

Будущее VLC: теория и практика

Светодиодные коммуникации в погоне за потребителем

В статье собрана доступная на сегодня информация о передаче данных с помощью искусственного света. Рассказывается об истории возникновения технологии, описаны современные наработки, представлены реальные примеры внедрения, проанализированы успехи первых масштабных коммерческих проектов.

Введение

Если применить закон перехода количественных изменений в качественные к светотехнике, то можно предположить, что светодиодные технологии находятся на пороге больших изменений. Постепенно развиваясь с 1962 г., светодиодное освещение получило массовое распространение в последние 10 лет, став привычным явлением в каждом доме. Современные наработки ученых предсказывают расширение функционала LED-источников в области цифровой связи для передачи данных между «умными» устройствами. У любой новой технологии существуют свои достоинства и недостатки, поэтому главным вопросом будущего светотехники станет жизнеспособность нового функционала.

Технология под названием «Коммуникации с использованием видимого света» в мире обозначается как VLC (Visual Light Communication). В нашей стране чаще всего используют не совсем верный термин «световой Интернет». Давайте разберемся в том, что принципиально нового несет нам данная разработка.

История

Если задуматься, то идея далеко не нова. Например, передавать сигналы бедствия с помощью света от костров человечество начало еще в незапамятные времена. Думаю, самым наглядным примером будет всем известная сцена из фильма «Властелин Колец». Вспомните момент, когда свет пламени костров получил цепное распространение и призвал всадников Рохана на помощь.

Более реалистичный пример передачи визуальных сигналов до сих пор распространен на флоте. Для отправки секретной информации между кораблями моряки используют простой и надежный прибор — сигнальный фонарь (или, как его еще называют в мире, «лампу Олдиса»). Данное устройство выглядит как большой прожектор со шторками. Передача сигналов ведется короткими и длинными проблесками по азбуке Морзе.

Очевидно, что приведенные примеры имеют сильное ограничение в объеме и скорости передаваемых данных. Данную проблему пытался решить известный изобретатель Александр Бэлл (Alexander Graham Bell), сконструировав в 1880 г. «фотофон» (рис. 1). Это устройство еще до изобретения телефона передавало голос





Рис. 1. Фотофон

говорящего на несколько сотен метров, используя модулированный солнечный свет [9]. Конечно, система была далеко не идеальна. Она работала только днем и только при наличии солнечных лучей, а также была плохо защищена от внешних помех и погодных условий. Однако, несмотря на это, фотофон положил начало развитию волоконно-оптических линий связи, без которых сегодня не было бы высокоскоростного Интернета.

Более поздние устройства, использующие свет для передачи данных, прекрасно помнят владельцы первых телефонов с ИК-портами. До существования современных беспроводных технологий ИК-порты были чуть ли не единственным возможным способом передать файлы между мобильными телефонами. Для этого применяли невидимые глазу ИК-волны — принцип, широко используемый в пультах управления. Технология требовала много времени и минимального расстояния

между телефонами для передачи файлов, но стабильно работала.

И вот, годы спустя, человечество вновь вернулось к вопросу передачи данных с помощью света, на этот раз видимого. Так для чего потребовалось изобретать новые возможности для передачи информации, когда самые распространенные технологии связи Wi-Fi и Bluetooth прекрасно справляются со своей задачей?

Нарастающая популярность

Многие эксперты считают (и мы вынуждены с ними согласиться), что человечество входит в новую эпоху кибернетической революции. Без сомнения, совсем скоро вокруг нас появится огромное количество всевозможных «умных» устройств: не только телефоны, планшеты и часы, но также очки, кольца, браслеты, колонки, игрушки и прочие девайсы. Следуя потребностям общества, «поумнеет» бытовая техника, мебель и средства передвижения. Все эти

устройства будут служить точками сбора информации о своих пользователях, передавая собранные данные в логические центры искусственного интеллекта. После обработки данных «умная» техника сможет подстраивать свою работу под поведенческие характеристики владельца. Данный концепт носит название «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT), и он вполне реален.

Очевидно, что в таком кибернетическом мире потребуется очень широкий и надежный канал передачи данных, который сможет «осилить» весь объем передаваемой информации. Не исключено, что в ближайшие 10 лет на каждого «продвинутого» пользователя потребуется выделить скорость, измеряемую десятками Гбит/с. Существующие сети могут стать настоящим «бутылочным горлышком» развития таких технологий.

Чтобы качественно увеличить пропускную способность передаваемой информации, а также научить устройства общаться друг с другом без участия серверов, многие ученые уже сейчас активно работают над технологией VLC. С недавних пор это стало реальным благодаря массовому внедрению светодиодов.

Светодиод не имеет разрушающих его переходных процессов, как, например, лампа накаливания, и сам по себе работает дискретно, включаясь и выключаясь с высокой частотой, незаметной человеческому глазу. Кстати, именно это свойство светодиода делает его таким энергоэффективным.

Суть технологии

Я постараюсь простым языком описать принцип работы технологии VLC. Он заключается в управлении частотой мерцания светодиода, кодирующей цифровой сигнал в видимый свет. При этом наблюдатель не может заметить визуальной разницы между обычным светильником и светильником, передающим данные. На принимающей стороне должен быть расположен фотодиод (например, камера фотоаппарата) (рис. 2). Кодированием и декодированием сигнала занимаются компактные микропроцессоры [5]. Применяя в одном светильнике как светодиод, так и фотодиод, их можно соединить «каждый-с-каждым». Это позволит обходиться без единого роутера, ретранслируя сигнал между устройствами в любую сторону.

По типу применения различается оборудование VLC для внутреннего (indoor)

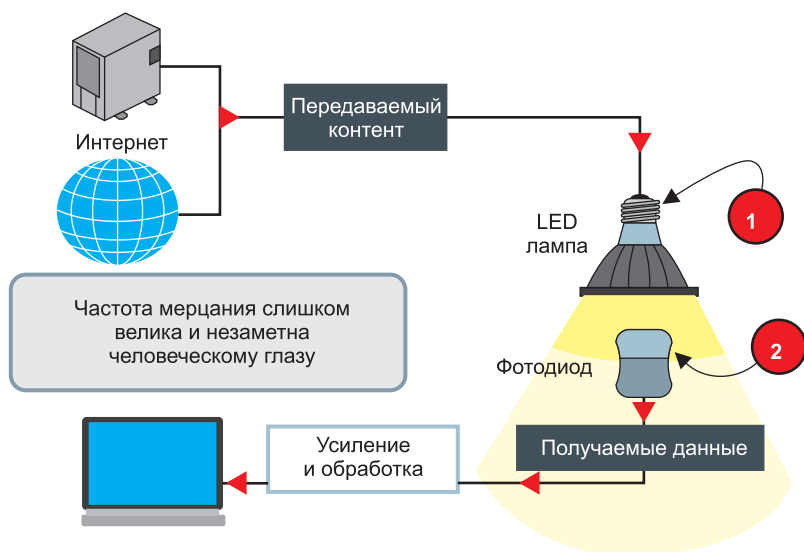


Рис. 2. Принцип работы VLC

и внешнего (outdoor) использования. Технология для уличного использования называется Free-Space Optics (FSO) и применяется чаще всего мобильными операторами и силовыми структурами для временной организации канала связи, а также там, где прокладка кабеля связи технически невозможна [2]. Более интересная нам технология коммуникации внутри помещения носит название Li-Fi (Light Fidelity, по аналогии с Wi-Fi).

На сегодня скорость передачи данных по Li-Fi достигает среднего показателя 150 Мбит/с и зависит от расположения устройств, мощности применяемых светодиодов, а также методов кодирования сигнала. В прошлом году ученым из Саудовской Аравии удалось добиться скорости передачи в 2 Гбит/с [10]. Работа в этой области только началась, поэтому следует ожидать достижения скоростей порядка 10–20 Гбит/с. Очень перспективные показатели.

Недостатки

Чтобы не быть сверх-оптимистичными в описании данной технологии, давайте перечислим ее очевидные недостатки:

1. Во-первых, VLC требует прямого канала передачи. В отличие от радиоволн, которые проходят сквозь стены, свет источника ограничен пределами его видимости. Чтобы обеспечить равномерное покрытие, например в квартире, требуется установить дублирующие или ретранслирующие светильники в каждой комнате. Если говорить об уличном использовании технологии, то плохие погодные условия, особенно снег или туман, будут препятствовать передаче данных.
2. Во-вторых, максимальной скорости передачи данных можно достичь в непосредственной близости от источника света, а при удалении от источника скорость будет нелинейно падать [4]. На расстоянии 2 м (это средняя высота расположения светильника в помещении) скорость передачи составляет около 40 Мбит/с, а максимальная дальность не превышает 50 м [13].
3. Для обеспечения качественной двусторонней связи оба устройства должны обладать мощным источником света. Это накладывает свои ограничения на использование технологии в мобильных девайсах. На данный момент смартфоны оснащены маломощной

вспышкой, расположенной на тыльной стороне устройства. Такой источник большое количество данных передать не может. При этом применение более мощного «передатчика» делает систему слишком энергозатратной для портативного гаджета.

4. Следствием предыдущего пункта является существующая потребность в разработке и внедрении дополнительной аппаратной части для устройств, использующих Li-Fi: таких, например, как мощный светодиод и чувствительный фотодиод. Это требует дополнительных затрат со стороны производителей, что скажется на увеличении стоимости девайсов.

Достоинства

Без сомнений, трудности, с которыми придется столкнуться данной технологии, велики. Однако достоинства системы могут перевесить. Давайте подробно их разберем:

1. Главным достоинством VLC является пропускная способность системы. На основе собственного опыта хочу заверить, что использование Wi-Fi

в офисе со 120 сотрудниками, у каждого из которых есть как минимум смартфон и планшет, — сомнительное удовольствие. При этом визуальный спектр частот в 10 000 раз шире, чем радиоспектр [4]. Множество IoT-устройств смогут использовать данную технологию без потери качества передаваемых данных (рис. 3).

2. Второе достоинство Li-Fi вытекает из еще одного недостатка радиоволн. Передавать данные по радиоканалу нельзя вблизи чувствительного электронного оборудования, например лабораторных приборов или навигационной системы самолета. Кроме того, некоторые частоты имеют право использовать только военные, что особенно актуально в нашей стране.
3. Другое достоинство технологии является, как ни странно, следствием ее главного недостатка: прямого канала связи. Такая система имеет гораздо лучшую степень защиты, так как для перехвата данных злоумышленнику требуется попасть под прямой луч света, что может быть весьма затруднительно.



Рис. 3. Мир «Интернета вещей»

4. Хотя технология существует относительно недавно и до сих пор находится в начале своего пути развития, международная ассоциация по сертификации уже приняла международный стандарт для VLC, который называется IEEE 802.15.7 [3]. Кроме того, энтузиасты разработали платформу с открытым исходным кодом под названием OpenVLC [8], которая поможет быстро внедрить Li-Fi повсеместно. А если стандарты уже утверждены, то стоит дожидаться лишь интеграторов, которые рано или поздно реализуют систему в коммерческих проектах.
5. Уже на данном этапе развития систему VLC можно применить для построения односторонней передачи данных. Например, для навигации посетителей внутри помещений, используя светильники для передачи сигналов координат и смартфоны для вычисления местоположения пользователя. Это напоминает работу системы GPS, однако, в отличие от нее, система VLC может использоваться внутри помещений. Такое применение выдает феноменальную погрешность — всего в 30 см [6]. Систему могут успешно использовать гипермаркеты, торговые центры и большие логистические склады, о чем мы подробно поговорим в дальнейшем.
6. Обязательно следует отметить сравнительную дешевизну и надежность системы VLC. Даже если учитывать комплектацию светильников дополнительными модулями приема/передачи

данных, эти затраты могут окупиться за счет экономии электроэнергии и отсутствия дополнительных кабельных линий. Более того, однажды внедрив микропроцессор в светильник, дальнейшую модернизацию системы можно производить программно.

7. Немаловажным пунктом является отсутствие вредного влияния светодиодного освещения на здоровье человека, в то время как учеными доказано пагубное влияние радиоволн. В медицине даже существует понятие «радиоволны профессиональной вредности» [15].

8. Заключительным достоинством системы является возможность ее использования под водой для связи дайверов и субмарин, где невозможно применение стандартных методов связи [4].

Суммируя все позитивные и негативные факторы, можно уверенно сказать, что развитие системы VLC существенно скажется на появлении новых путей взаимодействия как между машинами (M2M), так и между машинами и людьми (Human-Computer Interaction, HCI). Это, в свою очередь, откроет новые пути применения технологии и даст толчок развитию соседних областей.

Практическое применение системы

Рассмотрим, где можно применить VLC на практике уже сегодня.

Прежде всего, высокая степень безопасности передаваемых данных делает

очевидным использование технологии в армии и на флоте. Американцы, к примеру, уже в этом году тестируют свою систему под названием TALON для обеспечения защищенной от неприятеля связи между морскими судами во время маневров [11].

Если рассматривать гражданскую сферу применения, то на ум сразу приходят больницы и лаборатории, в которых чувствительное электронное оборудование сможет наконец быть подключено к Интернету. Это, в свою очередь, ускорит передачу и обработку исследовательских данных. Аналогичным образом Li-Fi может стать единственным стандартом для передачи данных на борту авиалайнеров (рис. 4). Разработки в этом направлении сейчас ведутся компаниями Boeing и Lufthansa [1]. Не исключено появление Li-Fi в социальных учреждениях и городских общественных пространствах: в школах, библиотеках, музеях, парках и многофункциональных центрах. Примером этому может послужить текущий проект внедрения Li-Fi во всем комплексе парижской подземки [14]. Москва тоже не уступает в своей технологичности: тестирование уже началось в отдельно взятом сооружении под названием «Умный город». Если результаты окажутся успешными, не исключено более масштабное внедрение уже в следующем году [1].

Чуть ранее мы затронули тему IoT, поэтому будет логичным поделиться разработками инженеров в этой сфере. Специалисты из исследовательской лаборатории компании Disney трудятся над концепцией взаимодействия между собой детских игрушек посредством встроенных в них светодиодов [12]. Нарботки выглядят очень интересно, и можно предположить, что наши дети будут развлекаться одновременно с целой сетью взаимосвязанных игрушек.

Также привлекательна технология обмена данными между автомобилями с использованием светодиодных фар (Car-2-Car Communication). Производители рассчитывают научить автомобили передавать экстренную информацию о резком снижении скорости движения на автобанах, аварийной ситуации на дороге, плохих метеоусловиях и затруднении движения [4]. Более того, с неизбежным приходом автономизируемых автомобилей Li-Fi может стать стандартом общения транспортных средств. А если подключить к системе



Рис. 4. Применение VLC на борту самолета

передачи данных городские светофоры и информационные табло на трассах, то такое применение технологии выглядит вполне перспективно (рис. 5).

Что касается домашнего или офисного использования, то Li-Fi отлично сочетается с концепцией «умного дома», в котором мы сможем использовать смартфон для автоматизации работы бытовой техники, рабочих станций, жалюзи, обогревателей, замков и даже мебели. В офисах с большим количеством сотрудников наконец перестанут возникать проблемы с беспроводной связью.

Самое продвинутое на сегодня применение VLC приходится на розничную продажу товаров и услуг. Компания Philips с партнерами активно внедряет технологию в гипермаркетах по обе стороны от Атлантики. Уже сейчас в городах Лилль, Дюссельдорф или Дубай можно испытать на себе ее работу. В магазинах Edeka, Carrefour, Toys R Us и Walgreens светодиодные светильники посылают невидимый глазу уникальный сигнал идентификации, который может быть распознан камерой смартфона при условии наличия мобильного приложения супермаркета [6]. Смартфон производит триангуляцию, вычисляя свое точное расположение в магазине с использованием минимум трех светильников. Как уже было сказано ранее, с помощью данной технологии можно распознать местоположение посетителя с точностью до 30 см. Более того, VLC позволяет легко определить, в какую сторону ориентирован смартфон клиента. В отличие от Wi-Fi и Bluetooth, которые также используются для определения местоположения в ритейле, технология VLC дает значительно более точные данные, она дешевле и не требует подключения дополнительного питания к маячкам. Так что ее можно смело назвать «GPS для магазинов».

Вероятно, данная разработка особенно понравится мужчинам, которые смогут быстро узнать, где на полках гипермаркета находятся продукты из списка покупок. Система сама проложит оптимальный маршрут по магазину, избегая большого скопления покупателей (рис. 6). Более того, нажав на кнопку в приложении, можно вызвать для помощи консультантов, которые у нас частенько отсутствуют на месте. Еще одним дополнительным сервисом может стать информирование посетителей о загрузке магазина или его отдельных зон, помогая плани-

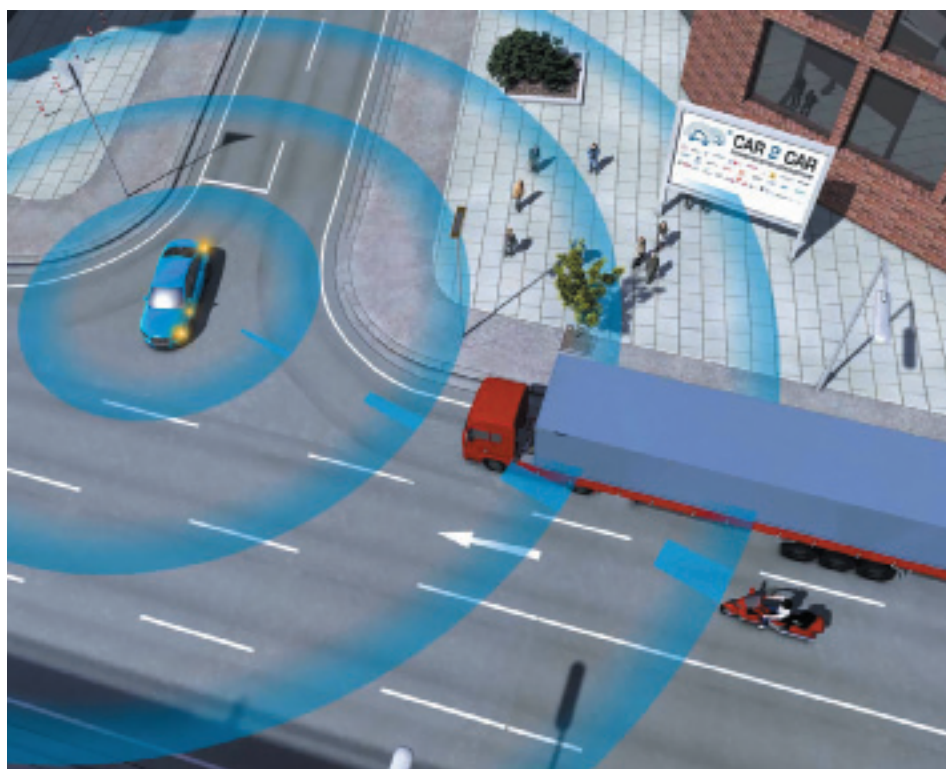


Рис. 5. Li-Fi позволит автомобилям вести диалог посредством света фар

ровать посещение в часы с наименьшим «столпотворением» для экономии времени в очередях. Лично я бы с удовольствием воспользовался таким сервисом!

Для управления командой мерчендайзеров такой сервис будет также полезен. Вы сможете отправлять маршруты проведения работ прямо сотруднику на телефон. Управляющие всегда будут знать, в какой части гипермаркета находится каждый сотрудник. Больше не потребуется использовать громкую связь магазина. Другой

«фишкой» может стать информирование персонала о присутствии VIP-покупателя с быстрым просмотром его досье и истории покупок [6]. Это может быть полезным для повышения уровня сервиса элитных бутиков.

Маркетологи сетевых магазинов смогут увеличить продажи, например присылая персонализированную скидку клиенту через push-уведомление на мобильный телефон, когда тот находится в непосредственной близости от промо-товара. И даже



Рис. 6. Навигация покупателя внутри магазина

больше: для увеличения покупательной вовлеченности можно внедрить приемы геймификации, например игру «поиск сокровищ» на всей территории магазина [6]. Это привлечет более молодую аудиторию и поднимет продажи.

Подводя итог, можно отметить самое очевидное применение системы. Отслеживание местоположения пользователей — это сбор данных. Внедрив такую систему, маркетологи смогут собирать подробную информацию о поведении пользователей, а увязав ее с программами лояльности и отчетами по продажам, они получат уникальную систему аналитики магазина, не менее продвинутую, чем системы трекинга в онлайн [6].

Практика

К сожалению, мы не смогли найти успешного проекта по двусторонней передаче данных с помощью света. Надо признать, что Li-Fi находится на заре своего существования и все наработки ученых направлены на создание исследовательской базы. Однако проекты Philips и ее партнеров по односторонней передаче данных с использованием VLC в мире довольно распространены.

Например, крупнейшая американская аптечная сеть Walgreens подключила к системе 8000 своих магазинов. Собственное мобильное приложение позволяет посетителям использовать навигацию по магазину, купоны, накапливать баллы в системе лояльности, сканировать штрихкоды продуктов и вести персональный список покупок. Проведенное маркетологами А/Б-тестирование (метод сравнения вариантов в маркетинге) показывает, что средняя прибыль от пользователей приложения на 5–10% превышает прибыль от остальных клиентов магазина [6].

Другой сетью, внедрившей VLC в 590 точек продаж, является американская Toys «R» Us. Их приложение проще, сервис предлагает только навигацию по магазину и дисконтные акции. Сеть рапортует об увеличении корзины пользователей приложения более чем на 10%. Более того, посещаемость «умных» магазинов сети увеличилась на 28% относительно обычных торговых точек. Маркетологи тестировали несколько вариантов push-уведомлений и пришли к выводу, что продажи промо-товара увеличиваются в два раза при нахождении пользователя в непосредственной близости от него,

нежели когда пользователь получает уведомление вне магазина [6].

Что касается Старого Света, то результатами делится только лишь магазин сети Carrefour в г. Лилль. Гипермаркет площадью 8000 кв. м в день проводит для посетителей от 200 до 300 персонализированных акций. Кроме возможности навигации по торговой площади и дисконтных акций, магазин предлагает посетителям заявить об отсутствии товара на полке и поделиться своими выгодными покупками в социальных сетях (рис. 7). Светильники при этом способны измерить освещенность торгового зала и регулировать свою работу при ярком солнечном свете. Это позволяет достичь 50%-ной экономии на освещении такой огромной площади [6].

Несомненно, новинка оставляет два вопроса: как быть с безопасностью и защитой пользовательских данных? И как мотивировать посетителя установить мобильное приложение? Ответы на эти непростые вопросы лягут на плечи соответствующих специалистов.

Если рассуждать о будущем развитии системы, то нет смысла отрицать, что стандарт VLC будет модифицироваться, обрастая новыми возможностями и «фишками». Однако большинство подобных модификаций сможет проводиться на программном уровне, без замены светотехнического оборудования [7]. А это значит, что ритейлеры выиграют тем быстрее, чем раньше обновят свои светильники на «умные». Следовательно, повсеместное внедрение данного инструмента маркетологов неизбежно.

Заключение

Подводя итоги, следует отметить, что технология VLC, и в частности, Li-Fi, в силу перечисленных недостатков, не будет являться заменой привычных средств пере-

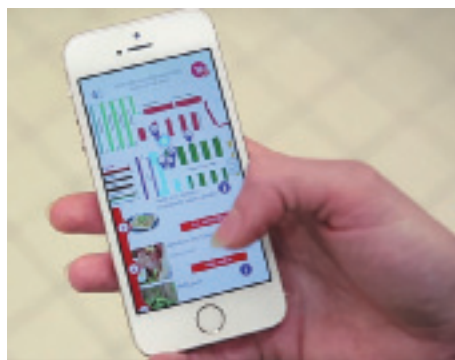


Рис. 7. Приложение магазина Carrefour

дачи данных. Скорее, нам следует ожидать симбиоза систем и выхода на массовый рынок новых девайсов, поддерживающих коммуникацию с помощью света. Эксперты предсказывают массовое внедрение Li-Fi в 2018 г. [1], что, по нашему мнению, является очень оптимистичным прогнозом. Ну и, конечно, стоит учесть, что во многих отраслях технология может не прижиться. История помнит недавние утопические проекты внедрения Wi-Fi, когда провайдеры обещали обеспечить покрытие беспроводной сетью всей территории Москвы. ●

Литература

1. www.rbc.ru/newspaper/2016/12/14/584ffdd89a7947e3d22b4b8c
2. С. Кузнецов, Б. Огнев, С. Поляков. 4,5 километра FSO-соединения с операторской надежностью // Технологии и средства связи. 2008. № 6.
3. <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.7-2011.html>.
4. Alam Muhammad, Ferreira Joaquim, Fonseca Jos . Visible Light Communication for Cooperative ITS. Ch. 2 // Springer International Publishing. 2016.
5. Serafimovski Dr. Nikola. Facts of Li-Fi // Lighting Journal. 2014. № 16.
6. www.youtube.com/watch?v=GvoxV6pPMOg
7. www.electronicweekly.com/market-sectors/internet-of-things/iot-networks-led-lighting-2015-04
8. Wang Qing, Giustiniano Domenico, Gnawali Omprakash. Low-Cost, Flexible and Open Platform for Visible Light Communication Networks // The 2nd ACM Workshop on Hot Topics in Wireless. Paris, 2015.
9. <https://en.wikipedia.org/wiki/Photophone>
10. <http://luxreview.com/article/2016/08/fastest-li-fi-luminaire-in-the-world-created-in-saudi-arabia->
11. <http://luxreview.com/article/2016/08/us-navy-turns-to-li-fi-to-tackle-russian-hacking>
12. www.disneyresearch.com/project/visible-light-communication
13. Kumar Navin. Visible Light Communication Based Traffic Information Broadcasting Systems // International Journal of Future Computer and Communication. 2014. Т. 3.
14. www.ledsmagazine.com/articles/2017/05/when-will-the-paris-metro-finally-get-its-li-fi.html
15. www.medical-enc.ru/26/radiowaves.shtml