

Борис Гольдштейн



# ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ



**Борис Гольдштейн**

# **ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ**

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»

2019

УДК 621.391  
ББК 32.88  
Г63

**Гольдштейн Б. С.**

Г63 Инфокоммуникационные сети и системы. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 208 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-4048-3

Книга описывает инфокоммуникационные сети и системы начала третьего десятилетия текущего века как результат развития телекоммуникационных и информационных технологий. Обсуждаются новые идеи и технологии, включая такие разные векторы развития инфокоммуникаций, как программно-конфигурируемые сети SDN и виртуализация сетевых функций NFV, Интернет вещей (IoT и IIoT), мобильные сети поколений 5G и 6G, умный город, MVNO, облачные и туманные вычисления.

*Для читателей,  
интересующихся современными инфокоммуникациями*

УДК 621.391  
ББК 32.88

"БХВ-Петербург", 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

ISBN 978-5-9775-4048-3

© Гольдштейн Б. С., 2019  
© Оформление. ООО "БХВ-Петербург", ООО "БХВ", 2019

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	<b>9</b>
<b>ЧАСТЬ I. PSTN/ISDN/IN + VoIP/NGN/IMS + PLMN3G/4G/5G: от телекоммуникаций к инфокоммуникациям</b> .....	<b>13</b>
<b>Глава 1. Смена телекоммуникационной парадигмы. Переход к инфокоммуникациям</b> .....	<b>15</b>
1.1. Конвергенция C&C .....	15
1.2. Доисторический период телекоммуникаций: от точки-тире до точки.ком.....	16
1.3. Телефонная сеть общего пользования.....	20
1.4. Факсимильная связь — прообраз телепортации .....	26
1.5. Цифровая сеть общего пользования ISDN.....	29
1.6. Классическая Интеллектуальная сеть .....	30
1.7. Две волны цунами: конец 150-летнего господства ТфОП .....	34
<b>Глава 2. Смена компьютерной парадигмы. Переход к инфокоммуникациям</b> .....	<b>35</b>
2.1. Формула IP-телефонии.....	35
2.2. Этапы пути компьютерных сетей.....	36
2.3. Эмпирические законы компьютерных сетей.....	40
2.4. Всемирная паутина и Интернет .....	42
2.5. Деньги решают все: банковские инфокоммуникации. Блокчейн и криптовалюты.....	43
2.6. Не в деньгах счастье: социальные сети .....	45
2.6.1. LinkedIn.....	46
2.6.2. Facebook .....	46
2.6.3. Twitter .....	46
2.6.4. YouTube.....	47
2.6.5. Instagram .....	47
2.6.6. "ВКонтакте" .....	47
2.7. Программное обеспечение первично.....	48
2.8. История учит, что... ..	50
<b>Глава 3. Смена телекоммуникационной парадигмы. Эра мобильности</b> .....	<b>51</b>
3.1. Начало мобильной эпохи .....	51
3.2. Поколения 1G, 2G, 2.5G, 2.75G, 3G, 3.5G.....	52

3.3. Сервис SMS .....	57
3.4. Виртуальный оператор MVNO .....	59
3.4.1. Модели MVNO .....	59
3.4.2. Энейблер MVNE .....	60
3.4.3. Агрегатор MVNA .....	61
3.4.4. Концепция DCN .....	61
3.4.5. Private LTE .....	62
3.5. Поколение 4G .....	63
3.5.1. E-UTRAN .....	64
3.5.2. SAE/EPC .....	64
3.6. Гетерогенные сети HetNet .....	66
3.7. Поколение 5G .....	69
3.8. Поколение 6G .....	72

## **Глава 4. Сети следующего поколения NGN/IMS .....**

<b>4.1. Революции пожирают своих детей: судьбы ATM и MPLS .....</b>	<b>74</b>
4.2. IP-телефония .....	76
4.3. Softswitch и медиашлюзы .....	77
4.4. IP Multimedia Subsystem .....	79
4.4.1. Идея IMS .....	79
4.4.2. Идентификация пользователя .....	81
4.4.3. Архитектура IMS .....	82
4.5. Глубокая инспекция пакетов DPI .....	85
4.5.1. Анализ трафика в телекоммуникационных сетях .....	85
4.5.2. Уровни глубины анализа пакетного трафика .....	86
4.5.3. Управление сетевым трафиком .....	87
4.5.4. Маркировка трафика .....	88
4.5.5. Таргетированная реклама .....	89
4.5.6. Законный перехват сообщений COPM .....	90
4.5.7. Архитектурные решения DPI .....	90
4.6. Сервисы эпохи NGN/IMS .....	92
4.6.1. OTT-сервисы и битовая труба .....	92
4.6.2. Сервисы позиционирования: потерялась собака .....	95
4.6.3. Сервисы общения: язык и культура .....	96
4.6.4. Услуги сенсорных сетей .....	96
4.6.5. Электронная торговля .....	97
4.7. Будущее уже среди нас .....	97

## **ЧАСТЬ II. SDN/NFV + IoT/loE + Cloud/Fog: новая инфокоммуникационная парадигма .....**

### **Глава 5. Программно-конфигурируемые сети .....**

5.1. Идея SDN .....	103
5.2. Архитектура SDN .....	108
5.3. Протокол OpenFlow .....	110
5.3.1. Контроллер и таблицы потоков .....	110
5.3.2. Stratum и P4 .....	112

5.4. Компоненты SDN.....	113
5.4.1. Коммутаторы SDN.....	113
5.4.2. Пересылка пакетов в SDN.....	113
5.4.3. Контроллеры SDN.....	114
5.4.4. Южный и северный интерфейсы контроллера.....	115
5.4.5. East/Westbound-интерфейсы.....	116
5.5. Реактивный и проактивный режимы SDN.....	117
5.5.1. Реактивный режим.....	117
5.5.2. Проактивный режим.....	117
5.6. Реализации SDN.....	117
5.7. Проблемы и недостатки.....	122
5.8. Перспектива SDX.....	123
<b>Глава 6. Виртуализация сетевых услуг nfv .....</b>	<b>125</b>
6.1. Идея NFV.....	125
6.2. Эталонная модель ETSI NFV MANO.....	127
6.3. Элементы эталонной модели NFV.....	129
6.3.1. Инфраструктура виртуализации сетевых функций NFVI (NFV Infrastructure).....	129
6.3.2. Виртуализированные функции VNFs (Virtualised Network Functions).....	131
6.3.3. Система управления и оркестровки MANO (NFV Management and Orchestration).....	133
6.3.4. Оркестратор NFVO.....	133
6.3.5. Менеджеры VNFM.....	134
6.3.6. Менеджер виртуализированной инфраструктуры VIM.....	135
6.3.7. Репозитории данных MANO.....	136
6.4. Опорные точки эталонной модели NFV.....	138
6.5. Сценарий организации виртуализированной сетевой службы.....	139
6.6. Управление жизненным циклом VNF.....	140
6.7. Виртуализация ядра vEPC, vIMS и устройств пользователя vCPE.....	142
6.7.1. vEPC.....	142
6.7.2. vIMS.....	143
6.7.3. vCPE.....	144
6.8. Реализация NFV.....	144
6.9. Проблемы и недостатки.....	145
6.10. Совместная работа SDN и NFV.....	147
<b>Глава 7. Интернет вещей и всеобъемлющий Интернет.....</b>	<b>148</b>
7.1. От Интернета людей к Интернету вещей.....	148
7.2. Эталонная модель IoT по IWF.....	152
7.2.1. Уровень устройств.....	152
7.2.2. Уровень подключений.....	152
7.2.3. Уровень краевых вычислений.....	153
7.2.4. Уровень аккумуляции данных.....	153
7.2.5. Уровень абстракции данных.....	154
7.2.6. Уровень приложений.....	154
7.2.7. Уровень бизнес-процессов.....	155

7.3. Эталонная модель IoT по ITU-T.....	155
7.3.1. Уровень устройств .....	155
7.3.2. Сетевой уровень .....	156
7.3.3. Уровень поддержки услуг и поддержки приложений .....	156
7.3.4. Уровень приложения.....	157
7.3.5. Эксплуатационное управление.....	157
7.4. Протоколы IoT .....	157
7.4.1. Специфика протоколов IoT .....	157
7.4.2. Bluetooth и 6LoWPAN .....	159
7.4.3. LoRaWAN и NB-IoT.....	161
7.4.4. Персональные сети ZigBee .....	161
7.4.5. Беспроводные сети NFC .....	162
7.4.6. Протокол MQTT .....	162
7.4.7. Протокол CoAP .....	163
7.4.8. И другие .....	163
7.5. Нательные сети IoT.....	164
7.6. Умный дом, умное здание и умный город.....	168
7.6.1. Умный дом .....	168
7.6.2. Умное здание.....	168
7.6.3. Умный город .....	169
7.6.4. Безопасный город .....	171
7.7. Индустриальный Интернет вещей и Industry 4.0.....	173
7.8. Интернет всего .....	178
<b>Глава 8. Туманные и облачные сервисы .....</b>	<b>179</b>
8.1. Концепция облачных сервисов .....	179
8.2. Software as a Service (SaaS).....	180
8.3. Platform as a Service (PaaS).....	180
8.4. Infrastructure as a Service (IaaS) .....	181
8.5. Everything as a Service .....	182
8.6. Эталонная облачная архитектура NIST .....	183
8.6.1. Пользователи облачных сервисов .....	183
8.6.2. Провайдеры облачных сервисов .....	184
8.6.3. Облачный оператор .....	185
8.6.4. Облачный брокер .....	185
8.6.5. Облачный аудитор .....	186
8.7. Эталонная архитектура ITU-T .....	186
8.7.1. Пользовательский уровень .....	187
8.7.2. Уровень доступа.....	187
8.7.3. Сервисный уровень.....	187
8.7.4. Уровень ресурсов.....	187
8.7.5. Кросс-уровневые функции .....	187
8.8. Идея Fog Computing .....	188
8.9. Сравнение облачных и туманных вычислений .....	190
8.10. Проблемы и риски туманных вычислений .....	192
8.10.1. Вертикальное масштабирование .....	192

8.10.2. Гетерогенность .....	193
8.10.3. Приоритетность .....	193
8.10.4. Проблема количества .....	193
8.10.5. Безопасность и конфиденциальность .....	193
8.10.6. Прозрачность и доступность .....	194
8.10.7. Мониторинг и бенчмаркинг .....	194
8.11. Схемы организации туманных вычислений .....	194
8.11.1. Агрегационная схема .....	195
8.11.2. Схема разгрузки .....	195
8.11.3. Схема совместного использования разгрузки .....	196
8.11.4. Гибридная схема .....	196
8.12. Эталонная архитектура туманных вычислений .....	196
8.12.1. Безопасность .....	196
8.12.2. Масштабируемость .....	196
8.12.3. Открытость .....	197
8.12.4. Автономность .....	197
8.12.5. RAS .....	197
8.12.6. Иерархический принцип построения .....	197
8.12.7. Адаптивность и программируемость .....	198
8.13. Варианты реализаций туманных вычислений .....	198
8.14. Туман всего FoE .....	200
<b>Список сокращений .....</b>	<b>203</b>
<b>Литература .....</b>	<b>207</b>

*Светлой памяти моего отца, воевавшего  
и затем прослужившего всю жизнь  
в войсках связи XX века,  
а также четверем моим сыновьям,  
которым предстоит жить и работать  
в удивительном мире инфокоммуникаций  
XXI века*

# Предисловие

Сынок, сколько раз тебе объяснять, что мама тебя принесла из роддома, а не скачала из Интернета, как тебе рассказали мальчишки во дворе.

*Из IT-фольклора*

Этот программистский анекдот из 1990-х весьма наглядно отражает современную педагогическую проблему, с которой начал сталкиваться автор в процессе преподавания в Санкт-Петербургском университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. В очередной раз приступая к своим семестровым курсам, автор не мог не заметить, что радикально изменяются не только сами лекции (содержание курсов и так меняется ежегодно в связи революционными изменениями в инфокоммуникационной индустрии), но и еще более радикально изменилась сама студенческая аудитория. В этой аудитории сидят такие же вечерашние школьники, но это юноши и девушки как раз из приведенного эпиграфа, которые уже успели окончить школу и стали студентами.

Но совсем другими студентами. Для них Сеть существовала всегда, с самого младенчества, вместе с персональным компьютером, планшетом, ноутбуком, смартфоном. Без Сети для них невысказано работать, учиться, общаться, делать покупки, смотреть видео на YouTube, создавать собственные персонажи в виртуальных мирах типа World Warcraft, публиковать свои фотографии в Instagram и хранить их архив в iCloud, получать новости через программы для чтения RSS-лент, общаться между собой через WhatsApp<sup>1</sup>, Viber,<sup>2</sup> Telegram<sup>3</sup>, Skype<sup>4</sup>, Facebook, YouTube, делать селфи и делиться личными переживаниями и эмоциями в своих профилях в социальных сетях. Для того чтобы написать реферат, первым делом они смотрят онлайн-энциклопедию Википедия и используют Google Translate; чтобы посмотреть фильм, его

---

<sup>1</sup> Мессенджер WhatsApp, созданный американским студентом Яном Борисовичем Кумом в 2009 году, был продан компании Facebook Inc. в 2014 году за 19 млрд долларов.

<sup>2</sup> Мессенджер Viber, созданный израильянами Тальмоном Марко и Игорем Магазинником в 2010 году, уже в 2014 году обогнал Skype и стал самым популярным в мире.

<sup>3</sup> Мессенджер Telegram, созданный основателем социальной сети "ВКонтакте" Павлом Валерьевичем Дуровым в 2013 году, поддерживает также секретные чаты и инструмент коммуникаций в формате публичных каналов.

<sup>4</sup> Skype создали эстонские программисты Ахти Хейнла, Прийт Казесалу и Яан Таллинн в 2003 году.

скачивают с бит-торрента; чтобы поделиться с друзьями, пишут в Facebook или "ВКонтакте".

Речь идет о студентах — миллениалах<sup>5</sup> (поколении Y), которые с самого раннего детства активно используют Интернет и разные гаджеты (планшеты, смартфоны, ноутбуки и пр.), привыкли к высокому разрешению, объемному звучанию, 3D- и 4D-графике, Google-картам с функцией приближения и находятся в режиме онлайн 24 часа в сутки, 7 дней в неделю. Им как будущим ИКТ-инженерам тоже не мешало бы рассказать о том, что Белл изобрел телефон, а Строуджер — первую автоматическую телефонную станцию, об истории создания Интернета, об изобретении радио, возникновении сотовой связи, о том, что кроется за значками 3G и LTE на их смартфонах, об эволюции систем передачи данных, о современных средствах видеоконференцсвязи, о протоколах и процессах установления сессий в уже привычных Viber, WhatsApp, Skype, FaceTime, Telegram и т. п.

Но все это надо делать, учитывая, что идет работа с поколением Y, которое с раннего детства живет в мире мобильных телекоммуникаций и Интернета, для которого самый часто задаваемый по телефону вопрос "Ты сейчас где?" более чем естественен, а ведь в совсем недавние времена традиционных телефонных сетей этот вопрос мог исходить только от полного идиота ("Как где? Тут, куда ты звонишь!"). Такой вопрос не мог, разумеется, возникнуть и в первом в истории человечества телефонном разговоре между Беллом и его ассистентом Ватсоном, состоявшем из ставшей знаменитой простой фразы Белла: "Ватсон, идите сюда, Вы мне нужны". Встречного вопроса Беллу о том, куда именно в данный момент следует идти, не было по очевидной причине: о мобильной телефонной связи пока еще не задумывались. Тем не менее, всего несколькими годами позже Александр Попов в Санкт-Петербурге демонстрировал передачу радиосигнала на расстояние, Гильермо Маркони патентовал свой беспроводный телеграф, а современники сразу не смогли по достоинству оценить проводимые в 1893 году публичные опыты Николы Теслы с радиосвязью.

Спустя 50 лет патенты на радио Маркони были аннулированы в пользу Теслы. В 2002 году Конгресс США принял резолюцию, в которой признал изобретателем телефона не Белла, а другого американца — Антонио Меуччи, что никак не умаляет исторических достижений всех ученых и изобретателей, упомянутых и обойденных вниманием в этой книге, заложивших фундамент современного информационного общества, чьи имена неразрывно связаны с появлением телефонной станции, телекса, факса, модема, сотовой связи, коммутатора пакетов, Ethernet, Wi-Fi, IoT и т. д.

---

<sup>5</sup> Слово "миллениал" происходит от слова "миллениум" (тысяча лет) и означает поколение людей, рожденных во временной промежутке с 1980 по 2000 годы. Это поколение также называют поколением Y (игрек).

Для объяснения многих из этих вещей автор (и не он один, и не только он, разумеется) уже написал не один десяток книг разного объема и разной степени детализации. Эта книга особая, написанная в более быстром темпе и в совсем другом стиле. Она родилась из курсов, читаемых автором в качестве введения в специальность "Инфокоммуникационные сети и системы" для бакалавров, магистров и аспирантов соответствующих профилей и направлений, и предназначена для того, чтобы ввести читателей в чрезвычайно интересный мир современных инфокоммуникаций, показать непрерывающуюся борьбу идей в этом стремительно меняющемся мире, познакомить с технологиями, еще вчера казавшимися невозможными или бесполезными, а сегодня кардинально меняющими образ жизни, роль государственных границ, мировую экономику, социальное устройство всего Человечества.

Разумеется, книга адресована не только миллениалам — поколению Y (и идущему ему на смену поколению Z, к которому наиболее подходит в этом контексте фраза Курта Воннегута "Дети бдят, пока мы дремлем"). Интересна книга может быть и "динозаврам" доцифровой эпохи, прожившим большую часть жизни без мобильного телефона и Интернета и ставшим свидетелями резко ускорившегося технического прогресса и революционных изменений в жизни социума. Их сегодняшний опыт и знания бесценны: больше никому и никогда уже не попасть в эпоху "до Интернета", не сопоставить современные инфокоммуникации с недавним неспешным миром ежедневных бумажных газет и ежемесячных толстых журналов, монетных таксофонов на углу, окошек для приема телеграмм и кабин для междугородных телефонных разговоров в ближайшем почтовом отделении. Причем речь идет отнюдь не только о коллегах, так или иначе связанных с ИКТ-индустрией, но и о таксистах, оказавшихся в мире Uber, о проектировщиках, сменивших кульманы на компьютерные системы с 3D-программным обеспечением, о продавцах традиционной "неэлектронной" торговли, о секретарях-машинистках, бухгалтерях, обо всех людях — пользователях ИКТ. Для них, стремящихся успеть за все ускоряющимся сдвигом парадигмы телекоммуникаций, этот сдвиг, кажется, является наиболее драматичным и форс-мажорным, затрагивающим все аспекты жизни — профессиональную подготовку, социальный статус, образование, жизненные планы.

Вот такой социологический портрет пользователей современных телекоммуникаций в 2017 году со ссылкой на LiveTex публикует журнал Forbes (табл. П1).

Для того чтобы сделать книгу доступной максимальному числу читателей всех указанных в таблице возрастных категорий, из ее текста исключены детали научно-технических решений, убраны практически все формулы. Огромную помощь в сокращении и улучшении этой книги оказали коллеги из петербургских научно-технических центров: НТЦ "Про-

Таблица П1

Вид телекоммуникаций	Возраст, лет			
	17–35	36–55	56–71	71+
Телефонная связь	12%	29%	64%	90%
OTT-сервисы	19%	11%	3%	1%
SMS и e-mail	21%	28%	24%	6%
Социальные сети	24%	12%	2%	1%
Мессенджеры/чаты	24%	21%	7%	2%

тей" (прежде всего его директор по системным исследованиям Владимир Фрейнкман), НТЦ "Севентест" (совместно с руководителями которого Риммой Рерле и Ильей Ехриелем были написаны многие цитируемые здесь книги серии "Телекоммуникационные протоколы"), НТЦ "Аргус" (где вскоре должно появиться продолжение этой книги под названием "Управление инфокоммуникациями").

Автор надеется, что эта книга поможет всем читателям определить, что и в какой последовательности продолжать читать дальше, чтобы активно участвовать в процессе построения новых всепроникающих инфокоммуникационных сетей и новых удивительных инфокоммуникационных технологий. Или решить вообще не читать больше ничего про эти сложные материи, а заняться коллекционированием марок, например.

Тех же, кто решится приобрести эту книгу, следует предупредить, что все изложенное далее — не истина в конечной инстанции, а всего лишь "миг между прошлым и будущим" всепланетных инфокоммуникаций, результат предшествующей славной истории и эпохальных открытий в телеграфии, телефонии, радиосвязи, вычислительной технике, передаче данных и промежуточный этап на пути к последующему непредсказуемому и фантастически прекрасному будущему человечества инфокоммуникационной эры.

# Часть I

## PSTN/ISDN/IN + VoIP/NGN/IMS + PLMN3G/4G/5G: от телекоммуникаций к инфокоммуникациям

---

Нужно бежать со всех ног, чтобы только  
оставаться на месте, а чтобы куда-то попасть,  
надо бежать как минимум вдвое быстрее!

*Льюис Кэрролл. "Алиса в Зазеркалье"*



# Глава 1

## Смена телекоммуникационной парадигмы. Переход к инфокоммуникациям

---

### 1.1. Конвергенция C&C

В отличие от более чем 150-летней истории телефонной связи, которая и сегодня успешно служит людям и о которой далее в этой главе будет рассказано, инфокоммуникационная индустрия возникла совсем недавно, буквально на наших глазах. Эмпирическая формула ее зарождения выглядит следующим образом

$$\text{C\&C} = \text{Communications} + \text{Computers} \quad (1)$$

и описывает результат конвергенции телекоммуникационных и компьютерных информационных технологий, про которую, собственно говоря, и написана эта книга.

Само введение формулы (1) в отечественную научно-техническую литературу принадлежит профессору Л. Е. Варакину [2]<sup>1</sup>, равно как и сбывающиеся сейчас его макроэкономические прогнозы, а первая книга по конвергенции написана профессором Г. Г. Яновским [25], причем упомянутые работы этих двух крупных российских ученых и сегодня не утратили актуальность. Еще одну фамилию следует упомянуть в этом контексте — Л. Д. Рейман, министр связи РФ, в самом начале 2000-х годов настоявший на смене названия специальности подготовки инженеров связи в стране на весьма революционную по тому времени "Инфокоммуникационные сети и системы" (откуда и появилось название этой

---

<sup>1</sup> Здесь и далее библиографические ссылки, обозначенные цифрами в квадратных скобках, ведут в раздел "Литература" в конце книги. В список литературы включены книги на русском языке, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего чтения. Постраничные сноски, обозначенные астерисками (\*), содержат авторские комментарии или ссылки на источники, не включаемые в список в конце книги (статьи или книги, посвященные отдельным обсуждающимся аспектам).