

Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения¹

С. ДАРУЛА

Строительно-архитектурный институт Словацкой академии наук, Братислава, Словакия
E-mail: usarsdar@savba.sk

Аннотация

В древности жизнь на земле определялась тремя основными факторами, а именно, ветром, водой и солнцем. В истории архитектуры задокументировано значительное влияние солнца на городскую жизнь, которое проявлялось в планировке домов в древних Месопотамии и Греции. И излучение солнца вообще, и дневной свет в частности играли существенную роль при формировании внутридомовых пространств. Позже, в 20-м веке, внимание было обращено на взаимосвязь между жизнью людей в домах и естественными условиями применительно к самочувствию людей и вопросам энергопотребления, и в последнее время соответствующие всесторонние исследования начали проводить с использованием как компьютеров, так и междисциплинарного подхода. В то же время, недостаточность естественного света даже в дневное время компенсировалась искусственным внутренним освещением, которое становилось всё эффективнее и дешевле.

Существуют два подхода к нормированию и оценке зрительной среды внутри зданий. Первый из них основан на определении минимальных показателей, позволяющих удовлетворить потребности здорового образа жизни людей и обеспечивающих работу их зрения при осуществлении любой деятельности, тогда как второй подход основан на поведении и комфорте обитателей зданий с учётом круглогодичного измене-

ния таких физических параметров, как свет, температура, шум и энергопотребление.

Современная нормативная база для оценки естественного освещения и критерии выбора размеров окон стимулируют исследования в области методологического подхода, который исторически был основан на соответствующем пасмурному небу² распределении яркости и не учитывал годовые изменения уровня освещённости, создаваемой светом неба. Новая тенденция в нормировании естественного освещения, заключающаяся в учёте годового или долгосрочного изменения естественного освещения, основана на средних или медианных уровнях обеспечиваемой светом неба освещённости, которая характеризует местные климатические условия.

В статье приведены обзор и обсуждение принципов нормирования естественного освещения с небольшим вступлением, охватывающим историю и современное состояние рассматриваемого вопроса. При этом основное внимание будет уделено будущему развитию светотехники в целом и соответствующих стандартов в частности.

Ключевые слова: нормирование естественного освещения, параметры естественного освещения, расчёт естественного освещения зданий, источники естественного освещения.

1. Введение

В последнее время наблюдается стремление к унификации критери-

ев оценки внутреннего естественного и искусственного освещения, исходя при этом как из соображений, связанных с обеспечением здоровья людей и хороших условий видимости, так и с удовлетворённостью людей средой их обитания. Основные требования к здоровой и хорошей зрительной среде можно разбить на несколько категорий [1–5]:

- Физиологическая: здоровье людей, наличие естественного света вообще и солнечного света в частности, достаточная освещённость, невизуальное воздействие, распределение яркости, отсутствие блёскости, контраст между фоном и наблюдаемыми деталями/объектами, острота зрения и возможность различать мелкие детали за нужное время.

- Психологическая: вид наружу, самочувствие, ориентация в пространстве, насыщенность пространства естественным светом и создание настроения.

- Эстетическая: цветовая гармония и усиление привлекательности пространства внутри зданий.

- Социальная: культурное наследие и национальные/местные традиции.

- Экологическая: уменьшение выработки CO_2 в результате уменьшения энергопотребления

- Экономическая: максимальное использование естественного света и оптимизация затрат, энергосбережение.

- Технологическая: специализированные устройства, ориентированные на выполнение определённых функций и задач, эксплуатационные расходы, требования к монтажу и техническому обслуживанию и системы для обеспечения естественного освещения.

Проектирование естественного освещения – это сложный процесс, предполагающий учёт всех перечисленных моментов, чтобы в результате обеспечить достойный уровень жизни внутри зданий. И это требует наличия соответствующих стандартов, норм и рекомендаций, которые, возможно, ещё только предстоит разработать [3, 6]. В светотехнике предпочтительными являются объективные физические характеристики, такие как измеряемая в люксах освещённость, а не относительный коэффициент естественной освещённости (КЕО), который всё ещё используется как в стандартах на естественное освещение, так и на практике.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

² Традиционно, в светотехнической литературе термин «*overcast sky*», входящий в состав термина «*CIE overcast sky*», переводится как «облачное небо» («облачное небо МКО») (см., например, Международный светотехнический словарь. М.: «Русский язык», 1979, или СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение), однако более правильным представляется термин «пасмурное небо МКО» (и, соответственно, «пасмурное небо»), который использован, например, в Справочной книге по светотехнике под ред. Ю.Б. Айзенберга (3-е изд., М.: Знак, 2006). – Прим. пер.

2. Краткая история использования дневного света в зданиях

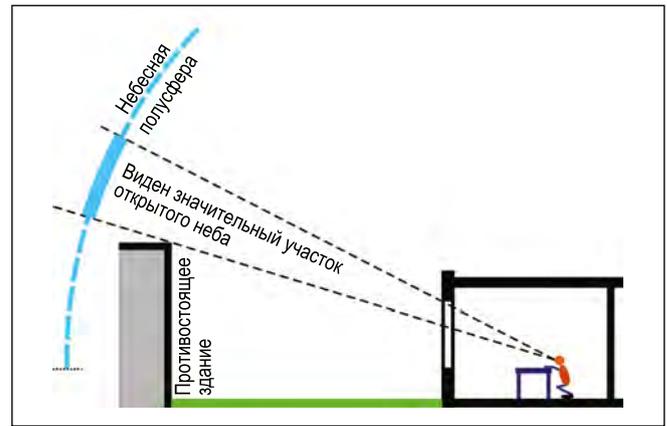
С того момента, как первобытные люди осознали ограниченность естественного освещения и потребность в искусственных источниках света в ночное время, они научились поддерживать огонь, и костёр стал не только источником тепла и света, но и местом для общения.

Первая цивилизация возникла за 3000 лет до новой эры, когда в Месопотамии появились такие города, как Ур, Урук и Киш. Дома в то время имели простую конструкцию с атриумом и возводились с незастеклёнными проёмами [7]. Греческие дома были компактнее и имели перистили с колоннами с трёх сторон. Из перистилия, представляющего собой открытое пространство, можно было войти в комнаты [8]. Жилые пространства освещались через двери или окна, а также при помощи старинных каменных светильников, неудобных из-за наличия дыма и пепла. Впоследствии вместо них в римских домах стали использовать свечи с хлопчатобумажными фитилями.

Витрувий³ ввёл простое правило оценки естественного освещения помещения: если из места, в котором нужно естественное освещение, видна значительная часть небесной полусферы, то это место освещено дневным светом в достаточной степени (рис. 1) [8]. Это правило применялось архитекторами во времена Древнего Рима. Следует отметить, что это правило было первым признанным критерием оценки естественного освещения зданий.

Когда Пьер Бугер начал свои фотометрические измерения, то в созданном Мари (Marie) [9] первом субъективном люксметре использовались свеча, выступавшая в качестве источника света сравнения, и многочисленные стеклянные фильтры, позволявшие уменьшить яркость неба. Как бы то ни было, этим Бугер положил начало фотометрии [10]. Через несколько лет Иоганн Ламберт [11] приступил к теоретическому выводу зависимости освещённости внутри здания (внутренняя освещённость) от вели-

Рис. 1. Древнее правило для оценки естественного освещения (по [8])



чины стягиваемого окном телесного угла с вершиной в рассматриваемой точке плоской поверхности и освещённости вне здания (наружная освещённость). Сделанное Ламбертом допущение оказалось очень полезным, простым и практичным для расчёта относительной естественной внутренней освещённости здания при известной яркости неба:

$$\frac{E_{v,i}}{E_{v,d}} = \frac{L_a \omega_p}{\pi L_{v,z}} = \frac{\omega_p}{\pi} = R.S.F, \quad (1)$$

где $E_{v,i}$ – внутренняя естественная освещённость, лк; $E_{v,d}$ – наружная освещённость, создаваемая полностью открытым небосводом, лк; $L_a = L_{v,z}$ – яркости произвольно выбранного и расположенного в зените элементов равнорядного неба соответственно, $\text{кд}/\text{м}^2$; ω_p – проекция на горизонтальную освещённую плоскость телесного угла, стягиваемого световым проёмом; π – проекция на горизонтальную освещённую плоскость телесного угла, стягиваемого полусферой; $R.S.F.$ – геометрический КЕО (*Reference Sky Factor*), выступающий в роли параметра естественного освещения.

Не имея необходимых сведений о яркости неба, Ламберт предположил, что идеальное пасмурное небо является абсолютно однородным во всех азимутальных направлениях, так что яркость неба можно считать постоянной.

Несколько веков тому назад обеспечение доступа дневного и солнечного света имело важное значение при проектировании зданий. В то время использовали эмпирические правила, например, определяющие соотношение между высотой верхней границы оконного проёма и глубиной помещения или ограничивающие эту

глубину [12]. Важность естественного освещения впервые была признана в Великобритании в законе 1832-го года, известном как Акт о праве на свет (*Act Right of Light*), согласно которому любой владелец недвижимости мог сохранять имеющийся у него доступ к дневному свету на протяжении 20-ти лет [13, 14]. Эти разрозненные правила исходили из геометрии окон и окружающих зданий.

Индустриализация европейских стран, например, Англии и Германии, имевшая место в 19-ом веке, привела к созданию промышленных предприятий, которые потребляли твёрдое топливо и выбрасывали в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. Это отрицательно сказывалось на здоровье людей и окружающей среде. И естественно, начались поиски возможностей улучшения условий жизнедеятельности людей. Обеспечение наличия солнечного света и увеличение количества дневного света в тускло освещённых зданиях было одним из важных способов улучшения зрительной среды внутри зданий.

Измерения распределения яркости пасмурного неба, являющегося наилучшим источником естественного света, показали, что яркость реального пасмурного неба распределена неравномерно, изменяясь от горизонта к зениту в соотношении 1:2–1:3 [15–18]. Мун и Спенсер предложили формулу [19], которая была стандартизирована Международной комиссией по освещению (МКО) [20]:

$$L_\gamma = \frac{L_z(1 + 2\sin\gamma)}{3}, \quad (2)$$

где L_γ – яркость неба в точке под углом γ к горизонту, $\text{кд}/\text{м}^2$; L_z – яркость неба в зените, $\text{кд}/\text{м}^2$.

³ Римский архитектор и инженер (80 – 15 гг. до н.э.), автор трактата «Десять книг об архитектуре». – Прим. пер.

И только теперь, после проведения измерений яркости неба и долгосрочных, например, поминутных, измерений состояния неба, можно более точно прогнозировать условия естественного освещения снаружи и внутри зданий на протяжении дня, сезона или всего года [7–28, 125, 126].

Инженеры часто обсуждают важность и смысл стандартизации в области техники. Она помогает в разработке новой техники, если стандарты способствуют этому, но может оказаться неэффективной или основываться на худших условиях при расхождениях между намерениями и условиями применения стандартов [6]. История показала, что стандартизация – это сложный процесс, зависящий от текущего уровня знаний, климата и национальных особенностей, равно как и от развитости и зажиточности общества.

Для 20-го века характерно развитие разных архитектурных стилей, ориентированных на природу, солнце и потребности людей. Когда Ле Корбюзье сформулировал 5 пунктов своих принципов фундаментализма, он открыл внутренние пространства жилых зданий для солнца [29]. Один из этих принципов рекомендовал сооружать здания «с горизонтальными окнами, предпочтительно, идущими по всей длине фасада». Застеклённые фасады офисных зданий, которые были возведены во второй половине прошлого века, продемонстрировали наличие серьёзных проблем с блёкостью, перегревом помещений и энергоэффективностью здания.

Существуют места с большой населённостью и высокой стоимостью земли, такие как Нью-Йорк или Гонконг. И одним из предметов обсуждения при планировании Нью-Йорка было обеспечение доступа воздуха и дневного света на улицы города [30–33]. Вертикальные освещённости фасадов и незатенённых участков учитывались при возведении высоких жилых зданий в Гонконге [32–35]. Согласно [36], к социально значимым проблемам плотно застроенных городских районов относятся повышенный уровень преступности, плохое поведение детей, боязнь пожаров и недостаточность естественного освещения. Эти отрицательные моменты привели к переоценке плотности городской застройки в сторону более благоприятной для жизнедеятельности людей. В целом, это привело к появлению

концепции, согласно которой среда внутри зданий должна быть человеческой.

3. Метрика естественного освещения

На протяжении дня естественное освещение внутри зданий непрерывно изменяется как по интенсивности, так и по пространственному распределению, причём основными источниками света при этом являются солнце и небо, и определение соответствующих характеристик и метрик до сих пор не завершено [2, 7, 37–39]. Метрику естественного освещения можно разделить на три категории – статическая, динамическая и нормативная, и в совокупности они обеспечивают оценку естественного освещения зданий.

3.1. Минимальные требования

Коэффициент естественной освещённости (КЕО)

По определению, коэффициент естественной освещённости D – это отношение освещённости E_i в рассматриваемой точке внутри помещения к наружной освещённости $E_{v, d}$, создаваемой светом полностью открытого пасмурного⁴ неба, причём вклад прямого солнечного света в создание и той, и другой освещённости исключается [<http://eilv.cie.co.at/term/279>].

Введение КЕО имеет ряд достоинств, таких как простота определения размеров проектируемых окон и расчёта естественного освещения в целом, и недостатков, таких как невозможность оценки изменений освещённости во времени и учёта ориентации помещений. К недостаткам можно отнести также и то, что проектирование уровня естественного освещения в люксах осуществляется без учёта изменчивости этого освещения

Освещённость на рабочей поверхности

Следует обращать внимание на возможность выполнения зрительных задач, требующих точного распознавания наблюдаемых деталей. При этом следует определить измеряемое в люксах пороговое значение освещённости на рабочей поверхности.

⁴ В определении МКО (термин 279) состояние неба (пасмурное) не конкретизируется. – Прим. пер.

3.2. Моделирование естественного освещения

Моделирование естественного освещения охватывает компьютерные расчёты естественного освещения внутри и снаружи зданий на протяжении года или другого периода при одном или нескольких состояниях неба. Результатами моделирования служат уровни освещённости, яркости или их распределения внутри помещений, представленные в виде графиков или визуализаций [27]. Для расчёта естественного освещения могут использоваться несколько методов моделирования.

Автономность естественного освещения (Daylight autonomy – DA)

Различают статическую и динамическую автономность естественного освещения. Определение степени статической автономности естественного освещения основано на расчёте КЕО в рассматриваемой точке в условиях пасмурного неба. Определение степени динамической автономности естественного освещения основано на прогнозировании с заданным временным шагом (час или меньше) наличия достаточной освещённости в рассматриваемой точке в течение года. Автономность естественного освещения определяется выраженной в процентах частью года, на протяжении которой естественная освещённость превышает заданное минимальное значение [40–42].

Автономность диффузного естественного освещения (Diffuse Daylighting Autonomy)

Определение степени автономности диффузного естественного освещения основано на почасовых метеорологических данных, обработанных в соответствии с моделью [23] для получения почасовых значений наружной горизонтальной диффузной освещённости или почасовых значений диффузной освещённости на наклонной поверхности. Для учёта ориентации помещения производится взвешивание автономности диффузного естественного освещения [43].

Эталонный год для естественного освещения (Daylight reference year – DRY)

Эталонный год для естественного освещения формируется в результате синтеза годовых совокупностей прямой, диффузной и полной наружных освещённостей, полученных статисти-

ческими методами на основе результатов реальных фотометрических и радиометрических измерений. *DRY* для Братиславы и Афин содержит реальные дневные изменения освещённости в характерные месяцы [44]. Первый *DRY*, основанный на фотометрических характеристиках, был получен Петракисом [45].

Полезная естественная освещённость (Useful daylight illuminance – UDI)

Понятие полезной естественной освещённости основано на определении освещённостей, реализующихся на протяжении года, которые попадают в интервал между минимальным и максимальным допустимыми значениями освещённости. Минимальная освещённость соответствует порогу выполнения зрительной задачи, а максимальной считается наибольшая освещённость, которую всё ещё могут выдерживать находящиеся в помещении люди [42, 43, 46].

Климатическое моделирование естественного освещения (Climate based daylight modelling – CBDM)

Климатическое моделирование естественного освещения представляет собой метод прогнозирования годовых радиометрических или фотометрических характеристик, когда абсолютные значения освещённости и яркости получают на основе метеорологических баз данных, содержащих данные, соответствующие всем солнечным и несолнечным дням. *CBDM* предоставляет соответствующие определённым местам климатические данные для расчёта естественного освещения и оценки ориентации зданий, работы солнцезащитных устройств и т.д. [38, 47].

Годовая естественная экспозиция (Annual daylight exposure)

Годовая естественная экспозиция представляет собой совокупное количество видимого излучения, падающего на рассматриваемую точку в течение года и измеряемого в лк·ч/год [48].

3.3. Сертификация экологичности зданий

В настоящее время помимо стандартизации предлагается осуществлять сертификацию условий внутри зданий или экологичности зданий в рамках, например, таких систем, как *LEED*, *BREEM* или *DNGB* [38, 41]. Естественное освещение является лишь

одним из параметров, учитываемых при проведении этими системами количественных оценок [49], которые не всегда следуют правилам фотометрии. В отличие от стандартизации, системы сертификации могут существенно занизить важность зрительной среды, уделяя больше внимания другим моментам.

4. Краткая история искусственного освещения

В средние века стандартными источниками света были свечи, изготовленные из животного жира или пчелиного воска, а впоследствии, в 18-ом веке, именно свечу приняли в качестве единицы силы света. Конечно, ни один искусственный источник света не может конкурировать со светом солнца или неба, который проникает в помещения.

Помимо огня, использовавшегося в качестве искусственного источника света в факелах, масляных лампах или свечах, в 1799 г. были изобретены оригинальные и действительно искусственные источники света. Были открыты два новых источника энергии: А. Вольта изобрёл электрическую батарею, а У. Мёрдок осветил свой дом при помощи светильного газа [50]. Впоследствии газовое освещение использовалось в Великобритании и Европе на протяжении более чем 200-от лет, особенно в виде уличных светильников, тогда как в замкнутых помещениях его старались не использовать. Для внедрения электрического освещения потребовались почти сто лет усовершенствований в области выработки и передачи электроэнергии и появление безопасных источников света для внутреннего освещения – ламп накаливания.

Первая лампа накаливания была изобретена Д. Суоном [51] и продемонстрирована им в 1879 г. За ней последовали более практичные конструкции Т.А. Эдисона [51], которые включали в себя осветительные установки для зданий, реализованные в Нью-Йорке в 1882 г., тогда как свеча Яблочкова [52] была продемонстрирована во время Парижской выставки 1878-го года, когда она была впервые использована для уличного и театрального освещения.

Однако электрические лампы накаливания значительную часть энергии расходовали непродуктивно, что

связано с присущим чёрному телу характером их излучения. В результате дальнейших поисков появились подходящие для внутреннего освещения газополные неоновые трубчатые лампы и люминесцентные трубчатые лампы, обеспечившие экономию энергии и уменьшение эксплуатационных расходов, а в 21-ом веке появились новые, более совершенные источники света – светодиоды, позволяющие выбирать спектр излучения и имеющие больший срок службы и меньшее энергопотребление.

В экономически развитых странах технический прогресс оказался благоприятным для внутреннего освещения в регионах с большим количеством пасмурных дней, когда вне здания имеет место низкий уровень естественного освещения или вообще темно. Похоже, что в этих условиях столь неприятные в XVIII-XX веках пасмурные декабрьские дни окажутся не столь важными, и при необходимости требуемые уровни освещённости могут быть с лёгкостью обеспечены дешёвым электрическим освещением.

Для обеспечения минимальных уровней освещения, достаточных как для чтения и письма, так и для выполнения других зрительных задач в школах, офисах и промышленности, были стандартизованы выраженные в люксах значения горизонтальной освещённости [53]. В результате появилась возможность сравнения и простой проверки результатов проектных расчётов, выполненных в фотометрических единицах измерения.

В соответствии с концепцией *PSALI*, в помещениях с недостаточным для выполнения зрительных задач естественным освещением можно использовать дополнительное искусственное освещение [37].

5. Методология стандартизации естественного освещения

Есть два подхода к стандартизации естественного освещения. Первый из них основан на выработке требований, соответствующих минимальным или максимальным приемлемым условиям естественного внутреннего освещения. Второй подход исходит из связи между поведением находящихся в помещении людей и годовыми изменениями характеристик естественного освещения. В обоих случаях, в стан-

дартизации естественного освещения важную роль играет состояние неба.

В рамках первого подхода, стандартизация естественного освещения имеет дело с простыми статистическими показателями и методами, используемыми в рамках следующего допущения: если предельное значение будет реализовано на практике, то зрительные условия в здании окажутся удовлетворительными. Эта концепция обычно справедлива до тех пор, пока характеристики естественного освещения не окажутся намного выше своих предельных значений (например, пока освещённость не приведёт к блёскости, пока чрезмерный размер окон не приведёт к перегреву и т.д.). В подобных случаях следует принять дополнительные меры (например, установка солнцезащитных устройств, управление уровнем естественного освещения и т.д.). В целом, современные стандарты, рекомендации и нормы основаны на требованиях к освещённости, яркости, виду наружу или предельной блёскости.

Второй подход к стандартизации естественного освещения основан на результатах круглогодичных измерений и описании поведения людей в процессе их повседневной жизнедеятельности внутри зданий, т.е. не только в предельных условиях, но и просто в течение дня, месяца, сезона или всего года, с учётом ещё и возможностей искусственного освещения.

В этом случае из-за многочисленных изменений как естественных условий (например, движения солнца, географической широты, облачности и т.д.), так и действий, осуществляемых людьми внутри зданий и предъявляющих разные требования по обеспечению хороших самочувствия и видимости (например, циркадных биоритмов, образа жизни, зрительных потребностей, связанных с привычной жизнедеятельностью, и т.д.), при проектировании зданий и городов приходится рассматривать несколько вариантов в поисках оптимального сочетания потребностей людей и связанных с энергопотреблением соображений.

Однако вплоть до последних лет 20-го века было проведено лишь несколько измерений мгновенных значений яркости неба, преимущественно, пасмурного, и не было никаких долгосрочных данных, полученных применительно к разным точкам земного

шара. Ни метеорологические службы, ни спутники не собирали какую бы то ни было фотометрическую информацию, ограничиваясь измерением облучённости в широких спектральных диапазонах. Эту нехватку данных предполагалось исправить в рамках Международной программы по измерению естественного освещения (*International Daylight Measurement Programme – IDMP*), запущенной МКО в 1991 г. Многочисленные результаты измерений, сделанных в разных местах, позволили исследовать динамически изменяющиеся характеристики естественного освещения, которые зависят от местного климата. Результаты долгосрочных измерений яркости неба и естественной освещённости, произведённых через определённые промежутки времени в разных точках земного шара, позволили описать световой климат во всём мире. Набор поминутных значений создаваемой небом горизонтальной освещённости в сочетании либо с яркостью в соответствующей зениту точке, либо с распределением яркости неба, также подготовили почву для стандартизации проектирования и расчёта естественного освещения в соответствии с несколькими методиками:

А. Получение набора типичных квазиднородных типов неба, которые встречаются повсеместно, сформированного в результате рассмотрения обширной базы данных, охватывающей область от пасмурного неба (без солнца) до неба с переменной облачностью или загрязнённого чистого неба при наличии солнца

В рамках этого метода, который, на самом деле, использовал ещё И.Г. Ламберт [11], яркость пасмурного неба считается постоянной на всём его протяжении, что позволило вывести формулу для расчёта уровней наружной и внутренней освещённости и разработать графические методы расчётов, такие как графики Данилюка [54, 128], диаграммы Уолдрама (*Waldram*) [55, 56] или протракторы Британского научно-исследовательского строительного института (*BRS protractors*) [57]. После проведения измерений сделанное Ламбертом допущение о равномерности яркости неба было скорректировано П. Муном и Д.Е. Спенсер [19], предложенное которыми распределение яркости было принято МКО в качестве пасмурного неба МКО [20]. Поправки, внесённые

на его основе в определение обусловленной светом неба составляющей КЕО при зависящих от угла наклона коэффициентах пропускания одинарного или двойного остекления или литого шероховатого армированного стекла, вставленного в светопрёмы с разными углами наклона [58, 129], позволили создать ряд более практичных протракторов [2]. Необходимость расширить стандартное небо на весь интервал от пасмурного неба до ясного была успешно реализована этим методом, который был использован для получения набора из пятнадцати типов неба [59–61], в настоящее время уже принятых и МКО, и Международной организацией по стандартизации (ИСО). На рис. 2–4 показаны выраженные в относительных единицах стандартные распределения яркости для всех пятнадцати типов неба (пасмурного, ясного и квазиоблачного (*quasi cloudy*)), которое считается однородным и соответствует равной 30° высоте солнца. Все типы неба ИСО/МКО обозначены цифрами от 1 до 15 или кодами, состоящими из номера стандартной градационной функции (латинская буква) и цифрой, соответствующей стандартной индикатрисе [60, 61, 63].

Типичное пасмурное небо полностью блокирует солнечный свет, и разные типы этого неба отличаются друг от друга только яркостью, характеризующейся отношением горизонтальной освещённости на поверхности земли к горизонтальной освещённости за пределами атмосферы: E_{vd}/E_{voh} . В то же время, в случае чистого неба на распределение яркости влияет присутствие солнца, и как это распределение, так и яркостная градация неба сильно зависят от рассеяния солнечных лучей в небе, которое может быть описано отношением яркости неба в зените L_{vZ} к создаваемой небом горизонтальной освещённости E_{vd} , т.е. L_{vZ}/E_{vd} [7]. Анализ распределения яркости неба позволяет получить относительную функцию рассеяния (*relative scattering function*), которая вместе с яркостной градацией неба формирует относительное распределение яркости неба [59, 61]. Если известно или вычислено абсолютное значение L_{vZ} , то известно и представленное в физических единицах измерения, например, в кд/м², распределение яркости неба. Если известна яркость неба в пределах ограниченного окном те-

лесного угла, то она может выступать в качестве входных данных при компьютерном расчёте как освещённости внутри ориентированных тем или иным образом помещений, так и зависящей от времени вероятности появления блёскости.

Б. Представление и исследование дневных изменений света неба и солнечного света с учётом влияния турбулентности атмосферы и облачности в случае ясного неба в целях определения их взаимосвязи при разных вариантах высоты солнца и типа неба

Хотя предложенная классификация по типам неба представляется простейшей и очевидной, основная задача заключается в описании распределения яркости по всему небосводу при наличии солнечного света, в формировании которого участвуют зависящие от турбулентности атмосферы и облачности свет неба и солнечный свет.

Загрязняющие атмосферу примеси существенно влияют, особенно, в городах и промышленных зонах, на изменения освещённости, обусловленной светом неба и солнечным светом [64, 65]. Подобные изменения часто имеют место в областях с тропическим и субтропическим климатом с большим количеством солнечных дней и обусловлены повышенной влажностью и рассеянной облачной пеленой, постепенно заслоняющей весь небосвод [66].

Для того, чтобы можно было проанализировать и разделить на категории реализацию конкретных типов неба, необходимо наличие результатов проведённых в рассматриваемой местности измерений. При проведении отбора нужно отследить выбранные типы неба, исходя при этом из таких параметров, как высота солнца и существенный диапазон значений L_{vz}/E_{vd} [59, 67].

В. Описание годовичных или долгосрочных изменений света неба и местного светового климата

Примером применения этого метода служит информация о тех или иных типах неба ИСО/МКО, наблюдаемых в разные времена года, в основу которой были положены результаты измерений, проводившихся на протяжении пяти лет в Братиславе и Афинах [68].

Уровни наружной горизонтальной освещённости были взяты из базы 5-минутных данных, и на их основе были построены графики реализации разных типов неба (рис. 5). Братисла-

Рис. 2. Примеры распределения яркости неба для разных типов пасмурного неба ИСО/МКО

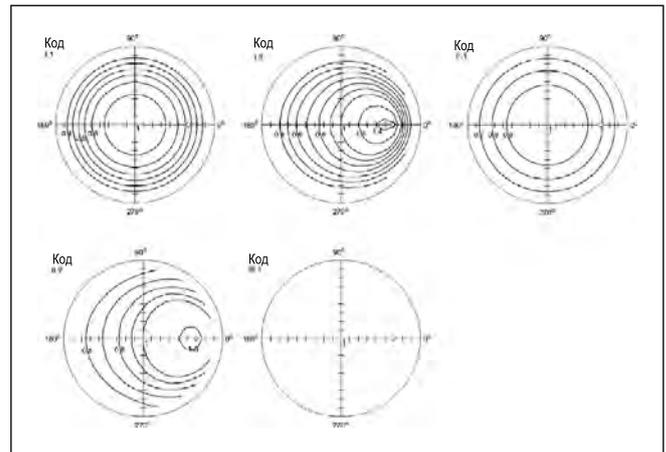


Рис. 3. Примеры распределения яркости неба для разных типов квазиоблачного неба ИСО/МКО, когда высота солнца составляет 30°

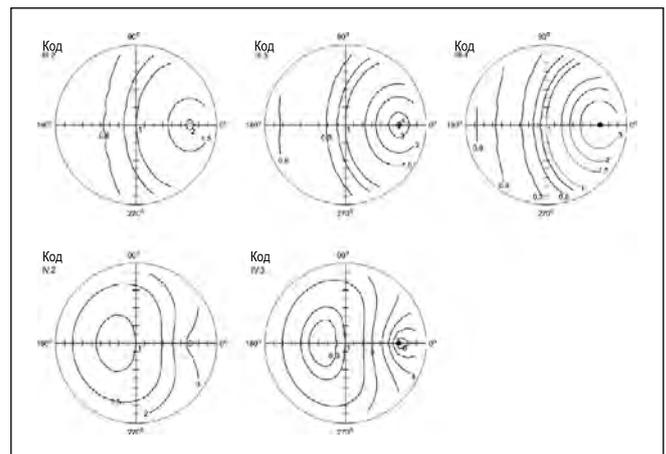
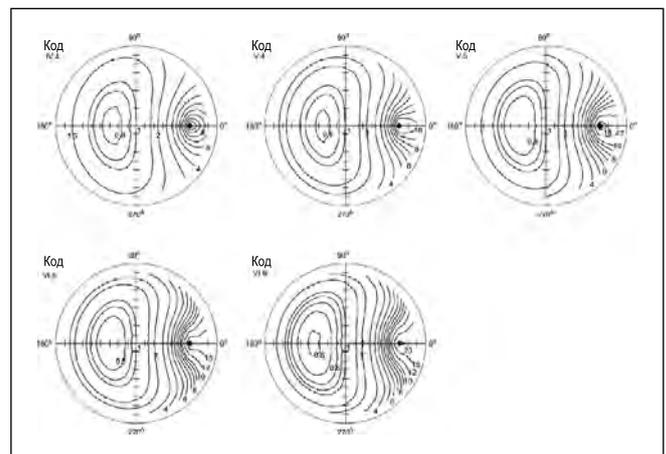


Рис. 4. Распределения яркости неба для разных типов ясного неба ИСО/МКО



ва относится к районам с центральноевропейским световым климатом, для которого характерна относительно частая реализация пасмурного/облачного неба, тогда как ясным небо бывает, в основном, летом, тогда как в Афинах, расположенных в средиземноморской зоне, доминируют солнечные и ясные условия.

Можно сделать некоторые допущения в части местного образа жизни, характера деятельности или требований к естественному освещению. Так, в [69] были рассмотрены наиболее ве-

роятные периоды активного образа жизни, например, 7:00–20:00, 8:00–17:00, 8:00–19:00 или 9:00–16:00, однако в конце концов при определении медианных значений характеристик был выбран период от восхода до захода солнца. Эти годовые медианные значения естественной освещённости в столицах стран, входящих в Европейский комитет по стандартизации (CEN), были рекомендованы в качестве стандартных [70].

Г. Определение уровня естественного освещения на основе годовичных

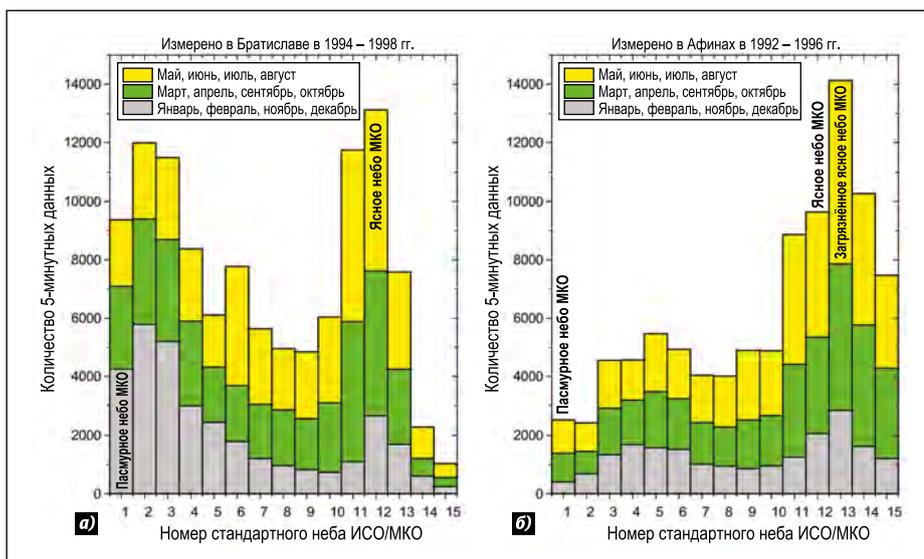


Рис. 5. Реализации типов неба как способ описания светового климата: а – Братислава, центральноевропейский климат, б – Афины, средиземноморский климат

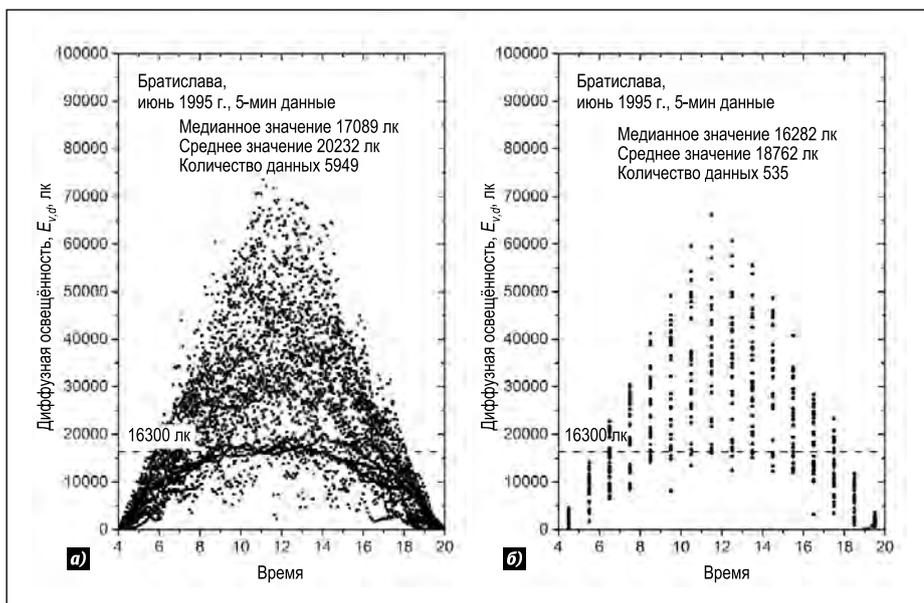


Рис. 6. Зависимость диффузной горизонтальной освещённости от времени дня в июле 1995 г. в Братиславе: а – 5-минутное усреднение, б – почасовое усреднение

статистических значений наружной горизонтальной освещённости

При наличии подробных результатов измерений можно провести сравнение реализуемых значений естественной освещённости на основе измеренных краткосрочных данных или среднечасовых значений измеряемой величины. Однако неясно, как использовать полученные данные для выработки нормативных требований к естественному освещению. Что при этом принять за основу: всю совокупность значений естественной освещённости за период от восхода до захода солнца, например, соответствующих месяцу с наибольшими уров-

нями естественной освещённости, т.е. июню (рис. 6), или марту месяцу, на который приходится равноденствие (рис. 7), или только тех значений, которые относятся к периодам наибольшей активности людей, как это было предложено в [69], или значений, соответствующих периодам 7:00–16:30 для офисных зданий и 7:00–14:30 для школ, как это сделано в словацком постановлении [71]. Последствия того или иного выбора продемонстрированы на рис. 7а и в табл. 1. Для Братиславы в [70] приведено медианное значение диффузной освещённости, равное 16300 лк. Различия между 5-минутными и почасовыми данными,

которые можно заметить при сравнении рис. 6а и 6б и рис. 7а и 7б, говорят о том, что среднечасовые значения приводят к занижению уровней освещённости и содержат меньше информации о естественном освещении в рассматриваемой местности. Если рассматривать рабочее время, то можно ожидать увеличения нормированных уровней освещённости.

Естественный свет воспринимается глазом человека сразу же, как только попадает в него, так что используемые при разработке стандартов базы данных должны содержать результаты измерений, проведённых с меньшими временными интервалами.

6. Стандартизация внутреннего естественного освещения

Качество среды в помещении зависит, главным образом, от величин, влияющих на воспринимаемые людьми свет, тепло, шум и состав воздуха. Для обеспечения хороших условий зрительного восприятия для работы, отдыха и прочих осуществляемых в помещениях видов деятельности следует сформулировать критерии и правила как для создания осветительных установок и планировки зданий, так и для использования естественного и искусственного света. В некоторых странах были приняты постановления, стандарты и национальные правила по проектированию и расчёту естественного освещения и инсоляции в зданиях (табл. 2) [42, 72–75]. Согласно законам [76, 77] и постановлениям [78–80], проектирование естественного освещения и уровень солнечной экспозиции контролируются органами санитарного надзора, которые в Словакии имеют право принимать официальные решения.

Обычно для расчёта внутреннего освещения используют КЕО (см., например, [81–101]). В Швеции применяется простое правило, согласно которому площадь окон составляет 1/10 от площади пола [102]. Определённые правила оценки естественного освещения (например, [103–115]) существуют и в ряде других стран (табл. 2).

7. Новый стандарт EN17037 «Естественное освещение зданий»

Исследования в области светотехники говорят о важности внутренне-

Среднестатистические значения естественной освещённости в рабочее время в марте 1995 г. в Братиславе, 5-минутная $E_{v,d}$, лк

Рабочее время	Восход – закат	8:00–17:00	9:00–16:00	8:00–18:00
В среднем, лк	12920	16339	17986	15009
Медианное значение, лк	10779	15002	17700	13447
Кол-во измерений, шт	4579	3379	2635	3732

го естественного освещения для здоровья людей и их жизнедеятельности. В Европе здоровью людей и эффективному использованию естественных источников света придаётся большое значение, и был разработан новый европейский стандарт, содержащий нормы естественного освещения зданий. В CEN была сформирована рабочая группа CEN/TC169/WG 11 «Естественное освещение», которой было поручено разработать европейский стандарт «Естественное освещение зданий». Предложенный проект стандарта [70] был одобрен экспертами из стран – членов CEN. В этом проекте сделана попытка замены КЕО на абсолютные значения освещённости, соответствующие различным зрительным задачам, как это принято в случае искусственного внутреннего освещения. Из-за того, что Евросоюз занимает территорию от Средиземного моря до северных стран, этот стандарт содержит новый подход, основанный на медианном значении диффузной наружной освещённости $E_{v,d,med}$ характеризующем уровень естественного освещения на протяжении полугодия, который пришёл на смену неопределённому пасмурному небу и геометрическому КЕО при проектировании оконных проёмов. Некоторые интересные данные из [70] приведены в табл. 3.

Этот стандарт охватывает все основные моменты, связанные с проектированием и оценкой естественной зрительной среды, т.е. уровня естественного освещения, вида наружу, солнечного света и блёскости [116–119]. Кроме того, в нём приведены минимальные требования к выполнению зрительных задач, созданию светлых интерьеров и обеспечению нормального вида наружу, а также рекомендации в части продолжительности воздействия солнечного света. Стандарт может использоваться применительно ко всем пространствам с регулярным продолжительным пребыванием людей, за исключением тех пространств, в которых естественное освещение мешает выполняемым в них работам.

7.1. Естественное освещение

Расчёт естественного освещения основан на годовых данных о диффузной горизонтальной освещённости $E_{v,d}$ в рассматриваемой местно-

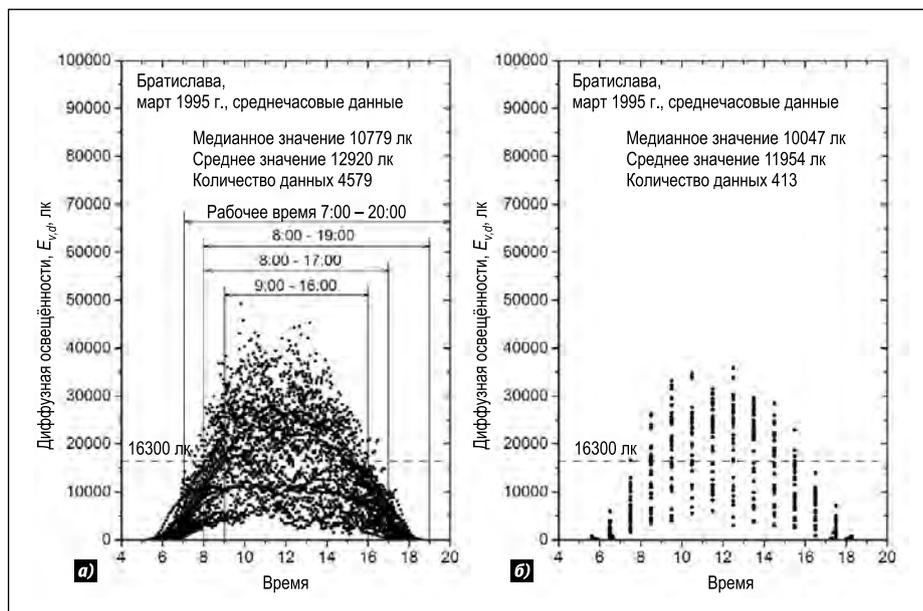
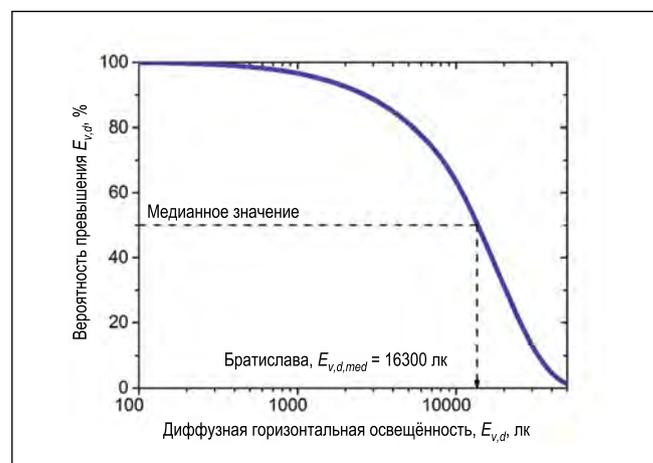


Рис. 7. Зависимость диффузной горизонтальной освещённости от времени дня в марте 1995 г. в Братиславе: а – 5-минутное усреднение, б – почасовое усреднение

Рис. 8. Медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости $E_{v,d,med}$ в Братиславе

сти. В качестве опорного значения предлагается использовать климатический параметр – медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости $E_{v,d,med}$ (рис. 8). Эти медианные значения можно определить на основе результатов долгосрочных регулярных измерений характеристик естествен-

ного освещения или спутниковых данных для рассматриваемой местности.

Использование медианного значения освещённости означает, что помещения будут удовлетворительно освещены в летнее полугодие, тогда как в оставшееся полугодие дневной свет слабее, и естественное освещение следует дополнять искусственным. Ми-

**Некоторые стандарты и документы, содержащие требования и рекомендации
по внутреннему естественному освещению**

Страна	Номер	Описание (наименование)
Австралия	AS1680.1-2006	<i>Interior lighting – General principles and recommendations</i>
Бельгия	NBN L13-002:1972	<i>Dagverlichting van gebouwen – Voorafbepaling van de daglicht-verlichtingssterkte bij overtrokken hemel (benaderende grafische methode)</i>
Бразилия	NBR15215-1	<i>Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições</i>
	NBR15215-2	<i>Iluminação natural – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural</i>
	NBR15215-3	<i>Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos</i>
	NBR15215-4	<i>Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição</i>
Канада	PWGSC1989	<i>PWC Daylighting manual, Ottawa</i>
Европейский комитет по стандартизации	EN17037	<i>Daylight of building</i>
Китай	GB50033-2013	建筑采光设计标准
Чехия	ČSN73 0580-1	<i>Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky</i>
	ČSN73 0580-2	<i>Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov</i>
	ČSN73 0580-3	<i>Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol</i>
	ČSN73 0580-4	<i>Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov</i>
Эстония	EVS894: 2008	<i>Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides</i>
Германия	DIN5034-1	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen</i>
	DIN5034-2	<i>Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen</i>
	DIN5034-3	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 3: Berechnung</i>
	DIN5034-4	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume</i>
	DIN5034-5	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 5: Messung</i>
	DIN5034-6	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen</i>
Великобритания	BS8206: Part 2	<i>Lighting for buildings: Code of practice for daylighting</i>
Гонконг	Regulation APP-130	<i>Lighting and Ventilation Requirements – Performance-based Approach</i>
Япония	JIES-008-1999	<i>Indoor Lighting Standard</i>
Нидерланды	NEN2057	<i>Daglichtopeningen van gebouwen</i>
Норвегия	Regulation No. 77, 14. June 1985	<i>Technical regulations to the Planning and Building. Updated by the regulation No. 1069, 29th August 2001</i>
Польша	Regulation of Ministry for Infrastruktura, (Dz.U. Poz. 1422)	<i>W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie</i>
Россия	СП 23-102-2003	Естественное освещение жилых и общественных зданий
	СП 52.13330.2016	Естественное и искусственное освещение
Сербия	SRPS U.C9.100:1963	Дневно и електрично осветљење просторија у зградама

Страна	Номер	Описание (наименование)
Словакия	STN73 0580–1	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	STN73 0580–2	Denné osvetlenie budov. Časť 2: Denné osvetlenie budov na bývanie
	STN73 0580–1/Z2	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	Regulation No. 541/2007 Z.z.	o podrobnostiach o požiadavkách na osvetlenie pri práci.
Словения	Rule UL. RS, No. 43, 3.6.2011	Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravlja delavcev na delovnih mestih
	Rule UL. RS, No. 61, 2.11.2017	Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj
Швеция	SS91 42 01	Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea
Украина	ДБН В.2.5–28	Природне і штучне освітлення.

Таблица 3

Медианные значения наружной диффузной освещённости $E_{v, d, med}$ и требования к значениям D_{TM} и D_T , обеспечивающим различные значения внутренней освещённости $E_{v, i}$, для некоторых столиц стран – членов CEN (согласно [70])

Страна	Столица	Географическая широта, град.с.ш.	$E_{v, d, med}$, лк	$E_{v, i}$, лк			
				100	300	500	750
				D_{TM} , %	D_T , %		
Кипр	Никозия	34,88	18100	0,6	1,7	2,8	4,1
Испания	Мадрид	40,45	16900	0,6	1,8	3,0	4,4
Хорватия	Загреб	45,48	17000	0,6	1,8	2,9	4,4
Словакия	Братислава	48,20	16300	0,6	1,8	3,1	4,6
Бельгия	Брюссель	50,90	15000	0,7	2,0	3,3	5,0
Германия	Берлин	52,47	13900	0,7	2,2	3,6	5,4
Дания	Копенгаген	55,63	14200	0,7	2,1	3,5	5,3
Швеция	Стокгольм	59,65	12100	0,8	2,5	4,1	6,2
Исландия	Рейкьявик	64,13	11500	0,9	2,6	4,3	6,5

нимальный уровень естественного освещения считается обеспеченным, если заданное минимальное значение освещённости реализуется в значимой части пространства на протяжении по меньшей мере 50 % светлого времени суток. Критериями оценки приемлемости внутреннего естественного освещения служат уровни освещённости, равные 100 лк (минимальный уровень) и 300 лк (должный уровень). Кроме того, при выполнении в пределах какой-то части, например, 50 %, рассматриваемой области более точных зрительных задач, внутренняя освещённость может быть отнесена к категориям 500 или 750 лк. После того,

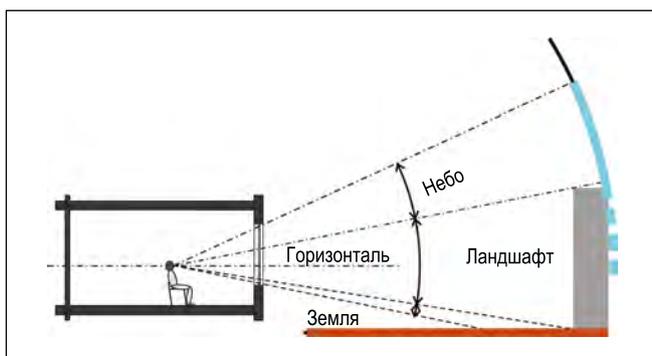
как будут определены значение внутренней освещённости E_i и медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости $E_{v, d, med}$, можно рассчитать минимальное требуемое значение КЕО D_{TM} (Minimum Target Daylight Factor), соответствующее внутренней освещённости 100 лк, или требуемые значения КЕО D_T (Target Daylight Factor), соответствующие внутренним освещённостям 300, 500 и 750 лк:

$$D_{TM} = \frac{E_i}{E_{v, d, med}} = \frac{100}{E_{v, d, med}} [\%], \quad (3)$$

$$D_T = \frac{E_i}{E_{v, d, med}} = \begin{cases} 100 \frac{300}{E_{v, d, med}} \\ 100 \frac{500}{E_{v, d, med}} \\ 100 \frac{750}{E_{v, d, med}} \end{cases} [\%]. \quad (4)$$

Подставив значение $E_{v, d, med}$ в (3) или (4), можно для любой местности рассчитать минимальное требуемое значение D_{TM} или требуемое значение

Рис. 9. Составляющие хорошего вида



7.2. Вид наружу

В помещениях с постоянным присутствием людей должен быть обеспечен хороший вид наружу, позволяющий получать информацию о погоде и изменениях обстановки вне здания. Вид подразделяют на три стандартные категории: вид на небо, вид на ландшафт и вид на землю (рис. 9). Самой важной для зрения человека категорией является вид на небо, так как аккомодация глаз на бесконечность и цвет неба стимулирует деятельность различных органов.

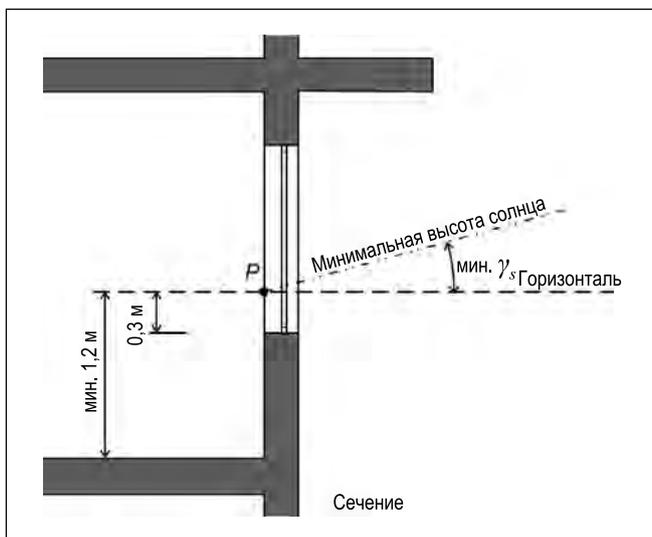
Стандарты нормируют минимальный угол зрения, удалённость вида и положение точки отсчёта (1,2 м для сидящего человека и 1,7 м для стоящего человека). Минимальное расстояние между фасадом помещения и фасадом противоположного здания должно составлять 6 м.

7.3. Солнечный свет

Обитатели жилых домов, особенно, в Центральной и Северной Европе, очень внимательно относятся к наличию солнечного света. В южноевропейских странах помещения обычно защищены от перегрева солнечным излучением. Причём во всех странах есть люди с ограниченной мобильностью, с различными заболеваниями, а также дети, и всем им необходимо наличие в помещениях солнечного света. Рекомендуемая продолжительность инсоляции в квартирах жилых домов, частных домах, больничных палатах и игровых комнатах яслей в один из дней между 1 февраля и 21 марта должна составлять по меньшей мере 1,5 ч. Вероятная продолжительность солнечного света определяется применительно к высоте солнца γ_s , превышающей некоторое минимальное значение, и не заслонённому окружающими преградами солнечному кругу. Точка P , применительно к которой производятся оценки, расположена на середине ширины окна на высоте, не меньшей чем 1,2 м над уровнем пола, и не меньшей чем 0,3 м над подоконником (рис. 10 и 11).

Значение минимальной высоты солнца $\gamma_{s \min}$ определено для всех столиц стран – членов *CEN* применительно к правилу, что угол между нормалью к поверхности окна n и направлением на юг может составлять до 120°

Рис. 10. Расположение точки отсчёта для определения продолжительности солнечного света



D_T (табл. 3). Важно понимать, что эти D_{TM} и D_T не совпадают ни с одним из использованных ранее КЕО или геометрических КЕО, что связано с невыполнением исходного приближения пасмурного неба.

Для Братиславы, расположенной на широте $\varphi = 48,20^\circ$ с.ш., было установлено, что $E_{v, d, med} = 16300$ лк [69], и именно это значение было включено в проект европейского стандарта [70]. Если воспользоваться этим значением $E_{v, d, med}$ то критерием приемлемости естественного освещения станут $D_{TM} = 0,61 \approx 0,6\%$, и это значение должно быть превышено во всех 100 % пространства. Критерием того, что естественная освещённость находится на должном уровне, составляющем на рабочей поверхности по меньшей мере 300 лк в пределах 50 % пространства, служит условие $D_{T,300} = 1,84 \approx 1,8\%$.

Следует отметить, что статистический параметр «медиана» соответствует центру уровней освещённости, реализуемых на практике, причём в конкретной местности. Это означает, что достаточный уровень естественного освещения реализуется только на про-

тяжении полугодия. Если какие-то помещения в настоящее время освещаются дневным светом на протяжении более чем 50 % года, то существует опасность, что новые здания того же типа будут спроектированы с окнами меньших размеров, в результате чего возрастёт расход энергии на искусственное освещение. С другой стороны, энергию можно сэкономить в зданиях, в которых искусственное освещение включено в течение более полугодия.

Методика определения значений D_{TM} и D_T предполагает проведение статистической обработки годовых данных о диффузной освещённости, создаваемой при разных состояниях неба. Важно понимать, что требуемые значения КЕО не совпадают с КЕО, соответствующими пасмурному небу, определение которого содержится в Международном светотехническом словаре [62], так что эти два параметра не являются взаимозаменяемыми.

Естественное освещение оценивается применительно к расположенной на высоте 0,85 м над уровнем пола сетке, граница которой удалена от боковых стен на 0,5 м.

Минимальная высота солнца 21-го марта, когда продолжительность солнечного света равна 1,5 ч (по [70])

Страна	Столица	Географическая широта, град.с.ш.	Минимальная высота солнца, град.
Испания	Мадрид	40,45	19
Хорватия	Загреб	45,48	15
Словакия	Братислава	48,20	14
Бельгия	Брюссель	50,90	12
Германия	Берлин	52,47	11
Дания	Копенгаген	55,63	10
Швеция	Стокгольм	59,65	8
Исландия	Рейкьявик	64,13	6

(рис. 11). Значения минимальной высоты солнца γ_s для некоторых столиц для 21-го марта и равной 1,5 ч продолжительности солнечного света приведены в табл. 4. Значения минимальной высоты солнца для других городов, дат и продолжительностей солнечного света можно определить применительно к равному 120° углу между нормалью к поверхности окна и направлением на юг.

7.4. Блэскость

Пространства внутри зданий освещаются через окна или фонари, которые можно отнести к крупногабаритным источникам света. Блэскость может быть обусловлена прямым или отражённым солнечным светом или очень яркими облаками, видимыми из окон в солнечную погоду. Стандартизированный метод оценки блэскости основан на показателе блэскости для естественного освещения DGP (Daylight Glare Probability), который рассчитывают по формуле (5), исходя при этом из значений подающихся измерению физических величин, связанных с естественными источниками блэскости:

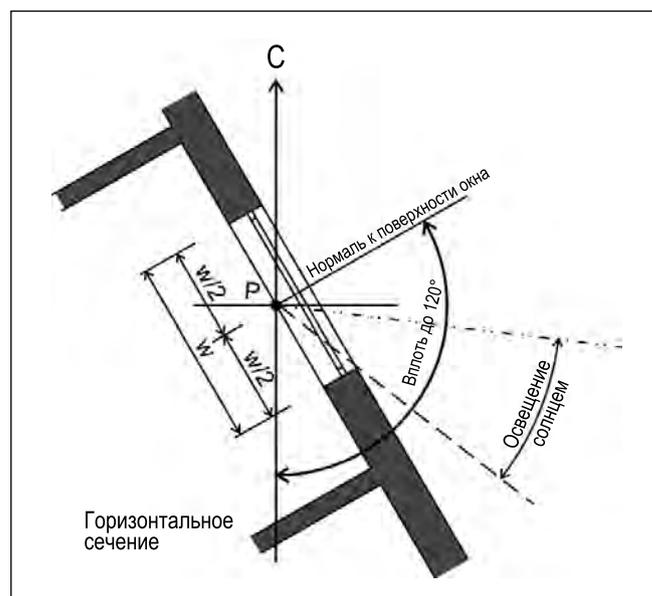
$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} \times E_v + 9.18 \times 10^{-2} \times \log \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{L_{s,i}^2 \times \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} \times P_i^2} \right) + 0.16, \quad (5)$$

где E_v – вертикальная освещённость на уровне глаз, лк; P – индекс позиции; L_s – яркость источника блэскости, кд/м²; ω_s – телесный угол, стягиваемый источником блэскости, ср; N – количество источников блэскости.

Основанный на DGP метод можно использовать применительно к освещённым сбоку помещениям, в которых возможна деятельность, подобная чтению и письму. DGP не следует использовать в пространствах, освещаемых горизонтальными проёмами, и для точек, расположенных далеко от окон или характеризующихся низким уровнем естественного освещения.

Следует отметить, что основанный на обобщённом показателе дискомфорта (UGR) метод оценки блэскости от искусственных источников света нельзя применять для оценки блэскости, создаваемой естествен-

Рис. 11. Возможная ориентация окна



ными источниками света, например, солнцем.

8. Дальнейшие разработки

Наблюдается парадоксальная ситуация в области технико-социального развития общества: научно-техническая деятельность приводит к получению очень точных и подробных результатов, которые в недостаточной степени реализуются на практике. На практике, проектирование и реализация естественного освещения нуждаются в простых и недорогих решениях, которые не требуют очень высокой квалификации и характеризуются минимальными затратами рабочего времени и энергии. Качество результатов

часто считают второстепенным фактором. Поэтому стандарты и постановления, выступающие в роли двигателей прогресса, следует считать основой светотехники. Как упоминалось выше, если говорить о технических отраслях, то стандартизация представляет собой особый и очень важный процесс, оказывающий влияние на качество изделий, зрительную среду и самочувствие обитателей зданий.

Потребности людей остаются неизменными на протяжении многих веков, только требования, допущения, инструменты и технические средства, обеспечивающие их удовлетворение, непрерывно изменяются от простейших к всё более и более сложным. Новые научные знания, техника и на-

блюдаемая в настоящее время компьютеризация позволяют подробно исследовать связь между условиями естественного освещения и потребностями людей и приводят к улучшению качества зрительной среды внутри зданий. В области естественного внутреннего освещения направления дальнейших разработок связаны со следующими факторами:

8.1. Здоровье

Все здания возводятся для людей, так что в настоящем и будущем развитие должно идти по пути создания такого внутреннего освещения, которое благотворно сказывалось бы на здоровье людей в периоды как активности, так и отдыха. Дневной свет как естественный источник света для внутреннего освещения должен быть повсеместно доступен всем людям без какой бы то ни было дискриминации. Особенно это относится к местам пребывания детей и престарелых, в которых обязательно должны быть предусмотрены проёмы для попадания дневного света.

8.2. Наука

Новым исследованиям присваивают новые наименования, хотя часто они просто новыми методами и средствами решают старые задачи. В области естественного освещения очень важно формулировать задачи с учётом как фотометрии, так и психологии и физиологии людей. Следует избегать использования новых величин, например, энергетических или балльных, так как это может привести к дополнительным погрешностям и существенному ухудшению качества зрительной среды и неправильной интерпретации достигнутых результатов.

Естественное освещение как наука должно базироваться на результатах точных измерений характеристик первичных источников света – солнца и неба. Имеется мало данных о наличии естественного света в разных местностях и о световом климате вообще. Для увеличения эффективности использования естественного света внутри зданий следует в физических единицах измерения охарактеризовать его наличие и изменения.

Можно ожидать, что дальнейшие исследования позволят описать спектральные характеристики источни-

ков естественного света, цветопередачу внутри зданий и хронобиологические параметры на том же уровне, на котором это сделано применительно к искусственным источникам света. Новые знания должны найти своё отражение в стандартах в виде соответствующих критериев оценки.

Дальнейшие исследования в области естественного и искусственного освещения должны ответить на вопрос, действительно ли достаточный для выполнения зрительной задачи уровень естественного освещения может быть меньшим, чем достаточный для выполнения той же задачи уровень искусственного освещения [120]. Это обстоятельство не позволяет распространить на естественное освещение количественные выражения, полученные для расчёта нормируемых характеристик искусственного освещения, и наоборот.

Взгляд в ближайшее будущее

Одним из основных параметров, используемых при расчётах естественного освещения, является световая солнечная постоянная (*luminous solar constant*) [121], и для обеспечения сопоставимости установок естественного освещения значение этой постоянной следует стандартизировать в мировом масштабе.

Взгляд в далёкое будущее

Стандарт [70] отказывается от классического стационарного подхода к нормированию естественного внутреннего освещения и даёт возможность разработать новые климатические методы и инструменты для расчёта естественного освещения. Трудности возможны при определении таких статистических параметров, как медианные характеристики естественного освещения. Как упоминалось выше, распределение яркости неба играет решающую роль при моделировании изменений внутренней освещённости во времени. Эту задачу можно решить на основе сравнительного анализа характеристик стандартных типов неба и значений статистических параметров. Этот подход может оказаться полезным и для стандартизации моделирования годовых характеристик естественного освещения.

Взгляд за горизонт, почти в бесконечность

Никто не знает, что нас ждёт в следующем веке, но наша цивилизация стремится покорить космос. Как от-

мечалось в [122, 127], естественное освещение останется одной из основных составляющих среды внутри зданий. Условия жизни на земле и в космосе совершенно не похожи друг на друга. Можно ожидать, что в помощь естественному освещению будут разработаны новые источники света и светильники. Важно учитывать физиологические потребности людей и не нарушать естественную работу организма человека. Новый подход к проектированию естественного освещения может привести к пересмотру некоторых основ светотехники.

8.3. Техника

В помещениях с недостаточным естественным освещением искусственное освещение будет адаптировано к естественному. Обсуждаются установки искусственного освещения, которые имитировали бы естественное освещение. Измерения дневных изменений естественной освещённости, осуществляемые на станциях *IDMP* МКО, показывают, что все условия наружного естественного освещения уникальны и не повторяются. Имитация естественного освещения при помощи искусственных источников света потребует создания таких устройств, которые обеспечивали бы реализацию неповторяющихся условий освещения, характеризующихся такими же, как и в случае меняющегося естественного освещения, изменениями освещённости, цветовых и динамических характеристик и воздействием на организм человека.

8.4. Экономика

Без денег нет и музыки. Свет неба и солнечный свет на земле получают бесплатно, тогда как использование естественного света внутри зданий и управление им требует капиталовложений в создание и эксплуатацию установок естественного освещения. Как правило, хороший проект естественного освещения позволяет сэкономить деньги, т.к. при наличии естественного освещения электрическое освещение можно выключить. Новый стандарт [70] служит первым шагом к улучшению официального подхода к дополнительному освещению и к применению искусственного освещения в условиях нехватки естественного освещения.

Города РФ, географические широта φ и долгота λ которых близки к широте и долготе выбранных городов стран – членов CEN

Город РФ	φ , град.с.ш.	λ , град.в.д.	Европейский город	φ , град.с.ш.	λ , град.в.д.
Махачкала, Дагестан	42,58	47,30	Рим	41,90	12,50
Волгоград	48,71	44,51	Париж	48,87	2,3
Комсомольск-на-Амуре	50,57	137,00	Брюссель	50,85	4,35
Иркутск	52,28	104,28	Амстердам	52,37	4,90
Москва	55,75	37,62	Копенгаген	55,68	12,57
Санкт-Петербург	59,93	30,39	Осло	59,91	10,75
Архангельск	64,55	40,56	Рейкьявик	64,13	21,82° з.д.
Мурманск	68,96	33,08			

8.5. Энергия

В последние десятилетия энергия играет важную роль во всех отраслях промышленности и услуг. Энергия стала предметом потребления, и в будущем её значимость будет расти. Наблюдается тенденция к использованию техники с наименьшим энергопотреблением. Это оправдано, если при этом учитывать потребности людей и использовать дешёвые и эффективные установки естественного освещения, у которых нет отходов, т.к. природа работает без отходов.

8.6. Общество

Поведение обитателей зданий и их возможности в части использования дневного и солнечного света зависят от климатических условий и их деятельности внутри зданий. В жилых домах люди обычно предпочитают хорошо освещённые солнечные помещения. Нормативные требования и организация установок естественного освещения могут оказать существенное влияние на качество световой среды внутри зданий. По мере того, как в производственных процессах люди будут всё больше заменяться роботами и компьютерными программами, можно будет ожидать изменения баланса между физической и умственной работой в пользу последней, Это может привести к новым требованиям к освещению рабочих мест, которые учитывали бы потребности людей, искусственного интеллекта и тех и других в совокупности.

9. Заключение

Постоянное прогрессивное развитие цивилизации и культуры определялось базовыми потребностями человечества и, частично, стремлением к изучению:

- возможности определения времени и географического местоположения [123, 124], связанной с местоположением или движением солнца и их годичной повторяемостью;

- изменения распределения яркости неба, на которое влияют погода, турбулентность атмосферы, типы облачности и изменения плотности облачного покрова;

- влияния солнечного и дневного света на фасады по-разному ориентированных зданий, а также проникновения естественного света через окна внутрь зданий.

Новые знания о природе и свете лежат в основе нормирования и проектирования зрительной среды внутри зданий, создаваемой естественным и искусственным освещением. Технические стандарты играют в этом важную роль, т.к. они содержат соответствующие нормы и рекомендации. История говорит о том, что экономика стран, в которых имеются технические стандарты, развивается быстрее, чем в других странах. Стандарты устанавливают правила и предельные значения характеристик и позволяют контролировать эффективность осветительных установок. Стандарты стоят дорого, для их выполнения требуется наличие регулирующих органов и они могут создавать риски, если результаты их применения окажутся не-

благоприятными, так что содержащиеся в стандартах требования должны быть реалистичными и контролируруемыми [6]. Как показано в данной статье, стандарты должны формировать основу для установления минимальных требований, а с другой стороны, они должны обеспечивать возможность развития промышленности, экономики и общества.

Стандарты в области светотехники должны быть основаны на фотометрических характеристиках. При этом не следует использовать преобразование результатов измерений облучённости в фотометрические данные, так как это вносит дополнительные погрешности, зависящие от качества применяемого алгоритма.

В основе прогресса в области естественного освещения лежат определение светового климата и поиск адекватных критериев проектирования окон и создания приемлемой для людей световой среды. Практически применимое описание источников естественного света представляется первоочередной задачей дальнейших исследований. Регулярные измерения характеристик естественного освещения, позволяющие получить набор мгновенных значений этих характеристик, должны осуществляться через короткие промежутки времени. Среднечасовые результаты не отражают условия естественного освещения, воспринимаемые глазом человека.

Стандарты могут также содержать полезные для третьих лиц информацию и систему понятий. Стандартизация естественного освещения может способствовать формированию

справедливого и одинакового подхода в странах, имеющих большую протяжённость в направлении с севера на юг, например, в России или в Евросоюзе. Использование того же подхода [69], что и при разработке стандарта [70], может позволить получить медианные значения создаваемой небом освещённости и в городах России, например, тех, географические координаты которых сопоставимы с координатами городов Евросоюза (табл. 5). К этим российским городам относятся: Архангельск, являющийся представителем городов приполярной зоны (примерно соответствует Рейкьявику, лежащему на широте 64,13° с.ш.); Санкт-Петербург, расположенный в районе 60° с.ш. (примерно соответствует Хельсинки, Стокгольму и Осло) и находящийся под влиянием близкорасположенного Балтийского моря; Москва, являющаяся представителем городов с континентальным среднерусским климатом (лежит на той же широте, что и Копенгаген); крупный южнорусский город Волгоград (лежащий примерно на той же широте, что и Париж, Вена и Братислава). Конечно, следовало бы учесть и такие экстремальные климатические условия, как в Мурманске (68,96° с.ш.), который расположен на крайнем севере, или в самых южных районах Дагестана, лежащих на той же широте, что и Рим. Конечно, из-за климатических отличий значения $E_{v, d, med}$ в этих районах будут несколько иными.

Автор благодарит за поддержку, оказанную ему в рамках исследовательской программы *APVV 0118-12* и проекта *VEGA 2/0042/17*. Особую благодарность хотелось бы выразить д-ру Ричарду Киттлеру (*Richard Kittler*) за обсуждение работы, передачу опыта и редактирование текста, а также Марте Маликовой (*Marta Malikova*) за оказание технической помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ⁵

18. Крат В.А. Индикатриса рассеяния света в земной атмосфере // *Астрономический журнал*. – 1943. – Том 20. – С. 5–6.

⁵ Здесь приведены статьи, опубликованные в журналах «Светотехника» и «*Light & Engineering*», а также иные издания на русском языке. Полный список литературы (127 наименований) можно найти на сайте журнала «Светотехника». Прим. ред.

25. Solovyov, A.K. Luminance distribution over the firmament: Taking it into account when designing natural illumination for building // *Light & Engineering*. – 2009. – Vol.17, No. 1. – P. 59–73.

28. Budak, V.P., Smirnov, P.A. A Physical model of the firmament to calculate daylight // *Light & Engineering*. – 2013. – Vol. 21, No. 3. – P. 17–23.

54. Данилюк А.М. Диаграммы для расчета освещенности от светопроемов произвольного очертания и наклона // *Светотехника*. – 1935. – № 6. – С. 7–9.

58. Куттлер Р., Ондreichка Ш. Расчет освещения от наклонного плоского источника света // *Светотехника*. – 1962. – № 9. – С. 11–13.

95. СП 23–102–2003 Естественное освещение жилых и общественных зданий.

96. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

122. Bedocs, L., van Bommel, W., Thorns, P., Schanda, J., Kittler, R., Darula, S. Interview of the Journals «*Light & Engineering*» and «*Svetotekhnika*» // *Light and Engineering*. – 2013. – Vol. 21, No.1. – P. 4–15.

125. Соловьёв А.К. Распределение яркости по небосводу и его учёт при проектировании естественного освещения зданий // *Светотехника*. – 2008. – № 6. – С. 18–22.

126. Будак В.П., Смирнов П.А. Физическая модель небосвода для расчётов естественного освещения // *Светотехника*. – 2013. – № 2. – С. 59–63.

127. Бедокс Л., ван Боммель, В., Торнз, П., Шанда, Я., Куттлер, Р., Дарула, С. Интервью журналов «Светотехника» и «*Light & Engineering*» // *Светотехника*. – 2013. – № 1. – С. 6–9, 51–56.



Станислав Дарула (Stanislav Darula), Dr. Выпускник Словацкого технического университета, Братислава, по специальности «Строительство

зданий». Руководитель отдела строительной физики Строительно-архитектурного института Словацкой академии наук. Область научных интересов: естественное освещение с упором на проектирование, измерение и оценку естественного освещения зданий и на использование солнечной энергии и энергосбережение в зданиях

Компания Signify обновила предложение световых решений для тепличных хозяйств

Компания Signify, ранее известная как Philips Lighting, в 2019 г. реализует новую стратегию развития световых решений для теплиц на российском рынке. Она предполагает адаптацию продуктовой линейки в соответствии с потребностями локальных заказчиков, расширение пула партнёров, а также разработку уникальных решений в соответствии с индивидуальными потребностями предприятий. Интенсификация данного направления обусловлена возросшим внутренним спросом на системы искусственного тепличного облучения, который был вызван значительным ростом производства в российском сельском хозяйстве.

В первую очередь будет сделан упор на наращивании предложения хорошо зарекомендовавших себя традиционных решений с НЛВД, а также инновационных решений с СД для теплиц. Signify прогнозирует, что повышенным спросом на рынке будут пользоваться гибридные системы, в которых для верхнего досвечивания в теплице используются облучатели с НЛВД, а внутри ценоза растений – облучатели с СД. Данное решение обеспечивает равномерное облучение, позволяет контролировать его уровень и создавать необходимый растениям температурный режим, а также эффективно использовать электроэнергию. Это способно гарантировать тепличным хозяйствам высокую урожайность и получение продукции с отличными вкусовыми качествами.

Тепличные световые решения компании наиболее востребованы российскими хозяйствами для выращивания овощей. Кроме того, искусственное излучение необходимо для цветов: оно стимулирует их рост и гарантирует эстетические свойства и жизнестойкость растений.

Signify предлагает каждому заказчику индивидуальное решение, разработанное в соответствии с его запросами и потребностями. Каждая теплица уникальна по техническим характеристикам, площади, типу выращиваемых культур, компетенции персонала. На основе анализа каждого из параметров специалисты компании совместно с партнёрами разрабатывают уникальную световую систему, гарантирующую качественный урожай и энергоэффективность. Кроме того, практика агрономического сопровождения позволяет оказывать поддержку заказчику после установки решения. Штатные специалисты по запросу посещают теплицы и консультируют клиента относительно правильного применения облучательных систем, а также по уходу за растениями и т.д.

Signify занимается технологиями освещения для выращивания сельскохозяйственных культур уже более 20 лет, за это время было установлено около 7 млн светоточек по всему миру. Глобальная доля рынка компании составляет примерно 90 %, и накопленный опыт как в сфере разработки, так и эксплуатации позволяет предлагать заказчику надёжные и эффективные световые решения, обеспечивающие максимальные объёмы урожая. На российском рынке Signify применяет зарекомендовавшие себя на глобальном уровне системы, адаптируя их под особенности местных производителей овощей и цветов.

svetozone.ru
26.12.2018