

О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Часть II. Экспериментальные лабораторные исследования

В.В. ВОРОНОВ, Н.И. ЩЕПЕТКОВ

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва
E-mail: n_shchepetkov@inbox.ru

Аннотация

Статья является продолжением (часть II) одноимённой статьи [1] и изложением содержания главы 3 диссертации В.В. Воронова [2]. Описываются проведение и результаты экспериментов методами плоскостного графического и объёмного макетного светомоделирования в специально созданной установке (камере) моделирования архитектурного освещения (в МАРХИ в 1970–85 гг.).

Ключевые слова: экспериментальная установка светомоделирования, архитектурное освещение, лабораторные исследования, яркость, насыщенность интерьера светом.

Лабораторные экспериментальные исследования по освещению производственных интерьеров с тремя типами фонарей верхнего естественного света были вызваны необходимостью проверки результатов аналитических и натурных исследований, а также поиска критериев и методов оценки качества световой среды интерьеров при сопоставимых условиях естественного и искусственного освещения, внутренней отделки и заполненности оборудованием. Эти исследования включали две серии экспериментов и были направлены на:

- уточнение полученных в натуральных условиях данных инструментально-фотометрической и аналитико-статистической качественной оценки освещения интерьеров;
- разработку критериев качественной оценки распределения яркости в пространстве интерьера;
- нахождение архитектурного способа транспозиции яркостных соотношений с перспективного графического изображения интерьера в натуру;
- определение наиболее предпочтительных коэффициентов отражения ρ «отделки» элементов конструкций и технологического оборудования в цехах при заданных ρ фоновых потолка, стен и пола для обеспечения зрительного комфорта и архитектурной выразительности интерьера.

В первой серии эксперименты проводились методом плоскостного графического светомоделирования, а во второй – объёмного светомоделирования на сборно-разборных макетах интерьеров в специально разработанной и осуществлённой для этих целей установке (камере) светомоделирования (рис. 1) [3].

В экспериментах первой серии участвовал 81 эксперт (студенты старших курсов и преподаватели МАРХИ). Каждый получал на листе ватмана линейные перспективы исследуемых интерьеров, на которых, по заданию экспериментатора, он растушёвкой карандашом (рисовать умели все) изображал прогнозируемое распределение яркости по трём типам интерьерного «открытого» пространства (глубинное, замкнутое, сквозное) при естественном

и искусственном освещении. В общем было выполнено 486 рисунков в виде вариантов яркостных (по сути, светлотных) композиций, послуживших материалом для статистической обработки и анализа – с помощью «шкалы светлот» с известными ρ – яркостных (светлотных) соотношений трёх зон, а точнее, потолка ($L_{В3}$) и стен ($L_{С3}$) относительно пола ($L_{Н3}$).

В результате для каждого исследуемого интерьера и типа «открытого» пространства (как наиболее предпочтительного по результатам предшествовавших исследований) были определены диапазоны соотношений $L_{В3}$; $L_{С3}$; $L_{Н3}$ – общие для естественного и искусственного освещения. Средние значения этих диапазонов были приняты к светомоделированию на макетах (рис. 2).

Любые графические изображения обладают неискоренимым недостатком, отличающим их от вида реальных

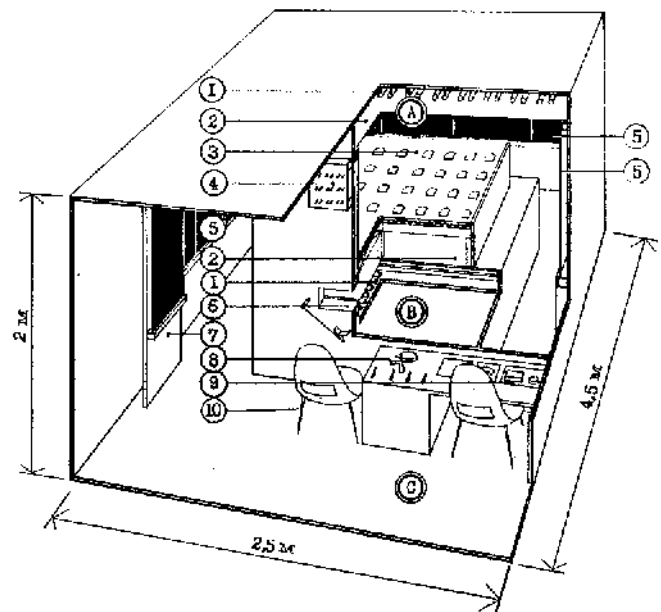


Рис. 1. Экспериментальная установка (камера) для моделирования архитектурного освещения интерьеров с верхним светом:

А – искусственное небо зеркального типа; В – система транспарантной подсветки и имитации общего искусственного освещения; С – камера адаптации (для наблюдателя);

- 1 – люминесцентные лампы с исправленной цветностью, 30 и 40 Вт;
- 2 – матированное оргстекло; 3 – макет интерьера с фонарями верхнего света; 4 – пульт управления искусственным небосводом; 5 – зеркала; 6 – отверстие для наблюдений интерьера макета; 7 – вход в зеркальную камеру; 8 – пульт управления системой имитации общего искусственного освещения; 9 – измерительная аппаратура; 10 – место наблюдателя

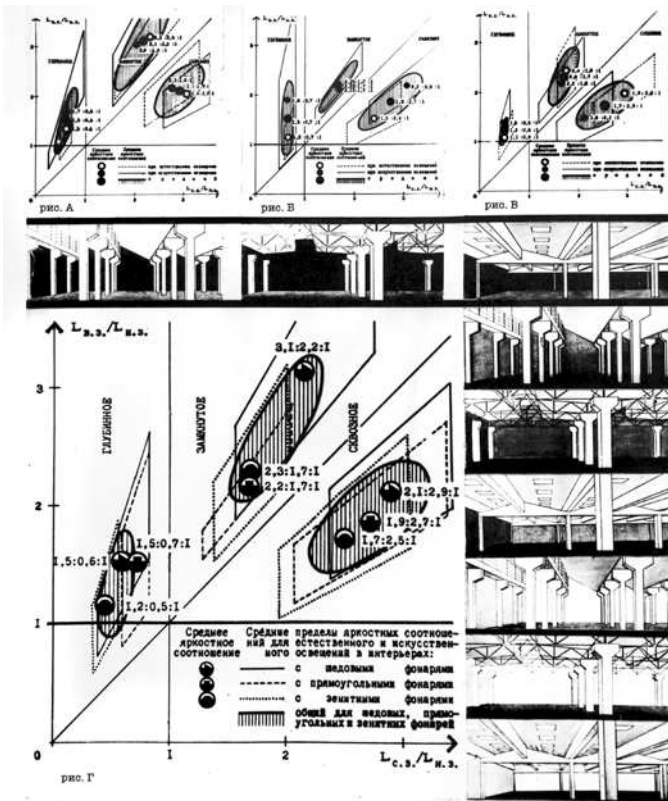


Рис. 2. Результаты плоскостного графического светомоделирования в интерьерах с фонарями трёх типов при естественном и искусственном освещении

интерьеров – диапазон изображаемых на рисунках яркостей и даже яркостных контрастов несравнимо меньше, чем в натуре, поскольку ограничен возможностями отражения в пределах по ρ от 0,8 (белая бумага) до 0,05 (чёрная матовая краска). Поэтому нельзя достоверно передавать существующую яркость участков неба, видимого в светопроеме, и контраст его, например, с переплётками или примыкающими к фонарю участками потолка (в окнах – неба и внешней стены).

Чтобы нейтрализовать этот недостаток, метод графического светомоделирования был усложнён: дополнительно на перспективах интерьеров с шедовыми фонарями проводились статистические эксперименты (17 человек) с использованием транспарантного подсвета вырезанных на рисунках световых проёмов, с целью определять влияние их яркости на принятые к светомоделированию соотношения $L_{вз}:L_{сз}:L_{нз}$. Эти рисунки испытуемых в камере светомоделирования накладывались на систему управляемого подсвечивания в виде плоскости из матированного стекла, яркость которого могла экспериментатором регулироваться с помощью расположенных под стеклом люминесцентных ламп. При разных уровнях яркости световых проёмов $L_{сп}$ и постоянной освещённости на перспективном изображении ($E_r = 400$ лк) и яркости фона 64 кд/м² наблюдателя просили внести в его рисунок карандашной растушёвкой изменения, если они, по его мнению, требовались по зрительному впечатлению с целью гармонизации яркостной композиции интерьера.

Результаты экспериментов показали, что соотношение $L_{вз}:L_{сз}:L_{нз}$ осталось относительно константным при изменении $L_{сп}:L_{пт}$ в пределах 1,1–33,7. При дальнейшем по-

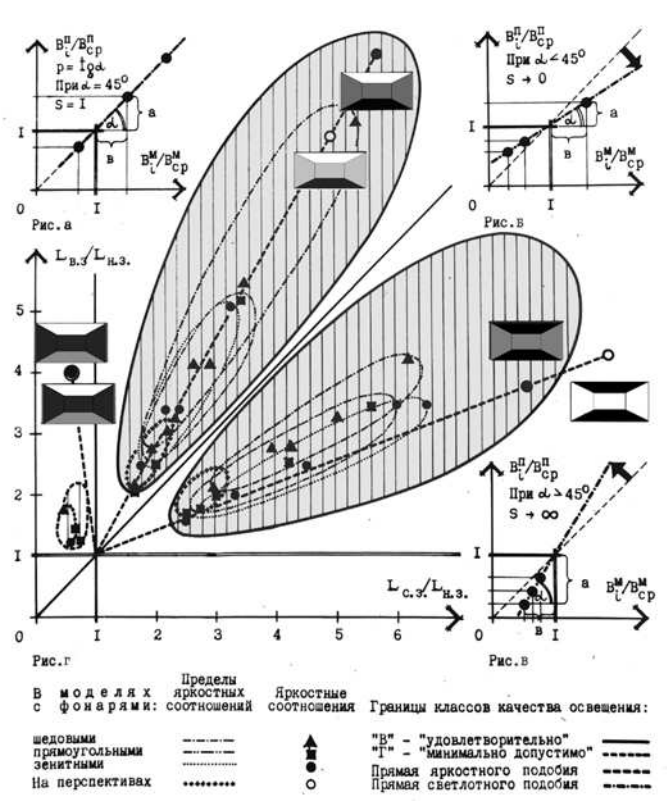


Рис. 3. Диапазоны яркостных соотношений при графическом и объёмном моделировании освещения в интерьерах

вышении $L_{сп}$ эксперты отмечали возникновение зрительного дискомфорта (слепящее действие светового проёма) и связанное с ним ощущение пониженной насыщенности светом изображённого на перспективе интерьера, что хорошо согласовывалось с известными данными [4].

Во второй серии экспериментов определялись яркостные соотношения на макетах исследуемых интерьеров с фонарями трёх типов, подобные или близкие по зрительному ощущению изображённым на предъявленных перспективах.

Наблюдателей-экспертов (92 чел.) приглашали в камеру светомоделирования, где они при заданных уровнях естественного ($E_{г0} 4\%$) и искусственного ($E_r = 400$ лк на полу) освещения подбирали такую яркость стен, при которой ощущали зрительное подобие между яркостными соотношениями (светлотными контрастами) в макете исследуемого интерьера и на изображённой ими перспективе. Яркости стен и пола в макетах изменялись за счёт по-разному пропускающих и отражающих свет сменных масок-экранов.

Для исследуемых интерьеров ρ потолка был постоянным и равным 0,7, а ρ пола и стен изменялись от 0,1 до 0,5 и от 0,1 до 0,7 соответственно.

Результаты опытов показали, что подобные по зрительному ощущению (светлоте) соотношения $L_{вз}:L_{сз}:L_{нз}$ аппроксимируются в системе прямоугольных координат прямой, проходящей через точку с координатами в линейном масштабе, равными единице (соотношения светлот этих поверхностей на макете и на перспективе также аппроксимируются аналогичной прямой, но с другим углом наклона к оси абсцисс). Выявленная закономерность, названная яркостным подобием, имеет важное значение, т.к. позво-

Требования к качеству освещения производственных интерьеров	Характеристика зрительной работы по СНиП П-4-79	Разряд зрительной работы по СНиП П-4-79	Класс качества освещения по распределению яркости	Показатель светонасыщенности N	Контрастность освещения		Примеры интерьеров
					$E_V/E_{2\pi}$	$E_V/E_{\text{ц}}$	
Повышенные	Наивысшей и очень высокой точности	I–II	«А» «Отлично» «Б» «Хорошо»	Более 2,5	Менее 1,4	Менее 2,2	Цехи заводов электронной, радиоэлектронной и приборостроительной промышленности
Нормальные	Высокой и средней точности	III – IV	«Б» «Хорошо»	2,5–1,5	1,4–1,7	2,2–2,5	Цехи текстильной, лёгкой, инструментальной и металлообрабатывающей промышленности
Пониженные	Малой точности и грубая	V – VI	«В» «Удовлетворительно»	Менее 1,5	Более 1,7	Более 2,5	Цехи заводов стройиндустрии, металлургических предприятий, склады и т.п.

ляет архитектуру, минуя стадию трудоёмкого расчёта светлот (по номограмме Н.М. Гусева – П.И. Хорошилова [5]), более просто, графическим способом, определять требуемые (в идеале – гармоничные) соотношения яркостей для природы (для последующего светотехнического расчёта), зрительно подобные изображённым в проекте. В любом случае, распределение яркостей и их соотношения в зрительных кадрах интерьера дают представление о классе качества освещения – от «отличного» («А») до «неудов-

летворительного» («Г»), что и отражает номограмма по результатам светомоделирования двумя способами (рис. 3). Она неплохо согласуется с номограммой-«бабочкой» по итогам натурных исследований [1, рис. 9].

Серия экспериментов на макетах была дополнена экспериментами по выяснению роли конструктивных элементов и оборудования в общей яркостной композиции производственного интерьера. Статистически определены как оптимальные для этих элементов значения ρ : 0,5–0,7.

На основе проведённых экспериментов был построен график качественной оценки распределения яркости в интерьере по её диапазону, гармоничности и частоте, позволяющий учитывать не только уровни яркостей, но и соответствующие им относительные площади в зрительном кадре интерьера. В серии экспериментов 36 экспертов МАРХИ из семи наборов квадратов (4×4 см) по 49 шт. в каждом составляли три яркостных композиции: производственную, зонную и интерьерную размером 28×28 см. Гармоничность и диапазон яркостей квадратов в наборах определялись равноинтервальным по светлоте рядом с диапазоном $\rho = 0,05-0,11-0,20-0,31-0,45-0,61-0,80$. Этот эксперимент лёг в основу авторского метода ручного изображения на снимке интерьера зонального распределения яркостей и определения их усреднённых ρ в пределах каждого квадратика («пикселя») по шкале светлот, а затем вычисления общей площади каждого равнояркостного пятна (рис. 4). Интересно, что такой графический способ светлотно-геометрической формализации реального изображения много позже стал использоваться на телевидении для зашифровки до неузнаваемости лиц показываемых подследственных лиц.

В следующей серии экспериментов производились количественная и качественная статистические оценки светонасыщенности исследуемых интерьеров на их макетах в экспериментальной камере при искусственном и «естественном» освещении. В первом случае оценка сначала осуществлялась при плавном изменении E_V с 20 до 1200 лк, а светонасыщенность определялась «методом установки»: больше – равна – меньше. Для каждой описательной оценки (ощущения) наблюдатель десятикрат-

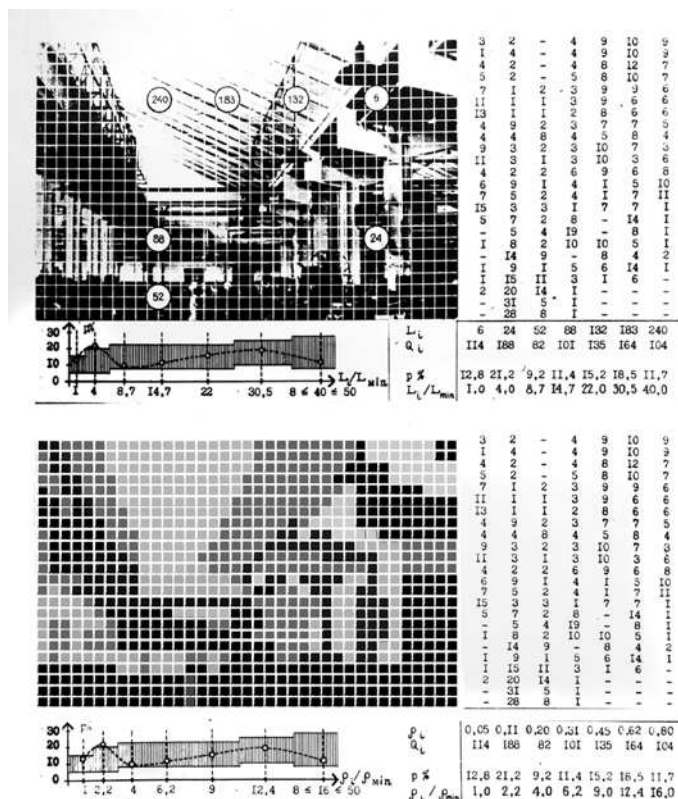


Рис. 4. Оценка качества освещения по диапазону, гармоничности и частоте распределения яркости в пределах зрительного кадра интерьера с шедовыми фонарями при естественном свете

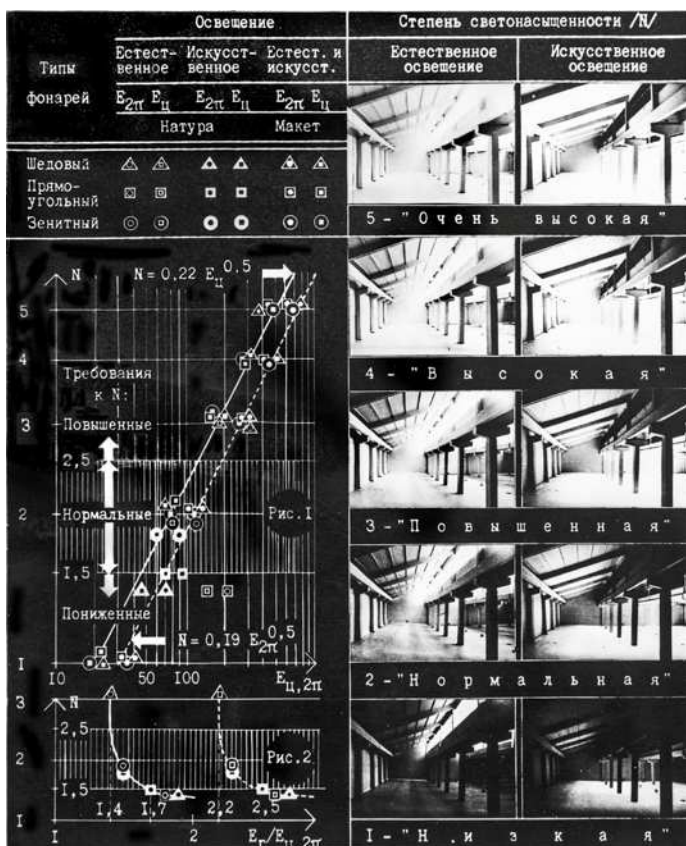


Рис. 5. Результаты экспериментов по оценке степени светонасыщенности интерьера с шедовыми фонарями

но устанавливал соответствующий ей уровень освещённости (стимул). Во втором случае описательная оценка проводилась сравнением её с аналогичным ощущением светонасыщенности при искусственном свете. При установленном некотором уровне «естественного» освещения в макете интерьера, соответствующем определённой степени его светонасыщенности при искусственном освещении, наблюдатель запоминал её, выключал искусственное небо камеры и затем сразу поочерёдно 10 раз воспроизводил аналогичную по зрительному ощущению светонасыщенность при искусственном освещении. Обработанные результаты 23 экспертов (2300 оценок) показали, что стимулы при «естественном» освещении укладывались в доверительные интервалы стимулов при искусственном освещении для одинаковых зрительных ощущений с разницей до 10 %.

Субъективная оценка светонасыщенности проводилась по шкале, принятой в натурных исследованиях [1] при объективных оценках $E_{г}$, $E_{2л}$ и $E_{ц}$ (рис. 5).

В результате этой серии экспериментов была получена графическая зависимость между стимулом E и ощущением N , которая аппроксимируется в прямоугольной системе координат в логарифмическом масштабе прямой линией, соответствующая уравнению $N = a \cdot E^{0,5}$, где N – показатель светонасыщенности, баллы; a – коэффициент принятого критерия освещённости (0,16 для $E_{г}$; 0,19 для $E_{2л}$ и 0,22 для $E_{ц}$); E – принятая к расчёту освещённость ($E_{г}$, $E_{2л}$, $E_{ц}$), лк.

При этом контрастности освещения $E_{г}/E_{2л}$ и $E_{г}/E_{ц}$ в интерьерах не превышали, соответственно, 1,4 и 2,2.

Необходимые достоверность и практическая надёжность результатов объективно-субъективной оценки ка-

чества освещения исследуемых интерьеров по распределению яркости и светонасыщенности, полученные в натурных и лабораторных условиях, позволили на основе классификационных параметров по главе СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение» разработать требования и рекомендации по качественной оценке световой среды производственных интерьеров с верхним светом при естественном и искусственном освещении, развивающие и дополняющие нормы в части эстетики освещения (таблица) /см. окончание (часть III) статьи в следующем номере журнала/.

P.S. от соавтора: поскольку приведённые убедительные результаты объёмных комплексных исследований, которые вряд ли кто-то где-то повторит, В.В. Воронов (в отличие, например, от Т.Н. Сидоровой и М.М. Епанешникова), к сожалению, не довёл до сведения научного сообщества и, в первую очередь, до НИИ и учреждений, выпускающих и периодически пересматривающих соответствующие нормы (НИИСФ, ВНИСИ и др.), они и не нашли нормативного и практического воплощения. Но они никак не устарели. Наоборот, стали ещё актуальней. Поэтому вышеуказанным организациям и молодым учёным в этой области следует ими воспользоваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воронов В.В., Щепетков Н.И. О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Часть I. Теоретические основы и результаты натурных исследований // Светотехника. – 2020. – № 1. – С. 60–65.
2. Воронов В.В. Метод проектирования архитектурного освещения производственного интерьера / Автореф. дисс. ... к-та архитектуры. – М.: МАРХИ, 1985.
3. Воронов В.В. Экспериментальная установка архитектурного моделирования световой среды в интерьерах // Известия вузов (Строительство и архитектура). – 1975. – № 3. – С. 58–63.
4. Гусев Н.М., Киреев Н.Н. Освещение промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1968.
5. Гусев Н.М., Макаревич В.Г. Световая архитектура. – М.: Стройиздат, 1973.



Воронов Владимир Васильевич, кандидат архитектуры, доцент. Окончил в 1965 г. МАРХИ. Профессор кафедры «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА) до 2016 г. Почётный работник высшей школы РФ



Щепетков Николай Иванович, доктор архитектуры, профессор. Окончил в 1965 г. МАРХИ. Заведующий кафедрой «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА). Лауреат Государственной премии РФ (за архитектурное освещение Москвы). Заслуженный деятель искусств РФ. Член-корр. РАЕН. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»