

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ  
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

**ACTUAL PROBLEMS  
OF DAYLIGHTING OF BUILDINGS DIFFERENT KIND  
AND WAYS OF THEIR DECISION**

*Н.А. МУРАВЬЁВА, А.К. СОЛОВЬЁВ, И.А. ШМАРОВ*  
*N.A. MURAVYOVA, A.K. SOLOVYOV, I.A. SHMAROV*

**(X5 РЕТЭЙЛ ГРУПП,**

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук)**  
**(X5 Retail Group,**  
**Moscow State University (National Research) of University of Civil Engineering,  
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)**  
E-mail: niisf@miisf.ru

*Преимущества дневного света не требуют доказательств. Особенности зданий различного назначения от реставрации архитектурных памятников до промышленных зданий ставили дополнительные ограничения в решении этой проблемы. Требования норм часто не отражают реальных потребностей людей в таких зданиях. В новых промышленных зданиях размеры световых отверстий должны быть ограничены требованиями экономии энергии, но они должны обеспечить достаточный дневной свет для решения визуальных задач. Сегодня мы можем рассчитать количество дневного света и все его параметры с помощью математических расчетов, графических методов и компьютерных программ. Обсуждаются методы расчета коэффициентов дневного света при разных условиях распределения яркости на небе. Горизонтальная освещенность может характеризовать условия визуальной работы на рабочем месте с плоскими объектами, но не может характеризовать насыщенность помещений дневным светом и плохо характеризует визуальную работу с объемными предметами работы.*

*Показаны возможности реализации теории светового поля для характеристики насыщенности помещений естественным светом. Потребности людей в естественном свете в зданиях зависят от их назначения. Подчеркивается, что закономерности, основанные на теории светового поля, необходимо увязать с существующей системой нормирования и стандартизации.*

*Advantages of a daylight don't demand proofs. Features of buildings of different function from restoration of architectural monuments to industrial buildings put additional restrictions in the solution of this problem. Requirements of norms often don't reflect real needs of people for such buildings. In new industrial buildings the sizes of light openings have to be limited to requirements of economy of energy, but they have to provide a sufficient daylight for the solution of visual tasks. Today we can calculate quantity of a daylight and all his parameters by means of mathematical calculations, graphic methods and computer programs. Methods of calculation of coefficients of a daylight are discussed under different conditions of distribution of brightness in the sky. Horizontal illumination can characterize conditions of visual work in a workplace with flat objects, but can't characterize the saturation of rooms by a daylight and badly characterizes visual work with volume objects of work.*

*Possibilities of implementation of the theory of the light field for the characteristic of saturation of rooms are shown by natural light. Needs of people for natural light for buildings depend on their appointment. It is emphasized that the regularities based on the theory of the light field need to be coordinated to the existing system of rationing and standardization.*

**Ключевые слова:** естественное освещение зданий, дневной свет, экономия энергии, теория светового поля, коэффициенты дневного света, система нормирования.

**Keywords:** natural lighting of buildings, daylight, energy economy, theory of the light field, daylight coefficients, system of rationing.

Естественное освещение в помещениях зданий различного назначения имеет свои ограничения. В памятниках архитектуры и в существующих, особенно исторических, зданиях они связаны прежде всего с тем, что размеры светопроемов не учитывали требования к естественному освещению. Во время строительства памятников этому фактору уделялось внимание только на уровне интуитивного понимания архитекторами древности этого вопроса. До наступления эпохи Возрождения в Италии, а

затем и в других странах Европы этому вопросу вообще не уделялось внимания. Результатом было применение в гражданских зданиях очень маленьких окон, изменять которые при реставрации нельзя. Особенно остро этот вопрос стоит в России, где в сохранившихся светских зданиях XIV-XVI вв. традиционно устраивались очень маленькие окна (рис. 1 – Паганкины палаты, XV век, г. Псков, Russia), имевшие широкие откосы из-за большой толщины стен.



Рис. 1



Рис. 2

Памятники архитектуры живут и сохраняются только тогда, когда они используются. В России их использование может быть различным: от музейных объектов до административно-конторских и даже промышленных зданий (рис. 2 – Белые палаты на Пречистенке (XVI в.) Административное здание). В этих зданиях естественное освещение нормируется. Требуется обеспечение нормируемых значений коэффициентов естественной освещенности, которое не всегда возможно.

Преимущества естественного освещения зданий в настоящее время не требуют доказательств. С появлением люминесцентного освещения и кондиционирования воздуха в конце тридцатых годов прошлого века в США у архитекторов появилось желание полностью отгородиться от внешней среды, проектировать здания полностью без окон и фонарей верхнего естественного света. Сначала это касалось промышленных зданий. Потом без окон стали проектировать даже школы. Но вскоре оказалось, что в таких производственных зданиях стала резко падать производительность труда. В школах ученики стали быстро уставать. Сначала считали, что причиной является клаустрофобия (болезнь замкнутого пространства). Но клаустрофобия развивается в маленьких помещениях, где объем внутренней зрительной информации мал. В производственных цехах и в школьных классах объем внутренней зрительной информации достаточно большой. Поэтому о клаустрофобии говорить не приходится. Окна создают связь внутренней и внешней среды. В безоконных и бесфонарных помещениях эта связь отсутствует. Попытка создания такой связи искусственно, путем устройства в стенах больших слайдов с изображением горных или морских пейзажей, ни к чему не привела. Поэтому в настоящее время нормы требуют, чтобы во всех помещениях с длительным пребыванием людей было естественное освещение. При этом окна дают нам информацию о том, что происходит снаружи. В 70-х гг. XX в. светотехники в Европе считали, что фонари верхнего естественного освещения в покрытии зданий такой информации не

дают. Однако это не так. В 70-80-х гг. XX в. нам пришлось заниматься реконструкцией безоконных и бесфонарных производственных зданий в г. Череповце (сталепрокатный завод) и в г. Херсоне (текстильный комбинат) с устройством в огромных цехах этих предприятий фонарей верхнего естественного освещения. Эта реконструкция проводилась в связи с большим количеством жалоб работающих. Анкетные опросы рабочих этих предприятий после реконструкции показали, что связь с внешней средой в основном заключается в сохранении чувства времени, сведений о погоде. Но главное – это динамика спектра и уровней естественного освещения, сохраняющих естественную генерацию гормонов бодрствования и сна. Монотонное освещение, даже при высоких уровнях освещенности, действует усыпляюще. Спектральный состав естественного света также имеет очень большое значение. Люминесцентные лампы имеют линейчатый спектр излучения, тогда как спектр естественного света – непрерывный. Как влияет линейчатый спектр излучения на здоровье человека и на его самочувствие, ученые до сих пор со всей определенностью ответить не могут. Но уже появились новые, более экономичные источники света – светодиоды, которые могут иметь непрерывный спектр излучения. С их совершенствованием, видимо, можно добиться близкого соответствия между спектрами их излучения и спектром естественного света. Спектр естественного света изменяется в зависимости от облачности и времени дня. Поэтому в будущем совершенствование светодиодов, по-видимому, будет идти в направлении автоматического изменения спектрального состава их излучения. Однако изучение влияния светодиодов на здоровье человека только начинается. Оно имеет большое значение как для разработки систем искусственного освещения, так и для разработки систем совмещенного освещения, когда естественный и искусственный свет действуют совместно.

Расчеты естественного освещения зданий должны осуществляться с различными целями. В настоящее время четко определены две цели: 1) – сравнение условий

естественного освещения в помещении с нормами; 2) – определение энергетической эффективности систем естественного освещения.

Для достижения первой цели необходимо выбрать одно основное допущение, которое должно характеризовать распределение яркости по небосводу, характерное для данного региона строительства, и, возможно, является наихудшим с точки зрения величины, характеризующей естественный свет в помещении. Все расчеты необходимо проводить при этом основном расчетном допущении. В настоящее время в России таким допущением является пасмурный небосвод при десятибалльной облачности, нормируемый Международной комиссией по освещению (МКО). Распределение яркости согласно МКО подчиняется закону П.Муна и Д.Спенсер:

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

Здесь  $L_{\theta}$  и  $L_z$  – яркости неба под углом к горизонту и в зените.

В настоящее время этот закон немного изменен, что нашло отражение в новом Государственном стандарте ГОСТ Р 57260–2016. Климатология строительная. Параметры для расчета естественного освещения с учетом распределения яркости по небосводу в условиях ясного неба показаны на рис. 3 (стандартные графики относительной яркости ясного неба) [1], [2].

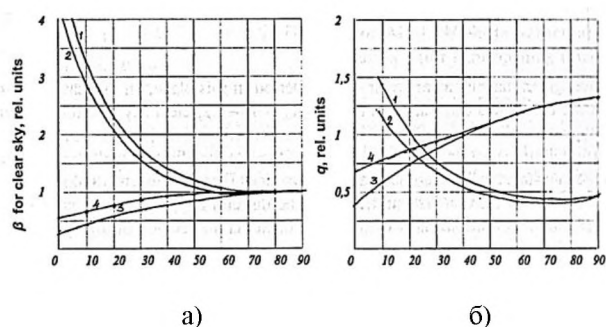


Рис. 3

Для регионов с преобладанием других среднестатистических условий облачности можно пользоваться 15 моделями различных состояний небосвода, представленных

словацкими учеными С.Дарулой и Р.Китлером [3]. Эти 15 моделей симметричны относительно солнечного меридиана и являются функциями углового расстояния между Солнцем и зенитом. Они определяются плавными непрерывными функциями в виде конхоиды, что характерно для ясного неба и для неба с равномерной облачностью и повышенной яркостью вблизи солнечного диска. 10-балльная облачность является одной из этих моделей, когда повышение яркости вблизи солнечного диска стремится к нулю и яркость под углом к горизонту одинакова по широте. Основной задачей при этом является определение модели небосвода, характерной для данного региона и определение расчетного положения Солнца. Этому вопросу посвящены научные публикации [2...4]. Здесь основное значение имеет ориентация светопроема по отношению к солнечному меридиану. Зона наиболее неблагоприятной ориентации составляет от 105 до 225°. Кроме того, большое значение имеет выбранное значение критической освещенности:

$$E_{KR} = \frac{E_i^{Norm}}{e} \cdot 100 \text{ лк}. \quad (2)$$

Здесь  $E_i^{Norm}$  – нормируемая искусственная освещенность;  $e$  – нормируемое значение КЕО.

Как известно, общепризнанным критерием естественного освещения в помещении является коэффициент естественной освещенности (КЕО). Однако следует отметить, что понятие "КЕО" применительно ко всем моделям небосвода кроме пасмурного с 10-балльной облачностью – условно. Если при пасмурном небосводе величина КЕО не зависит от ориентации светопроема, то при остальных моделях неба она зависит от ориентации светопроема по отношению к солнечному меридиану. Для ясного неба предложены стандартные графики распределения яркости (рис. 3) [2]. Для моделей небосвода, характерных для регионов строительства с другими статистическими условиями облачности на небосводе, их еще предстоит разработать. Распределение яркости по небосводу имеет прямое отноше-

ние к естественному освещению памятников архитектуры. Если мы рассматриваем памятник архитектуры как объект дальнейшего использования, мы должны создать в нем условия естественного освещения, близкие к нормируемым. Расчет КЕО при пасмурном небе, покрытом сплошной облачностью 10 баллов, дает значительно меньшие значения КЕО, чем расчет при ясном небе (рис. 1 и 2). Это позволяет нам проще обеспечивать в помещениях нормируемые значения КЕО.

Рассмотренные факторы определяют так называемое "глобальное освещение", которое является модным термином, которым пытаются обозначить все, что связано с естественным светом. Но факторы застройки, конструкций, архитектурных решений, внутренней и наружной отделки к этому термину не имеют отношения, хотя иногда влияют на естественную освещенность больше, чем прямой свет неба.

Расчеты КЕО должны учитывать множество факторов, среди которых основное значение имеют яркость неба, учет прямой составляющей КЕО от небосвода, составляющей КЕО от противостоящей застройки, учет светопропускания проемов, который при современных конструкциях остекления со стеклопакетами и специальным селективным стеклом может иметь большое значение. Кроме того, необходимо учитывать отраженный свет от внутренних поверхностей помещения и от прилегающих поверхностей земли. При верхнем освещении противостоящая застройка имеет значение только в редких случаях, однако отраженный свет от прилегающих участков кровли для П-образных фонарей и для шедов (пилообразная кровля) может иметь большое значение, особенно в районах с преобладанием высокой облачности и ясного неба.

В настоящее время с применением компьютеров расчеты естественного освещения не представляют особой сложности. Существуют более или менее надежные программы расчета, такие как AGI32 1.84, 2005 (Lighting Analysts Inc. США, [www.agi32.com](http://www.agi32.com)) или Radiance 3.7.2. 2005 (Lawrence Berkeley National Laboratory. США, [radiosity.lbl.gov](http://radiosity.lbl.gov)), с помощью которых

можно не только рассчитать естественную освещенность в помещении, но и построить картину яркостей внутренних поверхностей и создать визуализацию помещения, освещенного естественным светом. Однако для целей архитектурно-строительного проектирования такие расчеты имеют один существенный недостаток: они требуют длительной и сложной подготовки вводимых данных. Поэтому проектировщики часто пользуются так называемыми "ручными" методами расчета КЕО, среди которых наиболее распространенными являются методы, основанные на графиках А.М.Данилюка [4] и на диаграммах Уолдрема [5]. Оба метода являются достаточно простыми и дают достаточно точные результаты. Каждый имеет свои преимущества и недостатки. Так, метод, основанный на применении графиков Данилюка, можно легко заменить вычислением составляющей КЕО от прямого света неба и от отраженного света от противостоящих зданий с помощью простых формул [5].

Точная формула, полученная автором на основе положений сферической геометрии, также приведена в [5]. Она является достаточно сложной, особенно в случае использования в качестве основного допущения конхоидального распределения яркости по небосводу, частным случаем которого является пасмурный небосвод.

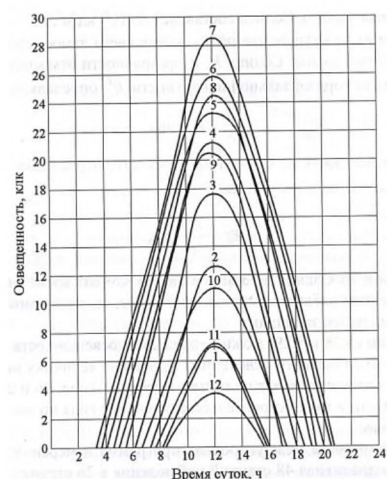


Рис. 4

Диаграмма Уолдрема построена на других принципах. Она показывает картину, которую мы видим через окно. Это очень

наглядно, хотя и не дает возможность точно учесть отражение от противостоящих зданий и перераспределение световых потоков от противостоящих зданий на потолок и верхние части стен помещения, в котором определяется КЕО. Картина, видимая на диаграмме Уолдрема, со свободно расположенными противостоящими зданиями, показана на рис. 4 (графики хода наружной горизонтальной освещенности).

Расчет отраженного света от внутренних поверхностей помещения и прилегающих наружных поверхностей проводится приближенным методом с использованием таблиц и графиков [5] (метод Уолдрема) или более точно с помощью метода конечных световых элементов с использованием ЭВМ.

Нормирование естественного освещения является одним из наименее изученных вопросов. В России оно базируется на данных, полученных при разработке норм искусственного освещения. Нормы искусственного освещения разработаны из условий обеспечения наивысшей производительности и наименьшей утомляемости при выполнении зрительных работ. При этом они зависят от точности зрительных работ, то есть от размеров объектов различения и от контраста объекта и фона. При этом нормирование разработано для плоских объектов различения, которыми часто выбираются кольца Ландольдта. Контраст подразделяется на малый, средний и большой. При этом, особенно для малого контраста, значительную роль играет характеристика фона. Наихудшие условия имеют место при малом контрасте и темном фоне. Для объемных объектов на условия видимости значительное влияние оказывают собственные и падающие тени на рельефе объекта, которые при нормировании никак не учитываются. Не учитывается также вуалирующая яркость на плоских объектах при направленном и рассеянно-направленном отражении от них, или яркость вуалирующей пелены, возникающая при этом у наблюдателей. Таким образом, и в этой проблеме еще имеется много вопросов для исследовательской деятельности ученых светотехников и гигиенистов.

Можно ли связать нормы искусственного освещения с нормами КЕО? Этим вопросом занимались ученые-светотехники с 40-х годов прошлого века. Так Т.А.Глаголева предложила определять нормируемые значения КЕО из условия равенства логарифмов количества естественного и искусственного освещения в помещении за год [6]. В современных российских нормах на основании работ Н.Н.Киреева эта связь определяется простым равенством количества искусственного и естественного освещения в помещении за год.

В качестве примера рассмотрим помещения читательских каталогов и помещений фонда открытого доступа в г.Москве. Здесь нормируемая искусственная освещенность при общем освещении составляет 200 лк. Годовое количество искусственного освещения при 16-часовом рабочем дне и 6-дневной рабочей неделе составляет:

$$A_{\text{YEAR}} = 200 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 12 = 921600 \text{ лк} \cdot \text{ч}/\text{год}.$$

Здесь 4 – недели в месяце, 12 – месяцев в году.



Рис. 5

Годовое количество естественного освещения снаружи получается интегрированием функций изменения наружной освещенности в г.Москве (рис. 5 – новая школа в московском районе Косино-Ухтомский) по времени в каждом месяце и суммированием интегралов с умножением этой суммы на 24 (количество рабочих дней в месяце). При этом надо учитывать, что работа в библиотеках ведется в две смены: с 7 утра до 23 ч вечера. Для г. Москвы приблизительно при такой работе годовое количество освеще-

щения составляет 30735600 лк·ч/год. Тогда величина нормируемого значения КЕО при верхнем освещении:

$$e_{\text{upper}} = 921600 \cdot 100 / 30735600 = 2,96\%.$$

Для бокового освещения величина КЕО обычно принимается в 3 раза меньше, то есть  $e_{\text{side}} = 0,96\%$ . В российских нормах СП 52.13330.2016 для залов читательских каталогов и помещений фонда открытого доступа эти величины составляют соответственно  $e_{\text{upper}} = 2,5\%$  и  $e_{\text{side}} = 0,7\%$ . В некоторых случаях такие вычисления совпадают с нормами, в некоторых отличаются от них. Следует отметить, что такой подход зависит от того, ведется работа в одну, две или три смены. Кроме того, нормы искусственного освещения, особенно для промышленных зданий, зависят от контраста объекта и фона. При нормировании КЕО это не учитывается.

Необходимо выработать критерии, по которым можно было бы нормировать естественное освещение помещений. До сих пор эти критерии так и не выработаны. Прежде всего рассмотрим тот же критерий, который использовался для нормирования искусственного освещения, то есть условия зрительной работы. Можно ли его применять для естественного освещения? С одной стороны, вроде бы понятно, что чем точнее зрительная работа, тем больше естественного света требуется в помещении. Это значит, что светопроемы в таком помещении должны быть больше. Например, в школьных классах проектируются очень большие окна (рис. 5), так как нормируемое значение КЕО на уровне школьных парт на расстоянии 1,2 м от стены, противоположной окнам, должно составлять 1,5%. Это очень большая величина, которая, особенно в условиях тесной застройки городов, представляет собой головную боль для проектировщиков. В то же время большие окна при высоких яркостях внешней среды создают зрительный дискомфорт, особенно при наличии солнца. То есть, высокие уровни освещенности не обязательно обеспечивают комфорт в помещении. Через большие окна зимой уходит большое коли-

чество тепла, а летом они создают перегрев за счет инсоляции и теплоступлений от высокой наружной температуры.

Таким образом, большие площади остекления необязательно являются энергоэффективными. Минимальные затраты энергии на освещение, восполнение теплотерь через окна и ликвидацию теплоступлений через окна с помощью вентиляции и охлаждения воздуха также могли бы быть критерием для нормирования естественного освещения в зданиях. Энергетическая оценка систем естественного освещения для нормирования имеет преимущество перед стоимостной оценкой, так как стоимость конструкций, определяющих капитальные затраты, и стоимость тепловой и электрической энергии, в основном определяющие эксплуатационные затраты постоянно меняются в соответствии с рыночными условиями. Энергетические затраты являются более постоянным критерием.

Энергетическую эффективность систем естественного освещения можно оценивать по суммарным затратам тепловой и электрической энергии, переведенным в условное топливо, кг/м<sup>2</sup>. Они складываются из энергозатрат на отопление, вентиляцию и охлаждение, компенсирующих повышенные теплотери в холодный период года и избыточные теплоступления от солнечной радиации в жаркий период года через светопрозрачные конструкции.

Методика расчета энергетических затрат подробно описана в [7]. Она может быть использована с небольшими упрощениями и изменениями, связанными с современным развитием техники кондиционирования воздуха, и в наше время. Так, например, удельное количество электроэнергии на вентиляцию и охлаждение, кВт·ч/м<sup>2</sup>·год, следует определять по формулам, в которых величины, определяющие продолжительность работы вентиляции и охлаждения в часах, находятся по таблице из [8], как убывающий итог часов для температур +21°C и выше и для температур +28°C и выше (температуры, при которых должны включаться вентиляция и охлаждение воздуха).

При наличии современных кондиционеров, особенно в случае применения "сплит-

систем", расход энергии на охлаждение почти на порядок больше, чем при адиабатическом охлаждении с использованием "чиллеров", расположенных на крыше или на территории около здания, и "фенкойлов" для подачи охлажденного воздуха непосредственно в помещения. Такие системы являются наиболее распространенными в жилых домах в США.

Экономия энергозатрат при эксплуатации светопроемов является важным, но не определяющим критерием для нормирования КЕО в помещениях. Как показано выше, мы можем рассчитать все объективные параметры внутренней световой среды, но мы не знаем, что же нужно человеку. Какие параметры световой среды должны быть необходимы и достаточны. Только при нормировании искусственного освещения применялись методики экспертных и общих опросов наблюдателей, вводились такие критерии, как зрительная работоспособность, утомляемость. Поэтому мы можем констатировать, что нормы искусственного освещения, полученные на плоских объектах на рабочей поверхности, являются более или менее научно обоснованными. Нормы естественного освещения не имеют такого достоверного научного обоснования. Очевидно, что они одновременно связаны с комфортом для зрительной работы и с насыщенностью естественным светом помещения. Комфортные условия зрительной работы должны обеспечиваться при уровнях освещенности, примерно соответствующих нормируемым уровням искусственной освещенности. Ориентировочно они могут соответствовать им. Но световой комфорт определяется не только условиями зрительной работы. В таких помещениях, как офисы, производственные помещения, рабочие кабинеты, жилые помещения, вестибюли, на нормативные условия влияние оказывает насыщенность помещений естественным светом. Этот аспект только начинает исследоваться.

Световая среда характеризуется насыщенностью светом, которая определяется пространственными характеристиками светового поля. Идея о световом поле предложена выдающимися зарубежными свето-

техниками, такими как И.Ламберт, Д.Вебер, В.Ардт. Стройную теорию светового поля разработал выдающийся российский ученый - светотехник А.А.Гершун в первой половине XX века. В последующем эта теория была развита профессорами Хельвигом и Крохманном (ФРГ), М.М.Гуревичем, Н.Г.Болдыревым, В.В.Мешковым, М.М.Гуторовым, М.М.Епанешниковым и многими другими. В Московском государственном строительном университете по этой проблеме работает целая научная школа, занимающаяся применением пространственных характеристик светового поля при естественном освещении [9]. Сначала это были работы, связанные с использованием пространственных характеристик светового поля для определения условий зрительной работы с объемными объектами зрительной работы. В настоящее время мы перешли к определению характеристик насыщенности помещений естественным светом. Это может быть новым подходом к нормированию естественного освещения. Нормируемая освещенность состоит из двух составляющих: освещенность, необходимая для выполнения зрительной работы, и общая освещенность в помещении, которая характеризует насыщенность помещения естественным светом. Определение этих составляющих возможно с помощью теории адаптации, разработанной одним из классиков психофизики Х.Хельсом (США) [10]. Предложенная им формула определяет уровень адаптации в зависимости от фокусного, фонового и остаточного раздражителей и их весовых коэффициентов:

$$A = X^p B^q P^r,$$

где  $A$  – уровень адаптации системы, при достижении которого происходит наиболее полное принятие раздражителя и достигается его наибольшее соответствие реакциям человека;  $X$ ,  $B$  и  $P$  – соответственно фокусный, фоновый и остаточный раздражители;  $p$ ,  $q$  и  $r$  – весовые коэффициенты, учитывающие интенсивность влияния соответствующих раздражителей. Для некоторых исследований в области естествен-



ного и искусственного освещения можно пользоваться упрощенным вариантом формулы Хельсона:

$$A = X^p B^q.$$

Здесь остаточный раздражитель учтен в значениях фонового раздражителя. Исследования условий освещения сводятся к определению значений фокусного и фонового раздражителей. Например, при исследовании освещения в помещениях, где главным функциональным требованием является выполнение зрительной работы, фокусным раздражителем  $X$  является величина освещенности, при которой имеет место наивысшая работоспособность и наименьшая утомляемость. Она определяется величиной искусственной освещенности для данной зрительной работы (по нормам для горизонтальной освещенности или, для объемных объектов, согласно исследованным пространственным характеристикам светового поля и их соотношениям). Фоновым раздражителем является средний уровень освещенности в помещении. Уровень адаптации  $A$  определяется в результате психофизического эксперимента на основе экспертных оценок. Для искусственной освещенности насыщенность помещений светом исследовалась в середине XX в. М.М. Епанешниковым и Т.Н. Сидоровой в подземных залах московского метро [11]. Они впервые доказали, что насыщенность светом помещения определяется такой пространственной характеристикой светового поля, как средняя цилиндрическая освещенность.

Для естественного света такие исследования мы начали проводить в НИУ МГСУ. Это касалось естественного освещения в учебных аудиториях и в административных помещениях [12]. Однако для характеристики естественной освещенности необходимо было использовать относительные единицы наподобие КЕО. Мы предложили для этой цели использовать коэффициент естественной цилиндрической освещенности, представляющий собой отношение величины цилиндрической освещенности в данной точке помещения к одновременной величине наружной горизонтальной освещенности. Применять

величину наружной цилиндрической освещенности было бы нецелесообразно, так как таких данных нет ни в одном климатическом справочнике мира, тогда как данные о наружной горизонтальной освещенности распространены повсеместно.

В исследуемых помещениях условия зрительной работы и насыщенность светом помещений играет примерно одинаковую роль. Роль фокусного и фонового раздражителя оценивается весовыми коэффициентами  $p = 0,5$ , и  $q = 0,5$ . Определяемой в психофизических исследованиях величиной является величина  $A$ , то есть полная адаптация, соответствующая наивысшей оценке стимула. Это свидетельствует о нейтрализации прикладываемой энергии. В наших исследованиях для административных помещений она составила 120 люкс по цилиндрической освещенности при величине КЕЦО = 2% в центре помещения. Для обеспечения полной адаптации достаточно добавить к фокусному значению освещенности, равному 300 лк, еще около 50 лк. Величина КЕЦО=2% в центре помещения по нашим исследованиям совпало с величиной КЕО=2% в этой точке. Причем совпадение значений КЕО и КЕЦО имело место в центре помещения во многих случаях измерений на модели помещения с различными размерами светопроемов и с различными коэффициентами отражения стен, пола и потолка при обычном расположении окон в стене (подоконник на высоте 0,9...1,5 м от пола). Эти результаты нуждаются в проверке. Однако предварительно можно сказать, что эта методика может быть использована при разработке системы нормирования естественного освещения.

Методы психофизических исследований должны включать следующее.

1. Подбор группы наблюдателей по количеству.
2. Подбор наблюдателей по качеству (возраст, пол, профессиональные данные и др.)
3. Определение целей и постановка задач эксперимента.
4. Корректная обработка результатов эксперимента.

Это обеспечит заранее заданную точность результатов эксперимента.

## ВЫВОДЫ

В настоящее время включение человеческого фактора в строительно-физическую науку является особенно актуальным. Как все это отражается на естественном освещении зданий. В случае памятников архитектуры мы должны узнать, будут ли соответствовать условия естественного освещения функциональному назначению данного памятника архитектуры. Изменение размеров и размещения светопроемов в памятниках архитектуры невозможно. Необходимо рассчитать величины КЕО имеющимися в настоящее время методами, о которых говорилось выше. Если величины КЕО не соответствуют нормам, то в отношении памятников архитектуры в нормах имеются исключения, согласно которым в помещениях в этом случае можно применять совмещенное освещение. В нормах, как уже было сказано, не учитывается насыщенность помещений естественным светом, потому тем, кто будет эксплуатировать здание, следует показать, какова будет насыщенность естественным светом в помещениях памятника архитектуры. В некоторых случаях будет необходимо определять согласно теории адаптации требуемые уровни освещенности как на рабочих местах, так и в среднем по всему помещению. В административных и производственных зданиях необходимо определить весовые коэффициенты, которые показывают значение освещенности, необходимой для выполнения зрительной работы, и общей освещенности, характеризующей насыщенность естественным светом помещения. В этом случае нормы естественного света будут физиологически и психологически оправданными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kittler R. Standardisation of outdoor conditions for the calculation of the daylight factor with clear skies // Proc. CIE Intersession Meeting on Sunlight. – Newcastle upon Tyne, 1965.
2. Victor A. Zemtsov, Alexei K. Solovyov and Igor A. Shmarov. Luminance Parameters of the Standard CIE Sky within Natural Room Calculations and their Application under Various Light Climate Conditions in Rus-

sia // Light & Engineering. – Vol.25, №1, 2017. P.106...115.

3. Darula Stanislav and Kittler Richard. Classification of Daylight Conditions in Cloud Cover Situations // Light & Engineering. – Vol.23, 2015. P.4...15.

4. Свод правил. СП18.1325800. 2018. Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения. – М., 2018.

5. Соловьев А.К. Раздел 18. Естественное освещение зданий. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. – М.: Знак. 2006.

6. Глаголева Т.Н. Естественное освещение промышленных зданий. – М.: Изд-во ВЦСПС, Профиздат, 1961.

7. НИИСФ Госстроя СССР. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП II-4-79). – М.: Стройиздат, 1985.

8. Госстрой СССР. Строительные нормы и правила, часть II, раздел А. Глава 6. Строительная климатология и геофизика. СНиП II-а.6-72. – М.: Стройиздат, 1973.

9. Alexei K. Solovyov. Research into Illumination of Buildings and Constructions conducted in Architectural and Construction Educational and Scientific Institutes: A Review // Light & Engineering. – Vol.25. №1, 2017.

10. Helson H. Adaptation level theory. An experimental and systematic approach to behavior // Kansas State University. USA, 1964.

11. Епанешников М.М., Сидорова Т.Н. Оценка насыщенности светом помещений общественных зданий // Светотехника. – 1965, №1.

12. Муравьева Н.А., Соловьев А.К. Исследования характера распределения естественной цилиндрической освещенности в помещениях с боковым естественным освещением // Светотехника. – 2015, №6.

## REFERENCES

1. Kittler R. Standardisation of outdoor conditions for the calculation of the daylight factor with clear skies // Proc. CIE Intersession Meeting on Sunlight. – Newcastle upon Tyne, 1965.

2. Victor A. Zemtsov, Alexei K. Solovyov and Igor A. Shmarov. Luminance Parameters of the Standard CIE Sky within Natural Room Calculations and their Application under Various Light Climate Conditions in Russia // Light & Engineering. – Vol.25, №1, 2017. P.106...115.

3. Darula Stanislav and Kittler Richard. Classification of Daylight Conditions in Cloud Cover Situations // Light & Engineering. – Vol.23, 2015. P.4...15.

4. Svod pravil. SP18.1325800. 2018. Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Pravila proektirovaniya estestvennogo i sovmeshennogo osvesheniya. – М., 2018.

5. Solovev A.K. Razdel 18. Estestvennoe osveshenie zdaniy. Spravochnaya kniga po svetotekhnike / Pod red. Yu.B.Ajzenberga. – М.: Знак. 2006.

6. Glagoleva T.N. Estestvennoe osveshenie promyshlennykh zdaniy. – M.: Izd-vo VCSPPS, Profizdat, 1961.

7. NIISF Gosstroya SSSR. Posobie po raschetu i proektirovaniyu estestvennogo, iskusstvennogo i sovmeshennogo osvesheniya (k SNiP II-4-79). – M.: Strojizdat, 1985.

8. Gosstroj SSSR. Stroitelnye normy i pravila, chast II, razdel A. Glava 6. Stroitel'naya klimatologiya i geofizika. SNiP II-a.6-72. – M.: Strojizdat, 1973.

9. Alexei K. Solovyov. Research into Illumination of Buildings and Constructions conducted in Architectural and Construction Educational and Scientific Institutes: A Review // Light & Engineering. – Vol.25. №1, 2017.

10. Helson H. Adaptation level theory. An experimental and systematic approach to behavior // Kansas State University. USA, 1964.

11. Epaneshnikov M.M., Sidorova T.N. Ocenka nasyshennosti svetom pomeshenij obshchestvennykh zdaniy // Svetotekhnika. – 1965, №1.

12. Muraveva N.A., Solov'ev A.K. Issledovaniya haraktera raspredeleniya estestvennoj cilindricheskoj osveshennosti v pomesheniyah s bokovym estestvennym osvesheniem // Svetotekhnika. – 2015, №6.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 18.06.18.

---