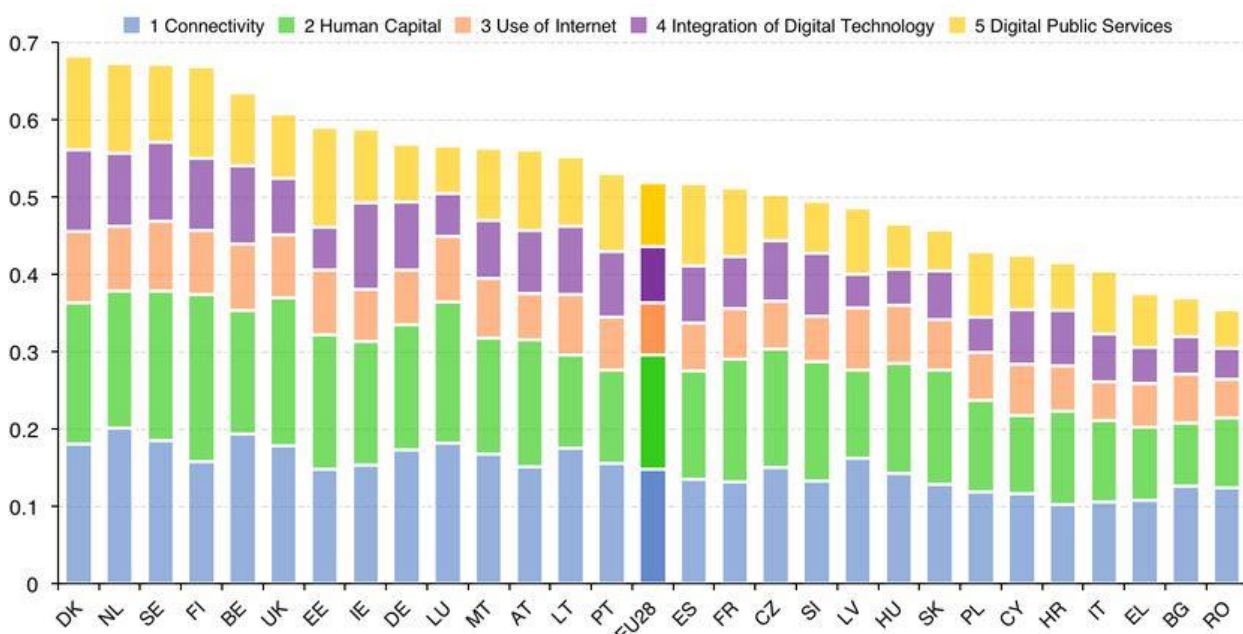


Рисунок 1.1. Рейтинг европейских стран по значениям I-DESI (конец 2016 г.)

Источник: *Цифровизация Европы: сегодняшнее состояние, 2016.*

Наряду с приведенными выше индексами для оценки способности различных государств к улучшению качества жизни с помощью высокоскоростных сетей компания Cisco предложила ежегодный расчет индекса сетевой готовности (Networked Readiness Index, NRI)<sup>8</sup>. Данный индекс позволяет получить представление о том, насколько та или иная страна преуспевает в использовании ИКТ, в целом, и широкополосных сетей, в частности. Широкополосные сети<sup>5</sup> в настоящее время представляют многим странам уникальную экономическую возможность ускорить свой рост и укрепить конкурентоспособность.

Система индексов сама по себе позволяет рассчитать рейтинги конкурентоспособности экономик стран, а, следовательно, правильно скорректировать политику государства в условиях жесткой конкурентной борьбы на мировом

<sup>11</sup> Цифровизация Европы: сегодняшнее состояние: [Электронный ресурс]: URL: <http://evercare.ru/DESI-2016> (дата обращения: 17.06.2018).

экономическом рынке, которая требует способности местных экономик адаптироваться к внешним условиям и факторам, путем внедрения инноваций и использования высоких технологий, в том числе инфокоммуникационных. Более информативными являются причинно-следственные связи между индексами. В качестве примера на рисунке 1.2 известную взаимосвязь<sup>12</sup> между развитием инфокоммуникационных технологий и конкурентоспособностью экономики.

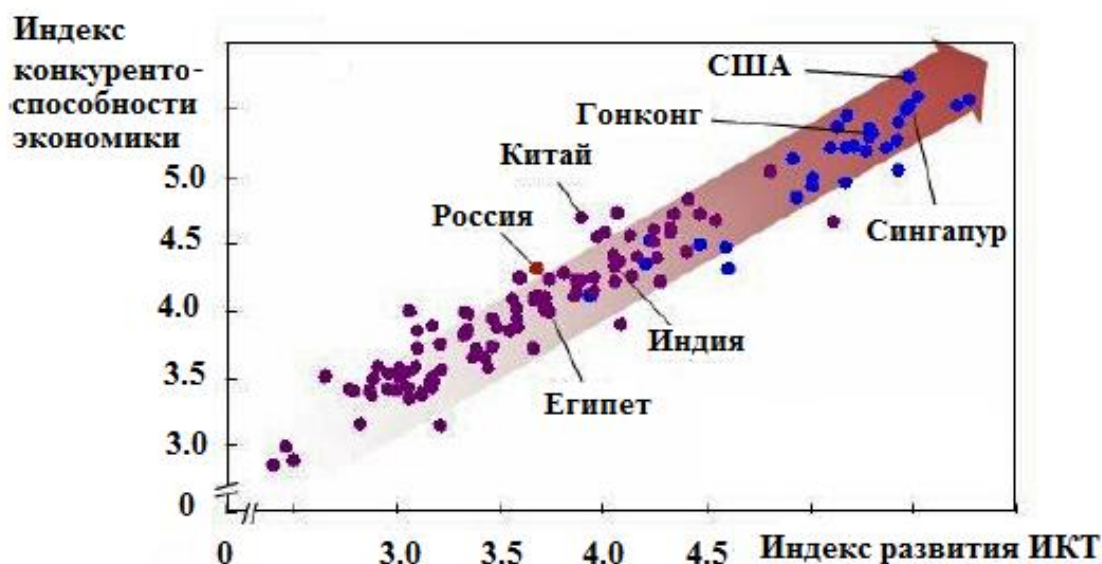


Рисунок 1.2. Зависимость между индексом развития ИКТ и индексом конкурентоспособности экономики государства.

Источник: *Economist Intelligence Unit, 2007.*

Анализ рисунка 1.2 позволяет составить рейтинг государств по значениям индекса конкурентоспособности экономик, а также оценить вклад в данную величину индекса развития ИКТ-инфраструктуры. Кроме того, можно сделать вывод о положительном эффекте от роста возможностей инфокоммуникационных технологий и предоставляемых ими сервисов на экономическое развитие государства: уровень высокого развития экономики может быть обеспечен только при наличии высокоразвитой инфокоммуникационной инфраструктуры.

### КРИТЕРИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА.

Термин «информационное общество», предложенный в конце 1960-х годов, описывает общество, «...в котором процесс компьютеризации даст людям доступ

<sup>12</sup> Economist Intelligence Unit: Россия занимает 48-е место в рейтинге конкурентоспособности IT-отрасли: [Электронный ресурс]: URL: [http://orange.strg.ru/client/news.aspx?ob\\_no=5788/30?](http://orange.strg.ru/client/news.aspx?ob_no=5788/30?) (дата обращения: 18.06.2018).

к надежным источникам информации, избавит их от рутинной работы, обеспечит высокий уровень автоматизации производства. При этом изменится и само производство – продукт его станет более «информационноёмким», что означает увеличение доли инноваций, дизайна и маркетинга его стоимости»<sup>13</sup>. В литературе понятие «информационное общество» рассматривается обычно с двух точек зрения – философской и технической. С первой точки зрения информационное общество рассматривается, как показано, например, в работах И.В. Шипицыной<sup>14</sup>, Э.Г. Соловьёва<sup>15</sup>, Д. Гавра<sup>16</sup>, как один из этапов развития цивилизации, соответствующий по критерию развития производительных сил постиндустриальной (информационной) цивилизации. Той же точки зрения придерживается и известный экономист К. Шваб<sup>17</sup>, называя данный этап развития четвертой промышленной революцией. Кратко говоря, информационное общество – это теоретическая модель, которую используют для описания нового этапа общественного развития, начавшегося на этапе четвертой промышленной (информационно-компьютерной) революции. Главный продукт – информация и знания. Технологическая основа – инфокоммуникационные технологии. Со второй точки зрения (технической) «информационное общество – это общество, в котором большинство работающих занято производством, хранением, переработкой и реализацией информации, особенно её высшей формы – знаний»<sup>18</sup>. Таким образом, оба подхода отмечают, что в информационном обществе основным видом деятельности является производство и потребление информации, а самым главным ресурсом – информация.

По мере развития инфокоммуникационных технологий отличия (критерии), характеризующие информационное общество, изменялись. На первом этапе развития инфокоммуникационных технологий в начале 90-х годов XX века У.Дж. Мартином<sup>19</sup> были сформулированы первые пять отличий, включающих:

1. Технологический (ключевой). В разных сферах человеческой деятельности применяются информационные технологии.
2. Социальный. Стимулятором изменения качества жизни является информация. Формируется и утверждается «информационное сознание», поскольку к знаниям обеспечен широкий доступ.

<sup>13</sup> Развитие цифровой экономики в России как ключевой фактор экономического роста и повышения качества жизни населения: монография. Н. Новгород: Изд-во «Профессиональная наука», 2018. 131 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32587548> (дата обращения: 11.06.2018).

<sup>14</sup> Шипицына И.В. Информационное общество или информационная цивилизация? // Вестник Омского университета; 2000. №2. С.49-52.

<sup>15</sup> Соловьёв Э.Г. Информационное общество // Новая философская энциклопедия: в 4-х т. / Предс. научно-ред. совета В.С. Стёпин. М.: Мысль, 2000-2001.

<sup>16</sup> Гавра Д. Основы теории коммуникации. СПб.: Питер, 2011. 288 с.

<sup>17</sup> Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. 216 с.

<sup>18</sup> Информационное общество. Википедия. Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационное\\_общество](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационное_общество) (дата обращения: 12.06.2018).

<sup>19</sup> Мартин У.Дж. Информационное общество (Реферат) // Теория и практика общественно-научной информации. Ежеквартальник / АН СССР. ИНИОН; редкол.: Виноградов В.А. (гл. ред.) и др. М., 1990. №3. С.115-123.

3. Экономический. Информация составляет ключевой фактор в экономике в качестве ресурса, услуг, товара, источника добавленной стоимости и занятости.

4. Политический. Свобода информации ведёт к политическому процессу.

5. Культурный. Информация считается культурной ценностью.

Далее в начале 2000-х годов к перечисленным выше пяти признакам известным ученым в области социальной информатики К.К. Колином<sup>20</sup> вводятся еще два дополнительных признака, связанных с влиянием информации на общество, а также на обеспечение информационной безопасности:

1. Равные возможности в доступе к информации всех слоев населения.

2. Безопасность информационного общества, информации.

В более поздний период сформулированы еще два критерия<sup>21</sup>, характеризующие использование ИКТ в государственных структурах:

1. Взаимодействие всех структур государства и государств между собой на основе ИКТ.

2. Управление информационным обществом со стороны государства и общественных организаций.

Анализ перечисленных выше критериев и их динамики развития показывает, что по мере совершенствования инфокоммуникационных технологий число критериев будет дополняться, уточняя те или иные стороны развития инфокоммуникационного общества на каждом этапе. Однако основные критерии остаются неизменными: информационное общество основано на генерировании знаний и обработке информации с помощью новых технологий; организационная основа - сетевая модель; главные формы его активности объединены в сети глобального уровня, функционирующие благодаря телекоммуникационной и транспортной инфраструктуре.

### **НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА – ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА.**

Развитие информационного общества, как было показано ранее при описании его критериев, осуществляется поэтапно. Так, в России исследователи выделяют, как минимум, три этапа<sup>22</sup>:

<sup>20</sup> Колин К.К. Социальная информатика. М.: Академический Проект, Фонд «Мир», 2003. 432 с.

<sup>21</sup> Социальная информатика: [Электронный ресурс]: URL: <https://sites.google.com/site/infobsestvo/> (дата обращения: 19.06.2018).

<sup>22</sup> Что такое информационное общество? Определение: [Электронный ресурс]: URL: <http://fb.ru/article/73417/chto-takoe-informatsionnoe-obschestvo-i-kak-ono-vliyaet-na-razvitie-lichnosti> (дата обращения: 10.06.2018).

1991-1994 гг. - формирование основ в сфере информатизации;  
 1994-1998 гг. - создание информационной политики;  
 2002 - наше время - формирование политики в сфере создания информационного общества.

На современном этапе развития информационного общества влияние инфокоммуникационных технологий начинает проявляться наиболее сильно. Это обусловлено тем, что создание с начала 90-х годов XX века современной технологии межорганизационных связей и информационных систем, а также внедрение с начала 2000-х годов широкополосных систем доступа в Интернет в стандартах подвижной связи обеспечило существенное повышение скорости передачи данных по радиоканалам. Динамика изменения скоростей передачи данных для различных стандартов подвижной связи, начиная с 3G, приведена в таблице 1.1<sup>23</sup>.

Таблица 1.1

**Динамика изменения скорости передачи данных для различных технологий сотовой связи**

Стандарт связи	Технология	Год начала использования	Скорость передачи данных (максимальная) к абоненту / от абонента	Полоса пропускания сигнала, МГц
3G (GSM)	GPRS	2000	20/20 кбит/с	0,2
	EDGE	2004	59,2/59,2 кбит/с	0,2
3.5G	R99 WCDMA	2005	384/484 кбит/с	5
3.75G+(UMTS)	HSDPA	2007	14,4/5,76 Мбит/с	5
4G (LTE)	HSPA+	2009	21/11,5	5
	DC HSPA+	2011	42/23 Мбит/с	10
4G-Advanced	MIMO 2/2	2014	150/75 Мбит/с	20

Источник: Герасимов А., 2015.

Возможности резкого роста скорости передачи данных теоретически объясняются известной теоремой Шеннона-Хартли<sup>24</sup>, связывающей между собой пропускную способность канала  $C$  [бит/с], полосу пропускания частот  $B$  [Гц] и отношение сигнал/шум  $h^2 = P_c / P_{ш}$ , т.е. отношение мощности полезного сигнала к мощности шума в канале:

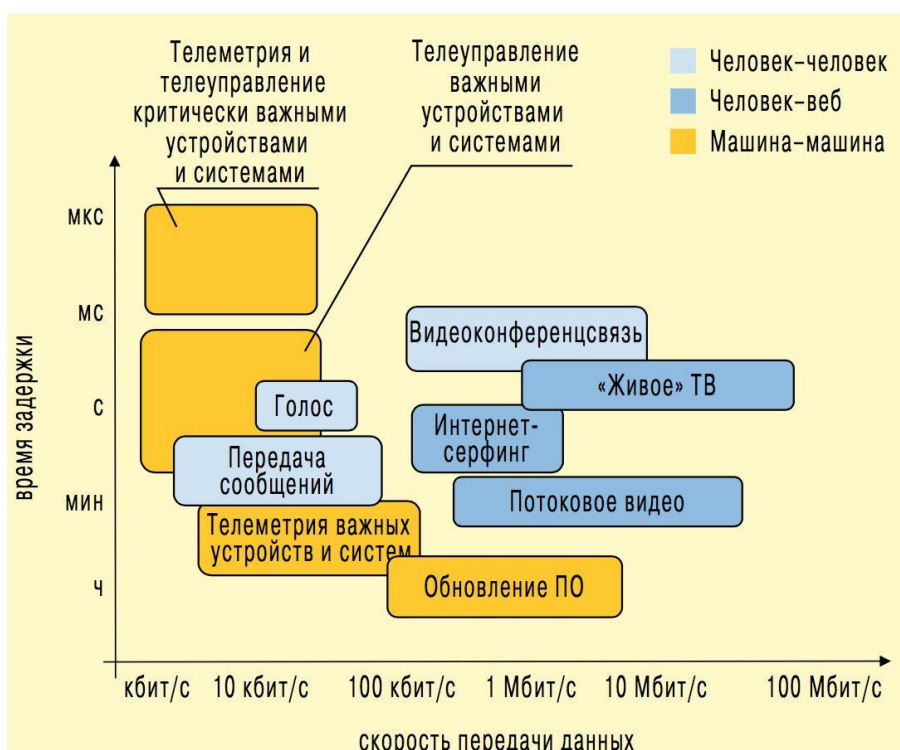
$$C = B \log_2(1 + h^2). \quad (1)$$

Из анализа таблицы 1 следует, что переход от стандарта связи GSM с полосой пропускания 0,2 МГц к стандарту 4G-Advanced с полосой пропускания 20 МГц

<sup>23</sup> Герасимов А. От M2M к интернету сервисов // ИнформКурьер-Связь. 2015. № 5-6. С.70-73. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.iksmmedia.ru/articles/5220957-От-M2M-k-internetu-servisov.html> (дата обращения: 13.04.2018).

<sup>24</sup> Биккенин Р.Р., Чеснокова М.Н. Теория электрической связи. М.: Академия, 2010. 336 с.

обеспечил увеличение скорости с 20 кбит/с до 150 Мбит/с. Следствием роста скорости передачи данных было существенное увеличение числа мобильных Интернет приложений, в том числе для бизнеса. Требования некоторых, наиболее популярных сервисов к скоростям передачи данных приведены на рисунке 1.3.



**Рисунок 1.3. Требования различных сервисов к сетям передачи данных.**  
**Источник: Герасимов А., 2015.**

Расширение круга мобильных Интернет приложений, в свою очередь, привело к резкому росту числа абонентов подвижных сетей связи. Так, если в 1995 году данный показатель составлял<sup>25</sup> 1 % от общего населения планеты, то к 2015 году он достигал значения в 43 %. Указанные изменения абонентской базы инфокоммуникационных технологий привели к широкому проникновению мобильных технологий в бизнес. Этот показатель достиг в 2010 году величины в 57 %, в том числе 52 % в производственную сферу<sup>26</sup>, что позволило К. Швабу в 2010 году в монографии «Четвёртая промышленная революция»<sup>17</sup> выделить новый этап развития экономики – цифровую экономику. Описанная выше взаимосвязь

<sup>25</sup> Интернет-аудитория в мире [Электронный ресурс]: URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья%3AИнтернет-доступ\\_%28мировой\\_рынок%29](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья%3AИнтернет-доступ_%28мировой_рынок%29) (дата обращения: 12.06.2018).

<sup>26</sup> The New Digital Economy. Oxford Economics [Электронный ресурс]: URL: <http://www.pwc.com/mt/en/publications/assets/the-new-digital-economy.pdf> (дата обращения: 30.05.2018).

«инфокоммуникационные технологии - экономика – информационное общество» позволяет говорить и о новом этапе развития информационного общества<sup>13, 27</sup>.

Следует отметить, что расширение областей применения сетевых сервисов на базе беспроводных широкополосных систем доступа, обеспечивающих более тесный контакт хозяйствующих объектов и государственных структур, сокращение транзакционных издержек взаимодействия в больших масштабах, привели к выделению правительственными кругами многих стран данного направления развития экономики в приоритетное<sup>28, 29, 30, 31</sup>.

Проникновение цифровой экономики в общую экономику государств, как отмечается в работе Б. Паньшина<sup>27</sup>, является неравномерным. Это подтверждается статистическими данными из таблицы 1.2 для стран G20 на 2016 год.

Таблица 1.2

Динамика проникновения цифровой экономики в странах G20 (% от ВВП)

№ п/п	Страна	2010 г.	2016г.	№ п/п	Страна	2010 г.	2016г.
1	Великобритания	8,3	12,4	9	Саудовская Аравия	2,2	3,8
2	Южная Корея	7,3	8	10	Австралия	3,3	3,7
3	Китай	5,5	6,9	11	Канада	3	3,6
4	Евросоюз	3,8	5,7	12	Аргентина	2	3,3
5	Индия	4,1	5,6	13	Россия	1,9	2,8
6	Япония	4,7	5,6	14	ЮАР	1,9	2,5
7	США	4,7	5,4	15	Бразилия	2,2	2,4
8	Мексика	2,5	4,2				

Источник: *Паньшин Б., 2016.*

Анализ данной таблицы показывает, что в 2016 году максимальное значение данного показателя у лидеров составляло 12,4 % (Великобритания), а минимальное – 2,4% (Бразилия). Россия в указанном рейтинге занимала 13 место с показателем в 2,8 %. Для оценки уровня данных показателей приведем прогноз

<sup>27</sup> Паньшин Б. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Наука и инновации. 2016. № 3. С. 17-20. [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-osobennosti-i-tendentsii-razvitiya> (дата обращения: 30.05.2018).

<sup>28</sup> «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Указ Президента РФ от 9 мая 2017 года № 203: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (дата обращения: 11.06.2018).

<sup>29</sup> «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28 июля 2017 г.: [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB7915v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).

<sup>30</sup> «План мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. Правительственной комиссией по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности протокол №2 от 18 декабря 2017 г. [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/DAMotdOImu8U89bhM7IZ8Fs23msHtcim.pdf> (дата обращения: 8.05.2018).

<sup>31</sup> «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Указ Президента РФ от 7.05.2018г. [Электронный ресурс]: URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения: 8.05.2018).



экспертов<sup>32</sup> на 2030-2035 гг. – максимальный уровень составит 30-40 % (при сохраняющихся темпах роста ВВП). Таким образом, для обеспечения конкурентоспособной экономики Российской Федерации необходимо развивать инфокоммуникационные технологии, что и было зафиксировано в распоряжении Правительства Российской Федерации 2017 года «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>29</sup>.

## МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА.

Перечисленные выше изменения экономики, включая и общую тенденцию интеграции в глобальное информационное общество, присущи для всех государств мира. Данное положение было зафиксировано в «Окинавской хартии Глобального информационного общества»<sup>2</sup>. В данном документе сформулированы основные принципы и подходы формирования информационного общества, включая роль государства и частного сектора в развитии инфокоммуникационных технологий, а также вопросы, которые должны решаться международным сообществом для развития глобального информационного общества. Среди выделенных направлений в данном документе выделяются четыре направления<sup>2</sup>: использование возможностей цифровых технологий; преодоление электронно-цифрового разрыва; содействие всеобщему участию; дальнейшие перспективы развития.

Реализация данных направлений, как отмечается в работе О.Н. Вершинской<sup>33</sup>, осуществляется в каждой стране по-своему, в зависимости от того, в какой отрасли государство имеет максимальные преимущества перед другими странами. Отличия в реализациях обусловлены исторической традицией, культурой и политической историей конкретных стран и могут наблюдаться лишь в способах перехода к информационному обществу. При анализе моделей построения информационного общества в различных странах обычно<sup>33</sup> выделяют ряд ключевых факторов, к которым относятся: макроэкономическая политика государства в контексте формирования информационного общества; особенности идеологии построения информационного общества; специфика законодательства, обеспечивающего (или тормозящего) движение к информационному обществу; характеристики национальной культуры и менталитета, определяющие развитие информационного общества.

При этом критерий, оценивающий макроэкономическую политику государства, фактически сводится к оценке соотношения роли государства и рыночных

<sup>32</sup> Цифровая Россия: новая реальность / А. Аптекман [и др.]: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf> (дата обращения: 17.06.2018).

<sup>33</sup> Вершинская О.Н. Существующие модели построения информационного общества // Информационное общество. 1999. №3. [Электронный ресурс]: URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/1f41ce7df933b2dfc32568c50027cde3> (дата обращения: 17.05.2018).

отношений. При оценке идеологии построения информационного общества рассматриваются три основных вопроса<sup>33</sup>: политика в области приватизации (передаче государственных предприятий и видов деятельности в полное или частичное частное владение или контроль) и либерализации (снижении барьеров для вхождения в рынок или его часть с помощью разрешения третьим сторонам конкурировать с известными монопольными производителями товаров и услуг) телекоммуникаций; развитие универсального обслуживания; первичность развития: сети или услуги, техническое или социально-информационное обеспечение.

В таблице 1.3 приведены известные в настоящий момент модели развития информационного общества, выделенные по данным ряда источников<sup>28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37</sup>.

Таблица 3

Особенности моделей развития информационного общества				
Европейская		Азиатская		Россия
Континентальная	Англосаксонская			
<b>1. Макроэкономическая политика государства</b>				
Попытка баланса между государственным регулированием и рыночными отношениями	Преобладание рыночных отношений над государственным регулированием	Сотрудничество государства и предпринимателей. Участие государства в принятии решений в области крупных вложений частного капитала. <b>Индия</b> – государственное регулирование		Жесткое государственное регулирование информационного сектора
<b>2. Особенности идеологии построения информационного общества</b>				
<b>2.1 Политика в области приватизации</b>				
Стратегия реформ – либерализация. Государство должно сохранять регулирующие функции в процессе либерализации	Стратегия реформ – либерализация. Вмешательство государства минимально	Стратегия реформ – либерализация. Внедрение конкуренции. <b>Индия</b> – отказ от приватизации и либерализации. Частичная приватизация. Международная и междугородняя связь в собственности государства.		Стратегия реформ зависит от страны: Чили и Аргентина – приватизация, Бразилия – либерализация.
<b>2.2 Развитие универсального обслуживания</b>				
Обеспечение универсального обслуживания	Обеспечение универсального обслуживания	Обеспечение универсального обслуживания		Обеспечение универсального обслуживания
<b>2.3 Последовательность развития (сети или услуги)</b>				
Развитие услуг. Две крайности: <b>Швеция</b> – только услуги, <b>Франция</b> – только сети	Создание сетей, информационных супермагистралей	Создание сетей, разработка информационных устройств и технологий, развитие программного обеспечения и информационных услуг, подготовка квалифицированных кадров		Создание сетей, информационных супермагистралей
<b>3. Специфика законодательства</b>				
Защита конкуренции и гарантия политического одобрения информационного общества. Наличие жесткого законодательства по обеспечению главенства личной инициативы при производстве ИКТ	Защита конкурентной среды. Наличие гибкого законодательства по обеспечению главенства личной инициативы при производстве ИКТ	Активная роль государства в создании материальной и социальной инфраструктуры. <b>Индия</b> - обеспечение гибкого законодательства, хорошо регулирующей сферу телекоммуникаций. Поддержка научных разработок в сфере новейших ИКТ.		Государственное управление в законодательной области и административного регулирования
Роль государства – создание законодательной базы и административного регулирования инвестиций, развития справедливой конкуренции в отраслях ИКТ, совершенствование системы образования, проведение НИП				

Источник: собственные исследования

<sup>34</sup> Панцырев К.А. Современные модели информационного общества: типологическая характеристика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 6. Политология. Международные отношения. 2011. С.39-44.

<sup>35</sup> Федорова Т.С. Национальные модели информационного общества // Обсерватория культуры/ НИЦ Информкультура РГБ. 2004. №1. С.22-28: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.ifapcom.ru/files/Monitoring/fedorova\\_nac\\_modeli.pdf](http://www.ifapcom.ru/files/Monitoring/fedorova_nac_modeli.pdf) (дата обращения: 17.06.2018).

<sup>36</sup> Становление глобального информационного общества: [Электронный ресурс]: URL: [https://xstud.ru/245870/sotsiologiya/stanovlenie\\_globalnogo\\_informatsionnogo\\_obschestva](https://xstud.ru/245870/sotsiologiya/stanovlenie_globalnogo_informatsionnogo_obschestva) (дата обращения: 20.06.2018).

<sup>37</sup> Информационное общество в странах Азиатского и Тихоокеанского региона. В Бразилии и в странах Ближнего Востока. В Индии. Характеристики и тенденции развития: [Электронный ресурс]: URL: [https://studwood.ru/2296518/informatika/informatsionnoe\\_obschestvo\\_stranah\\_aziatского\\_tihookeanskogo\\_regiona\\_brazilii\\_stranah\\_blizhnego\\_vostoka](https://studwood.ru/2296518/informatika/informatsionnoe_obschestvo_stranah_aziatского_tihookeanskogo_regiona_brazilii_stranah_blizhnego_vostoka) (дата обращения: 20.06.2018).

Следует отметить, что число моделей развития информационного общества в зависимости от периода изменялось. Так, в начале формирования информационного общества исследователи выделяли три основных модели развития: континентальную, англосаксонскую (или англо-американскую) и азиатскую (или восточную). Причем континентальная и англосаксонская объединяются в европейскую или западную. Затем добавилась латиноамериканская модель, в настоящее время формируется африканская модель развития<sup>36</sup>.

При анализе остановимся на наиболее типичных моделях, приведенных в таблице 1.3.

**Европейская модель.** Из анализа данной таблицы следует, что две составляющие европейской модели – континентальная и англосаксонская – существенно различаются макроэкономической политикой государства. Континентальная модель предполагает, что государство должно осуществлять защиту конкуренции и гарантию политического одобрения информационного общества, а задачей частного сектора является финансирование развития информационного общества. Данные положения были сформулированы в 1994 году в документе «Европа и глобальное информационное общество: Доклад Бангеманна с рекомендациями Европейскому Союзу»<sup>38</sup>. Основное в макроэкономической политике государств, развивающих информационное общество по европейской модели, состоит в поиске баланса между полным контролем со стороны государства и рыночными отношениями. Данный баланс постоянно изменяется. Англосаксонская модель, наоборот, провозглашает преобладание рыночных отношений над государственным регулированием.

Отличия в идеологии построения информационного общества в данных моделях не наблюдаются. Основной стратегией реформ является либерализация. Это определяется тем обстоятельством, что в странах, поддерживающих указанные модели, вопросы приватизации уже давно решены. При этом в континентальной модели развития утверждается, что государство должно сохранять регулирующие функции в процессе либерализации инфокоммуникационного сектора экономики.

При решении вопроса развития универсального обслуживания обе модели направлены на обеспечение универсального обслуживания.

Различаются континентальная и англо-американские модели и в решении вопроса последовательности развития сетей и услуг. В общем случае континентальная модель предполагает первоочередность предоставления услуг, а англосаксонская модель, наоборот, отдает предпочтение первичному созданию сетей и

---

<sup>38</sup> Доклад Бангеманна: [Электронный ресурс]: URL: [http://wiki.iis.ru/wiki/Доклад\\_Бангеманна](http://wiki.iis.ru/wiki/Доклад_Бангеманна) (дата обращения: 23.06.2018)

информационных супермагистралей. Следует отметить, что в странах, поддерживающих континентальную модель, также наблюдаются отличия при решении данного вопроса. Так, в Швеции предпочтение отдается предоставлению только услуг, а во Франции – только построение инфокоммуникационных сетей.

Континентальная и англосаксонская модели построения информационного общества существенно различаются и в специфике законодательства: при развитии инфокоммуникационных технологий континентальная модель фиксирует наличие жесткого законодательства по обеспечению главенства личной инициативы, а англосаксонская – гибкого законодательства, обеспечивающего защиту конкурентной среды.

*Азиатская модель* развития информационного общества, как следует из данных таблицы 3, в качестве макроэкономической политики государства использует принцип экономического сотрудничества государства и предпринимателей. Кроме того, предполагается участие государства в принятии решений о целесообразности крупных инвестиций частного капитала в развитие инфокоммуникационных технологий. Провозглашается активное участие государства в создании не только материальной, но и социальной инфраструктур.

Основным отличием азиатской модели от европейской является утверждение собственных ценностных ориентаций в отношении индустриализации, информатизации и социального развития. Следует отметить, что в стратегиях реформ государств, придерживающихся азиатской модели построения информационного общества, также наблюдаются различия. Так, Япония в качестве стратегических целей страны в данной сфере рассматривает<sup>36</sup> создание сетей, разработку информационных устройств и технологий, развитие программного обеспечения и информационных услуг, подготовку квалифицированных кадров для работы в сфере инфокоммуникационных технологий. В области приватизации утверждается политика либерализации.

В Китае также поддерживают политику либерализации, обеспечившую привлечение иностранного капитала в сферу научно-технических разработок. По данным Е.А. Салицкой<sup>39</sup>, «... начиная с 1998 года, в случае успешной реализации проектов инвесторы имеют право на получение роялти (размер которого достигает 35 % лицензионных платежей при трансфере научных результатов)». При этом доля государства в ассигнованиях на развитие науки и техники неуклонно снижается. По данным<sup>39</sup> в 2000 году она составляла 25,3 %, в 2007 году – 22,1 % от всех

---

<sup>39</sup> Салицкая Е.А. Научно-технологический комплекс КНР: Опыт развития // Наука. Инновации. Образование. 2013. С.7-22: [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/nauchno-tehnologicheskiiy-kompleks-knr-opyt-razvitiya> (дата обращения: 20.06.2018).

средств, поступивших в научно-техническую сферу из различных источников. В области кадровой подготовки высококвалифицированных специалистов Китай придерживается программы №221, принятой в 1993 году. Данная программа предусматривала «... создание в 100 вузах страны опорных центров преподавания, которые являлись бы лидерами внутри страны, а часть их них – сравняться со школами мирового уровня или хотя бы приблизиться к ним»<sup>39</sup>. Кроме того, данная Программа поощряет обучение в престижных зарубежных вузах (США, Япония). В 2013 году КНР занимал первое место в мире по числу студентов, получающих образование за рубежом<sup>39</sup>.

Отличается в рамках азиатской модели построения информационного общества и политика Индии. Стратегия Индии в области приватизации называется промежуточной, поскольку государство не поддерживает политики ни полной приватизации, ни полной либерализации. Государство стимулирует привлечение частного и государственного капитала к развитию телекоммуникаций, однако осуществляет приватизацию государственных телекоммуникационных компаний<sup>40</sup>.

Процесс ослабления роли государства в секторе инфокоммуникационных технологий и либерализации иностранного инвестирования осуществляется медленными темпами. Основной акцент в политике государства делается на основное богатство страны – население. Подготовка высококвалифицированных специалистов осуществляется в собственных вузах. Так, в 2007 году выпуск специалистов в области ИКТ в Индии превысил 200 тыс. человек в год<sup>36</sup>. (Для сравнения: в 1978 году в высших учебных заведениях обучалось всего 2,6 млн. человек, в конце 1990-х годов – 6,5 млн. человек. Количество университетов за этот промежуток времени возросло почти в три раза – с 83 до 226.) В результате политики активной поддержки научных разработок в сфере научных инфокоммуникационных технологий в стране создана мощная база разработчиков программного обеспечения. Статистические исследования<sup>41</sup> показывают, что к началу 2018 года на индийском рынке насчитывалось 196 ИТ-сделок стоимостью 100 млн. долл. каждая, а их суммарный объем превышал 50 млрд. долл. При этом лишь в четырех из них интеграторами являются индийские компании, что свидетельствует о применении политики либерализации в области разработки программного обеспечения.

***Латиноамериканская модель.*** В основе макроэкономической политики государства в области инфокоммуникационных технологий в странах,

<sup>40</sup> Балашова С.А., Лазанюк И.В. Развитие отрасли информационных технологий в Индии // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Экономика. 2004. №1(10). С.69-81: [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/razvitie-otrasli-informatsionnyh-tehnologiy-indii> (дата обращения: 20.06.2018).

<sup>41</sup> ИТ в госсекторе Индии: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок\\_Индии](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_Индии) (дата обращения: 20.06.2018).

поддерживающих латиноамериканскую модель развития информационного общества, наблюдается жесткое государственное регулирование инфокоммуникационного сектора<sup>34</sup>. Используемая стратегия в области приватизации зависит от государства и связана с наличием квалифицированных специалистов в области приватизации. Так, в Чили и Аргентине ведется политика приватизации средств ИКТ, а в Бразилии, наоборот, придерживаются политики либерализации. В результате такого разделения сроки проявления конкуренции на рынке инфокоммуникационных технологий различаются. В Чили и Аргентине при повышении качества информационных услуг наблюдается задержка развертывания конкуренции. В Бразилии основное бремя расходов на проведение реформ в области инфокоммуникационных технологий ложится на плечи государства.

Скорость развития информационного общества в странах Латинской Америки обусловлена низкими доходами населения, не позволяющими широко использовать средства инфокоммуникаций. По данным сайта Российского Совета по международным делам<sup>42</sup>, в стране не развит мобильный широкополосный доступ в Интернет. Подтверждение данного факта является выход пользователей в Интернет, составлявших в 2014 году 176 млн. человек, не с мобильных устройств, а с портативных компьютеров через фиксированное соединение. При этом скорость передачи данных составляет 8 Мбит/с (Чили и Бразилия), 4,6 Мбит/с (Аргентина), 1,9 Мбит/с (Боливия и Венесуэла), что свидетельствует о слабом развитии инфраструктуры инфокоммуникационных технологий. Расценки на информационные услуги по данным того же источника более чем в два раза превышают европейские. Кроме того, в документе отмечается также противоречие между желанием иностранных инвесторов участвовать в повышении компьютерной грамотности населения (например, в начале 2014 года компания Microsoft объявила о готовности инвестиций на сумму 10 млн. долл. в решение данного вопроса, а также создание Регионального фонда цифровой инновации стран Латинской Америки и Карибского бассейна (FRIDA) с бюджетом в 1,5 млн. долл.) и отсутствием квалифицированных специалистов в области инфокоммуникаций. Результатом сложившейся ситуации является наблюдаемая на рынке «... апатия и неграмотность латиноамериканского бизнеса в сфере инфокоммуникаций»<sup>42</sup>, что проявляется, в частности, отсутствием у 66 % латиноамериканских фирм своих интернет-сайтов и отсутствии возможности использования их в продвижении своей продукции на рынке. Отражается отсутствие квалифицированных специалистов и в медленных темпах предоставления электронных услуг населению. Так, в соответствии с

<sup>42</sup> Пятаков А. Интернет В Латинской Америке: реальность и перспективы цифрового будущего. Сайт Российского Совета по международным делам: [Электронный ресурс]: URL: <http://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/internet-v-latinskoy-amerike-realnost-i-perspektivy-tsifrovo/> (дата обращения: 20.06.2018).

индексом развития информационно-коммуникационных технологий в странах мира<sup>43</sup> в 2017 году первое место из стран Латинской Америки занимал Уругвай, находящийся на 42 месте с индексом 7,16, опережая при этом Португалию (7,13) и Россию (7,06). Аргентина в данном рейтинге занимала 51 место (6,79), далее на 56 месте расположилась Чили (6,57). Бразилия занимала 66 место с индексом в 6,12. Колумбия в данном списке занимает 84 место с индексом 5,36, Венесуэла – 86 место (5,17). Следует отметить, что Китай в рейтинге по данному индексу находится только на 80 месте (5,60). Лидеры данного рейтинга, как следует из анализа рисунка 1.4, имеют значение индекса развития ИКТ выше 8.

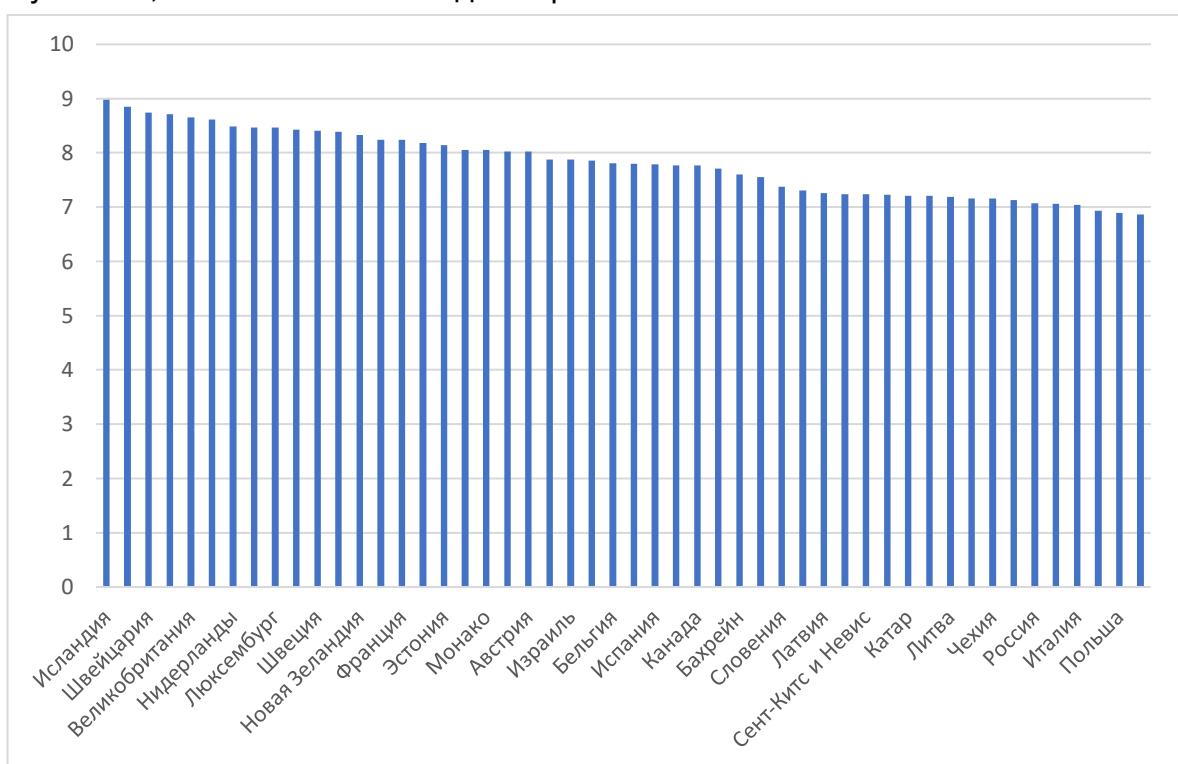


Рисунок 1.4. Рейтинг лидеров по индексу развития ИКТ.

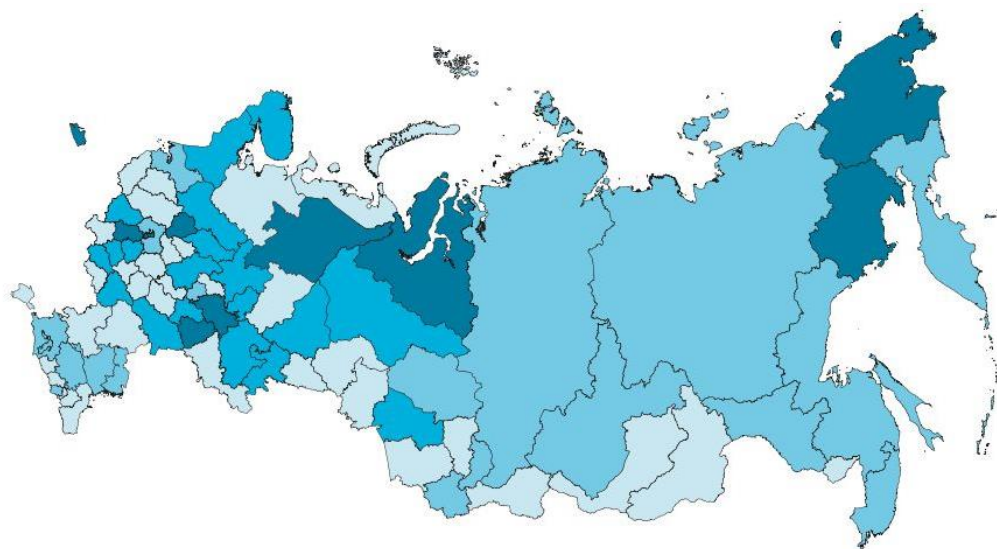
Источник: *The ICT Development Index, 2017.*

**Российская модель.** Выделение российской модели в отдельную группу развития информационного общества обусловлено особенностями исторического и экономического развития страны в кризисную эпоху 1960-1990-х годов. Данные особенности, по мнению А.Г. Глинчиковой и О.Н. Вершинской<sup>44</sup>, привели к высокому уровню социальной, экономической, политической, культурной и информационной неравномерности, и вследствие низкого уровня участия общества в ее

<sup>43</sup> International Telecommunication Union: The ICT Development Index 2017: [Электронный ресурс]: URL: <http://gtmarket.ru/ratings/ict-development-index/ict-development-index-info> (дата обращения: 20.06.2018).

<sup>44</sup> Россия и информационное общество // Мир России. 2003. №1. С.98-100: [Электронный ресурс]: URL: [http://ecsocman.hse.ru/data/320/787/1219/2003\\_n1\\_p98-100.pdf](http://ecsocman.hse.ru/data/320/787/1219/2003_n1_p98-100.pdf) (дата обращения: 19.06.2018).

разработке и реализации сделали модель развития информационного общества на первом этапе не эффективной. Данные особенности отражаются до настоящего времени. Наиболее ярко они проявляются в неравномерности размещения сетей широкополосного доступа по территории России, карта которой по состоянию на 2015 год приведена на рисунке 1.5<sup>45</sup>.



Число абонентов фиксированного и мобильного широкополосного интернета в расчете на 100 человек населения:

- выше среднероссийских значений по фиксированному и мобильному широкополосному интернету
- выше среднероссийского значения по фиксированному и ниже среднероссийского значения по мобильному широкополосному интернету
- выше среднероссийского значения по мобильному и ниже среднероссийского значения по фиксированному широкополосному интернету
- ниже среднероссийских значений по фиксированному и мобильному широкополосному интернету
- нет данных

**Рисунок 1.5. Распределение субъектов РФ по уровню распространения фиксированного и мобильного широкополосного Интернета в 2015 году.**

**Источник: *Индикаторы цифровой экономики, 2017.***

Стабилизация российской экономики к 2003 году привела к тому, что индекс концентрации доходов населения (коэффициент Джини) достиг величины 0,4<sup>46</sup>, что соответствует показателю США. В соответствии с законом Джиппа<sup>47</sup> это отразилось на покупательной способности населения, и привело к широкому использованию инфокоммуникационных технологий в различных областях деятельности. Число пользователей Интернет достигло к тому времени величины в 14 %. По

<sup>45</sup> Индикаторы цифровой экономики: 2017: статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, Л.М. Гохберг, М.А. Кевеш [и др.]. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 320 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.hse.ru/primarydata/ice2017> (дата обращения: 18.06.2018).

<sup>46</sup> Коэффициент Джини: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент\\_Джини](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_Джини) (дата обращения: 18.06.2018).

<sup>47</sup> Jipp F. Wealth of Nations and Telephone Density// Telecommunications Journal. 1963. № 6. С.199-201.



данным результатов аналитических исследований считается<sup>48</sup>, что преодоление рубежа в 10 % приводит к появлению в экономике необратимых процессов внедрения технологий информационного общества в различные сферы жизнедеятельности. Изменившаяся экономическая обстановка потребовала корректировки модели развития информационного общества в России. Кроме того, это было связано также и с тем, что имели место причины, сдерживающие развитие ИКТ-отрасли. К ним, в частности, относились<sup>49</sup> «... недостаточная степень развития государственно-частного партнерства в данной сфере и неопределенность ведения бизнеса в области ИКТ». В результате слабым взаимодействиям федеральных и государственных властей резко увеличивается стоимость ИКТ-проектов, нарушаются сроки их реализации, что делает неэффективными крупные государственные проекты. Так, по данным портала Государственных программ<sup>50</sup>, из запланированных на 2014 год 932 мероприятий было не выполнено 131. В связи с этим во временном интервале 1998-2017 гг. было принято несколько документов, корректирующих модель построения информационного общества. К ним, в частности, относятся Указ Президента РФ от 9 мая 2017 года № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы»<sup>28</sup>, Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28 июля 2017 г. «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>29</sup>, «План мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>30</sup>, Указ Президента РФ от 7.05.2018г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»<sup>31</sup>. В данных документах основным моментом в макроэкономической политике выдвинуто положение о конструктивном взаимодействии государства, бизнеса и общества. В качестве основной стратегии в области приватизации стал отказ от нее и ведение политики либерализации. Данная политика дала возможность появлению на рынке ИКТ-услуг операторов телекоммуникационных сетей. В 2010 году в электросвязи действовало 4,5 тыс. операторов и 127 открытых акционерных обществ<sup>51</sup>, в том числе и с иностранным участием.

Государство обеспечивает создание законодательной базы и административного регулирования инвестиций, развития справедливой конкуренции в отраслях ИКТ, совершенствование системы образования, проведение НИР. Последнее

<sup>48</sup> Модели информационного общества: [Электронный ресурс]: URL: [https://studref.com/328341/ekonomika/modeli\\_informatsionnogo\\_obschestva](https://studref.com/328341/ekonomika/modeli_informatsionnogo_obschestva) (дата обращения: 14.06.2018).

<sup>49</sup> Бирюкова О.В., Матюхина А.И. Страны BRICS на мировом рынке ИКТ-услуг: [Электронный ресурс]: URL: [https://www.hse.ru/data/2017/03/10/1166798770/Аффилиация\\_стр.41.ЛА.pdf](https://www.hse.ru/data/2017/03/10/1166798770/Аффилиация_стр.41.ЛА.pdf) (дата обращения: 12.06.2018).

<sup>50</sup> Портал государственных программ: [Электронный ресурс]: URL: <http://programs.gov.ru/Portal/analytics/quarterReportToGovernment?year=2014&quarter=4> (дата обращения: 24.06.2018).

<sup>51</sup> Глухов В.В., Балашова Е.С. Экономика и менеджмент в инфокоммуникациях. СПб.: Питер, 2012. 272 с.

становится особо актуальным в условиях западных санкций, поскольку в инфокоммуникациях используется большое число зарубежных разработок. Примером такого конфликта стало введение казначейством США в марте 2014 году санкций, в результате которых компании Visa International Service Association и MasterCard International Incorporated приостановила обслуживание карт, эмитированных банками «Россия», СМП Банка, Собинбанка и Инвесткапиталбанка<sup>52</sup>. В результате введенных санкций в Российской Федерации была разработана и введена в действие 1 октября 2017 года новая система электронных платежей «МИР»<sup>53</sup>.

В качестве последовательности развития в российской модели выбрано как создание сетей, информационных супермагистралей, так и техническое и социально-информационное обеспечение.

***Африканская модель.*** Данная модель не была включена в таблицу 3 по причине ее незавершенности. Ключевой особенностью данной модели, по мнению<sup>34</sup>, является отношение лидеров африканских стран к инфокоммуникационным системам. Так же, как и в латиноамериканской модели, существуют два различных принципа в макроэкономической политике государства в области инфокоммуникаций. С одной стороны, жесткое государственное регулирование данного сектора экономики. С другой стороны, широкая либерализация данного сегмента под действием давления со стороны ведущих мировых производителей данных технологий. К.А. Панцеровым<sup>34</sup> отмечается, что со стороны африканских государств даже не делается попытки найти баланс между государственным регулированием и рыночными отношениями, как в европейской модели. Это свидетельствует об отказе в политике создания информационного общества национальных интересов. Следует отметить, что развитие информационного общества в Африке происходит неравномерно, поскольку существенным образом различается экономическое развитие расположенных на данном континенте стран. К интеграции в глобальное инфокоммуникационное пространство на территории Африки готовы только несколько стран<sup>34</sup> – ЮАР и отчасти страны Северной Африки (Египет, Тунис и Марокко).

Наибольших успехов в данном направлении, как показывают результаты исследований в рамках Программы индивидуальных исследований факультета экономики и мировой политики<sup>49</sup>, достигла ЮАР. Доля ИКТ-услуг в ВВП ЮАР в 2014 году достигала 4,94 %, а число интернет-пользователей составляло 49 %. Для

<sup>52</sup> Болезненный удар по Visa и MasterCard, или что ждет американские платежные системы в России. Сайт RosInvest: [Электронный ресурс]: URL: <http://rosinvest.com/page/bolezennyyj-udar-po-visa-i-mastercard-ili-chto-zhdet-amerikanskie-platezhnye-sistemy-v-rossii> (дата обращения: 12.06.2018).

<sup>53</sup> Платежные карты «МИР». Досье: [Электронный ресурс]: URL: <http://tass.ru/info/4225994> (дата обращения: 12.06.2018).

сравнения данные показатели для России составляли, соответственно, 0,13 % и 46 %.

Особенностью развития южноафриканской республики, как было показано в работе<sup>49</sup>, является сочетание в себе черт развивающейся и развитой экономики. В связи с этим высокий спрос на продукцию ИКТ-сектора сочетается с недостаточной скоростью модернизации государственных институтов, что объясняется неэффективностью нормативно-правовых аспектов.

В качестве основных составляющих новой политики в области либерализации выбраны два: снижение тарифов и облегчение процесса лицензирования новых Интернет-провайдеров. Данные направления обеспечат, по мнению правительства ЮАР, создание новых компьютерных сетей и появление новых Интернет-провайдеров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Выполненные исследования показали, что на современном этапе уровень развития экономики любой страны находится в прямой зависимости от уровня развития инфокоммуникационных технологий, поскольку это обеспечивает выход в глобальное информационное пространство.

Высокий уровень развития инфокоммуникационных технологий определяет переход развития общества от постиндустриального к информационному, главными продуктами которого являются информация и знания, а технологической основой - инфокоммуникационные технологии.

По мере развития инфокоммуникационных технологий число критериев, определяющих информационное общество, растет. В настоящее время оно увеличилось с пяти, известных в 1990-х годах, до девяти. Увеличение числа критериев позволяет уточнять новые стороны развития инфокоммуникационного общества на каждом этапе. Основные критерии остаются неизменными: информационное общество основано на генерировании знаний и обработке информации с помощью новых технологий; организационная основа - сетевая модель; главные формы его активности объединены в сети глобального уровня, функционирующие благодаря телекоммуникационной и транспортной инфраструктуре.

Применение широкополосных сетей доступа в мобильных сетях связи обеспечило широкое проникновение мобильных технологий в бизнес, в результате чего началось формирование нового уровня развития экономики – цифровой экономики, а, следовательно, и нового этапа развития информационного общества.

Общие направления построения информационного общества для всей стран мира являются одинаковыми. К ним относятся, в частности, использование возможностей цифровых технологий, преодоление электронно-цифрового разрыва,

содействие всеобщему участию, дальнейшие перспективы развития. Различия же в развитии информационного общества в странах мира определяется уровнем развития их экономик, а также национальными особенностями, связанными с исторической традицией, культурой и политической историей конкретных стран.

Выполненный анализ известных моделей построения информационного общества показал, что отказ от учета национальных особенностей приводит к существенной зависимости от мировых монополистов в области инфокоммуникационных технологий. Только учет национальных особенностей обеспечивает создание конкурентоспособной экономики страны.

## Глава 2. Современные архитектуры распределенных сетевых информационных систем и сред доступа к ним

### БАЗОВАЯ ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Развитие сетевых информационных систем приводит к постоянному усложнению сетей обмена различными видами информации и сред доступа к данным сетям. Внедрение современных методов по созданию сложных распределенных сетевых информационных систем (РСИС) привело к появлению таких понятий, как архитектура РСИС и протоколы.

Архитектура, применительно к информационным системам, относительно новое понятие, которое было рекомендовано в качестве стандарта во второй половине XX века.

Под архитектурой понимается некоторый объем правил на основе логического, функционального и физического аспектов, позволяющих создать обобщенную структуру технических и программных сетевых информационных систем, порядок и организацию их взаимодействия, позволяющих произвести обмен сообщениями между абонентами, разнесенными на значительные расстояния.

В середине 80-х годов XX века Международная организация по стандартизации (International Standard Organization - ISO) предложила семиуровневую эталонную коммуникационную модель "Взаимодействие Открытых Систем" (Open System Interconnection, OSI).

Модель OSI стала основой для разработки стандартов на взаимодействие систем, в частности стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99. Она определяет только схему выполнения необходимых задач, но не дает конкретного описания их выполнения. Это описывается конкретными протоколами или правилами, разработанными для определенной технологии с учетом модели OSI<sup>54,55</sup>.

В модели OSI представлено семь уровней, каждый из которых имеет свои функции, базовые из них изображены на рисунке 2.1.

Начальным является физический уровень, из-за особенностей возложенных функций и выполняемых задач он также называется низким уровнем. Каждый уровень предоставляет услуги для более высокого уровня.

<sup>54</sup> Бурнашев И.Я. Передача дискретных сообщений: учеб. пособие / И.Я. Бурнашев; Ростов н/Д.: ФГБОУ ВО РГУПС, 2016. 124 с.

<sup>55</sup> Ананченко И.В. Сети связи и системы коммутации: учеб. пособие / И.В. Ананченко. СПб.: ИТМО, 2013. 120 с. [Электронный ресурс]: URL: [http://open.ifmo.ru/images/2/2b/147415\\_book.pdf](http://open.ifmo.ru/images/2/2b/147415_book.pdf) (дата обращения: 23.06.2018).

Конечным считается прикладной или седьмой уровень. Седьмой уровень обслуживает непосредственно пользователей.

Модель OSI		
Тип данных	Уровень	Функции
Данные	7. Прикладной	Доступ к сетевым службам
	6. Представления	Представление и кодирование данных
	5. Сеансовый	Управление сеансом связи
Сегменты	4. Транспортный	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты	3. Сетевой	Определение маршрута и логическая адресация
Кадры	2. Канальный	Физическая адресация
Биты	1. Физический	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными

**Рисунок 2.1. Уровни и функции уровней модели OSI**

**Источник: *Сети связи и системы коммутации, 2013.***

Модель OSI служит основой для стандартизации всей сетевой индустрии. Кроме того, модель OSI является хорошей методологической основой для изучения сетевых технологий. Несмотря на то, что были разработаны и другие модели, большинство производителей сетевого оборудования определяет свои продукты в терминах эталонной модели OSI.

Как видно из рисунка 2.1 эталонная модель OSI сводит передачу информации в сети к семи относительно простым подзадам. Каждая из них соответствует строго определенному уровню модели OSI. Тем не менее, в реальной жизни некоторые аппаратные и программные средства отвечают сразу за несколько уровней. Два самых низких уровня модели OSI реализуются как аппаратно, так и программно. Остальные пять уровней в основном программные.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.**

Под информационной системой обычно понимается прикладная программная подсистема, обеспечивающая сбор, хранение, поиск и обработку текстовой или фактографической информации. Большинство информационных систем функционирует в режиме диалога с пользователем<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Информационные технологии : учебник / Ю. Ю. Громов, И. В. Дидрих, О. Г. Иванова, М. А. Ивановский, В. Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 260 с. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2015/gromov-t.pdf> (дата обращения: 23.06.2018).

Информационная система обеспечивает представление некоторой предметной области в виде информационной модели (ИМПО), и предоставление пользователям необходимой информации об объектах предметной области<sup>57</sup>. В общем случае информационная система имеет вид, представленный на рисунке 2.2.

Информационные системы, как правило, создаются в виде законченных программных продуктов, которые основаны на принципах логики:

- ввода и вывода информации в диалоговом режиме, это позволяет осуществлять обмен сообщениями в реальном времени, иметь актуальную на данный момент информацию и, в конечном итоге, предопределять принятие оптимальных решений;

- управления данными, где на первый план выходит, например, доступ того или иного должностного лица к той или иной информации;

- обработки сообщений, которые передаются по каналам передачи данных, важнейшим атрибутом здесь является формализация информации, так как современные ЭВМ используют ограниченно-естественный язык общения;

- операции манипулирования файлами и (или) базами данных, где достаточно часто требуется объединить/разъединить информацию, выполнить над ней арифметические действия и т. д.

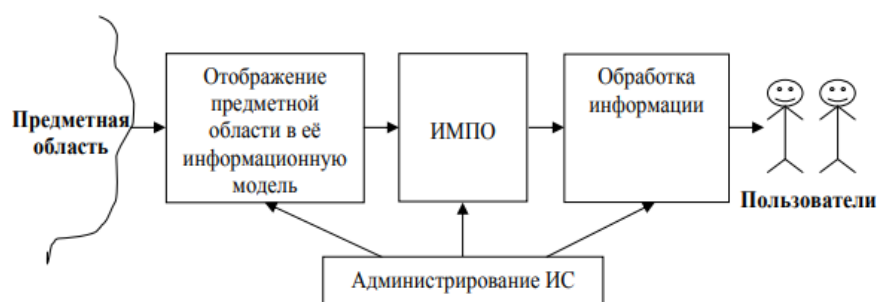


Рисунок 2.2. Обобщенная функциональная схема информационной системы

Источник: *Информационные системы и технологии, 2013.*

Как видим, информационные системы, осуществляют выполнение различных операций над конечным продуктом, а именно над информацией, которая уже поступила на средства вычислительной техники принимающего абонента.

По масштабу информационные системы можно разделить на: одиночные, групповые, корпоративные<sup>58</sup>.

<sup>57</sup> Информационные системы и технологии: учебное пособие / И.Л. Чудинов, В.В. Осипова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 145 с.

<sup>58</sup> Петров В. Н. Информационные системы: учебник / В.Н. Петров – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Первые информационные системы создаются локально на отдельной персональной ЭВМ. Данные системы, как правило, имеют несложный программный комплекс, минимальные требования по созданию системы безопасности. Основными недостатками таких систем являются малый объем требуемой информации, и некоторые ограничения во времени по объему выполняемых задач. Однако этого бывает достаточно, например, для небольших фирм.

Вторые системы реализуются для коллектива пользователей и чаще всего строятся на базе локальной информационно-вычислительной сети. Они ориентированы на хорошие приложения и серверы баз данных. Информационные системы указанного порядка развертываются на малых и средних предприятиях. Недостатком является отсутствие связи с глобальными сетями, из-за чего исключены поиск и использование актуальной информации, что может поставить перед руководством и персоналом организации вопрос о потере некоторой части прибыли.

Третьи информационные системы реализуются в крупных компаниях и могут поддерживать территориально разнесённые узлы или сети. Как правило, они имеют иерархическую структуру, архитектуру «клиент-сервер» со специализацией серверов, либо многоуровневую архитектуру. Системы корпоративного уровня при серьезных затратах на создание и функционирование обладают хорошей гибкостью, возможностью реконфигурации, способностью хранения информации и, при необходимости, дублирования особо важных сведений.

Отметим свойства информационных систем:

- использование в качестве товара информации;
- создание на основе системного подхода;
- возможность малой и большой реконфигурации;
- развитие, саморазвитие, динамичность;
- включает средства вычислительной техники, может входить техника телекоммуникаций;
- участие человека зависит от параметров и других особенностей системы.

Таким образом, информационная система является одной из основополагающих составляющих самого высокого, а именно прикладного уровня модели OSI.

## **СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА.**

Сетевые информационные технологии позволят объединить территориально разнесенных производителей и потребителей информации.

В тоже время создание сетевой информационной системы приведет к усложнению ее структуры, необходимости увеличения производительности, повышения



квалификации персонала, а также увеличению объема внутренней и внешней информации, циркулирующей в сети.

Отметим, что под внутренней информацией понимаются сообщения, создаваемые и передаваемые абонентами самой системы, а внешней информацией – сообщения, поступающие из других систем.

Одним из направлений развертывания сетевой информационной системы является автоматизация различных технологических и иных процессов, происходящих в тех или иных областях производства товаров и оказания услуг.

Что же такое автоматизация?

Автоматизация применительно к информации – это процесс, когда частично или полностью функции по сбору, обработке, хранению и выдаче информации ложатся на плечи средств вычислительной техники или комплексов автоматизации.

Автоматизация позволяет, в отличие от остальных сфер деятельности, увеличить именно интеллектуальные возможности человека или некоторой группы должностных лиц, выполняющих работу в одном направлении, изображенном на рисунке 2.3

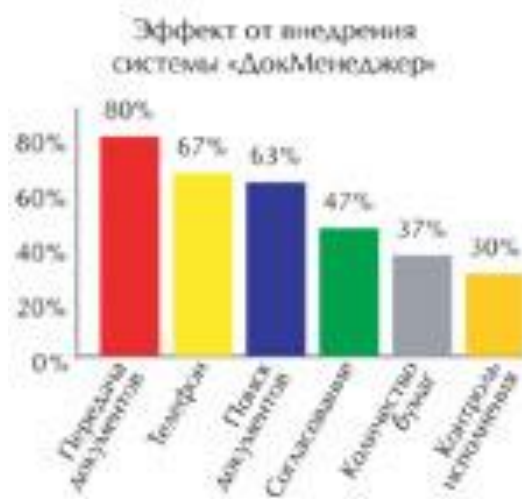


Рисунок 2.3. Сохранение времени, затрачиваемого на операции по результатам анкетирования пользователей «ДокМенеджера»

Источник: *СофтИнтегро, 2007.*

Например, главной целью автоматизации на машиностроительных предприятиях служит автоматизация процессов разработки и проектирования конечной продукции<sup>59</sup>.

<sup>59</sup> Затуранов М.Н. Построение сетевых информационных систем на основе принципа виртуализации // Прикладная информатика. 2013. № 6 (48). С. 80-87. [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/postroenie-setevyh-informatsionnyh-sistem-na-osnove-printsipa-virtualizatsii> (дата обращения: 24.06.2018).

Автоматизация позволит:

- оперативно осуществить сбор необходимой информации в той или иной области, либо направлении деятельности;
- представить информацию в наиболее удобном для восприятия виде;
- выполнить некоторую корректировку представленного сообщения;
- осуществить простые и достаточно сложные расчеты;
- предложить один или несколько вариантов использования информации;
- определить оптимальный вариант из нескольких имеющихся;
- дать ответ на неопределенные вопросы.

Для лица, отвечающего за данный участок работы, система автоматизации является незаменимым помощником в подготовке расчетов, предложений и даже решений.

Отметим, что в любом случае, каким бы не был вариант, предложенный системой автоматизации, основное принятие решения по исследуемой проблеме остается за человеком, должностным лицом или пользователем.

При этом, создание оптимальной сетевой информационной структуры требует выполнения ряда задач, например:

- развертывания локальной информационно-вычислительной сети предприятия или организации;
- создания новой или возможно наращивания существующей структурированной кабельной системы, позволяющей объединить территориально-удаленных абонентов локальной информационно-вычислительной сети;
- построения сети передачи данных с целью создания системы обмена данными, указанная сеть позволит осуществлять передачу и прием информации в расширенной локальной информационно-вычислительной сети, которая может включать в себя несколько локальных сетей малого размера; а также, при наличии доступа, проводить обмен данными с локальными вычислительными сетями других организаций и глобальными сетями;
- создания узла или узлов доступа к сети Интернет, которые обеспечат передачу информации в глобальной сети;
- оформления логической топологии сети;
- наполнения сетевой информационной системы общесистемными сервисными услугами, специализированными комплексами программ;
- определения требований к серверному оборудованию, создание и развертывание сервера или системы серверов;
- создания и актуализации баз данных или баз знаний.

Указанные мероприятия представлены не в полной мере, однако их внедрение позволит увеличить производительность как управленческого, так и производственного труда, поднять на новый уровень работу организации или предприятия.

Важным при создании сетевой информационной системы является определение характеристик сервера, который может быть как физическим, так и виртуальным. Результаты исследований представлены на рисунках 2.4 и 2.5.

Тип задачи	Шаги	< 0,1 с.	0,1-0,2 с.	0,2-0,3 с.	0,3-0,4 с.	0,4-0,5 с.	0,5-1 с.	1-2 с.	2-3 с.	3-10 с.	> 10 с.
Распределенные программы	156	15	6	6	20	14	54	9	5	27	0
Локальные программы	18 576	9 921	10	1 452	3 287	1 370	1 822	386	115	167	46
Интернет-соединение	43 183	42 664	75	92	264	11	14	28	7	27	1
Соединение с БД и системами	38 191	17 075	1 233	591	339	232	8 229	3 847	2 198	3 402	1 045
Клиентские программы	1 988 566	1 610 026	135 228	62 947	38 963	25 310	55 782	28 233	9 676	14 064	8 337
Обновления	148 439	123 799	8 396	4 425	2 637	1 655	4 594	1 928	514	434	57
Прочее	141 415	140 335	263	107	404	28	129	80	29	36	4
Фоновый режим	130 837	118 233	2 262	892	482	319	1 220	623	1 225	597	4 984

Рисунок 2.4. Время выполнения программ различного типа на аппаратном сервере

Источник: *Затуранов М.Н., 2013.*

Тип задачи	Шаги	< 0,1 с.	0,1-0,2 с.	0,2-0,3 с.	0,3-0,4 с.	0,4-0,5 с.	0,5-1 с.	1-2 с.	2-3 с.	3-10 с.	> 10 с.
Распределенные программы	303	21	6	31	43	32	93	39	5	33	0
Локальные программы	23 768	14 770	55	49	4 578	1 733	1 863	375	129	189	27
Интернет-соединение	44 629	43 899	60	32	575	7	14	14	8	20	0
Соединение с БД и системами	42 407	22 546	1 337	672	381	275	7 346	3 687	2 094	2 933	1 136
Клиентские программы	1 667 193	1 352 870	110 993	52 947	31 390	20 360	46 585	25 195	8 169	11 711	6 973
Обновления	105 268	83 602	6 789	3 683	2 354	1 481	4 520	1 938	461	365	75
Прочее	260 525	259 215	554	143	366	29	112	65	17	17	7
Фоновый режим	149 254	136 839	2 249	778	434	270	1 143	563	1 282	529	5 167

Рисунок 2.5. Время выполнения программ различного типа на виртуальном сервере

Источник: *Затуранов М.Н., 2013.*

Параллельным направлением развития информационных систем явилось создание систем передачи и распределения информации, в которых основное содержание составлял процесс обмена данными между удаленными объектами<sup>60</sup>.

<sup>60</sup> Бабешко В.Н. Многопроцессорные системы в туманных вычислительных сетях //Иновации, качество и сервис в технике и технологиях: Материалы 4 - ой международной научно-практической конференции – Курск,

К системам распределения информации традиционно относят сети и системы электросвязи, а именно телеграфную, телефонную, факсимильную виды связи, телевидение, звуковое вещание и т. д.

## РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОСНОВА ВИРТУАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.

Распределенная система - это набор независимых вычислительных машин, представляющий их пользователям единой объединенной системой. Несмотря на то, что все компьютеры автономны, для пользователей они представляются единой системой<sup>61</sup>.

Основные характеристики распределенных сетевых информационных систем:

- пользователи не могут видеть различий между, например, мощностями или объемом памяти ЭВМ и способы организации обмена информацией между ними. То же самое относится и к внешней организации распределенных систем;

- абоненты и используемые приложения единообразно работают в распределенных системах, независимо от того, где и когда и по каким правилам происходит их взаимодействие;

- состав оборудования системы должен быть минимизирован.

Распределенные сетевые информационные системы должны обладать способностью к реконфигурации, то есть относительно легко поддаваться масштабированию.

Особенности функционирования распределенных сетевых информационных систем:

- разветвленность сети и большое число различных объектов;

- несколько медленная работа в сети из-за возможной задержки выполнения запросов;

- повышенные требования по безопасности к передаваемым данным;

- ряд компонент могут выполняться в параллельном режиме, что требует их согласованной работы в распределенной сети;

- некоторые объекты могут использоваться периодически;

- существует вероятность отказов из-за загруженности сетевых ресурсов.

---

2014 [Электронный ресурс]: URL: <http://sdo.nsuem.ru/mod/book/view.php?id=7589> (дата обращения: 24.06.2018).

<sup>61</sup> Радченко, Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. – Челябинск: Фотохудожник, 2012. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL [http://glebradchenko.susu.ru/doc/Radchenko\\_Distributed\\_Computer\\_Systems.pdf](http://glebradchenko.susu.ru/doc/Radchenko_Distributed_Computer_Systems.pdf) (дата обращения: 24.06.2018).

В настоящее время, распределенные информационные системы, в том числе и сетевые, отходят от традиционных понятий высокопроизводительных распределенных вычислений в сторону развития виртуального сотрудничества и виртуальных организаций. Виртуальная организация – это ряд людей и/или организаций, объединенных общими правилами коллективного доступа к определенным вычислительным ресурсам<sup>62</sup>.

Методы предоставления доступа к вычислительным ресурсам ориентированы на сервисные приложения, что позволяет гибко использовать одни и те же вычислительные ресурсы различными потребителями. Значительно расширились области автоматизированного управления ресурсами. Человек не в силах вручную решить задачу распределения вычислений в системах такого масштаба и гетерогенности, например распределения частот на некоторой ограниченной территории. Таким образом, необходимо использование автоматизированных систем управления задачами, которые берут на себя задачи управления предоставляемой системой. Также, с возрастанием масштаба вычислительных сетей, необходимы автоматизированные средства обработки ошибок и восстановления вычислительного процесса.

Отметим основное отличие распределенных сетевых информационных систем от обычных распределенных информационных. Известно, что в обычных информационных системах информация хранится по частям в различных местах, то есть разнесенных ЭВМ.

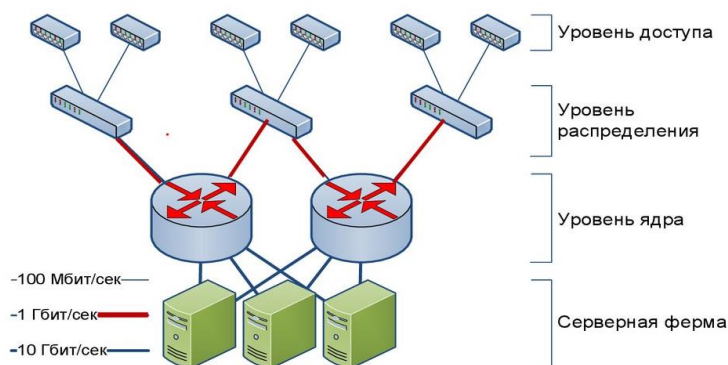
Основными достоинствами распределенных систем являются:

- прозрачный доступ к данным других подсистемам;
- возможность интеграции с взаимодействующими подсистемами;
- относительно небольшие затраты; - высокий уровень доступности к информации.

Сетевая архитектура распределенной информационной системы дана на рисунке 2.6.

---

<sup>62</sup> Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing. 2001. Vol. 15, No 3. P. 200-222.



**Рисунок 2.6. Сетевая архитектура распределенной информационной системы**  
*Источник: Григорьев В.А., 2017.*

Модель сети подразумевает наличие трех уровней:

- ядро отвечает за высокоскоростную передачу сетевого трафика, а именно коммутацию пакетов с максимальной скоростью;
- на уровне распределения происходит агрегация трафика и минимизация числа каналов с ядром сети;
- уровень доступа формирует сетевой трафик и выполняет контрольные функции. Все политики доступа к сети реализуются на устройствах уровня доступа.

Данная архитектура полностью соответствует потребностям, выявленным в результате анализа информационных потоков архитектуры<sup>63</sup>.

## АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В российской и зарубежной практике проектирования информационных и автоматизированных систем термин «архитектура системы» используется очень широко, но при этом имеет столь же широкое множество различных трактовок.

Одно из популярных в среде разработчиков информационных систем формальных определений архитектуры приведено в стандарте ANSI \ IEEE Std 1471 - 2000 Института инженеров-электриков и электронщиков, который предоставляет метамодель для определения архитектуры<sup>64</sup>.

Этот стандарт определяет такие абстрактные элементы архитектуры, как представления, системы, среды, обоснования, заинтересованные стороны и т.д. в

<sup>63</sup> Григорьев В.А. Презентация Порядок выполнения курсовой работы по дисциплине «Проектирование вычислительных сетей» Тверь ТГТУ. 2017. - 51 с. [Электронный ресурс]: URL <https://ppt-online.org/230949> (дата обращения: 25.06.2018).

<sup>64</sup> Трутнев Д. Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 66 с.

соответствии со схемой, показанной на рисунке 2.7. В соответствии с этим представлением система обладает архитектурой, которая может быть описана с различных точек зрения заинтересованных лиц, рассматривающих архитектуру системы.

Каждой точке зрения на архитектуру системы соответствует определенное представление, основу которого составляет набор моделей. Однако этот стандарт не определяет структуру собственно архитектуры предприятия.

Например, говорится о том, что необходимо иметь различные представления архитектуры, но при этом не указывается, какие это должны быть представления.



Рисунок 2.7. Рамочная модель разработки архитектуры по IEEE 1471

Источник: Затуранов М.Н., 2013.

Как указывалось выше отечественные стандарты и руководящие документы не определяют и не используют термин «архитектура системы» приложений)<sup>65</sup>.

В настоящее время распространены многоуровневые архитектуры.

Архитектура «клиент-сервер» может быть разделена на три и более уровня. Каждый уровень архитектуры будет выступать в качестве клиента к нижележащему уровню.

Трёхуровневая архитектура - архитектурная модель программного комплекса, предполагающая наличие в нём трёх компонентов: клиента, сервера

65 ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения; ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы; РД 50-680-88 Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения.

приложений (к которому подключено клиентское приложение) и сервера баз данных (с которым работает сервер приложений)<sup>66</sup>.

Трехуровневая архитектура имеет следующую структуру:

- верхний уровень (клиент) включает, как правило, это графические приложения клиентов, включающие бизнес-логику: авторизацию, шифрование, проверку вводимых данных на допустимость и соответствие формату, несложные операции с данными;

- средний уровень (сервер приложений), также состоит из бизнес-логики. Вне его остаются фрагменты, экспортируемые на клиента (терминалы) и элементы логики, погруженные в базу данных (хранимые процедуры и триггеры).;

- нижний уровень (сервер баз данных), удаленный специализированный сервер, выделенный для услуг обработки данных и файловых операций, но без использования хранимых процедур.

Трехуровневая архитектура позволяет сбалансировать нагрузку на разные узлы и сеть, выполнить специализацию инструментов для разработки приложений, упростить администрирование и сопровождение логики приложения.

Развитие архитектур информационных систем, включая и сетевые осуществлялось по трем направлениям:

- автономные архитектуры, развертываются и функционируют независимо от кого или чего либо, как указывалось ранее, основные характеристики такой архитектуры определяются возможностями ЭВМ. Естественно такая архитектура имеет некоторые ограничения по мощности и адекватности решаемых задач;

- централизованные архитектуры, концентрируют все ресурсы на центральной, наиболее мощной ЭВМ, средствами доступа выступают однотипные алфавитно-цифровые терминалы, управление которыми осуществляет центральная ЭВМ. Достоинства архитектуры: совместное использование дорогих ресурсов ЭВМ, возможность использования дорогих, но полнофункциональных периферийных устройств, отсутствует администрирование рабочих мест пользователей, облегчается эксплуатация и обслуживание системы. Основным недостатком архитектуры является полная зависимость пользователя от администратора центральной ЭВМ;

- распределенные архитектуры.

Можно выделить следующие характеристики архитектур распределенных систем:

- совместное использование аппаратных и программных ресурсов;

---

<sup>66</sup> Трёхуровневая архитектура. Википедия. Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхуровневая\\_архитектура](https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхуровневая_архитектура) (дата обращения: 24.06.2018).



- открытая система, в которой имеется возможность ее расширения путем добавления новых ресурсов;

- параллельная работа, в распределенных информационных системах несколько процессов могут одновременно выполняться в различных ЭВМ, входящих в сеть. При этом процессы могут взаимодействовать во время их выполнения;

- так называемая масштабируемость, то есть возможность добавления новых свойств и методов в существующую систему;

- низкая отказоустойчивость из-за наличия нескольких ЭВМ имеется возможность дублирования информации и устойчивость к некоторым аппаратно-программным ошибкам. При наличии ошибки распределенные системы могут поддерживать частичную функциональность. Полный сбой в работе системы происходит только при сетевых ошибках;

- прозрачность, где пользователям предоставляется полный доступ к ресурсам в системе, в то же время от них скрыта информация о распределении ресурсов по системе в целом.

Как и любой сложный объект, распределенные сетевые информационные системы обладают некоторыми недостатками:

- труднее понять и оценить свойства распределенных систем в целом, их сложнее проектировать, тестировать и обслуживать;

- как правило, доступ к системе можно получить от нескольких ЭВМ, также сообщения, циркулирующие в сети, могут просматриваться и перехватываться;

- система может состоять из разнотипных компьютеров, на которых могут быть установлены различные версии операционных систем;

- ответная реакция распределенных систем на некоторые события непредсказуема, она может зависеть от полной загрузки сети и системы в целом, организации ее структуры.

Для оптимальной работы распределенной сетевой информационной системы необходимы:

- единая система имен для идентификации ресурсов и ссылок на них;

- использование специализированных средств при высоких требованиях по надежности или производительности;

- умелое распределение процессов, ресурсов и аппаратных средств системы, а также возможность адаптации системы к изменяющимся условиям функционирования сети.

- определение самой архитектуры системы.

## ВЫВОДЫ

1. Архитектура распределенных сетевых информационных систем, как правило, создается на основе базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем, последняя в свою очередь представлена семью уровнями.

2. Высшие уровни базовой модели, а именно с 4 – ой по 7 – ую, отвечают за прием, передачу, обработку и хранение информации, над которой осуществляются процессы арифметических операций, сравнения, накопления, преобразования над смысловым содержанием. За организацию и обеспечение указанных процессов отвечают специалисты в области вычислительной техники и информационных технологий.

3. Низшие с 1 – го по 3 – ий уровни модели обеспечивают обмен и хранение информации между территориально удаленными абонентами информационной системы и ни в коем случае не занимаются смысловой обработкой передаваемой информации. Передача информации в пределах отмеченных уровней возложена на специалистов телекоммуникаций.

4. Особенности создания и совершенствования, различия в понятийном и математическом аппаратах достаточно часто приводят к некоторому недопониманию рассмотренных взаимодействующих специалистов при общении друг с другом и выполнении совместных задач по развертыванию информационных систем.

5. Решение данной проблемы может основываться на выполнении следующих предложений:

- организация и проведение семинаров участием студентов направлений вычислительная техника и системы телекоммуникаций, на которых рассмотреть особенности функций базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем;

- разъяснение студентам направления вычислительная техника видов искажений, возникающих при передаче данных по каналам проводной, радиорелейной, тропосферной и спутниковой систем связи с помехами;

- разъяснение студентам направления телекоммуникационные системы характеристик общесистемных и специализированных приложений, используемых в распределенных информационных системах; требований, предъявляемых к каналам передачи данных по надежному и устойчивому обмену в сети передачи данных;

- организация и проведение совместных практических занятий по администрированию системы обмена данными, выявлению вопросов, требующих глубокой и совместной проработки преподавателями и студентами направлений вычислительная техника и системы телекоммуникаций;

- организация совместных викторин, где студенты направления вычислительная техника готовят вопросы для студентов направления системы телекоммуникаций, а студенты направления системы телекоммуникаций – для студентов направления вычислительная техника.

## Глава 3. Метод стабилизации частоты генераторного оборудования с использованием голограмм

### 3.1. Анализ современных методов стабилизации частоты генераторного оборудования

Процесс современного развития телекоммуникационных систем и компьютерных сетей обуславливает постоянный рост требований к стабильности частоты колебаний используемого в них генераторного оборудования<sup>67</sup> [Прыгунов, А.Г.]. Уровень допустимой относительной нестабильности частоты используемых генераторов определяется, как правило, степенью важности задач, решаемых конкретным типом аппаратуры. В настоящее время для качественного решения задач радиосвязи и радионавигации относительная нестабильность частоты используемых генераторов не должна превышать  $10^{-7} - 10^{-8}$ , а для надежной космической связи она должна быть не более  $10^{-10} - 10^{-11}$ <sup>68</sup>[Прыгунов, А.Г.].

Использование высокостабильных генераторных систем исключает взаимные помехи между соседними радиостанциями, обеспечивает возможность организации беспойсковой и бесподстроечной радиосвязи<sup>69</sup> [Креопалова, Г.В.]. Помимо этого, высокая стабильность частоты генераторного оборудования радиопередатчика позволяет сузить полосу пропускания радиоприемного устройства. Это повышает соотношение сигнал/помеха на входе радиоприёмника, что эквивалентно увеличению мощности на передающем конце радиолинии.

Повышение стабильности частоты генераторного оборудования всегда приводит к усложнению аппаратуры, увеличению ее энергопотребления и повышению стоимости. В настоящее время для обеспечения высокой стабильности выходных колебаний генераторного оборудования наиболее часто используются два способа<sup>70</sup>[Морозов Г.]:

- в частотоподающих контурах генераторов используют конструктивные элементы с высокой фиксирующей способностью;

<sup>67</sup>Прыгунов, А.Г. Перспективные направления совершенствования элементной базы информационно-телекоммуникационных систем // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении / А.Г. Прыгунов, В. В. Худяков. – Таганрог: Известия ЮФУ, 2009. – № 2. – с. 91-99.

<sup>68</sup> Прыгунов А.Г. Выбор параметров конструкции оптических голографических преобразователей оптических систем обработки информации // Применение инноваций при разработке радиотехнических систем / А. Г. Прыгунов, М. Ю Звездина. – Ростов-на-Дону: Академия естествознания, 2015. – № 5. – с. 54-74.

<sup>69</sup>Креопалова, Г.В. Оптические измерения / Г. В. Креопалова, Н. Л. Лазарева. – М.: Машиностроение, 1987. – 161 с.

<sup>70</sup> Морозов Г. Проблемы тактовой синхронизации цифровых местных телефонных сетей / Г. Морозов. – М.: Радио, 1999. №11. – с. 71-72.

- для поддержания высокой стабильности частоты колебаний в схемах генераторов используют системы автоматической подстройки частоты (АПЧ), как правило, частотные и фазовые одновременно.

Можно указать основные факторы, определяющие стабильность частоты колебаний, формируемых автогенератором с кварцевой стабилизацией.

Эти факторы, как правило, разбивают на две группы. К первой группе обычно относят факторы, которые определяют долговременные изменения частоты колебаний <sup>71</sup>[Бутиков, Е. И.]. К этим факторам относят температурные, механические, электромагнитные и радиационные воздействия на автогенератор. Помимо этого к данным факторам можно отнести влияние на автогенератор изменений параметров окружающей среды, нестабильность значений напряжения электропитания и ряд других факторов, вызывающих изменение параметров частотозадающего контура автогенератора. Второй группой дестабилизирующих факторов являются шумы, которые приводят к случайным флуктуациям частоты колебаний автогенератора. Шумы, как правило, являются фактором кратковременной нестабильности частоты автогенератора. Применительно к кварцевому резонатору долговременная стабильность характеризует дрейф нуля, а кратковременная стабильность – его предельные возможности с точки зрения порога чувствительности <sup>72</sup>[Матвеев, А. Н.].

Существенным фактором, влияющим на стабильность частоты кварцевого автогенератора, является старение конструктивных элементов схемы его частотозадающего контура. Погрешности старения оказываются соизмеримы, а иногда и более существенны, чем температурные. Точный учет всех дестабилизирующих факторов невозможен <sup>73</sup> [Родионов С. А.]. В случае необходимости проводят только приблизительную оценку абсолютной или относительной нестабильности.

Эффективным способом поддержания стабильности частоты выходных колебаний автогенераторов является использование в их конструкции систем автоматической подстройки частоты (АПЧ). В зависимости от признака, на основе которого вырабатывается сигнал ошибки, системы АПЧ, используемые в настоящее время, можно разбить на два класса <sup>74</sup> [Капланов М.Р.]. Если отличительным признаком является отклонение частоты колебаний от переходной частоты частотного детектора, то говорят о системе частотной АПЧ (ЧАПЧ). Чувствительным элементом этой системы является частотный детектор. Основным недостатком системы ЧАПЧ является наличие остаточной расстройки, т.е. наличие статической

<sup>71</sup> Бутиков, Е. И. Оптика / Е. И. Бутиков. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.

<sup>72</sup> Матвеев, А. Н. Оптика / А. Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1985. – 562 с.

<sup>73</sup> Родионов С. А. Основы оптики / С. А. Родионов. – СПб.: ГИТМО, 2000. – 364 с.

<sup>74</sup> Капланов М.Р. Автоматическая подстройка частоты / М.Р. Капланов, В.А. Левин. - М.: Энергоиздат, 1963г. - 176с.

ошибки регулирования по частоте. Положительным фактором для системы ЧАПЧ является широкий диапазон начальных расстроек, в котором она способна резко снижать ошибку частоты колебаний автогенератора.

Для реализации работы системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) всегда необходимо опорное колебание<sup>75</sup> [Каганов В.И.]. В качестве чувствительного элемента такой системы используют фазовый детектор. Главным достоинством системы ФАПЧ является нулевая статическая ошибка регулирования по частоте, т.е. точное равенство частот колебаний опорного и подстраиваемого генераторов. Существенными недостатками системы ФАПЧ являются:

- наличие статической ошибки регулирования по фазе, т.е. статического отличия фаз колебаний эталонного и подстраиваемого генераторов;
- диапазон начальных расстроек системы ФАПЧ, в котором осуществляется её подстраивающее действие, является, как правило, достаточно узким.

Для того, чтобы обеспечить высокую стабильность частоты колебаний подстраиваемого автогенератора в широком частотном диапазоне иногда используют совместно системы ЧАПЧ и ФАПЧ. В этом случае система ФАПЧ вступает в работу тогда, когда система ЧАПЧ введет частоту подстраиваемого автогенератора в «область втягивания» системы ФАПЧ. Проведённый анализ достоинств и недостатков методов автоподстройки частоты колебаний автогенераторов позволяет сделать вывод о целесообразности разработки принципиально нового метода АПЧ, обеспечивающего высокую стабильность частоты колебаний автогенератора в широком частотном диапазоне и минимизацию недостатков, присущих системам ЧАПЧ и ФАПЧ. При этом, успех может быть достигнут лишь на пути разработки и использовании систем АПЧ на новых физических принципах, обеспечивающих прецизионное измерение изменений параметров чувствительного элемента, вызванных уходом частоты стабилизируемых колебаний от номинала. Известно, что наибольшую чувствительность и точность таких измерений обеспечивают интерференционно-голографические методы<sup>76</sup> [Звездина, М.Ю.]. Представляется целесообразным использовать эти методы при синтезе схем перспективных систем АПЧ.

<sup>75</sup> Каганов В.И. Системы автоматического регулирования в радиопередатчиках / В.И. Каганов. - М.:Связь, 1969. - 232с.

<sup>76</sup>Звездина, М.Ю. Исследование условий экспонирования эталонной голограммы голографического интерферометра // Физические основы приборостроения / М. Ю. Звездина, А. Г. Прыгунов. – Ростов-на-Дону: Издanie НТЦ УП РАН, 2012. Т. 1. – № 2. – с. 65-71.

### 3.2. Метод стабилизации частоты генераторного оборудования с использованием голограмм.

Для стабилизации частоты выходных колебаний генераторного оборудования с использованием голограмм может быть использован пространственно-спектральный метод голографической интерферометрии. Сущность такого метода стабилизации частоты заключается в преобразовании изменений частоты стабилизируемого колебания в изменение кривизны сферического волнового фронта когерентного светового потока и измерении этих изменений интерференционно-голографическим методом по результатам анализа пространственно-спектрального распределения интенсивности оптического поля в плоскости голографической интерферограммы. По результатам измерений может быть выработано управляющее воздействие на перестраиваемый реактивный элемент частото задающего контура автогенератора. Возможность практической реализации такого метода обоснована математически и, частично, проверена экспериментально. Вариант схемы интерференционно-голографической системы АПЧ, реализующей описанный метод, представлен на рисунке 3.1.

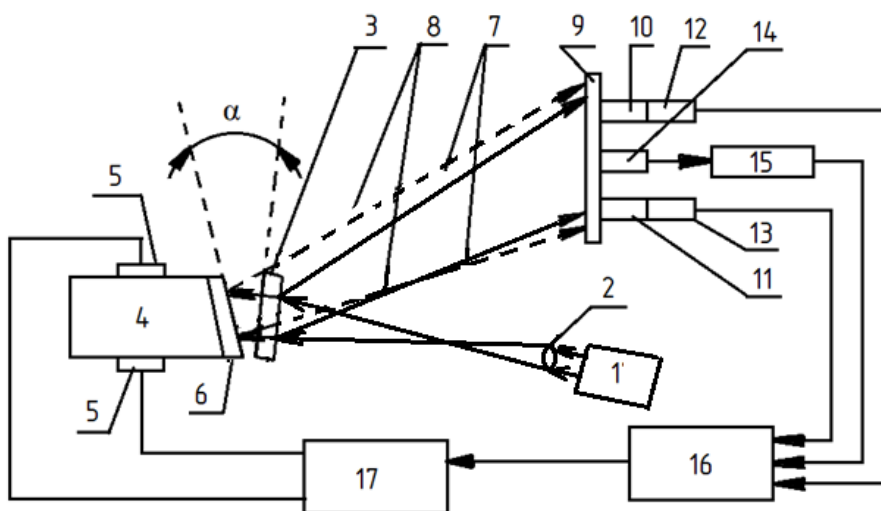


Рисунок 3.1. Интерференционно-голографическая система АПЧ

На рисунке 3.1 использованы следующие обозначения: 1 – лазер; 2 – собирающая линза; 3 – эталонная фурье-голограмма; 4 – пьезоэлемент; 5 – электроды на поверхности пьезоэлемента; 6 – отражатель, размещенный на торцевой поверхности пьезоэлемента; 7 – световой поток, прошедший сквозь эталонную фурье-голограмму 3, отраженный отражателем 6 и повторно прошедший сквозь фурье-голограмму 3; 8 – световой поток, дифрагировавший от эталонной фурье-голограммы; 9 – экран; 10, 11 – фотоприёмники; 12, 13 – пороговые устройства; 14

– фотоэлектронный умножитель; 15 – аналого-цифровой преобразователь; 16 – решающее устройство; 17 – стабилизируемый автогенератор;  $\alpha$  – угол между отражателем 6 и эталонной фурье-голограммой 3.

Схема, представленная на рисунке 3.1, работает следующим образом. Световой поток, излучаемый лазером 1, фокусируется линзой 2 и направляется на эталонную фурье-голограмму 3. Эталонная фурье-голограмма 3 является полупрозрачной и записана во встречных световых пучках по схеме в соответствии с рисунком 3.2.

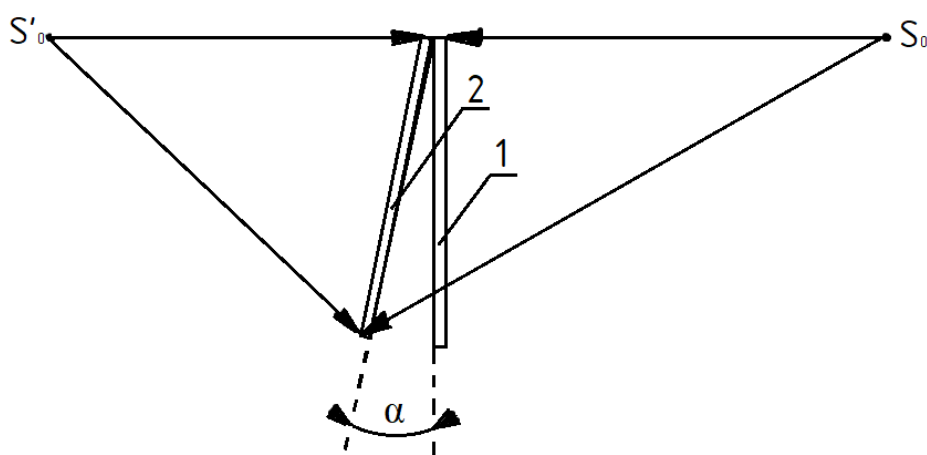


Рисунок 3.2. Запись эталонной фурье-голограммы

На рисунке 3.2 использованы обозначения: 1 - голографическая фотопластинка; 2 – отражательное зеркало;  $S_0$  - точка фокусировки предметного светового потока;  $S'_0$  - точка фокусировки мнимого светового потока, формируемая отражательным зеркалом 2;  $\alpha$  – угол между отражательным зеркалом 2 и голографической фотопластинкой на этапе экспонирования эталонной фурье-голограммы, причем  $0 < \alpha \leq 3$ .

Рассмотрим работу схемы, представленной на рисунке 3.1. Световой поток, падающий на эталонную фурье-голограмму 3, частично дифрагирует от нее, а частично проходит сквозь эту голограмму, отражается отражателем 6 и повторно проходит сквозь фурье-голограмму 3. Световой поток 7, дифрагировавший от эталонной фурье-голограммы, и световой поток 8, прошедший через фурье-голограмму 3, отраженный отражателем 6 и повторно прошедший через фурье-голограмму 3, образуют в плоскости экрана (9) интерференционную картину. При этом, пространственно-спектральное распределение интенсивности оптического поля в плоскости интерференции однозначно определяется направлением падения на эталонную фурье-голограмму 3 и кривизной волнового фронта

реконструирующего светового потока от линзы 2, параметрами эталонной фурье-голограммы 3 и положением отражателя 6. В плоскости экрана размещены два фотоприёмника 10 и 11 и фотоэлектронный умножитель 14. Выходы фотоприёмников 10 и 11 подключены ко входам пороговых устройств 12 и 13. В качестве пороговых устройств могут быть использованы, например, инверсные усилители с порогом Шмитта. Фотоэлектронный умножитель 14 размещён в оптической схеме таким образом, чтобы центр формируемой интерферограммы был совмещён со входным отверстием фотоэлектронного умножителя 14. Электрический сигнал с выхода фотоэлектронного умножителя 14 поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 15, который преобразует его в цифровой двоичный код. Цифровые сигналы с выходов пороговых устройств 12 и 13 и АЦП 15 поступают в решающее устройство 16. В случае необходимости компенсации частотной расстройки автогенератора 17 решающее устройство 16 выдаёт управляющий сигнал на перестраиваемый реактивный элемент частото задающего контура стабилизируемого автогенератора 17. Сигнал в виде электрического напряжения с частотой выходных колебаний стабилизируемого автогенератора 17 поступает на пьезоэлемент 4, вызывая перемещения его торцевой поверхности с закреплённым на ней отражателем 6. Характер перемещений отражателя 6 будет однозначно определяться частотой выходных колебаний автогенератора 17 и будет обуславливать значения двоичных кодов, поступающих с выхода АЦП 15 на вход решающего устройства 16. В решающем устройстве 16 хранится последовательность двоичных кодов, соответствующих стабилизированной частоте выходных колебаний автогенератора 17 и полученных путём подключения образцового эталонного генератора к пьезоэлементу 4 при первоначальной калибровке голографической системы АПЧ. Последовательность этих кодов является эталоном, относительно которого решающим устройством 16 выбирается управляющий сигнал для устранения ухода от номинала частоты стабилизируемого автогенератора 17. Знак и величина управляющего сигнала определяются по результатам анализа в решающем устройстве 16 информации, поступающей в него с выходов фотоприёмников 10 и 11 через пороговые устройства 12 и 13. Оптическая часть схемы системы АПЧ, представленной на рисунке 3.1, обеспечивает чувствительность к перемещениям отражателя 6 по уровню смены на  $\pi$  фазы светового потока в центре формируемой интерферограммы не хуже, чем  $\lambda/4$ . Необходимо отметить, что в силу особенностей дифракции светового потока эталонной фурье-голограмме в центральную часть формируемого изображения направляется до 84% энергии



дифрагировавшего светового потока<sup>77</sup> [Прыгунов, А.Г.]. В плоскости экрана формируется интерферограмма в виде колец эллиптической формы с очень маленьким эксцентриситетом<sup>78</sup> [Прыгунов, А.Г.], при этом используемая оптическая схема позволяет получить интерференционные кольца любых требуемых размеров, обеспечивающих максимальную эффективность измерения и анализа ширины и интенсивности оптического поля с помощью фотоприёмных устройств и фотоумножителей. Это позволяет фиксировать перемещения отражателя б с чувствительность до  $10^{-10}$  м. Использование оптической схемы, представленной в устройстве на рисунке 3.1, открывает возможности для построения высокоточной системы АПЧ, имеющей широкую полосу схватывания, обладающей высокой надёжностью и имеющей малые габариты и энергопотребление. Используемые же в настоящее время схемы интерферометров не обеспечивают возможность создания систем АПЧ такого типа. Это подтверждается результатами анализа процесса формирования изображения в интерферометре Майкельсона. Для такого интерферометра, интерференционные кольца в изображении формируются аксиальносимметрично и удовлетворяют условию<sup>79</sup> [A.G. Prygunov]:

$$2d \cos \Theta = m\lambda, \quad (3.1)$$

где  $m$  – номер интерференционного порядка;

$d$  – расстояние между зеркалами;

$\lambda$  – длина волны света;

$\Theta$  – угол наблюдения.

Первый порядок интерференции реализуется для такого интерферометра кольцом очень большого радиуса, который практически равен бесконечности, так как

$$\cos \Theta_1 = \frac{\lambda}{2d}. \quad (3.2)$$

<sup>77</sup> Прыгунов, А.Г. Анализ дифракции света на эталонной голограмме при измерении перемещений объектов пространственно-спектральным методом / А. Г. Прыгунов, Д. А. Безуглов. – Ростов-на-Дону: РАН СО, 1998. – № 5. – с. 112-118.

<sup>78</sup> Прыгунов, А.Г. Метод определения перемещений объектов на основе анализа волновых фронтов оптического поля с использованием эталонных голограмм / А. Г. Прыгунов, В. П. Сизов, Д. А. Безуглов. – Ростов-на-Дону: Оптика атмосферы и океана, 1995. – № 6. – с. 826-830.

<sup>79</sup> A.G. Prygunov, S.A. Sinjutin, A.A. Prygunov, E.S. Sinjutin. The analysis of strata form in golographic emulsion and a view of an image reconstructed with a fourier-gologram. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 9, NO. 12, DECEMBER 2014, p. 2603-2607.

Учитывая тот факт, что угол  $\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2d}$ , а  $\frac{\lambda}{2d} \ll 1$ , можно сделать вывод о том, что угол наблюдения первого порядка интерференции в таком интерферометре близок к  $\frac{\pi}{2}$  и радиус интерференционного кольца достаточно большой.

Из условия интерференции видно, что с увеличением порядка интерференции радиус интерференционного кольца уменьшается и уменьшается энергетический вклад в замыкаемую им область.

При использовании дифракционных устройств, например отражательной или полуотражательной фурье-голограммы, для формирования интерферограммы информационный световой поток формируется в результате дифракции света, при этом направления главных максимумов удовлетворяют качественно другому условию, чем в обычном интерферометре:

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (3.3)$$

где  $d$  – период решетки.

Первый порядок интерференции, при этом, находится из соотношения:

$$\sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{\alpha}, \quad (3.4)$$

Если период дифракционной решётки значительно больше длины волны оптического излучения, то угол наблюдения центрального максимума дифракции является маленьким. Положение центрального пятна дифракционной картины можно определить с помощью формулы, которая описывает дифракцию Френеля на круговом отверстии<sup>80</sup> [А.С. Дубовик]:

$$r = \frac{3,832l\lambda}{2(\pi)a}, \quad (3.5)$$

где  $a$  – характерный размер эталонной фурье-голограммы;

$l$  – расстояние от эталонной фурье-голограммы до плоскости изображения;

$r$  – радиус пятна дифракционной картины.

<sup>80</sup> Прикладная оптика. / А.С. Дубовик и др. – М. : Недра, 1982. – 244 с.

Запишем оценку изменения интенсивности света за пределами центрального светового пятна в виде:

$$I \geq CA_0^2 \left( \frac{l\lambda}{ar} \right)^3, \quad (3.6)$$

где  $C$  – постоянная, которую можно положить равной единице;

$A_0$  – амплитуда световой волны.

В этом случае для энергии  $W$  светового потока, распределенной в кольце на плоскости изображения, справедливо соотношение<sup>81</sup> [Островский, Ю.И.]:

$$W = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} I(r) r dr, \quad R_2 \geq R_1, \quad (3.7)$$

где  $R_1$  – внутренний радиус кольца;

$R_2$  – внешний радиус кольца.

После подстановки соотношения (3.6) в (3.7) можно записать:

$$W = (R_1 R_2) = 2\pi A_0^2 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \cdot \frac{l^3 \lambda^3}{a^3}. \quad (3.8)$$

Выражение (3.8) позволяет рассчитать радиус пятна, в пределах которого находится порядка 90% энергии светового потока, дифрагировавшего от эталонной фурье-голограммы<sup>82</sup> [Звездина, М.Ю.]

$$\frac{r_1}{R_1} = \frac{10}{16}, \quad \text{откуда } R_1 = 1,6. \quad (3.9)$$

<sup>81</sup> Островский, Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю. И. Островский, М. М. Бутусов. – М.: Наука, 1977. – 339 с.

<sup>82</sup> Звездина, М.Ю. Исследование условий экспонирования эталонной голограммы голографического интерферометра // Физические основы приборостроения / М. Ю. Звездина, А. Г. Прыгунов. – Ростов-на-Дону: Издание НТЦ УП РАН, 2012. Т. 1. – № 2. – с. 65-71.

Из анализа выражения (3.9) можно сделать вывод, что внутри кольца, радиус которого в 1,6 раза больше радиуса центрального светового пятна, сосредоточено до 90% энергии светового потока, реконструированного эталонной фурье-голограммой. При этом, интенсивность светового потока за пределами центрального пятна прожекторной зоны убывает по кубическому закону, как функция радиуса изображения.

Возможно другое исполнение схемы системы стабилизации частоты на основе голографического интерферометра. Вариант такой схемы представлен на рисунке 3.3. На рисунке 3.3 использованы следующие обозначения: 1 – лазер; 2 – коллиматор; 3 – акустооптический модулятор; 4 – фокусирующая линза; 5 – фурье-голограмма; 6 – отражательное зеркало; 7 – линейка фотоприёмников; 8 – линейка пороговых устройств; 9 – решающее устройство; 10 – реактивный элемент частото задающего контура автогенератора; 11 – стабилизируемый автогенератор;  $0, 0_1$  – точки фокусировки световых потоков;  $X$  – координатная ось;  $S(t)$  – электрический сигнал стабилизируемой частоты;  $\alpha$  – угол между фурье-голограммой и отражательным зеркалом 6.

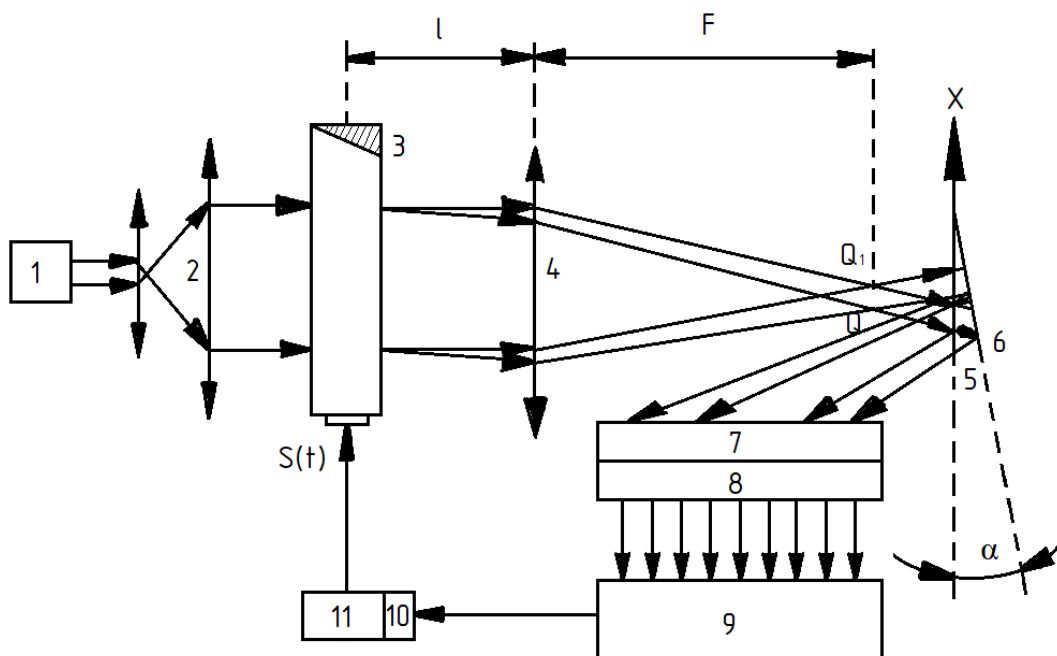


Рисунок 3.3. Схема стабилизации частоты

Схема, представленная на рисунке 3.3, работает следующим образом. Световой поток, излучаемый лазером 1, расширяется коллиматором (2) и падает на акустооптический кристалл 3, в котором на частоте генератора 11, возбуждается

акустическая волна. В результате акустооптического взаимодействия происходит отклонение оси светового потока на выходе из кристалла 3, при этом реализуется брэгговский режим взаимодействия. Линза 4 фокусирует световой поток, падающий на нее от кристалла 3, в одну из точек её фокальной плоскости, параллельно оси X, лежащей в плоскости фурье-голограммы 5. Фурье-голограмма 5 записывается в линейном режиме по оптической схеме в соответствии с рисунком 3.3 при отсутствии акустической волны в кристалле 3. Световой поток, падающий на фурье-голограмму 5, частично дифрагирует от неё, а частично проходит через эту голограмму, отражается отражательным зеркалом 6 и повторно частично проходит через эту голограмму. Световые потоки, дифрагировавший от фурье-голограммы 5 и дважды прошедший через эту голограмму, в плоскости линейки фотоприёмников (ФП) 7 формируют интерференционную картину. Ширина и положение формируемых интерференционных полос однозначно определяются положением точки фокусировки светового потока на выходе линзы 4, то есть, в конечном итоге, частотой ультразвуковых колебаний, подаваемых от стабилизируемого автогенератора 11 на акустооптический модулятор 3. На выходах отдельных фотоприёмников линейки ФП 7 появляются электрические сигналы, пропорциональные освещённости каждого отдельного фотоприёмника. Сигналы с выходов линейки ФП 7 поступают на входы линейки пороговых устройств 8, с выходов которых они поступают в цифровом виде на вход решающего устройства 9. В зависимости от поступающих на его вход сигналов, решающее устройство 9 вырабатывает управляющие сигналы на реактивный элемент 10 частотозадающего контура автогенератора 11.

С учетом обозначений, использованных на рисунке 3.3, частота ультразвуковых колебаний в акустооптическом модуляторе 3 может быть рассчитана по следующей формуле:

$$f = \frac{2 \cdot (\ell + F) \cdot v_a \cdot \Delta X}{\lambda \left[ 2(\ell + F)^2 + \Delta X \right]} \quad (3.10)$$

где  $\lambda$  – длина волны света;

$v_a$  – скорость акустической волны в кристалле;

$\Delta X$  – величина смещения точки фокусировки светового потока, дифрагировавшего на ультразвуке.

Как видно из формулы (3.10), измеряя с высокой точностью  $\Delta X$ , легко рассчитать частоту  $f$  и определить величину её отклонения от номинального значения.

Расчеты и результаты измерений, проведенных в соответствии с оптической схемой, показывают реальную возможность фиксации  $\Delta X$  с точностью порядка  $10^{-8} - 10^{-10}$  м, что открывает перспективы измерения и компенсации уходов частоты стабилизируемого автогенератора от номинала на величину  $10^{-1} - 10^{-3}$  Гц.

Эксперименты по определению чувствительности измерения перемещений точки фокусировки светового потока проводились с использованием фурье-голограмм полупрозрачного типа, экспонированных в линейном режиме во встречных световых пучках при следующих значениях угла  $\alpha$  между высокоразрешающей голографической фотопластинкой и  $\alpha = (1-3)$ . При проведении экспериментов в плоскости главного изображения формировались низкочастотные пространственные составляющие с частотами для нулевого порядка в пределах  $(0.05-1)$  1/мм [9], которые с высокой точностью разрешаются выпускаемыми отечественной промышленностью линейками и матрицами фотоприёмников.

Чувствительность голографического метода АПЧ может быть повышена на порядки путём использования в оптической схеме устройства, реализующего метод, усилительного эффекта тонкой собирающей линзы<sup>83</sup> [Прыгунов, А.Г.]. Использование тонкой собирающей линзы в оптической схеме голографической системы АПЧ может обеспечить изменение кривизны волнового фронта сферического светового потока на её выходе при значительно меньших изменениях кривизны волнового фронта, падающего на неё светового потока, что позволяет, соответственно, повысить чувствительность оптической схемы системы АПЧ к перемещениям точки фокусировки светового потока, обусловленным перемещениями отражательного зеркала в схеме голографического интерферометра. Для иллюстрации этого процесса рассмотрим рисунок 3.4.

<sup>83</sup> Прыгунов, А.Г. Повышение чувствительности голографического измерителя путём использования тонкой собирающей линзы / А. Г. Прыгунов, А. А. Краснопахтич. . – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2014. – с. 66-75.

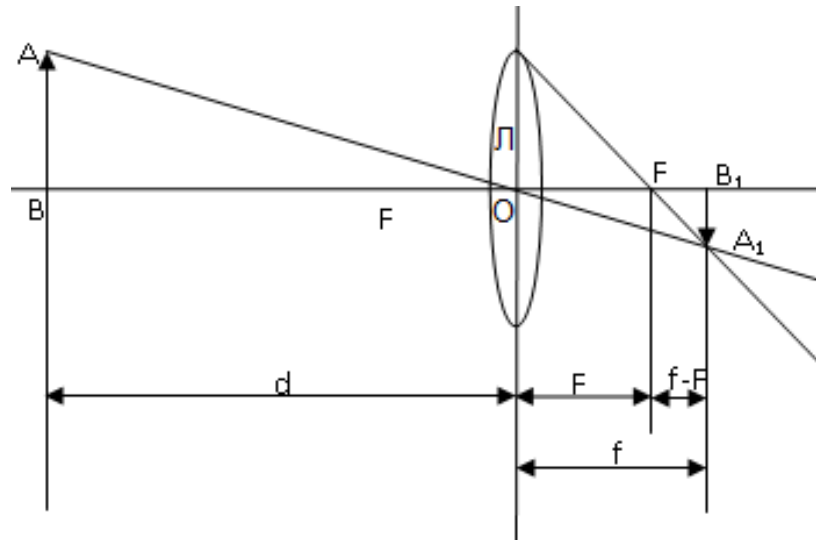


Рисунок 3.4. Эффект линейного увеличения изображения тонкой собирающей линзой

Тонкая собирающая линза обозначена на этом рисунке буквой Л, а линиями со стрелками обозначены лучи светового потока. В точке  $O$  находится оптический центр линзы. Главная оптическая ось линзы Л проходит через точки  $B$ ,  $F$ ,  $O$ ,  $F$  и  $B_1$ .  $AB = h$  – это линейный размер объекта измерений, расположенного на таком расстоянии от линзы Л, что луч  $AC$  параллелен её главной оптической оси.  $A_1B_1 = H$  – это линейный размер изображения объекта измерений.  $OC$  – это радиус линзы Л. Расстояние от оптического центра линзы до объекта обозначено буквой  $d$ , а расстояние от этого же центра до изображения объекта обозначено как  $f$ . Буквой  $F$  обозначены точки фокусов и фокусное расстояние линзы Л. Из подобия треугольников  $A_1B_1O$  и  $ABO$  следуют соотношения:

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d} \quad \text{или} \quad \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = Y, \quad (3.11)$$

где  $Y$  – линейное увеличение линзы Л.

Из подобия треугольников  $COF$  и  $FB_1A_1$  с учётом (3.11) можно записать:

$$\frac{A_1B_1}{OC} = \frac{B_1F}{OF} \quad \text{или} \quad \frac{A_1B_1}{OC} = \frac{f - F}{F} \quad (3.12)$$

Так как луч  $AC$  параллелен главной оптической оси (по построению), то можно записать, что  $AB = OC = h$ , поэтому последнюю пропорцию в (3.12) можно представить в таком виде:

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d} = \frac{f - F}{F} . \quad (3.13)$$

Из выражения (3.13) вытекает равенство

$$fF + dF = df \quad (3.14)$$

При делении всех членов этого равенства на произведение трёх величин  $fdF$ , получается известная формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} . \quad (3.15)$$

Из формулы тонкой линзы (3.15) выразим расстояние  $f$ :

$$f = \frac{dF}{d - F} . \quad (3.16)$$

Зададимся значениями величин  $d$  и  $F$ , которые могли бы быть использованы в предполагаемом  $AOAC$ . Возьмём, для примера,  $F=3$  мм; 5мм; 7мм. Будем задаваться приращениями расстояния  $d$  при условии, что  $2F \geq d \geq F$ . В таблице 3.1 представлены результаты вычислений значений величины  $\Delta f$  от значений величины  $\Delta d$  . при заданных начальных условиях.



Таблица 3.1

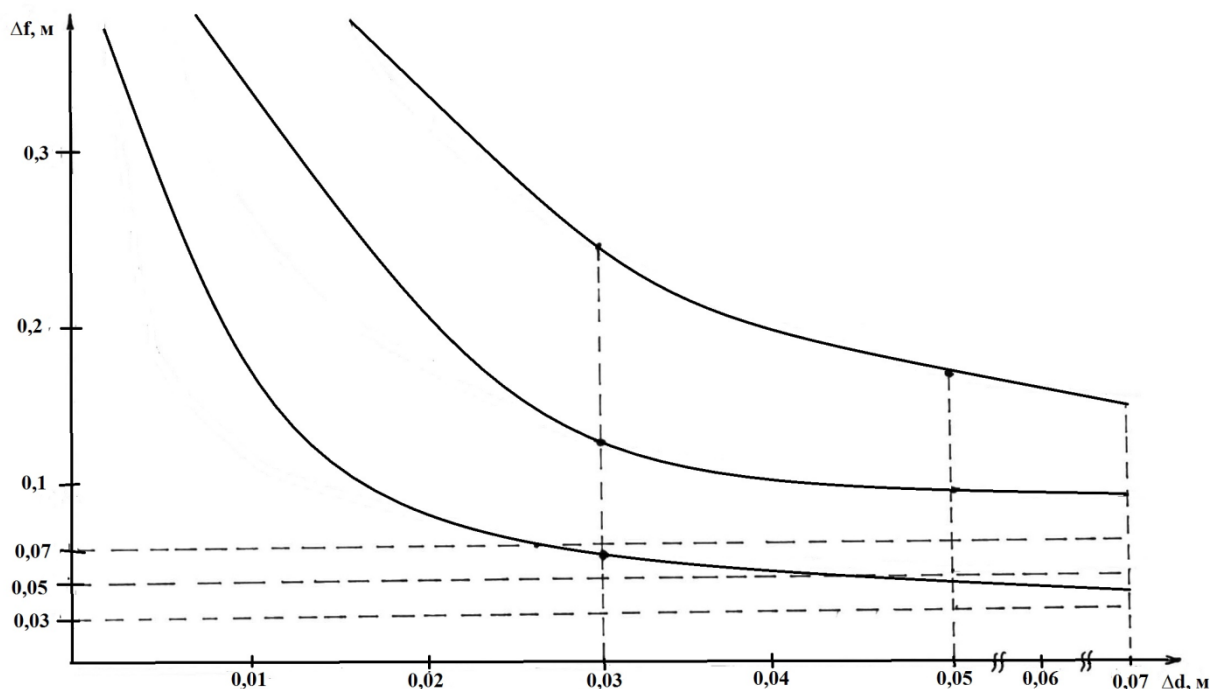
Зависимости величины  $\Delta f$  от значений величины  $\Delta d$ .

Начальные условия	$d=0,03$ м		$d=0,031$ м		$d=0,033$ м		$d=0,035$ м		$d=0,04$ м		$d=0,06$ м	
	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м
$F = 0,03$ м	0	$\infty$	0,001	0,9	0,003	0,3	0,005	0,18	0,01	0,12	0,03	0,06
Начальные условия	$d=0,05$ м		$d=0,051$ м		$d=0,053$ м		$d=0,055$ м		$d=0,08$ м		$d=0,1$ м	
	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м
$F = 0,05$ м	0	$\infty$	0,001	2,55	0,003	0,88	0,005	0,55	0,03	0,13	0,05	0,1
Начальные условия	$d=0,07$ м		$d=0,071$ м		$d=0,073$ м		$d=0,075$ м		$d=0,09$ м		$d=0,12$ м	
	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м	$\Delta d$ , м	$\Delta f$ , м
$F = 0,07$ м	0	$\infty$	0,001	4,97	0,003	1,73	0,005	1,05	0,02	0,32	0,05	0,168

Обозначим через  $\Delta d$  приращения величины расстояния  $d$  относительно его начального значения, совпадающего с точкой F заднего фокуса линзы Л, а через  $\Delta f$  обозначим приращение расстояния  $f$ , относительно начального значения, соответствующего конкретному  $\Delta d$ .

Графики зависимости значений величины  $\Delta f$  от величины  $\Delta d$  для заданных начальных условий согласно таблице 1 представлены на рисунке 3.3. Вертикальными пунктирными линиями на рисунке 3 для трёх вариантов начальных условий, соответствующих различным фокусным расстояниям, ограничивается область допустимых значений параметра  $\Delta d$ , при которых набег фазы светового потока, падающего на тонкую собирающую линзу, приводит к значительно большему набегу фазы и изменению кривизны волнового фронта светового потока на выходе этой линзы в плоскости изображения. При практической реализации голографического интерферометра на основе пространственно-спектрального метода голографической интерферометрии на эталонную фурье-голограмму должен падать световой поток, имеющий сферический или близкий к сферическому волновой фронт, что необходимо учитывать при использовании тонкой собирающей линзы в

оптической схеме голографического измерителя перемещений точки фокусировки светового потока.



**Рисунок 3.5. Зависимости величины  $\Delta f$  от значений величины  $\Delta d$  при заданных начальных условиях**

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунке 3.5, позволяет сделать несколько выводов, которые необходимо учитывать при практическом использовании тонкой собирающей линзы в оптической схеме голографического интерферометра:

- для получения большей чувствительности устройства объект измерений целесообразно размещать между двойным и одинарным задним фокусным расстоянием тонкой собирающей линзы ближе к заднему фокусу  $F$  этой линзы.

Анализ полученных расчетных соотношений и результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод о перспективности голографического метода АПЧ и принципиальной возможности его практической реализации в высокоточной голографической системе АПЧ, обеспечивающей компенсацию уходов частоты автогенератора на десятые, сотые и даже тысячные доли герца и имеющей широкую полосу схватывания.

## Глава 4. Разностно-скоростной способ стабилизации частоты генераторного оборудования

### 4.1. Актуальность способа

Непрерывный процесс совершенствования аппаратуры телекоммуникационных систем и информационно-вычислительных комплексов обуславливает постоянный рост требований к характеристикам их конструктивных элементов и, в частности, к стабильности частоты колебаний используемого в них генераторного оборудования<sup>84</sup> [Прыгунов А.Г.]. Можно отметить тот факт, что уровень допустимой относительной долговременной нестабильности частоты используемых автогенераторов определяется, как правило, степенью важности задач, решаемых конкретным типом аппаратуры, в которой используются автогенераторы. В настоящее время для качественного решения задач аппаратурой радиосвязи и радионавигации относительная долговременная нестабильность частоты используемых автогенераторов не должна превышать  $10^{-10} - 10^{-11}$ <sup>85</sup> [Прыгунов А.Г.]. Повышение стабильности частоты выходных колебаний автогенераторов всегда приводит к усложнению их схемного исполнения, росту энергопотребления, увеличению их стоимости, а также массы и габаритов. Поэтому, при определении допусков на отклонение частоты, определяющими являются такие характеристики аппаратуры, как её назначение, диапазон рабочих частот, потребляемая и выходная мощность, уровень фазовых шумов и целый ряд других характеристик.

В настоящее время в аппаратуре телекоммуникационных систем наибольшее применение находят следующие способы обеспечения стабильности частоты колебаний автогенераторов:

- параметрическая стабилизация частоты;
- кварцевая стабилизация частоты;
- использование первичных эталонов на основе атомных и кварцевых стандартов;
- использование систем автоматической подстройки частоты.

Как правило, существующие способы обеспечения стабильности частоты колебаний автогенераторов используются совместно или по отдельности. При этом

<sup>84</sup> Прыгунов А.Г. Способ стабилизации частоты генератора. / А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэлян. Патент РФ № 2197060 заявл. 13.11.2000, опубл. 20.01.2003, Бюл. № 2.

<sup>85</sup> Прыгунов А.Г. Метод оценки частот в системе генераторов. А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэлян // Физические основы приборостроения, 2012. Том 1. – № 2. – С. 72-76.

системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) играют, как правило, вспомогательную роль.

Системы АПЧ, широко используемые в настоящее время, можно разбить на два класса, которые отличаются признаком, на основании которого вырабатывается управляющее воздействие для компенсации отклонения частоты колебаний автогенератора от номинального значения. В том случае, когда в качестве указанного признака используется отклонение частоты выходных колебаний автогенератора от переходной характеристики частотного дискриминатора, то имеет место частотная система АПЧ (ЧАПЧ). Серьёзным недостатком такой системы является наличие статической ошибки регулирования по частоте, т.е. всегда имеет место остаточная расстройка частоты, которая может быть постоянной, но никогда не сводится к нулю. Система ЧАПЧ имеет важное достоинство в виде широкого диапазона начальных расстроек, в котором она включается в работу и способна резко снижать ошибку частоты колебаний автогенератора.

Если в качестве информативного признака используется отклонение фазы колебаний выходного сигнала подстраиваемого автогенератора от фазы опорного колебания, то имеет место система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В качестве чувствительного элемента системы ФАПЧ используют фазовый детектор. Важным достоинством системы ФАПЧ является нулевая статическая ошибка регулирования по частоте. Однако, системе ФАПЧ присущи серьёзные недостатки<sup>86</sup> [Прыгунов А.Г.]:

- присутствует статическая ошибка регулирования по фазе, т.е. статическое отличие фаз выходных колебаний опорного и подстраиваемого автогенераторов (или опорного генератора и сигнала);
- системы ФАПЧ, как правило, имеют узкий диапазон начальных расстроек, в пределах которого они включаются в работу.

Для устранения последнего недостатка, как правило системы ФАПЧ используют совместно с системами ЧАПЧ, при этом система ФАПЧ вступает в работу тогда, когда система ЧАПЧ введёт значение частоты подстраиваемого автогенератора в «область втягивания» системы ФАПЧ.

Анализ технических возможностей, а также достоинств и недостатков способов стабилизации частоты автогенераторов, используемых в настоящее время, позволяет сделать вывод о целесообразности разработки новых способов АПЧ, обеспечивающих включение в работу системы АПЧ в широкой полосе начальных расстроек частоты и обеспечивающих сведение к нулю расстройки по частоте. При этом, успех в решении задачи разработки такого

<sup>86</sup> Прыгунов А.Г. Способ стабилизации частоты генераторов. / А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэлян Патент РФ № 2219654 С2, заявл. 17.10.2000, опублик. 20.12.2003.

способа может быть, достигнут лишь на пути использования принципиально новых подходов к её решению.

При технической реализации современных следящих систем АПЧ используют опорные генераторы, параметры выходных колебаний которых считают эталонными и используют в процессе стабилизации частоты колебаний подстраиваемого автогенератора. Определяющим в таких системах АПЧ является тот факт, что в них невозможно получить на выходе подстраиваемого автогенератора колебания с долговременной относительной нестабильностью частоты меньшей, чем у опорного автогенератора. Этот серьёзный недостаток можно обойти, если использовать статистический подход к решению задачи обеспечения высокой стабильности частот выходных колебаний автогенераторов. Однако, при этом необходимо одновременно использовать группу, состоящую из не менее, чем трёх автогенераторов. Такой подход к решению этой задачи открывает реальные возможности получения колебаний, имеющих долговременную относительную нестабильность частоты меньшую, чем долговременная нестабильность частоты выходных колебаний любого из используемых генераторов, взятых по отдельности. Возможны различные варианты статистического подхода к решению указанной задачи:

- статистический способ стабилизации частоты колебаний генераторов;
- разностно-скоростной способ стабилизации частоты колебаний генератора.

Сущность статистического способа стабилизации частоты автогенераторов заключается в следующем. Имеется группа, состоящая из  $K$  автогенераторов., имеющих долговременные относительные нестабильности  $\delta_k (k = 1, \dots, K)$ . Для каждого из этих автогенераторов одновременно, в течение одного и того же интервала времени измерений, задаваемого  $(K + 1)$ -м генератором, производится измерение полной фазы  $\varphi_k (k = 1, \dots, K)$  выходного сигнала каждого из  $K$  генераторов. Далее, для каждого из  $K$  генераторов определяется отклонение  $\Delta\varphi_k$  полной фазы его колебаний относительно её номинального значения  $\varphi_{ок}$ , соответствующего полной фазе колебаний сигнала номинальной частоты за временной интервал измерений номинальной длительности  $T_n$ , и вычисляется среднее взвешенное значение отклонений полных фаз колебаний всей совокупности из  $K$  генераторов. После этого, для каждого из  $K$  генераторов производится коррекция отклонений полной фазы и формируется управляющий сигнал, пропорциональный не скомпенсированному значению отклонения полной фазы соответствующего автогенератора, которое определяется выражением:

$$\Delta\varphi_{ксп} = \Delta\varphi_k - \Delta\varphi_{корр}. \quad (1.1)$$

Управляющий сигнал, сформированный таким образом, используют для коррекции отклонений частоты выходного колебания соответствующего подстраиваемого автогенератора, приближая её к номинальной.

Рассмотренный способ обеспечивает решение задачи стабилизации частот выходных колебаний автогенераторов без использования высокостабильного опорного генератора. Однако, повышение стабильности частоты при использовании рассмотренного способа ограничено величиной  $K^{0,5}$ , где  $K$  – число независимых автогенераторов, используемых в системе АПЧ. Более перспективным для практического использования представляется разностно-скоростной способ стабилизации частоты автогенератора. Для реализации этого способа с задачей повышения стабильности частоты автоколебаний стабилизируемого автогенератора на порядки требуется использовать всего три независимых автогенератора. Рассмотрим этот способ более подробно.

#### 4.2. Описание разностно-скоростного способа стабилизации частоты колебаний автогенератора

Сущность разностно-скоростного способа стабилизации частоты выходных колебаний автогенератора заключается в том, что в качестве опорного используют автогенератор, имеющий меньшую среднюю скорость отклонений частоты его выходных колебаний относительно её номинального значения по сравнению со стабилизируемым автогенератором за один и тот же интервал времени, задаваемый отдельным третьим автогенератором. Находится математическое ожидание отношения отклонений от номинальных значений частот выходных колебаний стабилизируемого и опорного автогенераторов за один и тот же интервал времени при условии, что средние скорости этих отклонений на интервале измерений для обоих автогенераторов равны. Реальное отношение отклонений от номиналов частот выходных колебаний стабилизируемого и опорного автогенераторов, полученное по результатам измерений, сравнивается с найденным ранее математическим ожиданием этого отношения и, по результатам сравнения, вырабатывается управляющий сигнал для коррекции частоты подстраиваемого автогенератора. При одинаковых значениях долговременной нестабильности частот выходных колебаний стабилизируемого и опорного автогенераторов теоретически достижимая стабильность частоты колебаний подстраиваемого автогенератора будет возрастать пропорционально отношению значений частот стабилизируемого и опорного автогенераторов.

Разностно-скоростной способ стабилизации частоты выходных колебаний автогенераторов может быть с успехом использован в генераторных системах телекоммуникационных и инфокоммуникационных систем, в генераторном оборудовании аппаратуры радиолокации и радионавигации, а также в измерительных системах.

Рассмотрим более подробно сущность технической реализации разностно-скоростного способа стабилизации частоты выходных колебаний автогенератора.

Рассмотрим вариант схемной реализации разностно-скоростного способа автоматической подстройки частоты. Для схемной реализации способа необходимо использовать три автогенератора:

- низкочастотный автогенератор с частотой выходных колебаний  $f_0$ , имеющий низкую скорость ухода абсолютного значения частоты его выходных колебаний от эталонного значения;
- среднечастотный подстраиваемый автогенератор, имеющий скорость ухода абсолютного значения частоты его выходных колебаний от эталонного значения значительно большую чем у низкочастотного автогенератора;
- высокочастотный автогенератор, формирующий временной интервал измерений.

Для подстраиваемого среднечастотного и низкочастотного автогенераторов, при включении их в схему автоподстройки частоты в соответствии с разностно-скоростным методом АПЧ, средняя относительная нестабильность частоты низкочастотного подстраиваемого автогенератора  $\delta_{1t}$  будет определяться выражением:

$$\delta_{1t} = \frac{f_0}{f_1} \cdot \delta_{0t} \quad (2.1)$$

где  $\delta_{0t}$  – средняя относительная нестабильность частоты низкочастотного автогенератора за время измерения  $t_i$ ;

$f_0$  – частота выходных колебаний низкочастотного автогенератора;

$f_1$  – частота выходных колебаний среднечастотного подстраиваемого автогенератора.

Результаты проведённых исследований позволили сделать вывод о том, что нестабильность временного интервала измерения  $t_i$ , при соответствующем выборе его длительности, не оказывает сколь либо существенного влияния на величину  $\delta_{1t}$ .

Выражение (2.2) показывает, что при выполнении условий  $\delta_{0t} \leq \delta_{1t}$  и  $f_0 \ll f_1$  имеется возможность многократного (на порядки) уменьшения относительной нестабильности частоты подстраиваемого среднечастотного автогенератора по сравнению с относительной нестабильностью низкочастотного автогенератора.

На рисунке представлен вариант структурной схемы устройства, реализующего способ стабилизации частоты на основе разностно-скоростного метода, где

1 – подстраиваемый среднечастотный автогенератор импульсов;

2 – низкочастотный автогенератор импульсов;

3 – высокочастотный автогенератор импульсов;

4 –управляющее устройство;

- 5,6 – счетчики импульсов;
- 7 – формирователь начальных условий;
- 8 ÷ 11 – арифметические устройства;
- 12 – постоянное запоминающее устройство;
- 13 – цифро-аналоговый преобразователь;
- 14 – преобразователь ток – напряжение.

Устройство, представленное на рисунке, работает следующим образом. Автогенератор 1 вырабатывает импульсную последовательность с частотой  $f_1$ . Автогенератор 2 вырабатывает импульсную последовательность с частотой  $f_0$  при этом выполняется условие

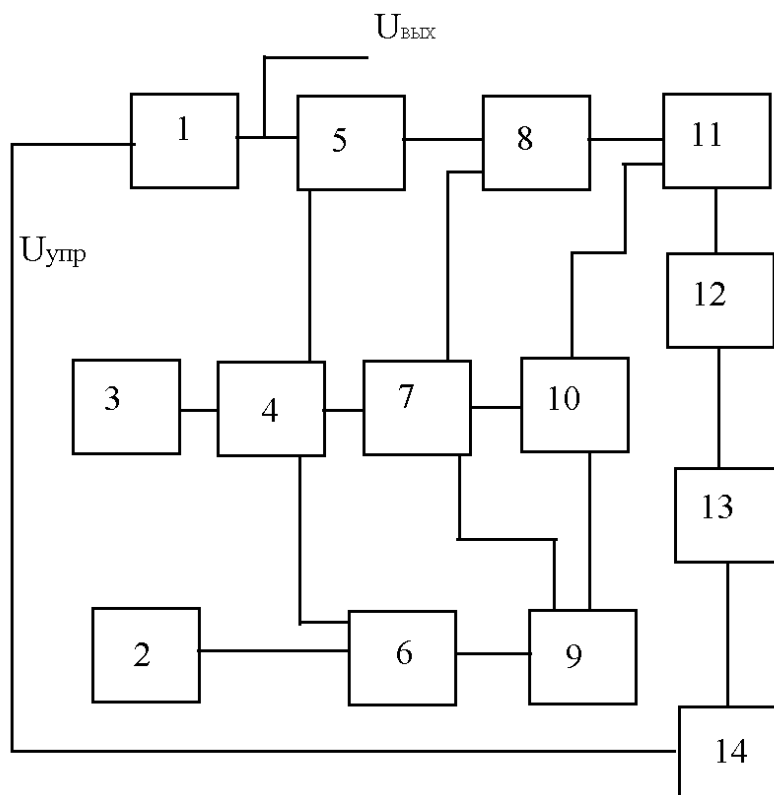
$$f_0 \ll f_1. \quad (2.2)$$

Для долговременных относительных нестабильностей частот выходных сигналов низкочастотного и подстраиваемого автогенераторов справедливо соотношение  $\delta_{от} \leq \delta_{ит}$ . Автогенератор 3 формирует временной интервал измерений и импульсы опорной частоты для работы управляющего устройства 4. Управляющим устройством 4 формируется специальная команда, обеспечивающая начальную установку цифровых элементов схемы устройства АПЧ, а также формируются сигналы, разрешающие работу счётчиков 5 и 6, т.е. сигналы начала временного интервала измерений. Длительность временного интервала измерений задаётся управляющим устройством 4, которое формирует сигнал конца этого интервала. Параметры разрядности и быстродействия цифровых элементов схемы системы АПЧ являются определяющими для задания временного интервала измерений и для вычисления управляющего сигнала для подстраиваемого по частоте среднечастотного автогенератора. Выходные импульсы подстраиваемого автогенератора 1 с частотой  $f_1$  поступают на счётный вход счётчика 5, а выходные импульсы низкочастотного автогенератора с частотой  $f_0$  поступают на счётный вход счётчика 6. Эти счётчики в течение временного интервала измерений подсчитывают импульсы от подстраиваемого и низкочастотного автогенераторов. С учётом номинальных значений частот  $f_0$  и  $f_1$  и длительности временного интервала измерений формирователь начальных условий 7 вырабатывает два числа импульсов, каждое из которых пропорционально произведению значений частот  $f_0$  и  $f_1$  соответственно на заданное номинальное значение длительности временного интервала измерений. Формирователя начальных условий 7 формирует сигнал, соответствующий количеству импульсов, которые выработал бы автогенератор 1 за абсолютно стабильный временной интервал измерений (при работе на номинальной частоте  $f_1$ ) и направляет его на первый вход арифметического устройства 8.

На второй вход арифметического устройства 8 поступает сигнал с выхода счётчика 5, соответствующий количеству импульсов, подсчитанных этим счётчиком за



реальный временной интервал измерений  $T_n$ . Арифметическое устройство 8 вычисляет разность между числом поступившим в него от формирователя начальных условий 7 и числом, поступившим в него с выхода счётчика 5.



**Рисунок 4.1. Структурная схема системы стабилизации частоты на основе разностно-скоростного метода**

Одновременно с началом этих действий, формирователь начальных условий 7 вырабатывает и направляет в арифметическое устройство сигнал, соответствующий количеству импульсов, которое выработал бы низкочастотный автогенератор 2 за абсолютно стабильный временной интервал измерений, численно равный произведению  $f_0$  на идеальный по длительности временной интервал измерений. Одновременно с этим в арифметическое устройство поступает в двоичном коде сигнал с выхода счётчика 6, соответствующий количеству импульсов, подсчитанных счётчиком 6 за реальный временной интервал измерений  $T_n$ . Арифметическое устройство 9 вычисляет разность между числом импульсов, поступивших в него от формирователя начальных условий 7 и числом импульсов, поступивших в него от счётчика 6. С выхода арифметического устройства 9 сигнал, пропорциональный вычисленной им разности чисел импульсов, подаётся на вход арифметического устройства 10. Одновременно с этим на вход арифметического устройства 10 поступает сигнал с выхода формирователя начальных условий,

задающий коэффициент умножения числа, поступающего на первый вход арифметико-логического устройства 10. Этот сигнал численно равен эталонному коэффициенту пропорциональности. С выхода арифметического устройства 10 на вход арифметического устройства 11 передается сигнал, численно равный произведению эталонного коэффициента пропорциональности на рассчитанную разность между числом импульсов, поступивших в него от формирователя начальных условий от счётчика 6. Одновременно с этим на другой вход арифметического устройства 11 с выхода арифметического устройства 8 поступает сигнал, численно равный разности между количеством импульсов, поступивших на это устройство от формирователя начальных условий и от счётчика 5. В арифметическом устройстве 11 вычисляется коэффициент управления для перестройки частоты автогенератора 1, который передается на вход запоминающего устройства 12.

В запоминающем устройстве 12 хранятся значения функции управления, каждое из которых соответствует численному значению сигнала, поступающего на его вход от арифметического устройства 11. С выхода запоминающего устройства 12 на вход цифро-аналогового преобразователя 13 передается сигнал, численно равный значению функции управления.

С выхода цифро-аналогового преобразователя 13 аналоговый токовый сигнал управления поступает на вход преобразователя ток – напряжение 14, с выхода которого сигнал управления в виде управляющего напряжения поступает на реактивный элемент частото задающего контура генератора 1 для коррекции частоты его выходных колебаний.

Результаты математического моделирования и данные экспериментальных исследований подтверждают техническую реализуемость и перспективность использования в средствах связи статистических подходов к построению генераторного оборудования систем синхронизации, что открывает широкие возможности для повышения качества и надежности функционирования телекоммуникационных систем.

#### **4.3. Оценка остаточной дисперсии линейного закона управления в разностно-скоростном способе стабилизации частоты генераторного оборудования**

Для качественного функционирования телекоммуникационных систем, исключающего потерю информации, необходимо обеспечить минимизацию относительной долговременной нестабильности частоты генераторного оборудования. Возможным вариантом решения этой задачи является использование разностно-скоростного способа стабилизации частоты генераторного оборудования.

Сущность данного способа заключается в том, что в качестве опорного используется генератор, средняя скорость отклонения частоты которого от своего номинального значения меньше, чем у стабилизируемого генератора. Для каждого

уз двух генераторов, стабилизирующего и опорного, за один и тот же интервал времени, задаваемый третьим генератором, регистрируется число периодов колебаний выходных сигналов. После этого за указанный временной интервал, для каждого из двух генераторов находятся отклонения чисел периодов колебаний их выходных сигналов относительно номинальных значений и определяются отношение этих отклонений. Полученное отношение сравнивается с его эталонным значением, найденным из условия равенства на одном и том же временном интервале измерений средних скоростей отклонений частот опорного и стабилизируемого генераторов относительно их номинальных значений, обусловленных лишь собственными нестабильностями частот опорного и стабилизируемого генераторов, без учёта нестабильности временного интервала измерений. По результатам сравнения формируется управляющий сигнал для коррекции частоты стабилизируемого генератора. В качестве устройства управления используется микропроцессор.

Оценим возможность использования линейного законауправления частотой подстраиваемого генератора в разностно-скоростном методе стабилизации его частоты. Обозначим  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$  отклонения от номинальных значений чисел периодов колебанийстабилизируемого и опорного генераторов соответственно за один и тот же интервал времени при условии, что эти отклонения обусловлены лишь собственными нестабильностями генераторов. Исходя из нормального закона распределения указанных отклонений, можно записать:

$$f(\Delta N_1, \Delta N_2) = \frac{1}{2\pi\delta_1\delta_2\sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[ \left( \frac{\Delta N_1}{\delta_1} \right)^2 + \left( \frac{\Delta N_2}{\delta_2} \right)^2 - 2r \cdot \frac{\Delta N_1}{\delta_1} \frac{\Delta N_2}{\delta_2} \right] \right\}, \quad (3.1)$$

где:  $\delta_1, \delta_2, r$  – числовые характеристики закона распределения, причем  $r$  – коэффициент корреляции между  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$ .

Параметры стабилизируемого и опорного генераторов выбираем таким образом, что при возрастании  $\Delta N_2$  величина  $\Delta N_1$  также имеет тенденцию к увеличению, а коэффициент корреляции находится в интервале

$$0 < r < 1. \quad (3.2)$$

Рассмотрим случайную величину  $Z$ , которая связана с  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$  зависимостью

$$Z = \Delta N_1 - \Delta N_2. \quad (3.3)$$

С учётом характера распределения случайных величин  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$  величина  $Z$  распределена по нормальному закону с параметрами<sup>87</sup> [Шмидт Г.]:

$$\begin{aligned} m_z &= 0, \\ \delta_z &= \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 - 2r\delta_1\delta_2}, \\ 0 &< r < 1. \end{aligned} \quad (3.4)$$

При условии, что  $\delta_1$  и  $\delta_2$  среднеквадратические отклонения частот стабилизируемого и опорного генераторов соответственно и, учитывая использование линейного закона управления частотой подстраиваемого генератора в разностно-скоростном методе стабилизации частоты, будет справедливо записать:

$$\delta_1 = K\delta_2, \quad K > 0, \quad (3.5)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Подставим (3.5) в (3.4) и найдём дисперсию величины  $Z$ .

$$\delta_z^2 = \delta_2^2(K^2 - 2Kr + 1). \quad (3.6)$$

В выражении (3.6) величины  $\delta_2$ ,  $r$  – некоторые числа, а  $K$  – переменная величина и  $\delta_z^2$  является функцией одной переменной. Найдём производную от  $\delta_z^2$  по  $K$ :

$$\frac{d(\delta_z^2)}{dK} = 2\delta_2^2(K - r). \quad (3.7)$$

Из анализа (3.7) ясно, что минимум дисперсии  $\delta_z^2$  наблюдается при выполнении условия  $K = r$ . Запишем (3.6) с учётом этого условия:

<sup>87</sup> Шмидт Г. Параметрические колебания / Г. Шмидт. – М.: Мир, 1978. - с. 212-225.

$$\min(\delta_z^2) = \delta_2^2(1 - r^2). \quad (3.8)$$

Величина, стоящая в правой части выражения (3.8) имеет смысл остаточной дисперсии, а закон линейного управления может быть записан в виде:

$$\delta_1 = r\delta_2, 0 < r < 1. \quad (3.9)$$

Из соотношений (3.8) и (3.9) следует принципиальный вывод о том, что дисперсия управляемой величины (частоты подстраиваемого генератора) может быть меньше дисперсии закона управления. Расчёты, проведённые для линейного закона управления, приводят к соотношениям:

$$\delta_z = \delta_1 \cdot \gamma^{3/2}, \quad (3.10)$$

$$\delta_z = \delta_2 \cdot \gamma^{1/2}, \quad (3.11)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{\delta_2}{\delta_1}. \quad (3.12)$$

Анализ выражений (3.8), (3.9), (3.10) и (3.11) позволяет сделать вывод о возможности использования линейного закона управления в разностно-скоростном способе стабилизации частоты генераторного оборудования, что обеспечит эффективную практическую реализацию этого способа.

#### 4.4. Оценка влияния нелинейности на стабильность и точность частот генераторного оборудования перспективной аппаратуры радиосвязи

Для решения указанной задачи оценим влияние малой нелинейности на процесс формирования свободных колебаний резонансной колебательной системы отдельного кварцевого генератора.

4.1 Уравнение свободного движения консервативного нелинейного осциллятора имеет вид:

$$z + f(x) = 0, \quad (4.1)$$

где  $f(x)$  - восстанавливающая сила в безразмерном виде <sup>88</sup>[ Моисеев Н.Н ].

Поперечные перемещения стержня, поддерживающие упругое невесомое покрытие, описывается с помощью функции:

$$f(x) = x + x^3, \lambda > 0. \quad (4.2)$$

Свободные колебания в электрическом контуре без затухания с нелинейной ёмкостью описываются (4.2) при использовании сегнетоэлектрика. Величина  $\lambda$  называется коэффициентом нелинейности. Уравнение (4.1) с восстанавливающей силой (4.2) при  $\lambda > 0$  или  $\lambda < 0$  принято называть уравнением Дюффинга.

В случае математического маятника, совершающего плоское движение, функция  $f(x)$  равна

$$f(x) = \sin x = x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - \dots \quad (4.3)$$

Масса, колеблющаяся в направлении, перпендикулярном направлению к оси растянутых пружин, приводит к восстанавливающей силе следующего вида:

$$f(x) = x \left( 1 + \beta - \frac{\beta}{\sqrt{1+x^2}} \right), \beta > 0. \quad (4.4)$$

В (4.2) и (4.4) восстанавливающая сила соответствует жесткой (грубой) системе, а в (4.3) – мягкой системе.

4.2 Рассмотрим свободное движение осциллятора, имеющее вид уравнения

Дюффинга:

$$\ddot{x} + x\lambda x^3 = 0 \quad (4.5)$$

Уравнение (4.5) допускает понижение порядка.

Положим:

---

<sup>88</sup> Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейных колебаний / Н.Н. Моисеев. – М.:Наука, 1981. - с. 11-18.

$$\dot{x} = v, \quad v = v(x)$$

Имеем:

$$\ddot{x} = \dot{v} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx} \quad (4.6)$$

Следовательно, уравнение (4.5) принимает вид:

$$v \frac{dv}{dx} + x + \lambda x^3 = 0. \quad (4.7)$$

Разделяя переменные, получим:

$$v dx + (x + \lambda x^3) dx = 0.$$

Интегрируя последнее уравнения, находим:

$$\frac{v^2}{2} + \Pi(x) = C_0, \quad C_0 = const, \quad (4.8)$$

где  $\Pi(x)$  - потенциальная энергия.

$$\Pi(x) = \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{4} \lambda x^4. \quad (4.9)$$

Постоянная  $C_0$  находится из начальных условий:

$$v(x_0) = v_0, \quad x(0) = x_0, \quad (4.10)$$

Значение  $C_0$  равно:

$$C_0 = \frac{v_0^2}{2} + \Pi(x_0). \quad (4.11)$$

Выразим  $v$  из уравнения (4.8)

$$v(x) = \pm \sqrt{2C_0 - \Pi(x)}. \quad (4.12)$$

На плоскости  $(x, v)$  фазовая траектория состоит из двух ветвей.

Рассмотрим случай  $\lambda=0$

Фазовая траектория линейного осциллятора представляет собой окружность.

Пусть  $\lambda > 0$  (жесткая система).

Постоянная  $C_0 > 0$  при любых значениях  $v_0, x_0$  в начальных условиях (4.10). Графическое построение показывает, что фазовая траектория замкнута, т.е. решение (4.5) удовлетворяет начальным условиям (4.8) и является периодическим. Постоянная  $C_0$  определяется выражением:  $C_0 = \frac{1}{2} v^2(0)$ , где  $v(0)$  - значение скорости, соответствующее значению  $x=0$ .

Из (4.11) видно, что (при одних и тех же значениях  $v_0, x_0$ ) увеличение параметра нелинейности  $\lambda$  приводит к увеличению скорости  $v(0)$ . Точки пересечения фазовой траектории с осью  $x$  находится из решения уравнения  $\Pi(\pm x_1) = C_0$ , причем

$$x_1 = 2 \sqrt{\frac{C_0}{1 + \sqrt{1 + 4\lambda C_0}}}, \quad \lim_{\lambda \rightarrow 0} x_1 = x_0. \quad (4.13)$$

Предельные значения  $x_1$  соответствуют очень жесткой нелинейной системе. В очень жесткой нелинейной системе ( $x_0 = \text{const}$ ), происходит вытягивание фазовой траектории вдоль оси  $v$ . Условие  $x_0 \neq 0$  - существенно.

Рассмотрим случай  $\lambda < 0$  (мягкая система).

Постоянная  $C_0$ , заданная формулой (4.11), имеет два максимума, соответствующие значениям  $x_0 = \pm x_2$ , где  $x_2$  равно

$$x_2 = \sqrt{-\frac{1}{\lambda}}, \quad \lambda < 0. \quad (4.14)$$

Значение максимума  $c_0(x_0)$  равно:

$$\max c_0(x_0) = \frac{v_0^2}{2} - \frac{1}{4\lambda}, \quad \lambda > 0. \quad (4.15)$$



Функция  $\omega(x_0) < 0$ , если

$$Ix_0I \geq x_3, \quad x_3 = -\frac{1}{\lambda} \left( 1 + \sqrt{1 - 2\lambda v_0^2} \right). \quad (4.16)$$

Потенциальная энергия  $\Pi(x)$  согласно (4.9) имеет два максимума, соответствующие значениям  $x_0 = \pm x_2$ , где  $x_2$  найдено в (4.14)

$$\max \Pi(x) = -\frac{1}{4\lambda} = \frac{1}{4|\lambda|} = C^* > 0. \quad (4.17)$$

Из (4.15) и (4.17) видно, что существует такие значения  $C_0$ , которые удовлетворяют неравенству  $C_0 > C^*$ . Уточним область начальных значений  $y_0, x_0$ , которая позволяет выполнить указанное неравенство. Зафиксируем значения  $x_0$  и определим область значений  $v_0^2$  в виде неравенства:

$$v_0^2 > \frac{1}{2} \left( \frac{1}{|\lambda|} + |\lambda| x_0^4 \right) - x_0^2. \quad (4.18)$$

В (4.18) выполнено неравенство  $C_0 > C^*$ .

## ТЕОРЕМА

При выполнении начальных условий, удовлетворяют неравенству (4.18), движение, описываемое задачей Коши для уравнения Дюффинга, соответствующего мягкой системе, является неограниченным.

## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Рассмотрим в (4.12) правую часть. Она определена при любых  $x$  и является возрастающей функцией при  $x \rightarrow \pm\infty$ .

Доказательство теории окончено.

Уточним описание траектории на фазовой плоскости при выполнении (4.18) Обозначим правую часть неравенства (4.18)

$$v_1^2(x_0, \lambda) > \frac{1}{2} \left( |\lambda| x_0^4 - 2x_0^2 + \frac{1}{|\lambda|} \right). \quad (4.19)$$

Нетрудно доказать, что

$$v_1^2(x_0, \lambda) > 0, \quad x_0^2 \neq \frac{1}{|\lambda|};$$
$$v_1^2(\pm x_2, \lambda) > 0, \quad x_2 = \sqrt{\frac{1}{|\lambda|}}.$$

Отсюда следует, что фазовые траектории, удовлетворяющие неравенству (4.18), не пересекают ось  $X$ .

Рассмотрим фазовые траектории мягкой системы, которые пересекают ось  $X$ .

Пусть постоянная  $C_0$  удовлетворяет неравенству  $C_0 < C^*$ . В результате получаем

$$v_0^2 < v_1^2(x_0, \lambda),$$

где  $v_1^2(x_0, \lambda)$  определено в (4.19).

Таким образом, получено неравенство, которое противоположно по смыслу неравенству в (4.18). Начальные условия в (4.10) задаются в произвольный момент времени, поэтому удобнее задавать условия в момент пересечения фазовой траектории оси  $X$ .

$$v(x_0) = 0, \quad x(0) = x_0. \quad (4.20)$$

Подставим (4.20) в (4.12), учтем неравенство  $C_0 < C^*$ , имеем

$$C_0 = \Pi(x_0), \quad \frac{1}{2} x_0^2 - \frac{|\lambda|}{4} x_0^4 < \frac{1}{4|\lambda|},$$

то есть  $v_1^2(x_0, \lambda) > 0$ .

Отсюда выводим два начальных условия:

$$v(x_0) = 0, \quad x(0) = x_0, \quad 0 < |x_0| < \frac{1}{\sqrt{|\lambda|}}, \quad (4.21)$$

$$v(x_0) = 0, \quad x(0) = x_0, \quad |x_0| > \frac{1}{\sqrt{|\lambda|}}. \quad (4.22)$$

При выполнении начальных условий (4.21) движение периодическое, а фазовые траектории – замкнутые линии, которые окружают начало координат. При выполнении начальных условий (4.22) решение уравнение Дюффинга неограниченно.

Подробнее рассмотрим траектории периодического движения Согласно (4.21) положим

$$|x_0| > \sqrt{\frac{1}{|\lambda|}}, \quad 0 < \varepsilon < 1. \quad (4.23)$$

Из (4.21) и (4.11) найдем  $C_0$ . Из (4.12) определим  $\sqrt{v(x)}$ . В результате имеем формулу фазовой траектории:

$$|v(x)| = \sqrt{\frac{\varepsilon}{|\lambda|} \left(1 - \frac{\varepsilon}{2}\right) - x^2 + \frac{x^4 |\lambda|}{2}}, \quad |x| \leq |x_0|, \quad 0 < \varepsilon < 1. \quad (4.24)$$

Воспользуемся (4.24) и вычислим отношение

$$\left| \frac{v(0)}{x_0} \right| = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon}{2}}, \quad 0 < \varepsilon < 1. \quad (4.25)$$

Из (4.25) следует, что фазовые траектории периодического движения мягкой системы вытянуты вдоль оси  $X$ . В этом качественно заключается отличие фазовых траекторий периодических движений мягкой и жестких нелинейных систем. Формулы (4.24) позволяют определить скорость в любой точке фазовой траектории в явном виде при известном начальном отклонении системы, описанном в (4.21) и (4.23).

Уравнение фазовой траектории (4.12) в неявной форме имеет вид  $F(x, v) = 0$ , где  $F$  равно:

$$F(x, v) = v^2 - 2C_0 + x^2 + \frac{\lambda}{2}x^4.$$

Особые точки имеют координаты  $(0,0)$ ,  $(-x^2, 0)$ ,  $(x^2, 0)$ , где

$$x_2 = \sqrt{-\frac{1}{\lambda}}.$$

Угловой коэффициент касательной  $k = v'$  находится из уравнения

$$A + 2BK + CK^2 = 0,$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – значения производных

$$\frac{d^2F}{dx^2}, \frac{d^2F}{dx dv}, \frac{d^2F}{dv^2},$$

в точке. Найдем произвольные второго порядка:

$$\frac{d^2F}{dx^2} = 2 + 6\lambda x^2, \quad \frac{d^2F}{dx dv} = 0, \quad \frac{d^2F}{dv^2} = 2.$$

Дискриминант квадратного уравнения относительно  $K$  имеет вид

$$B^2 - AC = -2(2 + 6\lambda x^2) < 0.$$

Таким образом, особые точки таковы, что в них не касательной. Такие точки называют изолированными. В малой окрестности изолированных точек возвращающая сила имеет различное поведение. Проведем анализ возвращающей силы путём сложения в степенной ряд. Удерживая первый член степенного ряда, выводим:

$$\begin{aligned} (0,0), f(x) &\approx x; \\ (-x^2, 0), f(x) &\approx -2(x + x_2); \\ (x^2, 0), f(x) &\approx -2(x - x_2). \end{aligned}$$

Из формулы видно, что в точке(0,0) возвращающая сила направлена к положению равновесия. В остальных точках возвращающая сила превращается в отталкивающую.

4.3 Построим общий интеграл уравнения Дюффинга<sup>89</sup> [Мигулин В.В.] в случае жёсткой системы:

$$x + x + \lambda x^3 = 0, \quad \lambda > 0. \quad (4.26)$$

Решение (4.26) отыскиваем в виде эллиптического косинуса

$$x = a \operatorname{cn}(u, k), \quad u = \sigma t, \quad (4.27)$$

где  $a$ ,  $\sigma$ ,  $k$  – неизвестные постоянные.

Воспользуемся известными соотношениями из теории эллиптических функций<sup>90</sup> [Вентциль Е. С]:

$$(\operatorname{cnu})' = -\operatorname{sn}u \operatorname{du}, \quad (\operatorname{snu})' = \operatorname{cnu} \cdot \operatorname{dnu}, \quad (\operatorname{dnu})' = -k^2 \operatorname{snu} \cdot \operatorname{cnu}. \quad (4.28)$$

Найдем производные от (4.27)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -a\sigma \operatorname{sn}u \operatorname{du}; \\ \ddot{x} &= -a\sigma^2 (\operatorname{cn}u \operatorname{dn}^2 u - k^2 \operatorname{sn}^2 u \operatorname{cnu}) = -x\sigma^2 (\operatorname{dn}^2 u - k^2 \operatorname{sn}^2 u). \end{aligned} \quad (4.29)$$

Преобразуем (4.29), используя другие соотношения теории эллиптических функций:

$$\begin{aligned} \operatorname{sn}^2 u &= 1 - \operatorname{cn}^2 u; \\ \operatorname{dn}^2 u &= 1 - k^2 \operatorname{sn}^2 u = 1 - k^2 + \operatorname{cn}^2 u. \end{aligned} \quad (4.30)$$

Получим

<sup>89</sup> Мигулин В.В. Основы теории колебаний / В.В. Мигулин, В. И. Медведев, Е.Р. Мустель. – М.:Наука, 1978. – с. 98-128.

<sup>90</sup> 7. Вентциль Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентциль. . – М.:КНОРУС, 2010. – 664 с.

$$\ddot{x} = -x\sigma^2 \left[ (1-k^2) + k^2 cn^2 u - k^2 (1-cn^2 u) \right] = x\sigma^2 \left[ (1-k^2) + \frac{2k^2}{a^2} x^2 \right].$$

то есть

$$\ddot{x} + \sigma^2 (1-2k^2)x + \frac{2k^2\sigma^2}{a^2}x^3 = 0. \quad (4.31)$$

Из (4.27) и (4.31) выводим два уравнения

$$\sigma^2 (1-2k^2) = 1, \quad \frac{2k^2\sigma^2}{a^2} = \lambda. \quad (4.32)$$

В уравнении (4.32) входят три неизвестных, поэтому рассмотрим начальные условия:

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (4.33)$$

Удовлетворим начальным условиям, учитывая, что  $cn(0, k) = 1, sn(0, k) = 0$ .  
Найдём, что  $a = x_0$ , т.е. смещение в начальный момент времени. По условиям  $\lambda > 0$ , поэтому в (4.32) значение  $k$  удовлетворяют неравенству

$$0 \leq |k| \leq \frac{1}{\sqrt{2}}. \quad (4.34)$$

В результате имеем общий интеграл уравнения Дюффинга (жёсткая система) в виде

$$x = x_0 cn(\sigma t, k), \quad (4.35)$$

где

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1-2k^2}}, \quad \lambda = \frac{2k^2}{x_0^2(1-2k^2)}. \quad (4.36)$$

Значения  $K$  в (4.34) соответствуют интервалу параметра нелинейности  $\lambda$ , который изменяется от нуля до бесконечности.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Получена формула зависимости частоты свободных колебаний от энергии колебательной системы с учётом нелинейности, которая позволяет учесть параметры исходного состояния колебательной системы при её запуске.
2. Нелинейность колебательной системы автогенератора существенным образом влияет на точность и стабильность частот его выходных колебаний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монография «Современное развитие телекоммуникационных систем и компьютерных сетей» разработана на основе результатов научных исследований авторов.

Результаты выполненных исследований показали актуальность и своевременность для российской экономики рассматриваемых вопросов в области становления цифрового общества, цифрового государства.

В работе значительное внимание уделено вопросам, связанным с развитием электронного бизнеса, электронного образования, цифровой экономики, глобальной информационной инфраструктуры.

В целом, работа отражает научные взгляды на современное состояние и развитие информационной среды. Она представляет интерес как для специалистов в области проведения научных исследований, так и специалистов-практиков.



## Библиографический список

1. Абдрахманова Г.И., Гохберг Л.М., Кевеш М.А. [и др.]. Индикаторы цифровой экономики: 2017: статистический сборник / М.: НИУ ВШЭ, 2017. 320 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.hse.ru/primarydata/ice2017> (дата обращения: 18.06.2018).
2. Ананченко И.В. Сети связи и системы коммутации: учеб. пособие / И.В. Ананченко. СПб.: ИТМО, 2013. 120 с. [Электронный ресурс]: URL: [http://open.ifmo.ru/images/2/2b/147415\\_book.pdf](http://open.ifmo.ru/images/2/2b/147415_book.pdf) (дата обращения: 23.06.2018).
3. Бабешко В.Н. Многопроцессорные системы в туманных вычислительных сетях // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Материалы 4 - ой международной научно-практической конференции – Курск, 2014 [Электронный ресурс]: URL: <http://sdo.nsuem.ru/mod/book/view.php?id=7589> (дата обращения: 24.06.2018).
4. Балашова С.А., Лазанюк И.В. Развитие отрасли информационных технологий в Индии // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Экономика. 2004. №1(10). С.69-81: [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/razvitie-otrasli-informatsionnyh-tehnologiy-indii> (дата обращения: 20.06.2018).
5. Бангеманн: [Электронный ресурс]: URL: [http://wiki.iis.ru/wiki/Документ\\_Бангеманна](http://wiki.iis.ru/wiki/Документ_Бангеманна) (дата обращения: 23.06.2018)
6. Биккенин Р.Р., Чеснокова М.Н. Теория электрической связи. М.: Академия, 2010. 336 с.
7. Бирюкова О.В., Матюхина А.И. Страны BRICS на мировом рынке ИКТ-услуг: [Электронный ресурс]: URL: [https://www.hse.ru/data/2017/03/10/1166798770/Аффилиация\\_стр.41.ЛА.pdf](https://www.hse.ru/data/2017/03/10/1166798770/Аффилиация_стр.41.ЛА.pdf) (дата обращения: 12.06.2018).
8. Болезненный удар по Visa и MasterCard, или что ждет американские платежные системы в России. Сайт RosInvest: [Электронный ресурс]: URL: <http://rosinvest.com/page/bolezennyj-udar-po-visa-i-mastercard-ili-chto-zhdet-amerikanskije-platezhnye-sistemy-v-rossii> (дата обращения: 12.06.2018).
9. Бурнашев И.Я. Передача дискретных сообщений: учеб. пособие / И.Я. Бурнашев; Ростов н/Д.: ФГБОУ ВО РГУПС, 2016. 124 с.
10. Бутиков, Е. И. Оптика / Е. И. Бутиков. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.
11. Вентциль Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентциль. . – М.:КНОРУС, 2010. – 664 с.

12. Вершинская О.Н. Существующие модели построения информационного общества // Информационное общество. 1999. №3. [Электронный ресурс]: URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/1f41ce7df933b2dfc32568c50027cde3> (дата обращения: 17.05.2018).
13. Гавра Д. Основы теории коммуникации. СПб.: Питер, 2011. 288 с.
14. Герасимов А. От М2М к интернету сервисов // ИнформКурьер-Связь. 2015. № 5-6. С.70-73. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.iksmedia.ru/articles/5220957-Ot-M2M-k-internetu-servisov.html> (дата обращения: 13.04.2018).
15. Глухов В.В., Балашова Е.С. Экономика и менеджмент в инфокоммуникациях. СПб.: Питер, 2012. 272 с.
16. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения; ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы; РД 50-680-88 Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения.
17. Григорьев В.А. Презентация Порядок выполнения курсовой работы по дисциплине «Проектирование вычислительных сетей» Тверь ТГТУ. 2017. - 51 с. [Электронный ресурс]: URL <https://ppt-online.org/230949> (дата обращения: 25.06.2018).
18. Декларация принципов «Построение информационного общества – глобальная задача в новом тысячелетии». Всемирная встреча на высшем уровне по вопросам информационного общества. Женева, 2003 г. – Тунис, 2005 г.: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.un.org/ru/events/pastevents/pdf/dec\\_wsisis.pdf](http://www.un.org/ru/events/pastevents/pdf/dec_wsisis.pdf) (дата обращения: 20.06.2018).
19. Дубовик А.С. Прикладная оптика. – М. : Недра, 1982. – 244 с.
20. Затуранов М.Н. Построение сетевых информационных систем на основе принципа виртуализации // Прикладная информатика. 2013. № 6 (48). С. 80-87. [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/postroenie-setevyh-informatsionnyh-sistem-na-osnove-printsipa-virtualizatsii> (дата обращения: 24.06.2018).
21. Звезда, М.Ю. Исследование условий экспонирования эталонной голограммы голографического интерферометра // Физические основы приборостроения / М. Ю. Звезда, А. Г. Прыгунов. – Ростов-на-Дону: Издание НТЦ УП РАН, 2012. Т. 1. – № 2. – с. 65-71.

22. Иванов В., Колесова С., Линдхольм П., Лукша О. Бенчмаркинг: поиск примеров эффективной маркетинговой практики инновационных релей-центров // Центр исследований проблем развития науки РАН: редколл.: ЦИПРАНРАН, 2006. 264 с.
23. Интернет-аудитория в мире [Электронный ресурс]: URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья%3AИнтернет-доступ\\_%28мировой\\_рынок%29](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья%3AИнтернет-доступ_%28мировой_рынок%29) (дата обращения: 12.06.2018).
24. Информационное общество. Википедия. Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационное\\_общество](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационное_общество) (дата обращения: 12.06.2018).
25. Информационное общество в странах Азиатского и Тихоокеанского региона. В Бразилии и в странах Ближнего Востока. В Индии. Характеристики и тенденции развития: [Электронный ресурс]: URL: [https://studwood.ru/2296518/informatika/informatsionnoe\\_obschestvo\\_stranah\\_aziatskogo\\_tihookeanskogo\\_regiona\\_brazilii\\_stranah\\_blizhnego\\_vostoka](https://studwood.ru/2296518/informatika/informatsionnoe_obschestvo_stranah_aziatskogo_tihookeanskogo_regiona_brazilii_stranah_blizhnego_vostoka) (дата обращения: 20.06.2018).
26. Информационные технологии : учебник / Ю. Ю. Громов, И. В. Дидрих, О. Г. Иванова, М. А. Ивановский, В. Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 260 с. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2015/gromov-t.pdf> (дата обращения: 23.06.2018).
27. Информационные системы и технологии: учебное пособие / И.Л. Чудинов, В.В. Осипова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 145 с.
28. ИТ в госсекторе Индии: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок\\_Индии](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_Индии) (дата обращения: 20.06.2018).
29. Каганов В.И. Системы автоматического регулирования в радиопередатчиках / В.И. Каганов. - М.:Связь, 1969. - 232с.
30. Капланов М.Р. Автоматическая подстройка частоты / М.Р. Капланов, В.А. Левин. - М.: Энергоиздат, 1963г. - 176с.
31. Колин К.К. Социальная информатика. М.: Академический Проект, Фонд «Мир», 2003. 432 с.
32. Коэффициент Джини: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент\\_Джини](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_Джини) (дата обращения: 18.06.2018).
33. Креопалова, Г.В. Оптические измерения / Г. В. Креопалова, Н. Л. Лазарева. – М.: Машиностроение, 1987. – 161 с.
34. Лебедев А.А., Савинов Ю.А. Информационные технологии в формировании национальной конкурентоспособности стран в мировой экономике // Российский экономический вестник. 2011. №8. С.25-54.

35. Матвеев, А. Н. Оптика / А. Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1985. – 562 с.
36. Мартин У.Дж. Информационное общество (Реферат) // Теория и практика общественно-научной информации. Ежеквартальник / АН СССР. ИНИОН; редкол.: Виноградов В.А. (гл. ред.) и др. М., 1990. №3. С.115-123.
37. Мигулин В.В. Основы теории колебаний / В.В. Мигулин, В. И. Медведев, Е.Р. Мустель. – М.:Наука, 1978. - с. 98-128.
38. Модели информационного общества: [Электронный ресурс]: URL: [https://studref.com/328341/ekonomika/modeli\\_informatsionnogo\\_obschestva](https://studref.com/328341/ekonomika/modeli_informatsionnogo_obschestva) (дата обращения: 14.06.2018).
39. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейных колебаний / Н.Н. Моисеев. – М.:Наука, 1981. - с. 11-18
40. Морозов Г. Проблемы тактовой синхронизации цифровых местных телефонных сетей / Г. Морозов. – М.: Радио, 1999. №11. – с. 71-72
41. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Указ Президента РФ от 7.05.2018г. [Электронный ресурс]: URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения: 8.05.2018).
42. «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Указ Президента РФ от 9 мая 2017 года № 203: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (дата обращения: 11.06.2018).
43. Окинавская хартия Глобального информационного общества: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/3170> (дата обращения: 22.06.2018).
44. Островский, Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю. И. Островский, М. М. Бутусов. – М.: Наука, 1977. – 339 с.
45. Панцырев К.А. Современные модели информационного общества: типологическая характеристика // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 6. Политология. Международные отношения. 2011. С.39-44.
46. Паньшин Б. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Наука и инновации. 2016. № 3. С. 17-20. [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-ekonomika-osobennosti-i-tendentsii-razvitiya> (дата обращения: 30.05.2018).
47. Петров В. Н. Информационные системы: учебник / В.Н. Петров – СПб.: Питер, 2003. – 688 с
48. Петрущенко В.В. Учет неоднородностей в оболочечном анализе данных // Control science. 2013. №5. С.2-11.

49. «План мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. Правительственной комиссией по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности протокол №2 от 18 декабря 2017 г. [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/DAMotdOImu8U89bhM7IZ8Fs23msHtcim.pdf> (дата обращения: 8.05.2018).

50. Платежные карты «МИР». Досье: [Электронный ресурс]: URL: <http://tass.ru/info/4225994> (дата обращения: 12.06.2018).

51. Портал государственных программ: [Электронный ресурс]: URL: <http://programs.gov.ru/Portal/analytics/quarterReportToGovernment?year=2014&quarter=4> (дата обращения: 24.06.2018).

52. Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).

53. Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) / под ред. Л.М. Гохберга. М.: Министерство образования и науки Российской Федерации, национальный исследовательский ун-т «Высшая школа экономики», 2014. 244 с. [Электронный ресурс]: URL: [https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz\\_2030\\_final.pdf](https://prognoz2030.hse.ru/data/2014/12/25/1103939133/Prognoz_2030_final.pdf) (дата обращения: 11.06.2018).

54. Прыгунов, А.Г. Перспективные направления совершенствования элементной базы информационно-телекоммуникационных систем // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении / А.Г. Прыгунов, В. В. Худяков. – Таганрог: Известия ЮФУ, 2009. – № 2. – с. 91-99.

55. Прыгунов А.Г. Выбор параметров конструкции оптических голографических преобразователей оптических систем обработки информации // Применение инноваций при разработке радиотехнических систем / А. Г. Прыгунов, М. Ю Звездина. – Ростов-на-Дону: Академия естествознания, 2015. – № 5. – с. 54-74.

56. Прыгунов, А.Г. Повышение чувствительности голографического измерителя путём использования тонкой собирающей линзы / А. Г. Прыгунов, А. А. Краснолахтич. . – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2014. – с. 66-75.

57. Прыгунов, А.Г. Анализ дифракции света на эталонной голограмме при измерении перемещений объектов пространственно-спектральным методом / А. Г. Прыгунов, Д. А. Безуглов. – Ростов-на-Дону: РАН СО, 1998. – № 5. – с. 112-118.

58. Прыгунов, А.Г. Метод определения перемещений объектов на основе анализа волновых фронтов оптического поля с использованием эталонных голограмм / А. Г. Прыгунов, В. П. Сизов, Д. А. Безуглов. – Ростов-на-Дону: Оптика атмосферы и океана, 1995. – № 6. – с. 826-830.
59. Прыгунов А.Г. Метод оценки частот в системе генераторов. А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэльян // Физические основы приборостроения, 2012. Том 1. – № 2. – С. 72-76.
60. Прыгунов А.Г. Способ стабилизации частоты генератора. / А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэльян. Патент РФ № 2197060 заявл. 13.11.2000, опубл. 20.01.2003, Бюл. № 2.
61. Прыгунов А.Г. Способ стабилизации частоты генераторов. / А.Г. Прыгунов, А.А. Прыгунов, Д.Д. Габриэльян Патент РФ № 2219654 С2, заявл. 17.10.2000, опубл. 20.12.2003.
62. Пятаков А. Интернет В Латинской Америке: реальность и перспективы цифрового будущего. Сайт Российского Совета по международным делам: [Электронный ресурс]: URL: <http://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/internet-v-latinskoj-amerike-realnost-i-perspektivy-tsifrovo/> (дата обращения: 20.06.2018).
63. Радченко, Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. – Челябинск: Фотохудожник, 2012. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL [http://glebradchenko.susu.ru/doc/Radchenko\\_Distributed\\_Computer\\_Systems.pdf](http://glebradchenko.susu.ru/doc/Radchenko_Distributed_Computer_Systems.pdf) (дата обращения: 24.06.2018).
64. Развитие цифровой экономики в России как ключевой фактор экономического роста и повышения качества жизни населения: монография. Н. Новгород: Изд-во «Профессиональная наука», 2018. 131 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32587548> (дата обращения: 11.06.2018).
65. Салицкая Е.А. Научно-технологический комплекс КНР: Опыт развития // Наука. Инновации. Образование. 2013. С.7-22: [Электронный ресурс]: URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/nauchno-tehnologicheskij-kompleks-kr-opyt-razvitiya> (дата обращения: 20.06.2018).
66. Соловьева Ю.Н., Фейгин Г.Ф. Развитие информационных и коммуникационных технологий как индикатор глобализации: Мировые тенденции и российская специфика // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2016. С. 17-30.
67. Социальная информатика: [Электронный ресурс]: URL: <https://sites.google.com/site/infobsestvo/> (дата обращения: 19.06.2018).
68. Становление глобального информационного общества: [Электронный ресурс]: URL:

[https://xstud.ru/245870/sotsiologiya/stanovlenie\\_globalnogo\\_informatsionnogo\\_obschestva](https://xstud.ru/245870/sotsiologiya/stanovlenie_globalnogo_informatsionnogo_obschestva) (дата обращения: 20.06.2018).

69. Разу М.Л. Применение диаграмм Парето на практике: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.elitarium.ru/diagramma-pareto-princip-80-20-reshenie-metod-abc-analiz/> (дата обращения: 17.06.2018).

70. Родионов С. А. Основы оптики / С. А. Родионов. – СПб.: ГИТМО, 2000. – 364 с.

71. Россия и информационное общество // Мир России. 2003. №1. С.98-100: [Электронный ресурс]: URL: [http://ecsoc-man.hse.ru/data/320/787/1219/2003\\_n1\\_p98-100.pdf](http://ecsoc-man.hse.ru/data/320/787/1219/2003_n1_p98-100.pdf) (дата обращения: 19.06.2018).

72. Трёхуровневая архитектура. Википедия. Свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхуровневая\\_архитектура](https://ru.wikipedia.org/wiki/Трёхуровневая_архитектура) (дата обращения: 24.06.2018).

73. Трутнев Д. Р. Архитектуры информационных систем. Основы проектирования: Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 66 с.

74. Тунисское обязательство. Тунис, 2005 г.: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.itu.int/net/wsis/outcome/booklet/tunisru.html> (дата обращения: 20.06.2018).

75. Федорова Т.С. Национальные модели информационного общества // Обсерватория культуры/ НИЦ Информкультура РГБ. 2004. №1. С.22-28: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.ifarcom.ru/files/Monitoring/fedorova\\_nac\\_modeli.pdf](http://www.ifarcom.ru/files/Monitoring/fedorova_nac_modeli.pdf) (дата обращения: 17.06.2018).

76. Цифровая Россия: новая реальность / А. Аптекман [и др.]: [Электронный ресурс]: URL: <http://www.tadviser.ru/images/c/c2/Digital-Russia-report.pdf> (дата обращения: 17.06.2018).

77. «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28 июля 2017 г.: [Электронный ресурс]: URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).

78. Цифровизация Европы: сегодняшнее состояние: [Электронный ресурс]: URL: <http://evercare.ru/DESI-2016> (дата обращения: 17.06.2018).

79. Что такое информационное общество? Определение: [Электронный ресурс]: URL: <http://fb.ru/article/73417/chto-takoe-informatsionnoe-obschestvo-i-kak-ono-vliyaet-na-razvitie-lichnosti> (дата обращения: 10.06.2018).

80. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. 216 с.

81. Шипицына И.В. Информационное общество или информационная цивилизация? // Вестник Омского университета; 2000. №2. С.49-52.
82. Шмидт Г. Параметрические колебания / Г. Шмидт. – М.:Мир, 1978. - с. 212-225.
83. Economist Intelligence Unit: Россия занимает 48-е место в рейтинге конкурентоспособности IT-отрасли: [Электронный ресурс]: URL: [http://orange.strg.ru/client/news.aspx?ob\\_no=5788/30?](http://orange.strg.ru/client/news.aspx?ob_no=5788/30?) (дата обращения: 18.06.2018).
84. International Telecommunication Union: The ICT Development Index 2017: [Электронный ресурс]: URL: <http://gtmarket.ru/ratings/ict-development-index/ict-development-index-info> (дата обращения: 20.06.2018).
85. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing. 2001. Vol. 15, No 3. P. 200-222.
86. Jipp F. Wealth of Nations and Telephone Density// Telecommunications Journal. 1963. № 6. С.199-201.
87. Prygunov A.G., S.A. Sinjutin, A.A. Prygunov, E.S. Sinjutin. The analysis of strata form in holographic emulsion and a view of an image reconstructed with a fourier-gologram. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 9, NO. 12, DECEMBER 2014, p. 2603-2607.
88. The New Digital Economy. Oxford Economics [Электронный ресурс]: URL: <http://www.pwc.com/mt/en/publications/assets/the-new-digital-economy.pdf> (дата обращения: 30.05.2018).



## Сведения об авторах

Ал-Али Хайдер Тахсин Али	магистрант 1 курса Донского государственного технического университета
Аль-Фархан Гхассан Хассан Али	магистрант 1 курса Донского государственного технического университета
Бурнашев Ильдар Янгибаевич	к. т. н., доцент, ФГБОУ ВО "Донской государственный технический университет"
Звездина Марина Юрьевна	доктор физико-математических наук, зав. кафедрой "Радиоэлектроника", Донской государственный технический университет
Назарова Ольга Юрьевна	к. т. н., доцент, ФГБОУ ВО "Донской государственный технический университет"
Прыгунов Александр Германович	к.т.н. доцент/доцент кафедры "Радиоэлектроника", ДГТУ
Русанов Роман Игоревич	магистр, ДГТУ
Шокова Юлия Александровна	кандидат физико-математических наук, доцент кафедры "Радиоэлектроника", Донской государственный технический университет

Электронное научное издание  
сетевого распространения

Современное развитие  
телекоммуникационных систем и  
компьютерных сетей

**монография**

По вопросам и замечаниям к изданию, а также предложениям к сотрудничеству обращаться по электронной почте [mail@scipro.ru](mailto:mail@scipro.ru)

Подготовлено с авторских оригиналов



ISBN 978-5-907072-30-5



9 785907 072305

Усл. печ. л. 4,3.

Объем издания 4,0 МВ

Оформление электронного издания: НОО

Профессиональная наука, mail@scipro.ru

Дата размещения: 30.06.2018 г.

URL: <http://scipro.ru/conf/>

monographtelecommunicationsystems.pdf