

# О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Часть I. Теоретические основы и результаты натурных исследований

В.В. ВОРОНОВ, Н.И. ЩЕПЕТКОВ

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

## Аннотация

Освещено содержание первой части оригинальной и актуальной, но, по сути, забытой диссертации В.В. Воронова по освещению производственных интерьеров с верхним светом – естественным (фонари трёх типов) и искусственным – с целью выработки научного метода архитектурного проектирования более качественной световой среды на основе комплексного подхода и расширенного критериального аппарата её оценки на базе светотехнических параметров.

Диссертация уникальна по объёму и качеству выполненных натурных и экспериментальных исследований, отражённых не только в её тексте, но и в графических приложениях – фотографиях, рисунках, схемах, чертежах, графиках, номограммах, диаграммах, сопровождаемых конкретными измеренными или вычисленными показателями. Первая часть диссертации содержит теоретические основы и результаты натурных исследований, проведённых разными методами.

**Ключевые слова:** метод проектирования, архитектурное освещение интерьеров, естественное и искусственное освещение, яркостная композиция, фонари верхнего света, типы пространства интерьера.

## Введение

На задачах проектирования освещения производственных интерьеров с целью повышения производительности труда появилась и энергично выросла в XX в. светотехника как прикладная наука, обобщившая предшествующий эмпирический опыт и предложившая практические методики расчёта, а затем – нормирования и проектирования характеристик световой среды в интерьерах при естественном и искусственном освещении. При этом визуальной эстетике среды, создаваемой объёмно-пространственным решением, освещением и отделкой помещений, т.е. путём яркостной композиции, практически не уделялось должного внимания.

Исторически проблеме естественного освещения помещений в нашей стране большее внимание уделяли архитекторы (Н.М. Гусев, Н.В. Оболенский и др.) и инженеры-строители (А.М. Данилюк, Б.А. Дунаев, Д.В. Бахарев и др.), нежели классические светотехники (В.В. Мешков, М.М. Епанешников, А.Б. Матвеев и др.), поскольку с ней непосредственно связано архитектурное формообразование зданий и выбор эффективных систем естественного освещения. Увы, этот атавизм в светотехнической науке заметен и сегодня.

Указанную выше масштабную и актуальную задачу для производственных интерьеров с верхним естественным светом в 1967 г. взялся решить аспирант МАРХИ архитектор В.В. Воронов (1939–2016 гг.) под руководством проф. Н.М. Гусева на кафедре строительной физики. Он своими руками по своему проекту соорудил искусственный небосвод зеркального типа<sup>1</sup> с частично диммируемым освещением люминесцентными лампами со стороны пола [1] и провёл в 1971–1984 гг. массу экспериментальных статистических исследований на макетах производственных интерьеров с тремя типами фонарей верхнего естественного света: П-образных (прямоугольных), пилообразных (шедовых) и точечных зенитных. А до этого и параллельно с этим он вёл многочисленные натурные измерения и статистические оценки световой среды в реальных интерьерах фабрик и заводов с тремя вышеуказанными типами фонарей в Узбекистане и Москве. Все результаты обширных натурных и лабораторных измерений освещённости люксметрами Ю-16 и Ю-17 (в т.ч. с отградуированными на фотометрической скамье в НИИСФ модельными насадками для измерения цилиндрической ( $E_{\text{ц}}$ ) и полусферической ( $E_{2\pi}$ ) освещённости) и яркомером ЯФ-1 (Ленинградского института охраны труда) тщательно обрабатывались и представлялись в виде оригинальных графических схем, формул и выводов.

В итоге многолетней кропотливой, тщательной и в высшей степени добросовестной работы родился убедительный системный метод проектирования синтетичного освещения – естественного с возможным локально-корректирующим влиянием дополнительного искусственного в дневное время – для обеспечения архитектурной эстетики производственного интерьера. Не только результаты комплексного анализа освещения интерьера (чего стоит хотя бы номограмма-«бабочка» для оценки качества освещения по распределению яркости (рис. 1)) всеми доступными тогда способами, но и сами эти способы заслуживают внимательного изучения. Больше никто столь объёмных и комплексных работ такого рода не проводил. Так что забытая диссертация В.В. Воронова [2] могла бы стать импульсом, примером для новых исследований в этой области на современном научно-техническом уровне.

Так уж сложилось, что автор, успешно защитив диссертацию (1984 г.), не озаботился ознакомить научную общественность с её замечательными результатами, намного опередившими своё время. Сегодня диссертации почему-то нет даже в библиотеке МАРХИ, ну разве что

<sup>1</sup> Под этим небосводом выполнены эксперименты и защищены диссертации в МАРХИ, даже раньше его создателя, несколькими аспирантами (В.И. Жердев, Г.Е. Чиркин, Е.В. Шангина и др.).

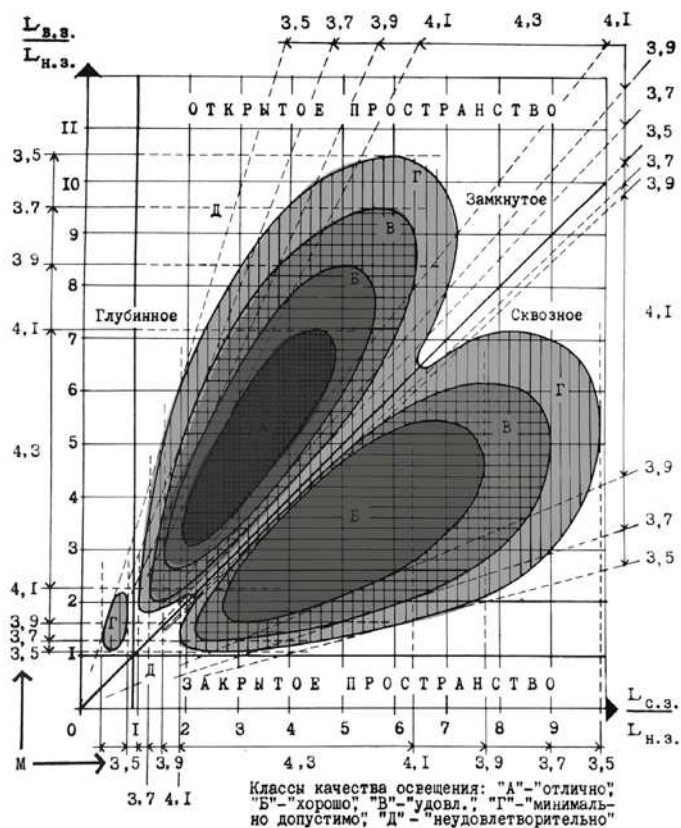


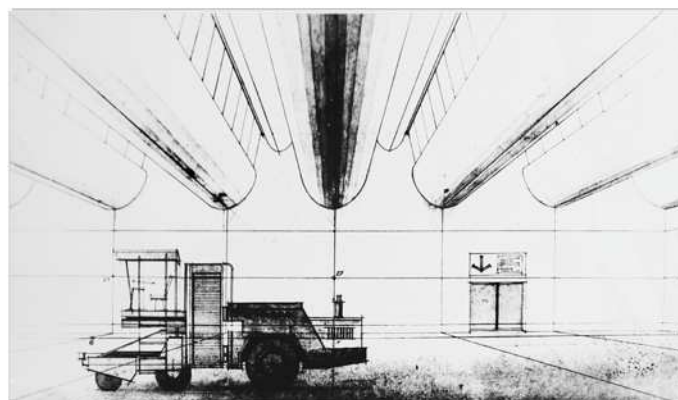
Рис. 1. Номограмма для оценки качества архитектурного освещения интерьера по распределению яркости

в РГБ<sup>2</sup>. Между тем кандидатские и магистерские исследования по естественному освещению в архитектуре интерьера, иногда проводимые (хотя и экзотически редко – в МГСУ, НИИСФ, Университете ИТМО, Самарском ГТУ и т.д.), стартуют с гораздо более низких научных отметок и не решают столь основательно подобных проблем. На правах друга, коллеги по работе и единомышленника по профессии я, Н.И. Щепетков, считаю своим долгом попытаться исправить эту ситуацию, изложив содержание диссертации В.В. Воронова на страницах журнала «Светотехника»<sup>3</sup> и, отцифровав, выложить её на сайте для всеобщего бесплатного доступа.

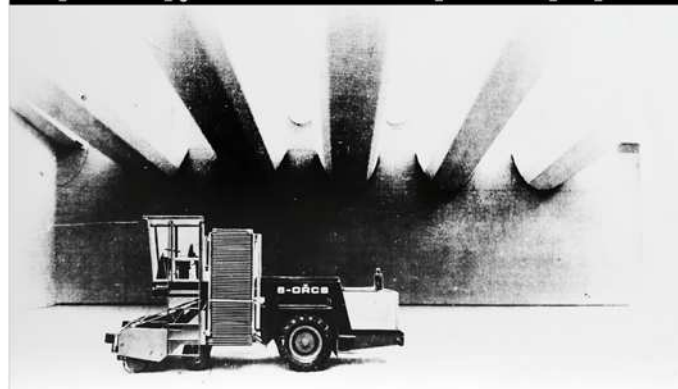
Сегодня освещение производственных интерьеров в быстровозводимых зданиях, растущих как грибы в тёплое лето после дождя, похоже, не является предметом научных исследований с точки зрения их зрительной эстетики. Проектировщики довольно лихо, используя современные технологии и светотехнические материалы, решают задачи естественного, совмещённого, искусственного или

<sup>2</sup> В РГБ она находится в читальных залах отдела диссертаций РГБ (Воронов, Владимир Васильевич. Метод проектирования архитектурного освещения производственного интерьера: диссертация ... кандидата архитектуры: 18.00.02. – Москва, 1984. – 121 с. + Прил. (39 с.: ил.). Архитектура зданий и сооружений. Хранение: OD61 86–18/14). Доступна и платная оцифровка диссертации. – Прим. ред.

<sup>3</sup> Оказалось, совсем не просто изложить сверхплотно «упакованный» содержательный материал диссертации, особенно её феноменальное по скрупулёзности исполнения графическое приложение на планшетах (качество сохранившихся фотографий с них, увы, низкое).



Прогнозируемый световой образ интерьера



Действительный световой образ интерьера

Рис. 2. Прогнозируемый эскизный проектно-графический образ интерьера с верхним естественным светом (П-образные фонари) и его световой образ на снимке

смешанного освещения на основе нормативных требований, не особо заморачиваясь на эстетике интерьера. Психологически, социально и экологически это большое упущение, т.к. в красивом интерьере при прочих равных условиях производительность труда повышается, становится меньше брака, стрессов, больничных листов и т.д. А для интерьеров общественных и жилых зданий это первостепенная задача. Поэтому проблема остаётся актуальной. При профессионально грамотном проектировании для её решения, как показывает последний раздел диссертации, даже дополнительные средства могут быть минимальны и быстро окупаемы.

Содержание диссертации предполагается изложить в 3-х статьях, начиная с данной, по числу её частей: Теоретические основы и результаты натурных исследований; Экспериментальные лабораторные исследования; Метод проектирования.

### Теоретические основы светопро пространственной организации производственного интерьера с верхним светом, количественная и качественная оценка освещения интерьеров в натуральных условиях

В данной, 1-й, части диссертации предметом исследования определена «световая среда интерьеров многопролётных цехов с открытыми перекрывающими конструкциями и естественным освещением через шедовые, прямоугольные и зенитные фонари», а целью – «разработка научно обоснованного метода проектирования архитек-



Типы пространства	Глубинное $L_{C3} < L_{B3}$ и $L_{H3}$	Замкнутое	Сквозное $L_{C3} > L_{B3}$ и $L_{H3}$
Открытое $L_{B3} > L_{H3}$			
Закрытое $L_{B3} < L_{H3}$			

Рис. 3. Классификация типов пространства интерьера по характеру восприятия его яркостной композиции и её натурные аналоги



турного освещения производственных интерьеров промышленных зданий с верхним светом как средства обеспечения их светового комфорта и художественной выразительности» [2].

Научной новизной является разработка «методов объективной и субъективной оценки качества освещения интерьеров в лабораторных и натуральных условиях с помощью графических тестов и анкет», а также «графических способов оценки качества освещения интерьеров по распределению яркости, контрастности освещения и светонасыщенности». Отдельный и заключительный параграф, ныне не включаемый (к сожалению) в диссертации, посвящён методике «экономической оценки архитектурно-освещения интерьеров по различным схемам их светопрограммной организации» [2].

Итак, анализ материалов предшествовавших отечественных и зарубежных исследований и изучение современных на тот момент (1970–80-е гг.) объёмно-планировочных и светотехнических решений производственных интерьеров с верхним естественным освещением в плане их светопрограммной организации как эстетического фактора показали, что общая оценка качества визуальной среды определяется распределением и соотношением усреднённых яркостей  $L_{B3}$ ,  $L_{C3}$  и  $L_{H3}$ , соответственно, трёх основных интерьерных зон по вертикали

в поле зрения (в зрительном кадре): верхней (потолок), средней (стены) и нижней (пол). Эта, в сущности, гипотеза базируется на первом критерии светотехнической классификации качества освещения – по распределению света в пространстве, оцениваемом по физическому фактору, на который непосредственно реагирует глаз: по яркости элементов окружения.

На проектной стадии световой образ интерьера – результат профессионального зрительного воображения архитектора (дизайнера), который формируется в его сознании в процессе разработки проекта и изображается на перспективном рисунке интерьера средствами архитектурной (а ныне компьютерной) графики в виде яркостной (светлотной) композиции (цветовая в данной работе не учитывалась). Далёко не всегда (если ни чрезвычайно редко) натуральный образ реализованного интерьера хоть как-то совпадает с авторским проектным изображением по распределению яркостей (рис. 2). Главная причина – неучёт распределения и уровня освещения первоисточниками ограждающих поверхностей интерьера и их отражательной способности. Сегодня некоторые компьютерные программы визуализируют подобные ситуации достаточно правдоподобно, позволяя на проектной стадии корректировать параметры ОУ и выбор отделочных материалов, чего не было 20 и более лет назад.



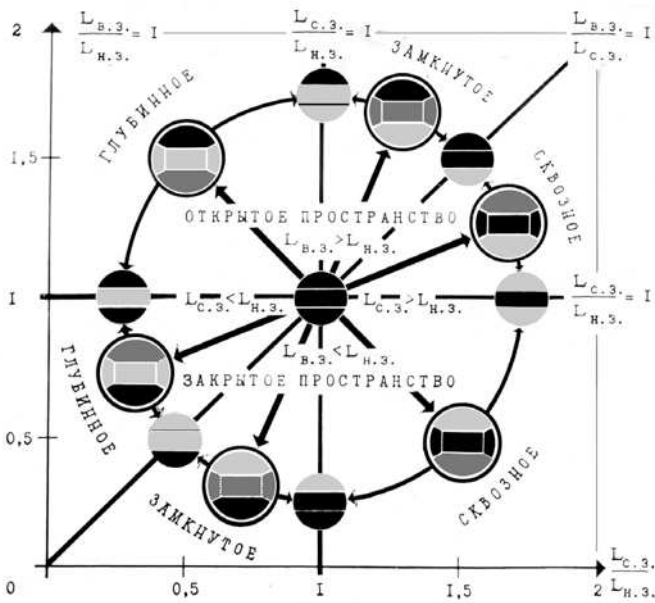


Рис. 4. Система типов светопространства интерьера

Всё многообразие этих существующих и возможных композиций и соотношений яркостей трёх зон в интерьере сложилось в определённую авторскую классификацию типов пространства по характеру его зрительного восприятия – «открытое» и «закрытое», при том, что каждое возможно в трёх вариантах – «глубинное», «замкнутое» и «сквозное» (рис. 3). Эта классификация навеяна отражёнными в графической части диссертации ассоциациями и сравнениями с дневными видами пейзажей при разной погоде и разнообразном распределении яркостей. Она расшифровывается системой типов пространства интерьера с ориентировочными относительными значениями соотношений усреднённых яркостей трёх зон поля зрения (рис. 3).

В этих схемах под «открытым пространством» понимается пространство интерьера, в котором  $L_{ВЗ} > L_{НЗ}$ ; под «закрытым» –  $L_{ВЗ} < L_{НЗ}$ ; под «глубинным» –  $L_{СЗ} < L_{ВЗ}$  и  $L_{НЗ}$ ; под «замкнутым» –  $L_{ВЗ} > L_{СЗ} > L_{НЗ}$ ; под «сквозным» –  $L_{СЗ} > L_{ВЗ}$  и  $L_{НЗ}$ . Натурные аналоги интерьеров разного назначения и систем освещения приведены на рис. 4.

Для определения количественной связи между объективными (фотометрическими) и субъективными (зрительными) оценками качества освещения интерьера проведены натурные исследования при естественном и искусственном освещении. Для этого принимался следующий комплекс фотометрических характеристик: горизонтальная, полу-сферическая и цилиндрическая освещённость  $E_{Г}$ ,  $E_{2П}$  и  $E_{Ц}$  соответственно, их КЕО при дневном свете  $e$ , КЕПО  $e_{2П}$  и КЕЦО  $e_{Ц}$ , а также контрастность освещения  $K^4$ , уровни яркости  $L$  и её распределение по верхней, средней и нижней зонам интерьера.

Одновременно с объективной (инструментально-фотометрической) оценкой качества освещения интерьера проводилась и субъективная – статистическими методами тестового и анкетного опросов для всех типов фонарей.

Методом тестового опроса оценивалось качество освещения интерьеров по распределению яркости. Тесты – перспективные графические изображения пяти вариантов яркостных композиций интерьеров при естественном освещении в виде зрительных кадров на листе формата А4 с разными (рекомендуемыми, расчётными и наблюдаемыми в натуре) соотношениями  $L_{ВЗ} : L_{СЗ} : L_{НЗ}$  по взаимно противоположным направлениям линии зрения – вдоль и поперёк конструктивного пролёта цеха (рис. 5). Использовано семь тестов – три для интерьеров с шедовыми фонарями и по два – с П-образными и зенитными. Разное количест-

<sup>4</sup> Контрастность освещения  $K$  в пространстве интерьера определялась несколькими способами: отношением светового вектора  $\vec{e}$  к сферической освещённости  $E_{4\pi}$  и отношениями  $E_{Г, max} / E_{2П}$ ,  $E_{Г} / E_{2П}$  и  $E_{Г} / E_{Ц}$ .

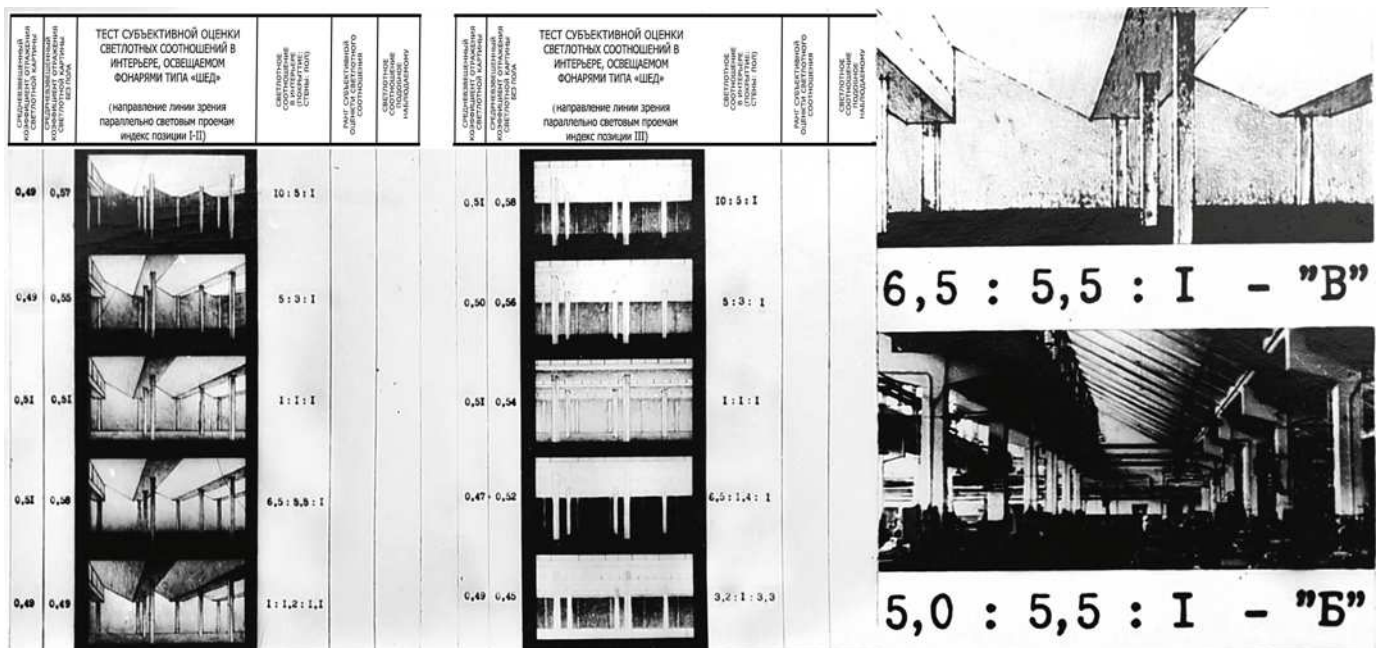


Рис. 5. Пример теста для субъективной оценки качества естественного и искусственного освещения интерьера с шедовыми фонарями (графические изображения и натурные снимки)

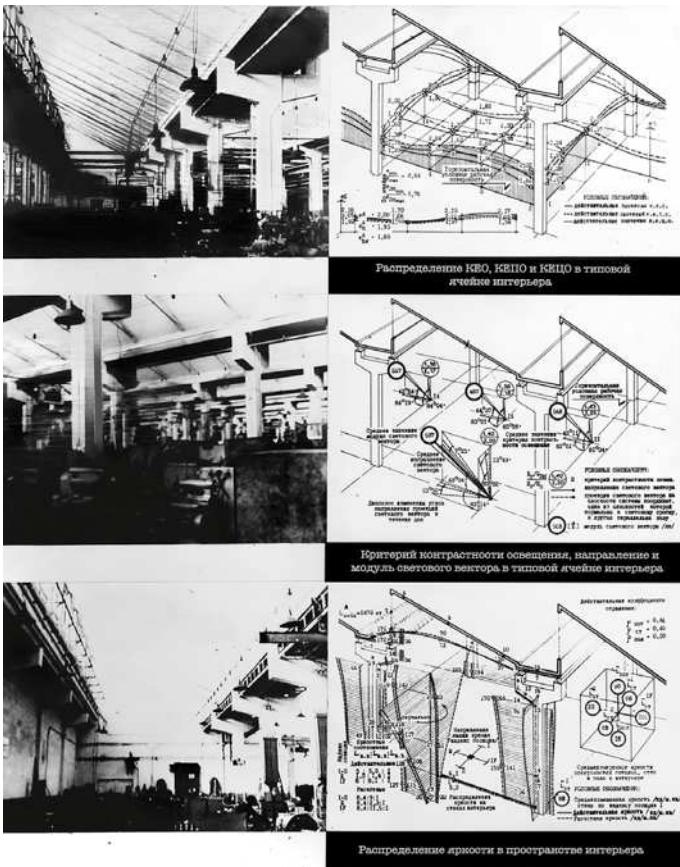


Рис. 6. Фотометрическая оценка качества естественного освещения в интерьере с шедовыми фонарями (как методический пример. Аналогичное в диссертации также есть для прямоугольных и зенитных фонарей)

во тестов для исследуемых интерьеров обусловлено спецификой светораспределения фонарей и конструктивными особенностями систем покрытия.

Яркостные композиции тестов, с целью их количественной оценки по относительной предпочтительности распределения  $L$ , ранжировались экспертами-наблюдателями по пяти рангам. Эксперты – это студенты старших курсов и преподаватели МАРХИ (410 человек, давших 11950 оценок), а также рабочие и служащие в цехах (125 человек в интерьерах с шедом, 109 – с прямоугольными и 96 – с зенитными фонарями, давшими 3830 оценок). Эксперты из числа персонала в цехах, сравнивая тесты непосредственно с натурой, отмечали те варианты, в которых, по их мнению, было визуальное подобие распределению яркости, наблюдаемому в интерьере. Тем самым распределение  $L$  количественно оценивалось рангом отмеченной наблюдателем яркостной композиции теста.

Параллельно методом анкетного опроса теми же наблюдателями оценивалась светонасыщенность интерьеров в натуре (одна из важных характеристик качества освещения, рекомендаций по которой для производственных интерьеров нет) по пятибалльной шкале: I (низкая), II (нормальная), III (повышенная), IV (высокая), V (очень высокая).

В результате натурных исследований световой среды интерьеров с верхним светом при естественном и искусственном освещении установлено, что реальные значения двух регламентирующих характеристик –  $e$  и  $E_{\Gamma}$  – практи-

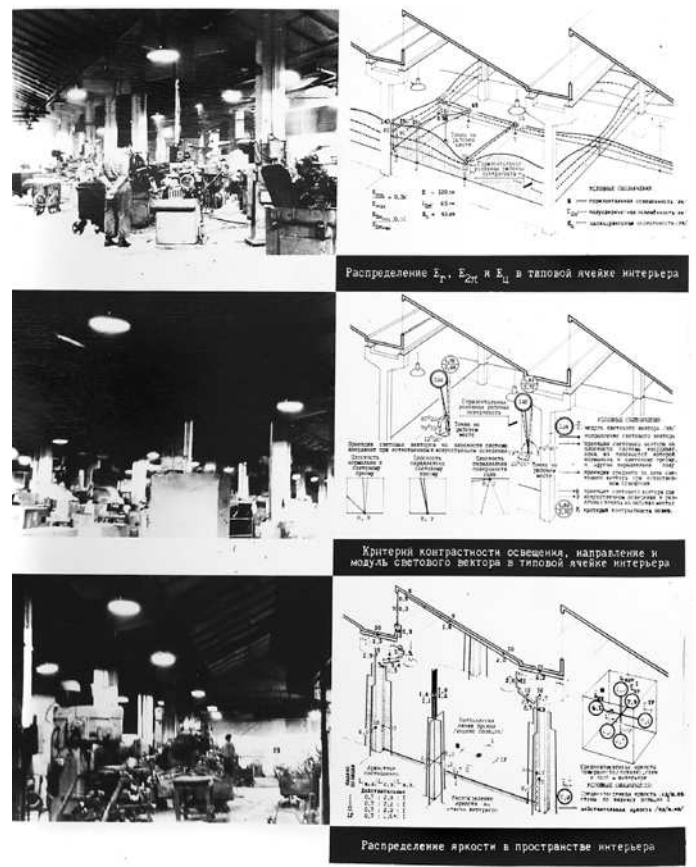


Рис. 7. Фотометрическая оценка качества искусственного освещения в интерьере с «шедами» (как пример)

чески всюду ниже нормы и совершенно недостаточно характеризуют её качество. Пространственные характеристики освещения –  $e_{2\pi}$  и  $e_{\Gamma}$  при естественном свете,  $E_{2\pi}$  и  $E_{\Gamma}$  при искусственном – далеко не всегда коррелируют с субъективными оценками светонасыщенности (рис. 6 и 7, на примере «шедов»).

Дополнительным критерием для более полной фотометрической оценки световой среды, по данным натурных исследований, служит  $K$  в пространстве интерьера. При численных значениях отношений  $E_{\Gamma}/E_{2\pi}$  и  $E_{\Gamma}/E_{\Gamma}$ , соответственно, больших 1,7 и 2,5, наблюдатели оценивали светонасыщенность как низкую даже при относительно высоких  $E_{2\pi}$  ( $> 100$  лк) и  $E_{\Gamma}$  ( $> 70$  лк).

Днём яркостная композиция в интерьерах с шедовыми фонарями, напоминающая относительное распределение яркости в поле зрения (небо: горизонт: земля) в пасмурную погоду летом под открытым небосводом в средней географической зоне РФ (5:3:1 по Н.М. Гусеву [3]), оценивалась экспертами относительно высоко. В интерьерах с П-образными и зенитными фонарями качество естественного освещения оценивалось как неудовлетворительное, а при искусственном свете – неудовлетворительное во всех случаях.

Сравнительный анализ качества визуальной среды в интерьерах с верхним естественным и искусственным светом показал значительные различия в уровнях освещения, направлении потоков света, контрастности освещения и тенеобразования, а также в распределении яркости при этих режимах освещения, что противоречит как утилитарным, так и эстетическим требованиям к производ-



Рис. 8. Сопоставление фотометрической и субъективной оценок качества естественного освещения в интерьере с шедовыми фонарями (как пример)

	$L_{в.з.} : L_{с.з.} : L_{н.з.}$	Кач-во освещ.	$M$	$E_T$	$E_{2П}$	$E_{Ц}$	$E_T/E_{2П}$	$E_T/E_{Ц}$	$\rho_{ср}$	
Освещение	Естественное	5,0 : 5,5 : 1	"Б" - хорошее	Высокая	440	310	200	1,4	2,2	0,35
	Искусственное	0,7 : 2,9 : 1	"Д" - неудовлетворительное	Низкая	120	65	45	1,8	2,7	0,35
			Ш Е Д О Б Н Ё				Ф О Н А Р И			

ственной среде и свидетельствует о необходимости целостного подхода, взаимного согласования и гармонизации систем естественного и искусственного освещения. Разве это не убедительные, не актуальные задачи и причины для продолжения научных исследований в этой области, для улучшения норм, методик и практики проектирования всякого освещения?

Результаты статистической обработки ранжирования яркостных композиций на основе натуральных исследований и тестов, отражённые на рис. 8 и 9, позволили построить графики корреляционной зависимости субъективных оценок от соотношений  $L_{вз}/L_{нз}$ ,  $L_{сз}/L_{нз}$ ,  $L_{вз}/L_{сз}$ . На их основе разработана упомянутая выше номограмма («бабочка») для оценки архитектурного освещения интерьера с верхним светом (рис. 1). Итоги оценки качества освещения интерьеров по распределению яркости методом тестового опроса сопоставлены с оценками, полученными с использованием этой номограммы, что показало их хорошую сходимость. Это свидетельствует о практиче-

ской надёжности «бабочки» как инструмента оценки световой среды и на стадии проектирования, и при реализации проекта в натуре. Сегодня, при наличии цифровых яркомеров, можно без труда по снимкам определять необходимые параметры яркостной композиции при любой системе освещения.

Проведённый комплексный анализ результатов натуральных исследований показал, что распределение яркости в интерьере и насыщенность его светом являются основными критериями оценки качества освещения, требующими их дальнейшего исследования. А в перспективе в этот анализ должны будут войти спектральный состав и кинетика света первоисточников, цветовые и отражательные характеристики вторичных источников, т.е. материальных поверхностей, физически формирующих пространство интерьера и так или иначе отражающих или пропускающих падающий на них свет оптических излучателей.

Об этом мечтал в своё время В.В. Воронов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В.В. Экспериментальная установка архитектурного моделирования световой среды в интерьерах // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1975. – № 3. – С. 58–63.
2. Воронов В.В. Метод проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Автореф. дисс. ... к-та архитектуры. – М.: МАРХИ, 1985.
3. Гусев Н.М. Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.

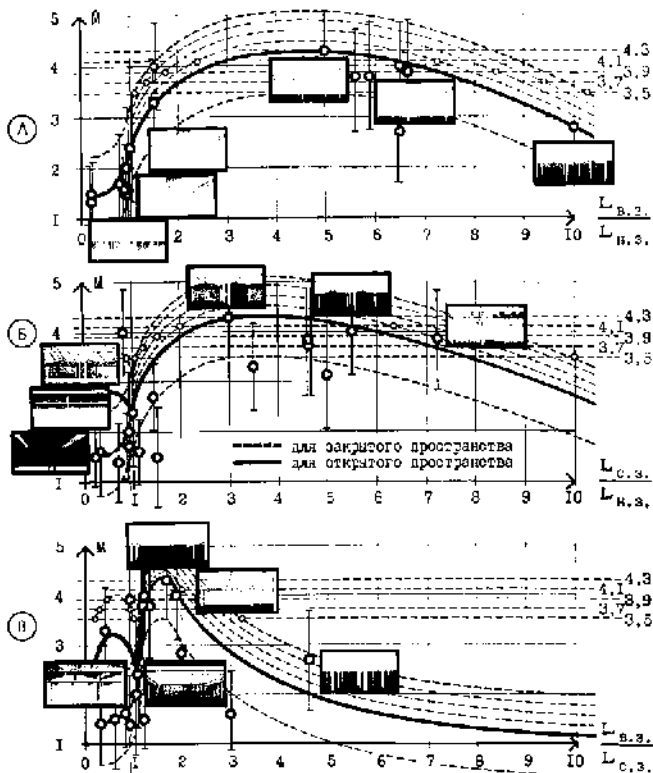


Рис. 9. Корреляционная зависимость субъективной оценки качества освещения от соотношения яркостей в интерьерах с разными типами фонарей и пространства – «закрытого» и «открытого»



**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



**Щетков 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»