

Жизнь пожилых людей: освещение, циркадные ритмы и деменция II¹

ГАШПЕР Ч.

Lumenia d.o.o., Ваце, Словения
E-mail: gasper.coz@lumenia.com

Аннотация

Свет всегда был важной частью человеческой природы и процесса развития. Продолжающиеся исследования света, имеющего воздействие на тело человека, открывают удивительные факты. Эти факты показывают, что свет воздействует на организм человека и может помочь снизить заболеваемость и улучшить здоровье. Доказано, что естественный свет может существенно помочь в этом процессе, и наш клиент решил добиться аналогичного эффекта с использованием искусственного освещения. Развитие такого света повлекло за собой много второстепенных исследований о том, какой вид света оказывает наибольшее влияние на организм человека. Первым проектом, в котором мы установили такой свет, было учреждение по уходу за пожилыми людьми, результаты которого свидетельствуют о воздействии света на гормоны человека.

Ключевые слова: циркадный ритм, разработка светильника, спектральный анализ, проектные измерения.

1. Воздействие света

До недавнего времени биологическое воздействие света и спектра света не представляло интереса для производителей осветительных приборов. Но всё изменилось после недавнего исследования, которое показало очень сильную связь между качеством света и здоровьем [1–3]. Несмотря на то, что убедительные свидетельства глубокого влияния дневного света на здоровье можно проследить на протяжении всей истории, лишь менее двадцати лет назад появилось лаконичное понимание этого процесса [4].

Ещё несколько лет назад основным интересом индустрии освещения было только «как сделать освещение наиболее энергоэффективным, чтобы удов-

летворить визуальные потребности» или то, что в настоящее время известно как процесс «формирования изображения» (ФИ). Однако со временем внимание также сосредоточилось на процессах «незрительного воздействия» (НВ), поскольку стало ясно, что на них также влияет свет. Благодаря более глубокому пониманию того, как работает человеческое зрение, знания по обоим вопросам возросли. Стало очевидным, что то, что было удовлетворительным для ФИ, не было удовлетворительным для НВ, и необходимость разработки освещения, удовлетворяющего обоим процессам, становилась всё более важной [2].

Однако на практике существует всего несколько проектов, которые требуют решений и спектров для этих двух биологических, но разных процессов, – визуального ФИ и циркадного ритма НВ, и пока ещё нет общепринятого стандарта, на который можно было бы опереться.

Если Вы вдруг столкнётесь с требованиями клиента с учётом обоих процессов, Вы должны начать исследование. Начинать с разработки сначала спектра источника света, а затем оптических характеристик светильников как для ФИ, так и для НВ, чтобы получить оптимальный результат [5].

2. Светильник, обеспечивающий НВ

2.1. Спектр светодиодов

Давайте сначала рассмотрим спектр света. Вопрос о том, что требуется для удовлетворения визуальной потребности ФИ, изучен хорошо, и источники света разрабатываются в основном для

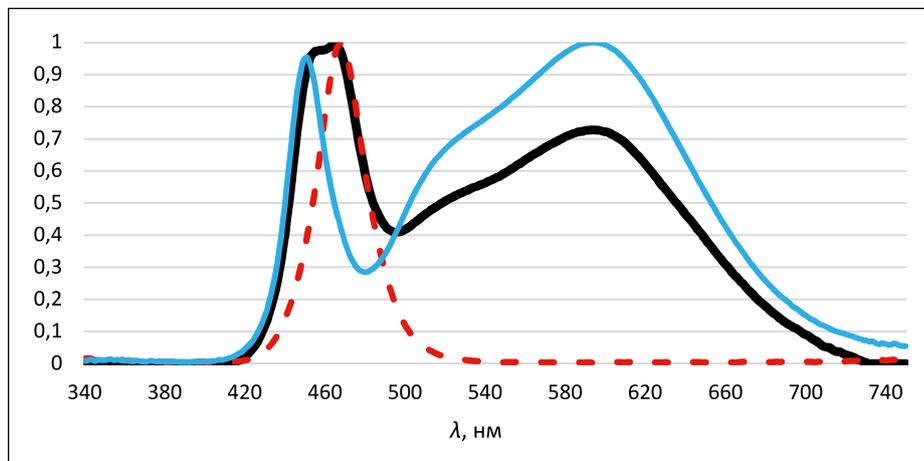


Рис. 1. Относительные спектральные распределения излучения светодиодов

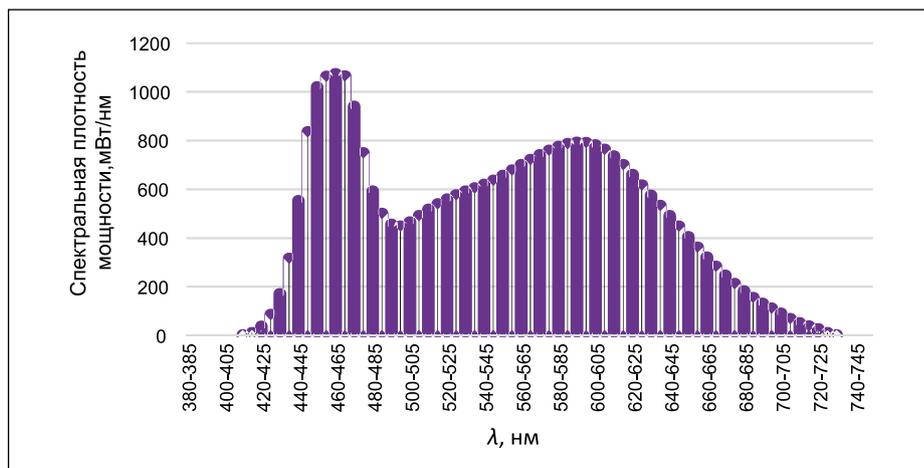


Рис. 2. Спектральная плотность мощности

¹ Перевод с англ. А.Ю. Басова

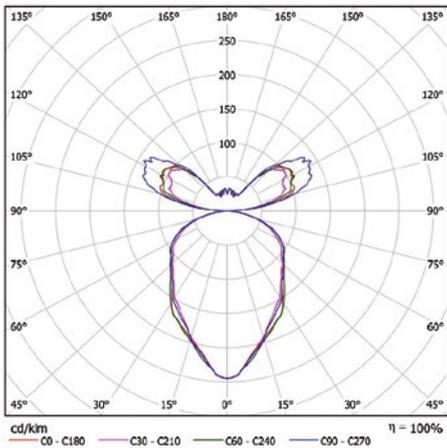
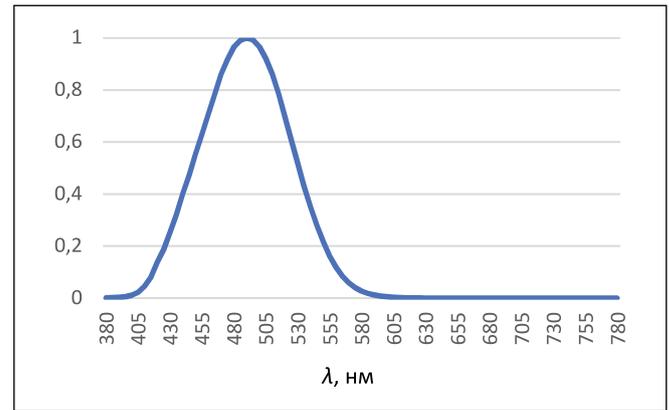


Рис. 3. Светораспределение светильника SKY LUM

оптимального удовлетворения этой потребности. Однако для НВ данных значительно меньше, хотя было проведено много исследований, чтобы сформировать прочную базу для работы. Наиболее важный и самый основной результат этого исследования состоит в том, что спектр света должен содержать достаточно энергии в спектре действия для меланопсина, который имеет пик между 455 нм и 490 нм. Поскольку этот спектральный диапазон не имеет большого значения для зрения или индекса цветопередачи, производители светодиодов и чипов не имеют широкого выбора чипов, излучающих эту часть спектра. Это означает, что можно найти/разработать приемлемый светильник, только комбинируя различные чипы [6].

Принимая во внимание требования НВ и процесс подавления гормона мелатонина, а также повторный выпуск его секреции, мы рассматриваем две коррелированные цветовые температуры (КЦТ) света. Для вечернего и ночного времени нам нужен спектр с низкой энергией, излучаемой внутри кривой С-λ, поэтому нам нужна КЦТ света от 2700 К до 3000 К. Сложность наступает, когда мы хотим получить хороший эффект как для ФИ, так и для НВ. Для таких примеров нам нужен «более холодная» КЦТ, а также, что более важно, высокое значение излучаемой энергии внутри кривых С-λ и V-λ. Мы знаем, что ганглиозные клетки чувствительны к свету и в основном связаны с синими колбочками. Это означает, что лучший эффект подавления мелатонина будет в узкой полосе длин волн синего спектра. Нам нужно объединить два светодиода, чтобы удовлетворить как

Рис. 4. Меланопическая кривая (относительная спектральная эффективность)



эффект ФИ, так и НВ. Проведя масштабное исследование светодиодов на рынке, которые могут обеспечить теоретический принцип НВ, мы нашли решение, которое производит подавление и секрецию мелатонина наиболее эффективным способом. Этот результат показывает, что коэффициент активации, который мы достигли, составляет 0,68, что выше, чем у большинства чрезвычайно холодных белых светодиодов на рынке.

$$a_{\text{мел,в}} = \frac{X_{e,\text{мел}}}{X_{e,\text{вид}}} = \frac{\int_{380\text{нм}}^{580\text{нм}} X_{\lambda}(\lambda) S_{\text{мел}}(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} X_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

Синяя линия на рис. 1 соответствует белому светодиоду 4000 К, а красная линия соответствует синему светодиоду с пиковым значением на длине волны 468 нм. КЦТ этой комбинации составляет 5300 К и показывает интересное увеличение индекса цветопередачи с 80, который мы получили для стандартного белого светодиода 4000 К, до 91, просто добавив монохроматический синий светодиод. Это приводит к эффективному решению для процессов НВ и ФИ. Энергия, излучаемая в интервале 455–480 нм, составила 5,016 мВт с максимальной плот-

ностью спектральной мощности равной 218 мВт/нм при 465 нм (рис. 2). Это означает достаточное количество энергии для подавления мелатонина, но энергия с этой длиной волны, которую мы получаем от естественного света, намного больше [7].

Хотя мы рассматриваем процесс выработки гормона мелатонина, мы должны принять во внимание, что при воздействии полученного спектра секреция мелатонина должна начинаться перед сном. На этом этапе нам нужно изменить спектр на противоположный, то есть нам нужно снизить спектральную плотность мощности на длинах волн с 380 до 580 нм, что приведёт к использованию светодиода с более низкой КЦТ от 2700 К до 3000 К.

Однако эффективность такого светильника нельзя сравнить с эффективностью стандартного светодиодного светильника на рынке. Используя монохроматический светодиод с эффективностью всего 25 лм/Вт, мы можем достичь максимальной эффективности светильника всего 95 лм/Вт для достигнутого спектра. Однако тёплый белый цвет может иметь эффективность 115 лм/Вт. При разработке такого типа светильника и спектра мы также должны понимать предысторию процесса, который происходит внутри циркадных часов человеческого тела.

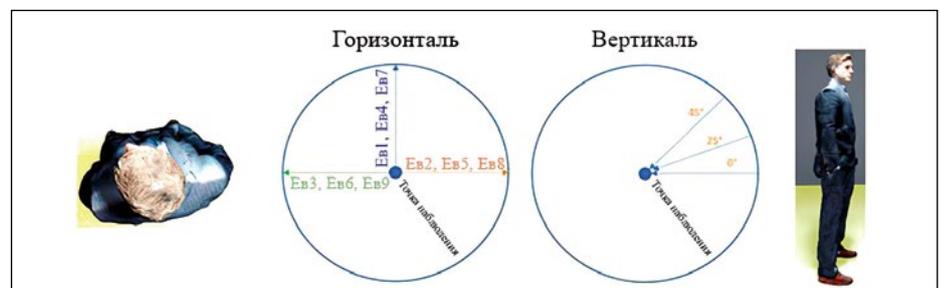


Рис. 5. Направления точек измерения

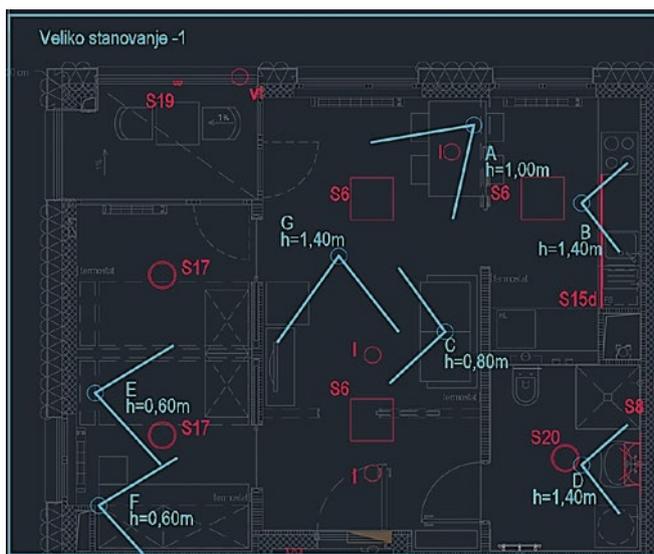


Рис. 6. Точки измерения в помещении

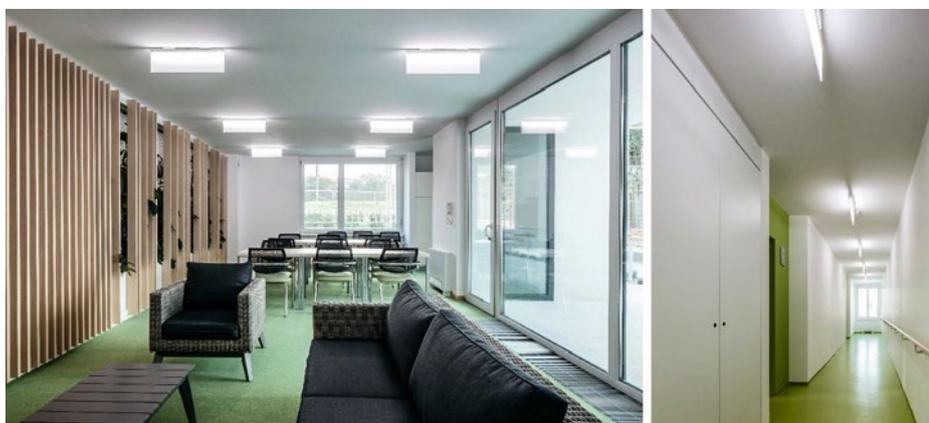


Рис. 7. Потолочные светильники SKY LUM с низким уровнем блёскости и минималистичным дизайном

2.2. Светораспределение светильника

Вторым шагом в разработке светильника является обеспечение светораспределения, которое должно быть удовлетворительным как для ФИ, так и для НВ. К счастью, есть некоторые параметры, которые нужны для обоих процессов, – отсутствие блёскости, отсутствие мелькания и отсутствие большого разброса в значениях яркости в поле зрения. Это может быть достигнуто с помощью большой светоизлучающей поверхности, в которой мы должны учитывать как прямой, так и непрямой свет. Углы, при которых свет попадает в наши глаза, составляют от 40° до 60° при естественном освещении. Под этими углами происходит воздействие на большинство светочувствительных ганглиозных клеток и подавление мелатонина. Непрямой свет играет очень важную роль в формировании лучей под этими углами.

Второй важной особенностью светораспределения является низкий градиент между яркостью потолка и яркостью светоизлучающей поверхности. Например, если мы посмотрим на светильники даунлайты, градиент яркости может достигать 1:10000, в то время как при прямом и непрямом освещении его можно легко уменьшить до 1:40 или даже ниже 1:10.

Мы решили работать с непрямым и прямым светораспределением, где доля света в верхнее полупространство составляет 45 % и в нижнее полупространство – 55 %. Оргстекло со специальным лазерным рисунком обеспечивает форму светораспределения в виде крыльев летучей мыши в верхнем полупространстве и узкое Ламбертовское распределение в нижнем полупространстве (рис. 3)

Свет поступает на пластину из оргстекла со стороны, где расстояние между светопроводящей панелью и светодиодами должно быть очень

точным. Расстояние для достижения минимальных световых потерь должно составлять от 0,4 до 0,8 мм.

2.3. Проект освещения учреждения по уходу за пожилыми людьми

Изделие назвали SKY LUM, и первый проект был выполнен для дома престарелых. После нескольких месяцев использования светильника, в которых мы находили освещённость под разными углами и эквивалентные меланопические люксы (ЭМЛ). ЭМЛ рассчитываются по потоку, определяемому с помощью меланопической кривой, показанной на рис. 4. Концепция ЭМЛ приводится в американском стандарте WELL Building и показывает количество света, которое влияет на наш циркадный ритм.

Точки измерения рассматривались в трёх разных условиях – на высоте глаз постояльцев, под углом спектрометра и в направлении угла наблюдения в соответствии с положением постояльцев в комнате (рис. 5–6).

В табл. 1 и на рис. 7–8 представлены примеры измерений в помещениях. Они показывают разницу при различном угле наклона спектрометра. Результаты для точки E сильно отличаются. Это связано с наличием классических плафоньеров без увеличенной доли синего в спектре, необходимой для циркадного света. Меланопический коэффициент в этом случае составляет почти половину от значений при освещении светильниками SKY LUM в помещении.

Заключение

Запрос клиента бросил вызов как светотехникам, так и дизайнерам. Задача состояла не в том, чтобы создать специальный спектр, а в том, чтобы понять процессы НВ, которые происходят внутри нашего тела. Количество отчётов о медицинских и технических исследованиях по этой проблеме огромно, но некоторые из них могут вводить в заблуждение. Это может быть связано со слабым (поверхностным) базовым пониманием неврологических и эндокринных данных исследователями и светораспределения установленных приборов [6, 8, 9].

Изделие, которое мы успешно разработали и установили в доме пре-

Результаты измерений в помещениях

Угол измерения 0°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	$E_{в1}$, лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	420	465,92	9,77	332,05	0,96
B	1,4	1503,12	545,17	456,74	11,87	391,04	0,87
C	1,1	548,63	371,62	465,92	8,27	285,61	0,94
D	1,4	389,16	269,17	465,92	6,17	217,18	0,98
E	0,9	403,52	229,87	606,13	4,79	101,52	0,54
G	1,4	840,24	290,39	467,75	6,35	220,29	0,92
Угол измерения 25°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	$E_{в4}$, лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	673,61	465,92	16,3	549,67	0,99
B	1,4	1503,12	659,35	458,57	14,31	494,27	0,91
C	1,1	548,63	514,85	465,92	12,06	410,73	0,97
D	1,4	389,16	375,39	465,92	8,8	307,92	1
E	0,9	403,52	326,36	607,83	6,71	145,73	0,54
G	1,4	840,24	334,38	467,75	7,7	263,11	0,96
Угол измерения 45°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	$E_{в7}$, лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	749,09	465,92	18,39	617,60	1
B	1,4	1503,12	975,16	465,92	22,44	767,38	0,96
C	1,1	548,63	597,94	465,92	14,29	484,40	0,99
D	1,4	389,16	441,48	465,92	10,31	361,40	1,00
E	0,9	403,52	392,6	602,72	8,06	175,52	0,54
G	1,4	840,24	529,52	467,5	12,78	431,3	0,99



Рис. 8. Подвесные светильники SKY LUM обеспечивают низкий световой градиент от потолка и светящейся поверхности, создавая низкую блёккость и правильные углы освещения для процессов НВ

старелых, приводит к новому подходу к использованию света, который может помочь людям, которые по разным причинам не могут подвергаться достаточному количеству дневного света. Часто это происходит из-за недостаточного количества персонала для помощи и перемещения пожилых людей с ограниченными возможностями. Этот спектр позволяет поддерживать порядок в циркадных ритмах, что оказывает положительное влияние на процессы заживления, а также на улучшение иммунной системы и т.д. Заказчик *Nepremičninski Sklad Slovenia* (Фонд пенсионного страхования и страхования недвижимости на случай инвалидности) был рад построить один из первых общих проек-

тов в Европе, которые поддерживают процессы НВ посредством искусственного освещения. Результаты измерений показывают, что светильники излучают спектр, необходимый для воздействия на циркадные ритмы. Это подтверждает, что мы преуспели в разработке эффективного освещения как для НВ, так и для процессов ФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wurtman R.J.* The effects of light on the human body // *Scientific American*.– 1975. – Т. 233.– #1. – С. 69–77.
2. *Wetterberg L.* Light and biological rhythms in Man. London: Pergamon Press.– 1992.– # 351.
3. *L.O. Bjorn.* Photobiology: The science of light and life. 3rd edition. New York: Springer Science+Business Media.– 2015.– 455 с.

4. *S.W. Lockey, G.C. Brainard, C.A. Czeisler.* High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light // *J Clin Endocrinol Metab*.– 2003. – Т. 88.– #9. – С. 4502–4505.

5. CIE227:2017, Lighting for older people and people with visual impairment in buildings.– 2017.– 73 с.

6. *R.J. Lucas, S.N. Peirson, D.M. Berson и др.* Measuring and using light in the melanopsin age // *Trends in Neurosciences*.– 2013. – Т. 37.– #1. – С. 1–9.

7. *M. Figueiro, J.D. Bullough, M.S. Rea.* Spectral sensitivity of the circadian system // *Proceedings of SPIE*.– 2003.– 8 с.

8. *C. Czeisler, J. Gooley.* Sleep and circadian rhythms in humans // *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*.– 2007. – Т. 72.– #1. – С. 579–597.

9. *G. Brainard, A.M. Chang.* Why is blue light before bedtime bad for sleep? – 2017.

URL: <https://retinaguardstore.com/blogs/news/retinaguard-why-is-blue-light-before-bedtime-bad-for-sleep>



Гашпер Чож, инженер, в 2015 окончил электротехнический факультет Люблянского университета, Словения. Последние 6 лет он занимается светодиодными технологиями,

изучая и разрабатывая профессиональные светодиодные изделия. В настоящее время он является продакт менеджером в Litenia d.o.o, в основном занимается исследованиями новейших светодиодных технологий

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2019 ГОДУ (III квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
Июль. Дни будут объявлены	Lighting for Health and Wellbeing Conference Международная конференция по человекоцентричным подходам к освещению	Ньюпорт-Бич (Калиф.), США lightsearch.com
04–06.07	LIGHTEXPO Africa 2019 Международная светотехническая выставка-ярмарка, с конеренцией	Найроби, Кения lightsearch.com
10–12.07	Агрорусь – 2019 Международная агропромышленная выставка-ярмарка	Санкт-Петербург, РФ exponent.ru
25–27.07	InterLumi Panama Международная светотехническая выставка-ярмарка	Панама-Сити, Панама lightsearch.com
Август. Дни будут объявлены	LED Forum Международная конференция по освещению светодиодами	Сан-Паулу, Бразилия lightsearch.com
04–07.09	China International Optoelectronic Exposition (CIOE) Китайская международная выставка-ярмарка оптоэлектронных изделий, с конференцией	Шеньжень, КНР lightsearch.com
09–10.09	Международная научно-техническая конференция по применению светодиодных фитооблучателей	Москва, РФ hlconf2019.vnisi.ru
10–13.09	Interlight Russia Intelligent building Russia Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий	Москва, РФ interlight-moscow.ru
24–26.09	Trends in Lighting – Smart Lighting Forum & Show (TIL 2019) Международная конференция по интеллектуальному освещению, с выставкой	Брегенц, Австрия
	LED professional Symposium +Expo Международный симпозиум по широкому кругу проблем освещения светодиодами, с выставкой-ярмаркой	forum-trends.lighting lightsearch.com
	OLEDs World Summit Международная выставка-ярмарка по trade show – conference	Сан-Хосе (Калиф.), США lightsearch.com
	Build School – 2019 3-я Международная выставка по проектированию, строительству и модернизации детских садов и школ	Москва, РФ exponet.ru