

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

умное освещение,
рынок умного освещения,
концепция «Безопасный
город»,
технология Light Fidelity
(Li-Fi)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА НОВЫХ ПРИНЦИПАХ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

Р. В. Рябчиков, канд. техн. наук, ведущий инженер-программист АО «НПП «Рубин»

На сегодняшний день термин «умный» используется применительно практически ко всем аспектам хозяйственной деятельности человека. В основном он подразумевает автоматизацию рабочих процессов и возможность взаимодействия объектов конкретной инфраструктуры по сети. Обратимся к теме умного освещения: рассмотрим состояние рынка умных осветительных приборов и принцип построения систем умного освещения, включая их применение и тенденции развития. Кроме того, представим новую систему беспроводной передачи данных, основанную на ином физическом принципе, и опишем перспективы ее применения.

Ожидается, что до 2026 года глобальный рынок умных городов будет расти со среднегодовым темпом 22,5%. Большая часть этого роста будет происходить в Китае, Северной Америке и Японии. Основные сегменты включают умное управление и образование, умные здания и инфраструктуру, умную энергетику, умное здравоохранение и умную безопасность. Объем рынка решений для умных городов в России по итогам 2019 года превысил 81 млрд руб. При этом 93% рынка оказалось сосредоточено в Москве, 2% – в Санкт-Петербурге, оставшиеся 5% распределены по остальным регионам РФ [1].

Термин «умный свет» относится к сфере управления системами контроля освещения. Эти системы учитывают различные факторы, такие как присутствие людей в помещении, уровень освещения и вре-

мя суток, чтобы контролировать работу лампы, тем самым экономия электроэнергии и средства пользователя. Рынок умного света является самым быстрорастущим в индустрии, занятой производством осветительного оборудования. Проблема экономии электроэнергии в условиях ограниченности ресурсов и роста их потребления крайне актуальна. Затраты на электроэнергию растут пропорционально потребностям населения планеты. Большая доля расходов приходится на освещение, она составляет в среднем 19–20% общего объема потребления электроэнергии. Более 46 стран, в том числе Россия, утвердили программы, стимулирующие экономию электроэнергии, а также переход на энергосберегающее освещение.

Рынок умного освещения

Рынок умного освещения в России находится, фактически на стадии скрытого рынка. Согласно проекту «Умный город» [2], направленному на формирование банка инновационных тематических проектов и курируемому Министерством строительства России, зарегистрированы лишь несколько проектов по умному освещению, большинство которых были поданы в 2019 году. Тем не менее рынок производства оборудования в стране растет. Согласно данным Росстата, индекс производства по виду экономической деятельности «Производство электрических ламп и осветительного оборудования» (в % к предыдущему году) имеет восходящий тренд, что говорит о росте рынка (рис. 1).

Наиболее крупные сегменты (сегменты административно-офисного освещения, ЖКХ, прожекторов и промышленного освещения) совокупно занимают 89,1% от общего объема рынка в количественном выражении (рис. 2а). В стоимостном же наиболее крупные сегменты (сегменты административно-офисного освещения, промышленного и улично-дорожного освещения, ЖКХ) совокупно занимают 68% от общего объема рынка (рис. 2б) [3].

Умный свет – это система, включающая в себя осветительные приборы и электронные системы, управляющие ими. Системы освещения представлены различными видами: флуоресцентные, диодные, ксеноновые лампы и др. Системы контроля включают в себя сенсоры, микроконтроллеры, приемники и другие приборы, ответственные за поведение света.

Возможности умного освещения

Умные лампы работают иначе и обеспечивают принципиально иные возможности по контролю. Из-за того, что они зачастую используют технологии беспроводного обмена информацией, а также собраны в единую сеть, пользователь в состоянии управлять светом из любого места на земле, используя мобильные устройства или персональный компьютер.

Объединение беспроводных сетевых технологий и осветительных приборов в одном решении дает возможность принципиально изменить привычный порядок вещей. Световые сценарии – это огромное поле для дизайнера интерьеров. Выделяя светом одни элементы интерьера и скрывая в полумраке другие, можно постро-

ить сразу несколько вариантов дизайна в одном помещении. Помимо этого, можно изменить подход к освещению улиц, помещений, дорог, внедрить световые сценарии в охранные системы, системы оповещения и т.д.

Помимо этого, термину «умное освещение» можно придать различный смысл в зависимости от желания иметь гибкое и полнофункциональное самостоятельное решение или интегрировать осветительные устройства в более масштабную систему автоматизации. Что касается первого случая, то в сфере самостоятельно функционирующих устройств существует большой выбор продуктов от разных производителей, при этом все большую популярность обретают системы, позволяющие реализовать концепцию «Безопасный город».

Концепция «Безопасный город» на примере жилого сектора

«Безопасный город» – это автоматизированная система для удовлетворения основных потребностей города, основанная на комплексе программно-аппаратных средств и организационных мер для обеспечения видеонаблюдения и технической безопасности, а также управления объектами жилищно-коммунального хозяйства и другими распределенными объектами в масштабах города.

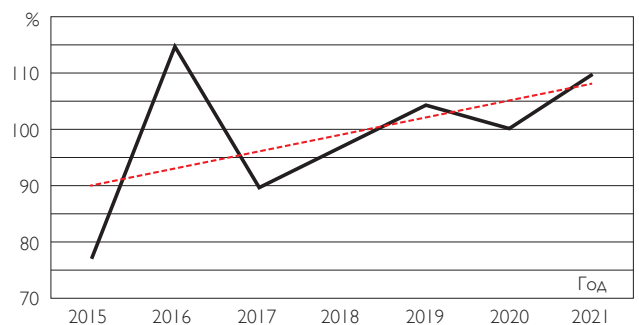


Рис. 1. Индекс производства по виду экономической деятельности «Производство электрических ламп и осветительного оборудования», в % к предыдущему году

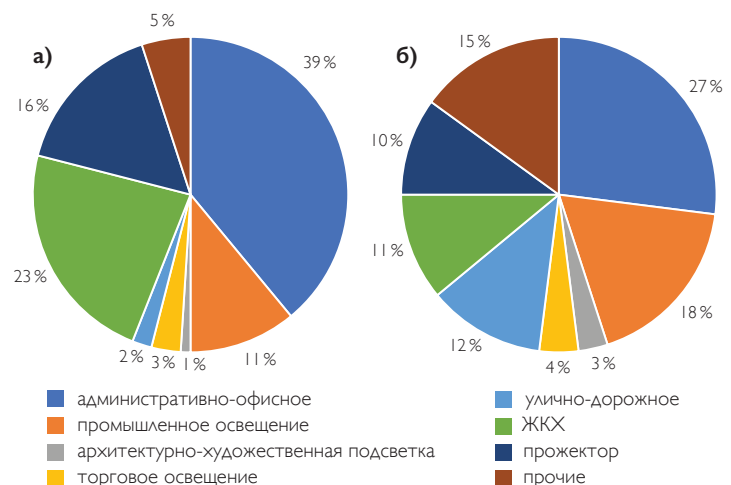


Рис. 2. Структура по сегментам применения: а) по количеству используемого оборудования, шт.; б) по финансовым затратам, руб.

Структурно «Безопасный город» представляет собой древовидную схему, которую предлагаем рассмотреть на примере жилого сектора. Каждый объект оборудован целым комплексом подсистем: видеонаблюдение, датчики учета ресурсов, охранная и пожарная сигнализации, подсистема контроля доступа и т.д. Все данные с каждого объекта поступают в единый узел. Такой узел может объединять и несколько объектов – это определяется масштабом города, удобством сбора данных и решением инсталлятора. Из опорных узлов информация передается в оперативно-технический центр. Возможен и другой вариант топологии системы: опорных узлов нет, данные со всех объектов поступают непосредственно в ОЦ. Естественно, такое количество информации говорит о серьезной загруженности сети, к тому же необходимо организовать саму инфраструктуру.

На сегодняшний день актуальность приобрел поиск новых возможностей передачи данных. Одним из носителей информации могут стать светодиодные элементы уличного освещения [4].

Новая технология передачи данных Li-Fi

Информационный свет (Light Fidelity, Li-Fi) [5] – новая технология передачи данных, которая может принципиальным образом изменить беспроводную передачу данных в будущем, создает возможности, созревшие для использования уже сегодня, и готовится стать многомиллиардной индустрией. В настоящее время уже достигнута скорость 3 Гбит/с, которая превосходит показатели сверхбыстрого широкополосного доступа.

Информационный свет может применяться как для разгрузки существующих сетей, работающих на радиочастотах, так и для увеличения их пропускной способности. Для связи используется видимая часть электромагнитного спектра. Это отличает данную технологию от такой устоявшейся формы

беспроводной коммуникации, как Wi-Fi, где используются традиционные радиочастоты.

В Li-Fi данные передаются модуляцией интенсивности источника света, принимаются фотоприемником, а сигнал преобразуется в электрический. Модуляция производится таким образом, что человеческий глаз ее не воспринимает. При использовании этой техники светодиодная лампа способна передавать информацию с высокой скоростью. Технология высокоскоростной оптической связи Li-Fi относится к категории беспроводной коммуникации, которая, кроме видимого света, включает инфракрасный и ультрафиолетовый спектры.

Радиочастотная связь предполагает под собой наличие антенн и сложных приемников, в то время как Li-Fi-технология гораздо проще. В ней применяются прямые методы модуляции, подобные тем, которые задействованы в инфракрасных коммуникационных устройствах – пультах дистанционного управления. Li-Fi в перспективе может превратить любую LED-лампу в беспроводную точку доступа по аналогии с маршрутизатором Wi-Fi.

Область применения

Распространение Интернета вещей (IoT) порождает появление все большего числа приборов, использующих радиочастоты для взаимного обмена информацией: холодильников, часов, фотоаппаратов, сотовых телефонов и даже чайников с кухонными комбайнами, что является причиной ухудшения качества передачи данных. Li-Fi использует частоты световых волн, которых в 10000 раз больше, чем радиочастот. Радиоволны создают электромагнитные помехи, которые мешают работе приборов и оборудования самолетов, больниц и потенциально опасны на таких производствах, как ядерная энергетика, бурение нефтяных и газовых скважин. Li-Fi использует свет, искробезопасный и не создающий помех.

Развитию данной технологии способствовал резкий рост использования светодиодов в целях освещения, тем более что технология производства светодиодов дешевеет с каждым годом. Уже производятся фары, задние фонари автомобилей, уличные светильники, вывески и светофоры, в которых используются LED-элементы. Благодаря этому появляется возможность взаимодействия автомобилей между собой и дорожной инфраструктурой в системах обеспечения безопасности и управления дорожным движением.

Одними из главных преимуществ, кроме низких затрат на реализацию, является то, что эта технология поможет избежать поглощения радиоволн, а также то, что на ее использование не требуется лицензия. Видимый свет не вступает в противоречие с другими частотами, поэтому его можно безопасно использовать в общественных местах, на борту самолета или в качестве коммунальной услуги в системе «Умный город».

Как и Wi-Fi, технология Li-Fi использует протоколы, аналогичные IEEE 802.11 [6], но задействует электромагнитные волны диапазона видимого света (вместо волн радиодиапазона, аналогичные IEEE 802.3, но без использования оптоволокна), который имеет гораздо более широкую полосу пропускания.

Стандарт IEEE 802.15.7 определяет физический уровень (PHY) и уровень управления доступом к среде (MAC).

Информационный свет. Термин Li-Fi был введен в обращение немецким профессором Харальдом Хаасом (Harald Haas) из Эдинбургского университета и обозначает способ передачи информации при помощи света, который обеспечивает высокоскоростную двустороннюю связь, подобную Wi-Fi.



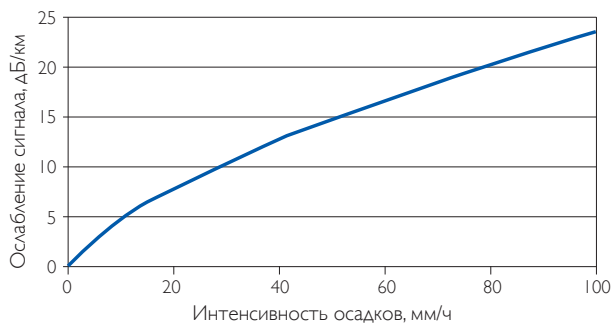


Рис. 3. Затухание в дождь в оптическом и инфракрасном диапазонах частот

Стандарт определяет три физических (РНУ) уровня с разными пропускными способностями:

- РНУ I был создан для наружного применения и работает на скоростях от 11,67 Кбит/с до 267,60 Кбит/с;
- РНУ II позволяет достигать скоростей передачи данных от 1,25 Мбит/с до 96 Мбит/с;

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Номер формулы	Формула
(1)	$\beta_0(\lambda) = 10^5 \int_0^{\infty} Q_d \left(\frac{2\pi r}{\lambda}, n' \right) \pi r^2 \frac{dN(r)}{dr} dr \text{ км}^{-1}$
(2)	$\gamma_{\text{rain}} = kR^\alpha$
(3)	$\gamma_{\text{snow}} = aS^b$
(4)	$N = E_{\text{ОКР}} = E_{\text{ЕСТ}} + E_{\text{ИСК}} + E_{\text{ОТР}} =$ $= \frac{I_{\text{ЕСТ}}}{r_{\text{ЕСТ}}^2} \cos i_{\text{ЕСТ}} + \frac{I_{\text{ИСК}}}{r_{\text{ИСК}}^2} \cos i_{\text{ИСК}} + \frac{I_{\text{ОТР}}}{r_{\text{ОТР}}^2} \cos i_{\text{ОТР}}$

Обозначения в формулах

β_n – коэффициент ослабления сигнала
 λ – длина волны, мкм
 $\frac{dN(r)}{dr} dr$ – распределение размеров частиц на единицу объема, см^{-4}
 n' – действительная часть индекса рефракции n распыленных неоднородностей
 r – радиус отдельной частицы, см
 $Q_d \left(\frac{2\pi r}{\lambda}, n' \right) \pi r^2$ – эффективное сечение отражения для рассматриваемого типа неоднородностей
 γ_{rain} – ослабление из-за дождя, дБ/км
 k и α – зависимости от характеристик дождя, и результатов специальных измерений в различных точках Земли. (Например для Японии $k = 1,58, \alpha = 0,63$, а для Франции $k = 1,076, \alpha = 0,67$)
 γ_{snow} – ослабление из-за снегопада, дБ/км
 R и S – соответственно интенсивность дождя и снегопада, мм/ч
 a и b – функции длины волны, λ , нм. Параметры a и b для мокрого и сухого снега:

	a	b
Мокрый снег	$0,0001023 \lambda_{\text{нм}} + 3,7855466$	0,72
Сухой снег	$0,0000542 \lambda_{\text{нм}} + 5,4958776$	1,38

N – мощность шума

$E_{\text{ОКР}}$ – окружающая освещенность, лк

$E_{\text{ЕСТ}}$ – естественная освещенность, лк

$E_{\text{ИСК}}$ – искусственная освещенность, лк

$E_{\text{ОТР}}$ – отраженная освещенность, лк

- РНУ III предназначен для множественных источников с определенным методом модуляции: Color Shift Keyring (CSK), что можно перевести как «манипуляция смещением длины волны». РНУ III может достигать скорости от 12 до 96 Мбит/с [7].

Распространение оптического сигнала в открытом пространстве

Распространение света в атмосфере в значительной степени определяется ее составом, то есть разнородными частицами, молекулами и аэрозолями. В результате такого взаимодействия образуются следующие явления: рассеяние и поглощение света. Они так или иначе влияют на распространение оптического сигнала в открытом пространстве.

Рассеяние представляет собой перераспределение направления излучения в результате взаимодействия фотонов и частиц среды.

В случае, когда длина волны света, который взаимодействует с частицами в атмосфере, соответствует размеру этих частиц, возникает явление отражения от неоднородностей атмосферы. Качество передачи данных систем, основанных на оптическом сигнале, наиболее сильно зависит от этого фактора.

Ослабление в туман может достигать до 315 дБ/км. Для определения коэффициента ослабления β_n пользуются формулой (1) (см. Формулы).

Ослабление в дождь можно рассчитать по формуле (2). На рис. 3 показано ослабление в осадках, наблюдаемое в оптическом диапазоне частот.

Ослабление в снегопад зависит от его интенсивности и определяется по формуле (3). Оценка ослабления является функцией интенсивности снегопада для $\lambda = 1,55$ мкм (см. рис. 4).

В таблице представлен международный код видимости, отражающий ослабление (дБ/км) для различных состояний атмосферы [8].

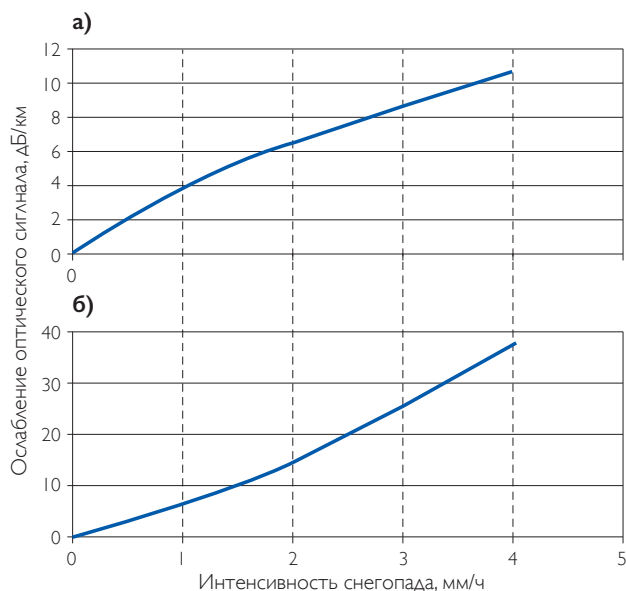


Рис. 4. Затухание в зависимости от интенсивности снегопада: а) в мокром снеге; б) в сухом снеге

Влияние на оптический сигнал окружающей инфраструктуры

Помимо атмосферных явлений следует оценивать и окружающую инфраструктуру, в частности то обстоятельство, что сигнал будет отражаться от асфальта, который будет поглощать часть излучения. Таким образом, согласно [9] коэффициент отражения видимого света для асфальта составляет 0,05–0,15, а для бетонного покрытия дорог – 0,2–0,3.

Мощность шума N определяется как сумма окружающих источников освещенностей $E_{\text{ОКР}}$ естественного $E_{\text{ЕСТ}}$ и искусственного $E_{\text{ИСК}}$ характера, плюс отраженная освещенность $E_{\text{ОТР}}$ для учета рассеяния от окружающих поверхностей – см. формулу (4).

Все перечисленные факторы могут ослабить сигнал, но не приводят к его полному исчезновению.

Скорость передачи данных (с учетом отражения от асфальтового покрытия дороги) может составить до 10 Мб/с.

Таблица Международный код видимости

Погодные условия	Осадки		Видимость, м	Ослабление, дБ/км
		мм/ч		
Очень плотный туман			0	
Плотный туман			50	315,00
Средний туман			200	75,00
Легкий туман			500	28,90
Очень легкий туман	Шторм	100,00	770	18,30
			1 000	13,80
Легкая пасмурность	Сильный дождь	25,00	1 900	6,90
			2 000	6,60
Очень легкая пасмурность	Средний дождь	12,50	2 800	4,60
			4 000	3,10
Чистый воздух	Легкий дождь	2,50	5 900	2,00
			10 000	1,10
Очень чистый воздух	Изморось	0,25	18 100	0,60
			20 000	0,54
			23 000	0,47
			50 000	0,19

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЫ РАЙОННОГО ЗНАЧЕНИЯ КАТЕГОРИИ Б.

Для соответствия нормам СНиП 23-05-95 рассчитана конфигурация, где используются светильники мощностью 40 Вт, обладающие световым потоком 5 500 Лм, и опоры высотой 8 м с шагом 20 м. Чтобы оценить возможности системы, расчет произведен при $E_{\text{ЕСТ}} = 100$ Лк, что соответствует пасмурному дню (сумеркам), $E_{\text{ИСК}} = 100$ Лк в качестве засвета от автомобилей и других источников света при максимальном ослаблении сигнала в очень плотный туман. Скорость передачи данных (с учетом отражения от асфальтового покрытия дороги) может составить до 10 Мб/с.

Таким образом, на основе принципа обмена данными между светильниками уличного освещения путем кодирования информации в структуре световой волны появляется возможность создания распределенной сети обмена данными, сформированной уличными осветительными приборами. Система, основанная на данном принципе, не задействует лимитированные ресурсы радиоэфира и нечувствительна к помехам в радиосети. Она позволит экономить энергоресурсы, затрачиваемые на освещение, благодаря непрерывному контролю уровня освещенности и возможности регулирования каждой лампы, обеспечить достаточный уровень освещенности, использовать свет для выделения особенно опасных участков, реагировать на присутствие и передвижение людей и автомобилей.

Литература

1. Рынок технологий для умного города // iKS-Consulting. 2019. <http://survey.iksconsulting.ru/page5160775.html> (дата обращения: 15.08.2022).
2. Пилотный проект по цифровизации городского хозяйства на территории муниципального образования в рамках ведомственного проекта Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации по цифровизации городского хозяйства «Умный город». <https://russiasmartcity.ru> (дата обращения: 15.08.2022).
3. Федеральная служба государственной статистики «Индекс производства по высокотехнологичным обрабатывающим видам экономической деятельности». <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 15.08.2022).
4. Рябчиков Р. В. Перспективы развития систем умного освещения // Вестник науки и образования. 2019. № 20 (74). Часть 1. С. 39–43.
5. Sherman Joshua. How LED Light Bulbs could replace Wi-Fi. DigitalTrends. 2013. <https://digitaltrends.com/mobile/light-bulb-li-fi-wireless-internet> (дата обращения: 15.08.2022).
6. Степунин А. Н., Николаев А. Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 т. 2-е изд. М.-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 804 с.
7. Рыжков А. Е., Лаврухин В. А. Гетерогенные сети радиодоступа: учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2017. 92 с.
8. АНО «Центр анализа электромагнитной совместимости». Рекомендация МСЭ-R P.1817 «Данные о распространении радиоволн, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве». http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITU-R_Rec_List_ANO_R.htm (дата обращения: 15.08.2022).
9. Нойферт Э. Строительное проектирование. М.: Стройиздат, 1991. 392 с. ■