

# Li-Fi: светлое будущее беспроводных технологий

или тупиковая ветвь развития?

*Тут гелиограф вдалеке  
вдруг стал мигать упорно...  
Р. Киплинг. Моральный код.  
Перевод Я. Берлин.*

Реклама инновационной беспроводной световой технологии Li-Fi, рассчитанная на восприимчивость целевой аудитории потребителей контента, захватывает все большее информационное пространство и затуманивает как немногочисленные недостатки этого вида связи, так и его явные достоинства. Некоторые неточности в обозначении светоносных предшественников этого вида коммуникации, неясности технической реализации и не до конца понятные пути дальнейшего продвижения этой технологии осложняют возможность трезвой оценки как настоящего положения, так и перспектив Li-Fi. Не вдаваясь в технические детали реализации этой технологии, попытаемся проникнуть в ее системную суть и внести свою скромную лепту в понимание дальнейшего развития этого вида визуальной коммуникации (Visual Light Communication, VLC). Начнем с небольшого погружения в прошлое.

Олег Зотин  
o\_zotin@mail.ru

## Неглубокий исторический экскурс

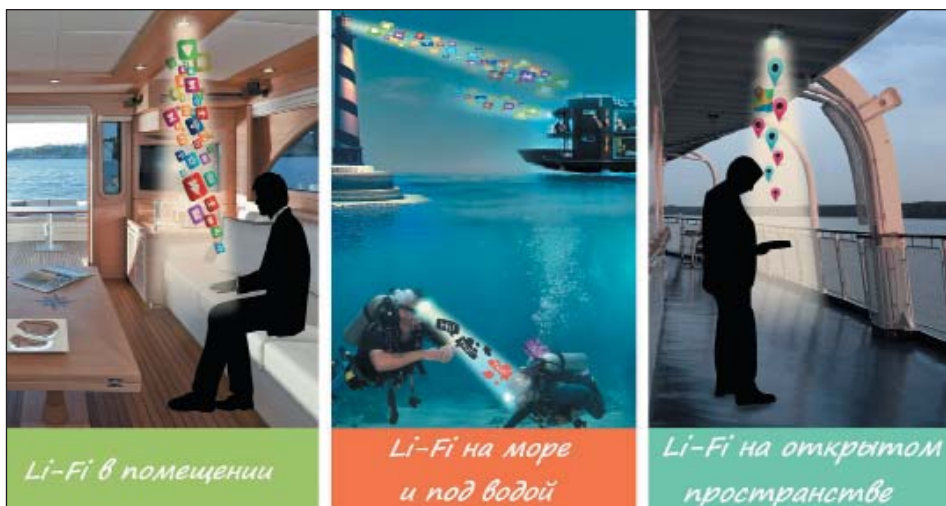
*Колокольчик звенит...  
Этот звон, этот звук  
Много мне говорит.  
Слова Е. Д. Юрьева.*

Издrevле передача сообщений на большие расстояния производилась кодированными звуковыми и световыми сигналами.

Наряду с сигнальными барабанами (рис. 1), которые были изобретены с десяток веков назад

для использования в лесистых местностях южноамериканского континента [1] и в Африке [2], древние племена на открытых пространствах применяли сигнальные думы костров: их можно было увидеть издалека, а факт появления дымов определенного цвета в заранее оговоренной комбинации мог нести важное сообщение. Последние применения сигнальных дымов (рис. 2) нам известны по войнам, которые вели коренные обитатели североамериканского континента в конце XIX в. против завоевателей [3], которые в то время использовали уже более совершенную гелиографическую связь. Так, для операции против небольшого отряда предводителей апачей Джеронимо в 1886 г было задействовано два десятка гелиографов для координации действий более десяти тысяч солдат и гражданских ополченцев под командованием бригадного генерала Нельсона Майлса [4].

А вот африканские племена даже после внедрения электрического телеграфа продолжали пользоваться «говорящими» барабанами. Известно, например, что знаковые сообщения о захвате Хартума суданскими повстанцами-махдистами в 1885 г., о гибели Лузитании в 1915 г. и о первом полете человека в космос в 1961 г. передавались по цепочке боем барабанов на тысячи километров за несколько часов, что вызывало удивление у белых колонизаторов, к которым почтовые сообщения приходили через несколько дней.



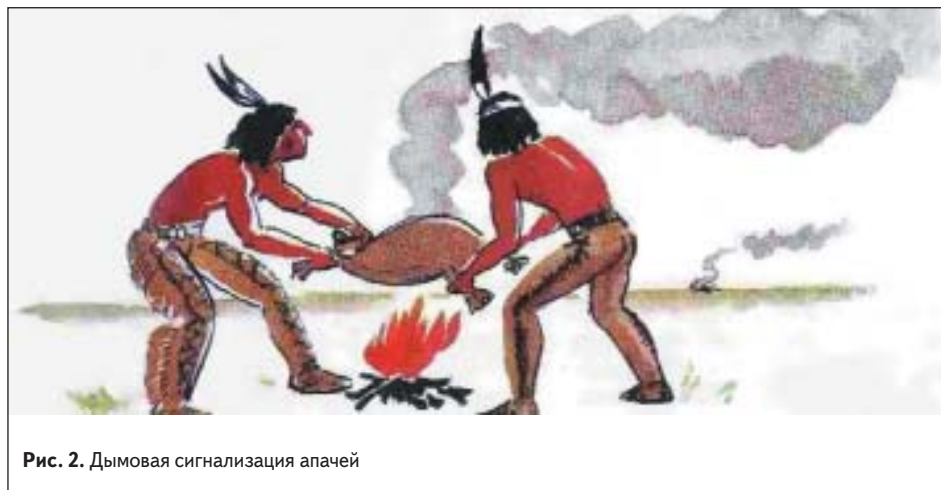
Li-Fi в помещении

Li-Fi на море  
и под водой

Li-Fi на открытом  
пространстве



**Рис. 1.** Сигнальный барабан племени тукано (бассейн р. Ваупес, приток Риу-Негру)



**Рис. 2.** Дымовая сигнализация апачей

Разные способы сигнальной коммуникации порождали и специфическое кодирование сообщений, включая временное, тоновое, цветное кодирование и пр.

С IV в. в восточном христианстве для подачи звуковых сигналов применялись била (подвешенные доски) и клепала (кованые металлические полосы), по которым ударяли соответственно деревянными и металлическими молотками (рис. 3 и 4). Буддисты использовали инструмент, аналогичный било, известный под названием «ганди» (gandi, вероятно, от gandih — букв. «ствол дерева») [5]. Позже, с конца X в., в христианском мире для созыва прихожан и возвещения о важных частях службы стали все больше использовать колокольный звон, который до этого считался языческим атрибутом. В наше время церковные звоны служат для единения верующих вокруг радостных, торжественных или печальных событий. Обычай же использования било сохранился главным образом на христианском Востоке и на Балканах, в частности, из-за запрещения колоколов в Османской империи после падения Константинополя в 1453 г.

В иудаизме издревле верующих созывали звуком трубы. В исламе же было принято голосовое оповещение громогласными призывами муэдзинов с минаретов, в то же время существовали и различные региональные варианты извещений: вывешивание знамени, зажигание лампы в темное время суток и даже звук гонга.

После появления в европейских городах башенных часов звон колоколов использовался для информирования населения о времени, при этом число ударов большого колокола указывало на текущий час, а малый колокол «отбивал» пятнадцатиминутные интервалы. На многих башенных часах используется настроенный набор колоколов (куранты), мелодию боя которых можно заранее запрограммировать на специальном барабане.

На флоте известны традиции «бить рынду» (ring the bell) — давать три троекратных удара в полдень и «бить склянку» — отмечать нарастающим количеством ударов судового колокола каждые полчаса, отсчитываемые по песочным часам в течение каждого четырехчасового интервала (время вахты). Использование судового

колокола регулируется Международными правилами предупреждения столкновения судов в море МППССМ-72 (часть D), согласно которым оговорена подача сигналов в условиях ограниченной видимости, стоянки на якоре, нахождения на мели и в других аварийных ситуациях.

До нашего времени дошла разновидность клепала в виде подвешенного на цепи отрезка рельса, который используется на некоторых предприятиях для подачи сигналов тревоги.

Звуковое и световое сигнализирование широко применялось и применяется в армии (горны, барабаны, сигнальные ракеты, знамена, штандарты и пр.) и на транспорте (колокольчики, паровозные гудки, автомобильные звуковые и световые сигналы, огни взлетно-посадочных полос аэропортов и т. д.).

Световое телеграфирование с кодированием световых посылок было распространено уже в античном мире, как это известно из работ Энея Тактика, одного из греческих авторов, писавших об искусстве войны [6]. Существует также версия, что световая сигнализация применялась еще раньше в Месопотамии, для чего могла служить Вавилонская башня. Известно,



**Рис. 3.** Било у скита св. Анны. Афон



**Рис. 4.** Клепала Успенской церкви. Карейя. Афон

что и башни Великой китайской стены использовались как пункты световой сигнализации для сообщений о неприятельских вылазках.

Византийскую систему светового телеграфа создал известный ученый Лев Математик в IX в. [7]. Этот телеграф представлял собой систему сигнальных башен, которая позволяла в течение часа передать сообщение от границы с Халифатом в Константинополь (что было чрезвычайно важно в условиях частых восточных набегов на Византийскую империю). Кодирование сообщений осуществлялось величиной паузы между огнями, отсчитываемой по водяным часам, при этом скорость передачи текстовых сообщений, по современным оценкам, могла достигать до 20 знаков в час (около 0,005 байт/с). Известно также применение световых сигнальных башен в системе оборонительных валов южнее Киева при князе Владимире. Важнейшей функцией множества сохранившихся с древних времен каменных башен на Кавказе, в Тибете и во многих других местах также являлась световая сигнализация.

Во время наполеоновских войн широко применялась семафорная передача информации на дальние расстояния системы Клода Шаппа (Claude Chappe), которая получила название «оптического телеграфа». Была построена сеть из многих сотен башен, расположенных в пределах видимости друг друга, на расстоянии около 10 км. На их вершинах размещались шести с подвижными поперечинами — семафоры (рис. 5). Три подвижные планки

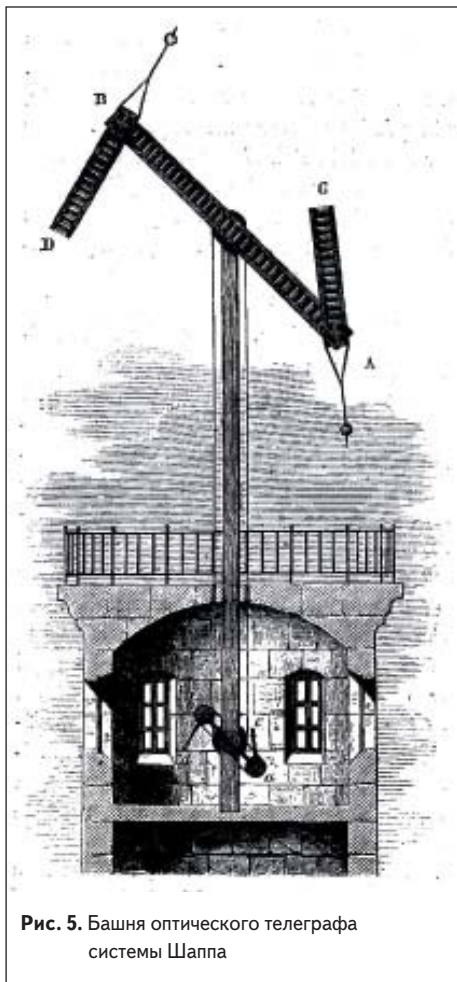


Рис. 5. Башня оптического телеграфа системы Шаппа

семафора с помощью тросов и блоков под воздействием оператора могли образовывать до 196 различных фигур. Их можно было наблюдать с другой башни при помощи зрительной трубы и расшифровать по кодовым таблицам, получая отдельные буквы, цифры, знаки, слова и, наконец, сообщение в целом. Скорость передачи сообщений существенно выросла в сравнении со средневековым световым телеграфом. Общая длина линий оптического телеграфа во Франции к середине XIX в. составляла без малого 4500 км. Позднее принцип семафора был успешно применен для управления движением на железных дорогах, где в дальнейшем он был заменен светофором. Затем способ светофорной сигнализации был заимствован для регулирования движения автомобильного транспорта на перекрестках, для чего его пришлось несколько модернизировать.

Принцип семафора был реализован также в 1794 г. в отечественной конструкции так называемой «дальнейшеговещивающей машины» И. П. Кулибина. Была создана демонстрационная модель машины. В ней использовался и первый прожектор с параболическим наборным зеркалом. Был придуман остроумный приводной механизм и упрощенный табличный код. К сожалению, интереса в изготовлении опытного образца этой машины не проявили ни военные, ни гражданские власти, и модель была сдана в Кунсткамеру. Известны также невоплощенные отечественные проекты дальности писца Понюхаева и телеграфов Бутакова и Чистякова.

После победы над Наполеоном в России были построены линии оптического телеграфа под руководством генерал-лейтенанта А. Бетанкура, такие как Петербург — Шлиссельбург (1824 г.), Петербург — Царское Село

(1833 г.), Петербург — Гатчина (1835 г.), Петербург — Москва и ряд других. Самая протяженная в мире линия оптического телеграфа Петербург — Псков — Динабург (ныне Даугавпилс) — Вильно — Варшава длиной 1200 км была построена в 1839 г. и имела 149 станций. Хорошо обученный персонал обеспечивал доставку сообщений от начальной до конечной точки линии за 15 мин при ясной погоде. Она эксплуатировалась вплоть до постройки воздушной линии электрического телеграфа Петербург — Варшава в 1854 г. Несмотря на большой отечественный опыт по разработке и воплощению первой практической линии телеграфа (П. Л. Шиллинг, Б. С. Якоби), было принято решение незадолго до Крымской войны строить электрический телеграф по системе Сименса.

Одна из наиболее совершенных конструкций светового телеграфа — гелиограф с модуляцией солнечного излучения наклоном зеркала (или закрытием шторок) — широко применялась для связи в армиях ряда государств. На вооружении армий Великобритании, Австралии и Турции (рис. 6) гелиограф состоял до 1960-х годов, а Пакистана — до 1975 г. Гелиограф позволял осуществлять связь в полевых условиях на дистанциях до 60 км в солнечную погоду, а ночью, с использованием искусственного света или света полной Луны, — до 15 км. Зафиксированный рекорд дальности передачи стандартного гелиографа с зеркалом диаметром в 8 см составил 295 км (между двумя горными вершинами). Существовала также линия световой связи между Парижской и Гринвичской обсерваториями длиной 450 км (через пролив Ла-Манш), использовавшаяся с конца XVIII в. Портативные гелиографы применялись для передачи сообщений в сражении под Плевной,



Рис. 6. Подразделение оптической связи армии Османской империи перед столкновением с 5-й горнострелковой бригадой Британского египетского экспедиционного корпуса в Палестине (the Affair of Huj, 8 November 1917). На вооружении подразделения: гелиограф (у первого слева), ацетиленовый прожектор (у второго слева) и подзорная труба (у второго справа)

что наглядно продемонстрировано в популярном фильме «Турецкий гамбит».

В наше время упрощенные портативные модели гелиографов под названием «сигнальное зеркало» входят в стандартные аварийно-спасательные укладки для моряков, летчиков и космонавтов (так называемые наборы выживания, survival kits); существуют их подробные описания и видеоинструкции по использованию [8].

Гелиографы находили применение также в охране лесов и в топографии. Использовалась гелиографическая связь и разведкой Красной Армии в 1926 г. в Туркестане. Самые последние факты применения связных гелиографов были отмечены в 1980-х годах у афганских моджахедов.

На флоте, наряду с гелиографом (рис. 7), получили распространение менее зависимые от погодных условий семафорный (флажковый) и световой (модуляцией луча прожектора) способы передачи кодированной информации, использующие семафорную азбуку и код Морзе. Это связано с тем, что на море невозможно было передавать сообщения другими способами, а в условиях военных действий приходилось принимать жизненно важные оперативные решения при минимуме

информации (см., например, описание так называемого Гулльского инцидента [9]).

Дошедшие до нашего времени средства световой сигнализации на море оговорены МППССМ-72 (часть С), а на внутренних водных путях — межгосударственным стандартом ГОСТ 26600-98 «Знаки навигационные внутренних судоходных путей» и включают в себя различные виды оповещающих сигналов. Для световой связи на море используются сигнальные одно- и трехцветные (белый, зеленый, красный), а также инфракрасные прожектора (рис. 8). Модуляция света прожектора обеспечивается специальными шторками, управляемыми вручную. На приемной стороне для визуального канала используются подзорные трубы, а для инфракрасного — приборы ночного видения, первое практическое применение которых имело место в ночных танковых атаках группы немецких армий «Юг» против 3-го Украинского фронта в районе озера Балатон (март 1945 г.).

Промышленная революция привела во второй половине XIX в. к изобретению проводных и беспроводных технологий передачи информации (электрического телеграфа, телефона и радио), что во многом разрешило вопросы дальности

и оперативности. Попытки конкурирования с ними модернизированных световых технологий передачи успеха не имели. Одним из таких конкурентов был известный фотофон Белла, являвшийся гибридом гелиографического и телефонного способов передачи информации (отражающая мембрана-модулятор + селеновый фотоприемник). Фотофон часто называют предшественником технологии Li-Fi.

С изобретением лазера была создана технология высокоскоростных атмосферных оптических линий связи АОЛС (Free-Space Optics, FSO), однако из-за проблем с ухудшением видимости в плохих погодных условиях оптический канал связи приходится дублировать радиоканалом [10]. Вероятно, наиболее успешно этот вид коммуникации можно применить в высокоскоростной дальней космической связи (laser-based space communication system), по которой уже проводятся удачные эксперименты [11].

В настоящее время из широко применяемых вариантов световых коммуникационных технологий можно отметить высокоскоростные волоконно-оптические линии связи и инфракрасные пульты для управления различной бытовой техникой. Популярный еще совсем недавно инфракрасный интерфейс IrDA планировалось использовать для связи компьютеров с периферийными устройствами, однако он не выдержал конкуренции с технологиями радиосвязи Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee.



**Рис. 7.** Демонстрация гелиографической связи на борту британского линкора «Голиаф» (HMS Goliath) в Токийском заливе, 1902 г. В безлунную ночь на 13 мая 1915 г. в проливе Дарданеллы командир линкора неосторожно запросил пароль по световой связи у неизвестного корабля. Ответным залпом трех торпед османского миноносца Muavenet-i Milliye, проведенным с участием германских инструкторов, линкор был потоплен. Через четыре дня первый лорд Адмиралтейства Уинстон Черчилль (Sir Winston Leonard Spencer-Churchill) вынужден был уйти в отставку



**Рис. 8.** Переговоры по световой связи с фрегата Blue Ridge командующего 7-м американским флотом контр-адмирала Walter D. Gaddis с советским кораблем радиотехнической разведки 38-й бригады особого назначения Тихоокеанского флота «Курсограф» (командир — капитан-лейтенант А. В. Гарницкий) о передаче спасенного американского офицера. Южно-Китайское море, 2 октября 1973 г. Четырьмя годами ранее, 20 июля 1969 г., несмотря на «железный занавес», световой канал был использован связистами «Курсографа» для поздравления с высадкой «Аполлона-11» на Луну

В последние десятилетия на подъеме Третьей цивилизационной волны [12] отслеживается достаточно отчетливая тенденция смещения ведущих направлений технического прогресса из военных областей в гражданские, которая наблюдается не только в телекоммуникации, но и во многих других отраслях.

## Современные предложения по оптической телекоммуникации

*Любая связь влечет за собой запросы и ожидания.*

*Элвин Тоффлер (04.10.1928–29.06.2016).*

Как уже отмечалось, применение оптических методов передачи информации существенно ограничено идеальностью условий прохождения светового луча при изменении погодных условий земной атмосферы. Очевидно, следует искать такие сферы применения световых технологий телекоммуникации, где этот недостаток не смог бы проявиться. Одно из современных предложений по световой коммуникации направлено, в основном, на обеспечение двунаправленной сетевой мобильной связи, которая могла бы конкурировать с Wi-Fi в закрытых помещениях [13]. Соответствующий маркетинговый термин этой технологии Li-Fi (Light Fidelity) придумал ее отец-основатель, профессор из университета Эдинбурга Харальд Хаас (Harald Haas).

Поскольку Li-Fi, в отличие от Wi-Fi, использует для передачи информации не традиционные радиочастоты, а видимую часть спектра электромагнитных волн (рис. 9), то это дает ей возможность существенного прироста скорости. Провозглашенная уникальность технологии заключается в том, что для передачи сообщений может быть применена та же видимая световая энергия, которая используется для освещения. При этом модуляция интенсивности света остается незаметной для человеческого глаза. Прием

модулированного сигнала осуществляется фоточувствительными детекторами, демодуляция и дешифровка сигнала — современными сигнальными процессорами.

В целом, можно считать, что Li-Fi является перспективным вариантом оптической передачи сообщений VLC, к которому можно отнести также инфракрасные и ультрафиолетовые способы коммуникации. При этом технология Li-Fi при необходимости может быть скомбинирована с существующей сетью Wi-Fi для увеличения скорости трафика, что послужит хорошим дополнением для существующей сетевой инфраструктуры.

## Некоторые особенности Li-Fi

При использовании технологии Li-Fi следует учитывать, что свет не проходит сквозь непрозрачные предметы, что, с одной стороны, ограничивает возможности связи, а с другой — улучшает ее скрытность и помехозащищенность.

Тем не менее необходим учет возможных помех от внешних источников излучения, таких как солнечный свет и лампы освещения. При применении на открытом воздухе необходимы способы кодирования, компенсирующие сбои, возникающие от различных атмосферных явлений (облака, дождь, туман, дым) и от появления непрозрачных преград на пути передачи (птицы, беспилотные летательные аппараты и пр.).

Следует также обеспечить развязку приемного и передающего устройств Li-Fi по времени, поскольку затруднительно экранировать приемник сигнала от попадания в него сигнала передатчика.

При необходимости передачи на большие расстояния нужно считаться с тем, что стоимость мощного и чувствительного приемопередатчика Li-Fi может стать непомерно высокой.

Важно также отметить, что современные стандартные «белые» светодиоды, приме-

няемые для утилитарного освещения, могут иметь довольно большую инерционность, которая зависит от времени послесвечения используемого в них люминофора. В настоящее время ведутся разработки специальных малоинерционных люминофоров, которые позволят превысить скорость передачи в десятки раз. Возможно также применение светодиодов без люминофора, например RGB, которые дополнительно позволят расширить канал связи, но в то же время не очень-то подходят для комфортного освещения. Не исключается также применение инфракрасного канала, имеющего лучшее соотношение сигнал/шум.

Не следует также забывать, что увеличенный, по сравнению с Wi-Fi, поток информации требует создания высокоскоростных линий связи с подключением к ним светодиодных светильников, что может обойтись весьма недешево.

## Возможные области применения

Резкий рост использования светодиодов (Light Emitting Diodes, LEDs) в последние годы способствует применению технологии Li-Fi везде, где требуется искусственное освещение.

Так, Li-Fi может стать наиболее полезен для работы популярных интернет-приложений с «потреблением контента», таких как видео и аудиозагрузки, прием различной потоковой информации, видеоигры. Эти приложения, как правило, требуют увеличенной пропускной способности нисходящей линии связи при меньших требованиях к восходящему потоку.

Перечислим некоторые направления возможной экспансии технологий на базе Li-Fi.

### Мобильная связь

В каждом современном смартфоне имеется встроенная фотокамера, что может быть достаточно для одностороннего общения с возможной обратной связью по Wi-Fi. Для двустороннего общения по Li-Fi достаточно дополнить точку доступа Li-Fi скоростным фотоприемником, а смартфон — управляемым светодиодом с установкой необходимого программного обеспечения. Поскольку светодиоды уже применяются в некоторых смартфонах в качестве фонариков и фотовспышек, то неудивительно, что рядом производителей заявлено о выпуске моделей с приложениями для работы по Li-Fi. Любой современный ноутбук, планшет или другое мобильное

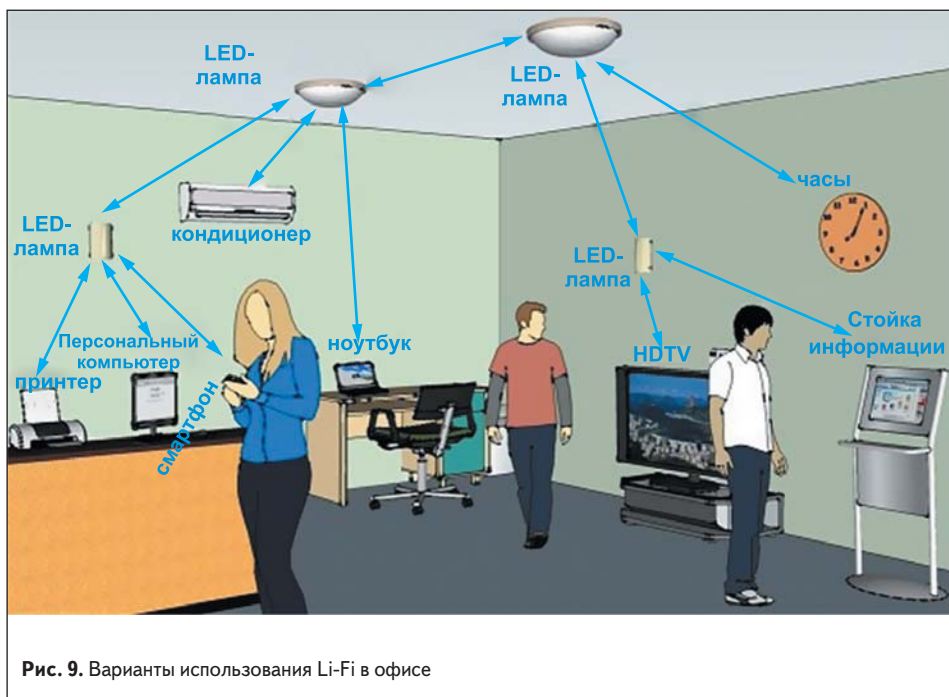


Рис. 9. Варианты использования Li-Fi в офисе



Рис. 10. Li-Fi USB-адаптер

устройство может быть подключен к Li-Fi с повышением скорости передачи данных. Уже существуют Li-Fi точки доступа и адаптеры, подключаемые к USB-порту (рис. 10), обеспечивающие двустороннюю скорость передачи данных до 40 Мбит/с. Некоторые из них, правда, работают в инфракрасном диапазоне, что, по большому счету, следовало бы считать реинкарнацией IrDA.

Возможность получения индивидуальной видеoinформации с помощью Li-Fi является еще одним шагом (после кабельного телевидения и IPTV) на пути сегментирования предоставления информационного и развлекательного контента.

### Разгрузка радиоканалов

Повышение пропускной способности сети связи может быть использовано в локальных зонах доступности по Li-Fi. Особенно это может быть эффективно при передаче потоков видеoinформации по Wi-Fi, где чаще всего и случаются узкие места. Для получения еще больших скоростей передачи (до 1 Гбит/с на канал) существуют корпоративные лазерные системы коммуникации.

### Интеллектуальное освещение

Любое частное или публичное освещение, в том числе и уличные фонари, может обеспечить Li-Fi точки доступа с использованием той же коммуникационной и датчиковой инфраструктуры, которая используется для контроля и управления освещением. При этом возможно сопряжение технологии Li-Fi с технологиями POE (Power over Ethernet) и PLC (Power Line Communication).

### Игрушки

В игрушках технология Li-Fi может быть использована для снижения стоимости коммуникаций при управлении от пульта на дистанциях до нескольких десятков метров.

### Подводная коммуникация

Радиоволны в воде сильно поглощаются, поэтому связь по радиоканалу для подводной связи применяется исключительно редко. Акустические сигналы, используемые, в основном, для гидролокации, не могут обеспечить высокую пропускную способность и, кроме того, могут мешать морским животным. Li-Fi может обеспечить связь под водой на небольших расстояниях, например между аквалангистами, между водолазом и подводной базой и т. п.

### Передача в пространствах с ограничениями по радиосвязи

Li-Fi предоставляет безопасную альтернативу связи без излучения радиоволн, что актуально при высоких требованиях по взрывобезопасности в условиях шахт и на объектах нефтехимии, а также при необходимости обеспечения скрытой связи, например для передачи информации агентурной разведки.

### Избегание радиоизлучения

Некоторые люди относятся с предубеждением к работающим радиопередатчикам, поэтому

они ищут им альтернативу. В таком случае Li-Fi будет хорошим решением вопроса.

### Организации здравоохранения

Поскольку Li-Fi не излучает электромагнитных помех, то он и не мешает работе медицинской техники, кардиостимуляторов и сканеров. Один из вариантов технологии Li-Fi уже применяется во время хирургических операций для беспроводной передачи данных от малогабаритного автономного электроэнцефалографа.

### Авиация

Li-Fi в пассажирских салонах воздушных судов может использоваться для снижения веса кабелей и повышения гибкости компоновки, особенно там, где уже применяется светодиодное освещение. При этом собственные мобильные устройства пассажиров могут быть подключены по Li-Fi к бортовым системам видео- и аудиоразвлечений с возможностью интерактивного общения и получения индивидуального контента.

### Военное применение

Оптическая коммуникация и в военной сфере находит новые ниши. Так, при ночном десантировании сил специальных операций применяются способы скрытой инфракрасной связи между парашютистами [14], что существенно уменьшает потери в живой силе десанта.

### Услуги по местоположению (Location Based Services, LBS)

Поскольку Li-Fi может обеспечить получение конкретной информации в определенном и ограниченном пространстве, то использование этой технологии для таких услуг, как реклама, навигация, сопровождение

индивидуальных и групповых экскурсий и получение справочной информации, будет востребовано в торговых центрах (рис. 11), выставочных залах, музеях, крупных офисных зданиях, станциях метро и прочих общественных местах.

Возможность интерактивного общения с выбором языка, типа и уровня информирования (например, для профи, для любителя, для краткой информации, для вызова консультанта) и даже получения ответа на вопросы позволяет выйти на качественно новый уровень обслуживания. У организаторов выставок, торговли, общественных мероприятий и транспортного обслуживания в свою очередь появляется возможность контроля и удовлетворения потребностей каждого посетителя/покупателя/пассажира. Программа по разворачиванию одной из таких сетей общего доступа была принята в начале 2016 г. для метро Парижа.

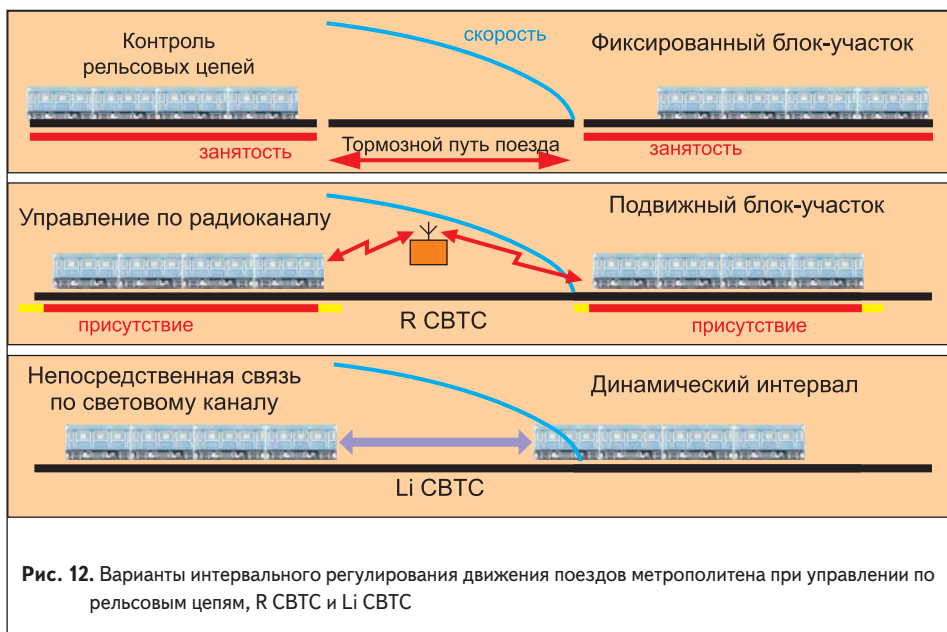
### Управление автомобильным и железнодорожным транспортом

*...следует не сосредотачиваться на темноте тоннеля, а концентрироваться на свете в его конце.  
Из методики по психологической саморегуляции.*

В автомобилях с недавнего времени начали широко применяться не только светодиодные ходовые огни, но и светодиодные фары. Уличные фонари, дорожные знаки и светофоры также переходят на светодиоды. Напрашивается очевидный шаг по распространению технологии Li-Fi на коммуникацию между автомобилями (Vehicle-to-Vehicle, V2V) и с дорожной инфра-



Рис. 11. Возможности Li-Fi в супермаркете



структурой (Vehicle-to-Roadside, V2R), что может повысить безопасность и облегчить управление дорожным движением.

Для рельсового транспорта Li-Fi может стать конкурентом известной технологии радиуправления движением поездов Communication (Radio-) Based Trane Control system, или R CBTC. Такую технологию управления можно назвать Li CBTC. На возможность применения световой связи в отечественной системе автоведения поездов метрополитена «Движение», как альтернативы широкополосной радиосвязи, указал главный конструктор системы А. П. Голынский. Li CBTC особенно актуальна при высокой интенсивности движения, поскольку непосредственная связь поезд–поезд и поезд–светофор по технологии Li-Fi дает возможность учитывать при управлении движением скорость, ускорение и другие характеристики следующего впереди состава. Это позволяет перейти от идеологии контроля величины защитных подвижных блок-участков в стандартной технологии R CBTC к динамическому управлению интервалами (рис. 12). Непосредственная связь V2V позволяет избе-

жаться от задержек на ретрансляцию, уменьшить информационный трафик, увеличить интервал между сообщениями и повысить энергоэффективность. Реализация возможности ретрансляции сигнала Li-Fi через светофорные посты и обеспечение работы по отраженному сигналу [15] от стен тоннеля позволит сохранить связь V2V на больших дистанциях, вне прямой видимости и на поворотах.

Ввиду отсутствия влияния капризов погоды, от которых подземные линии метро хорошо защищены, единственным возможным препятствием для прохождения света в тоннеле может быть его аварийное задымление, при котором движение поездов, независимо от применяемой системы управления, должно осуществляться на минимальной скорости или вообще быть запрещено.

Использование ретрансляции Li-Fi-сообщений на впереди и сзади идущие поезда будет способствовать оптимизации интервального движения по линии метро в целом. Применение такой технологии управления может увеличить на 10–15% существующую довольно высокую

пропускную способность метрополитена, которая достигнута, например, в системе «Движение» разработки АО «НИИ точной механики», в которой управление ведется по рельсовым цепям.

В технологии Li CBTC есть все возможности сохранения высокого уровня безопасности. Размещение оборудования Li-Fi на имеющейся инфраструктуре (светофорное оборудование перегонов и станций, светодиодные прожекторы головных и хвостовых вагонов) уменьшает его стоимость в сравнении с вариантом R CBTC, а использование светового канала связи вместо радиоканала повышает уровень кибербезопасности.

Еще больший уровень безопасности движения поездов может быть достигнут при совмещении технологий R CBTC и Li CBTC, что аналогично совмещению Wi-Fi с Li-Fi. Такая гибридная технология в состоянии обеспечить еще более надежное управление движением поездов без машинистов (driveless) при отказе от применения дополнительных блокировок и от напольного оборудования рельсовых цепей.

## Возможности развития Li-Fi

*Будущее всегда наступает очень быстро и всегда в непредсказуемом виде.*

*Элвин Тоффлер.*

Экспансия светодиодного освещения, охватывая весь мир, а также всеобщая автоматизация «умных городов» способствует тому, что светотехническая передача информации разовьется вширь и вглубь для решения ряда задач, а не будет замыкаться только на зрительную систему гомо сапиенс.

Наиболее перспективными представляются те применения Li-Fi, где эта технология сможет показать свои характерные преимущества, из которых, в первую очередь, следует отметить потенциально высокую скорость передачи, отсутствие необходимости лицензирования канала связи, локальность и повышенную скрытность применения. Интересны варианты применения Li-Fi в качестве замены и дополнения нового стандарта сотовой связи 5G. Вполне вероятно и возрождение гибридных радиооптических технологий на новом технологическом уровне.

В обзоре Министерства энергетики США (U.S. Department of Energy, DOE) по развитию твердотельного освещения [16] в главе Connected Lighting отмечаются перспективные возможности интегрирования световой коммуникации и систем управления освещением с «Интернетом вещей» и с системами «Умного города». Большая роль в этом процессе, по мнению DOE, должна принадлежать технологии Li-Fi.

Еще большее значение высокоскоростные информационные каналы приобретают в борьбе за умы людей, поскольку за маской свободного доступа скрываются изощренные приемы манипуляции общественным мнением и индивидуальным сознанием.

Суждено ли заявленной технологии Li-Fi стать частью того света, который, согласно Фрэнсису Бэкону, «коснется, осветит и раздвинет границы,



**Рис. 13.** Стив Каттс. Зомби

сдерживающие рост наших знаний» [17], или ей предстоит стать еще одним указателем на тупиковый путь превращения общества потребления в толпу потребителей контента, как это апокалиптически (рис. 13) изобразил английский художник Стив Каттс (Steve Cutts)?

Наверное, это станет ясно уже совсем скоро.

## Постскрипtum

*Слепец слепа за собой водит,  
а оба зги не видят.  
(Зга — стьга, стегга, стёжка — дорога)*

Наблюдаемые в последнее время инновации в области коммуникаций все больше напоминают цирковую борьбу, победителю которой достается приз в виде инвестиций.

Действительно, до настоящего времени технические новинки обычно готовились под покровом священной тайны и преподносились миру как великие достижения разума, перед которыми, как перед иконами, просвещаемому люду предлагалось трепетать в благоговении. Частично этот языческий обычай сохранился в представлениях суперконцептов некоторых концернов, что, однако, уже воспринимается в большей степени как дань устаревающей традиции.

Теперь же, в самом начале эпохи глобализации, публичное пространство начали все больше заполнять перспективные, полуфантастические и фантастические прожекты самых разнообразных инновационных предложений различного толка, которые не только обозначают, но и воздействуют на возможные направления развития.

Очевидно, что это связано с доминирующей ролью инвестиционного капитала, заинтересованного в активизации потребительского рынка с целью ускорения возврата вложений в инновационные проекты [18]. Ведь, несмотря на наличие широчайших

и глубочайших маркетинговых исследований, размер будущего спроса на инновационные гаджеты представляется тайной за семью печатями. При этом инвесторов мало интересуют долгосрочные проекты, нацеленные на решение общественно важных задач при минимизации суммарных затрат на их реализацию, поскольку они не могут принести солидной прибыли. Большинство инноваторов приспособилось к ходу событий и не обращают внимание на мнение ряда исследователей, которые считают, что такой подход уже себя исчерпал и пора думать об изменении ориентиров.

В разные эпохи философы и экономисты неоднократно возвращались к вопросу о сущности денег, о ссудном проценте, о движущей силе и о побочных результатах прогресса.

Так, Максим Грек, первый, по выражению Д. С. Лихачева, интеллигент на Руси, утверждал: «Блажен, кто помышляет о нищем и бедном, а оскорбляющий его, и обижающий, и угнетающий его непрестанно ежегодным требованием долгового роста — проклят от Бога, и отвержен» [19].

Вряд ли в ближайшем будущем, несмотря на проявляющиеся предпосылки, произойдет изменение курса инновационной политики в мире и в России, однако следует задуматься о сути происходящего и о целях развития. ■

## Литература

1. Ю. Липс. Происхождение вещей. М: Иностранная литература. 1954.
2. J. F. Carrington. Talking drums of Africa. Carey Kingsgate Press. 1949.
3. D. Stannard. American Holocaust: The Conquest of the New World // Oxford University Press. 1993.
4. G. W. Baird, Major, U.S. Army. Indian Campaigns of General Miles. // The Century, Vol. 42, Issue 3. July 1891.
5. Православная энциклопедия. Электронная версия. [www.pravenc.ru/text/149195.html](http://www.pravenc.ru/text/149195.html)

6. Énée le Tacticien. Poliorcétique. Texte établi par A. Dain, traduit et annoté par A. M. Bon. 2e tirage 2002. LXIII.
7. Константин Багрянородный. О церемониях Византийского двора // Известия Государственной академии материальной культуры. № 91. М. ОГИЗ. 1934. Восточная литература.
8. [www.youtube.com/watch?v=Uf-eykGL4VM](http://www.youtube.com/watch?v=Uf-eykGL4VM)
9. Гульский инцидент и гульская международная следственная комиссия // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. СПб. 1890–1907.
10. С. Кузнецов, Б. Огнев, С. Поляков. 4,5 километра FSO-соединения с операторской надежностью. Практические результаты // Технологии и средства связи. 2008. № 6.
11. [www.space.com/23350-laser-space-communications-incredible-technology.html](http://www.space.com/23350-laser-space-communications-incredible-technology.html)
12. Э. Тоффлер. Третья волна. М.: ООО «Фирма «Издательство АСТ». 2004.
13. Gopal S. Gundu, Sandeep R. Verma. Li-Fi in Indian Railways // International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies. Vol. 3, Issue 5. May 2015.
14. Э. Тоффлер, Х. Тоффлер. Война и анти-война: Что такое война и как с ней бороться. Как выжить на рассвете XXI века. М.: АСТ: Транзиткнига. 2005.
15. N. Serafimovski. pureVLC Demonstrates Li-Fi Using Reflected Light. <http://purelifi.com/purevlc-demonstrates-li-fi-using-reflected-light>
16. DOE SSL Program, R&D Plan, edited by James Brodrick, Ph.D. June 2016. [http://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/ssl\\_rd-plan\\_%20jun2016\\_0.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/ssl_rd-plan_%20jun2016_0.pdf)
17. F. Bacon. Interpretation of Nature. 1604.
18. М. Хазин, С. Щеглов. Лестница в небо. Диалоги о власти, карьере и мировой элите. М.: РИПОЛ классик, 2016.
19. Максим Грек (Михаил Триволис). Повесть о Саванороле. Рукопись, около 1523 г.