

СВЕТОТЕХНИКА

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА, СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ ЭНИА
И СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ ВЭК-РНITO

4 А П Р Е Л Ь
1 9 3 5

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
МОСКВА, КРАСНАЯ ПЛ., 9/2,
ПОМЕЩЕНИЕ ВЭК-РНITO
Телефон К-1-69-78:

К вопросу о влиянии освещения на видимость

А. А. ГЕРШУН и Д. Н. ЛАЗАРЕВ

Государственный оптический институт, Ленинград

I

В настоящее время в светотехнике уделяется большое внимание вопросам влияния освещения на зрительное восприятие освещаемых объектов, что особенно важно в области архитектурного освещения.

Вопрос этот бесконечно многогранен и поэтому требует изучения с самых различных точек зрения. С одной стороны, ведутся исследования влияния освещения на отдельные функции зрения и на общую работоспособность глаза или подбирается наилучшее освещение применительно к той или иной конкретной производственной задаче, с другой стороны, этот вопрос изучается с точки зрения художественного восприятия и требований эстетики. Одним из возможных подходов к рассмотрению этого вопроса является также изучение видимости элементарных объемных сочетаний и структур, когда простота изучаемого объекта допускает хотя бы в некоторой мере анализ условий его видения. С этой целью Светотехнической лабораторией Государственного оптического института был произведен ряд наблюдений над видимостью элементарных структур. Для этого была использована одна из имеющихся в лаборатории установок, позволяющая сочетать в разных соотношениях любым образом направленный свет с диффузным. Установка эта устроена следующим образом. Полусфера диаметром 1,5 м., окрашенная изнутри в белую матовую краску (рис. 1), равномерно светится отраженным светом от 8 светильников *B*, расположенных по кольцу ниже экватора полусферы. Это создает рассеянное освещение объекта *A*, расположенного в центре полусферы на специальном столике. Направленное освещение создается тремя светильниками *B*, устроенными по типу проекционных приборов. Последние перемещаются по двум меридианным дугам, каждая из которых в свою очередь может перемещаться, вращаясь вокруг оси полусферы. Благодаря этому объект можно освещать любым образом направленным светом. Доля рассеянного освещения при этом регулируется реостатным устройством или симметричным выключением части светильников *B*. Для наблюдения служат отверстия *G*, через которые может производиться и фотографирование объекта или измерение яркости в отдельных его точках. При визуальных наблюдениях отверстия *G* снаб-

жаются патрубками для уменьшения поля зрения, а для установок фотографического аппарата или фотометра около этих отверстий на внешней поверхности полусферы устроены специальные крепления. В качестве фотометра может быть использован люксметр ВООМП (рис. 1) в сочетании с длиннофокусной линзой *L* (рис. 1 и 2), крепленной на специальной удлиненной штанге *D*. Линза *L* дает изображение участка объекта *A* на прозрачной части полусеребряной пластиинки *Z*, которая в свою очередь фокусируется глазом посредством окулярной линзы *O*. Благодаря такому приспособлению поле зрения прибора при заданном удалении объекта сокращается до 2 мм и делается возможной наводка на фотометрируемый участок, отчетливо видимый через прибор. Принципиально представляется также возможным получение характеристик распределения яркости по объекту путем фотографирования объекта на проградуированном светочувствительном материале и измерения плотности негатива.

Первоначально авторам представлялось необходимым, как это указано выше, произвести ряд визуальных наблюдений с элементарными структурами. Для этого были изготовлены модели различных геометрических тел с матовой и зеркальной фактурой поверхности.

Первые наблюдения были произведены с белым матовым шаром диаметром около 10 см., лежащим на плоскости, имеющей ту же фактуру поверхности. В то время как при направленном освещении отчетливо

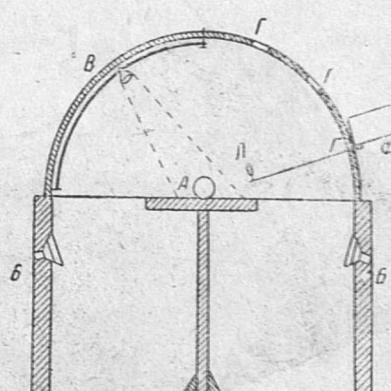


Рис. 1.

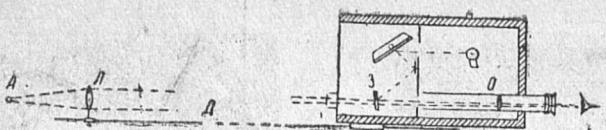


Рис. 2.

выявлялась объемность шара благодаря его собственной и отбрасываемой тени, при рассеянном освещении не только разрушался привычный зрительный образ шара, но и о самом существовании шара можно было лишь догадываться по наличию едва ощущимого по краям яркостного контраста между шаром и фоном. Последовательное переключение систем освещения с направленного на рассеянное создавало эффективное впечатление полного исчезновения шара.

Не менее интересные результаты были получены при наблюдении цилиндра из полированной латуни, лежащего на латунной же полированной плоскости. При рассеянном освещении цилиндр воспринимался плоской пластиной и ни при каком усилии воображения нельзя было представить себе его действительную форму. При последовательном добавлении направленного освещения постепенно возникал образ цилиндра, что являлось прекрасной иллюстрацией формообразующих свойств света.

Наличие описанной гибкой осветительной установки позволило произвести целый ряд подобных наблюдений. Весьма любопытно было рассматривать изменение видимости предметов, первоначально освещенных направленным светом, по мере добавления рассеянного. Несмотря на достигаемое при этом увеличение освещенности, видимость ряда тестов не только не улучшалась, но, наоборот, различаемость деталей резко снижалась. При этом снижались яркостные контрасты и добавление света воспринималось глазом как наложение мешающей дымки. Это наблюдение использовано авторами при выработке изложенной ниже методики количественной оценки систем освещения с точки зрения видимости деталей.

Опыт описанных работ показал целесообразность создания основанного на том же принципе, как и установка, изображенная на рис. 1, небольшого демонстрационного прибора, который и был авторами осуществлен (рис. 3). Полусфера диаметром 200 мм, выкрашенная изнутри в белый цвет, опирается основанием на деревянную коробку, заключающую в себе освещающие полусферу лампы и столик для наблюдаемого объекта. Направленное освещение создается низковольтной лампой, расположенной на полусфере и окруженной черным патрубком для устранения возможности попадания света от лампы на поверхность полусфера. Этот маленький осветитель *L* вставляется в одно из

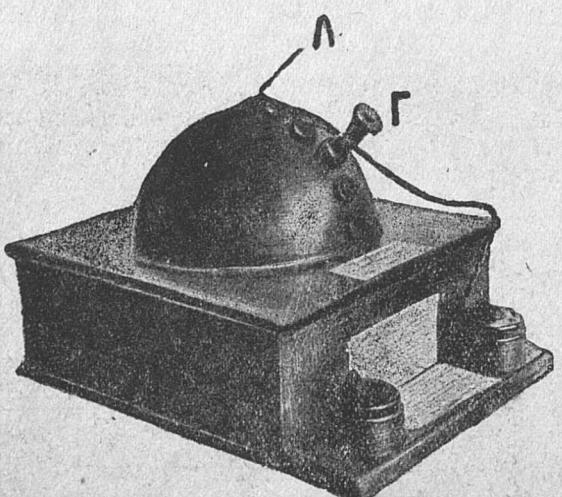


Рис. 3.

шести отверстий, сделанных в полусфере на разных высотах; в какое-либо другое отверстие вставляется окулярная трубка *Г*, а остальные отверстия закрываются пробками. В центре полусфера на столике, представляющем собою „гном“, питающий маленькую лампу, помещается тот или иной тест, который путем переключения света может попеременно освещаться одним направленным или одним рассеянным светом или их комбинацией.

Такой демонстрационный прибор был выставлен среди экспонатов на выставке, посвященной 15-летию Оптического института, и привлекал к себе большое внимание. В качестве теста служила латунная поверхность с большим числом царапин. При диффузном освещении наблюдатель видел ровную желтоватую поверхность, материал которой не поддавался определению. При переключении на направленное освещение отчетливо выявлялась фактура поверхности и выступала выцарапанная на ней надпись, которая в первом случае была вовсе не видна.

Такие приборы уже нашли применение в некоторых светотехнических лабораториях. Они могут быть также рекомендованы как наглядные пособия для учебных целей. В качестве материала для полусфера могут быть использованы картонные полушиары, идущие для изготовления глобусов.

Опыт, полученный при дальнейших качественных наблюдениях, привел к заключению о целесообразности рассмотрения мелких деталей с некоторым увеличением. Эту целесообразность перехода к большим углам зрения на отдельные детали для анализа условий видения поверхности можно пояснить следующей аналогией. Как известно, при наблюдении леса с больших расстояний, например с самолета, зеленая поверхность его представляется более или менее однородной и по виду и по фотометрическим свойствам сильно зависящей от направления падающего на нее света. Сущность этого явления становится ясной лишь тогда, когда лес рассматривается как совокупность деревьев, веток и листьев, затеняющих друг друга. Тогда объясняется, почему видимый сверху лес представляется всегда более темным, чем пашня, при одинаковом освещении, и резкое уменьшение коэффициента отражения лесной поверхности при склонении солнца легко объясняется удлинением внутренних теней.

Подобно этому анализ восприятия поверхности, обычно рассматриваемой невооруженным глазом, часто может быть облегчен рассмотрением ее с небольшим увеличением. Каждая поверхность, даже если она является однородной по материалу, имеет тот или иной микрорельеф, благодаря которому на поверхности получаются собственные тени, отбрасываемые одними элементами структуры на другие, многократные отражения света и прочее. Материал поверхности и его обработка определяют то понятие, которое художники и архитекторы называют фактурой поверхности.

Большая группа разрешаемых в настоящее время светотехнических задач, которые принято объединять под названием проблемы „качества освещения“, непосредственно затрагивает вопросы фактуры поверхностей. Эти задачи одинаково относятся как к области решения эстетических вопросов, связанных с архитектурным освещением, так и к области задач фабрично-заводской светотехники, особенно применительно к процессам контроля и браковки продукции.

Восприятие фактуры поверхности определяется не только ее микроструктурой, но и пространственным распределением падающего на нее света, а также его спектральным составом. Применяемое в данном случае понятие микроструктуры является условным, поскольку каждый микроэлемент поверхности имеет свою

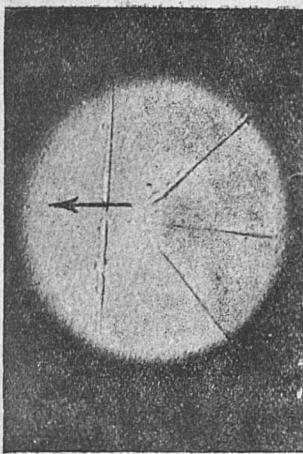


Рис. 4.

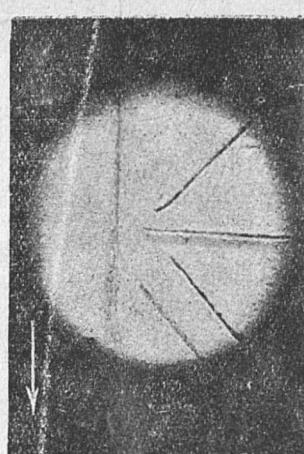


Рис. 5.

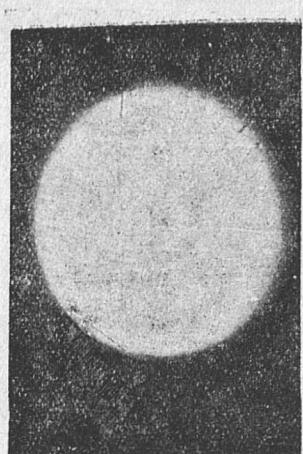


Рис. 6.

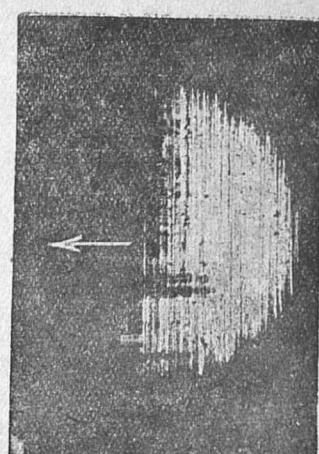


Рис. 7.

собственную структуру и можно вводить в рассмотрение элементы структуры разных порядков малости. Инженера-светотехника так же, как и художника обычно интересуют лишь те детали, которые может воспринять невооруженный глаз, т. е. угловые размеры которых лежат выше или на пороге различимости. В зависимости от расстояния, на котором наблюдается поверхность, эти элементы могут принимать самые разнообразные размеры: горных цепей на поверхности луны или ворсинок на шерстяной ткани.

Для изучения структуры реальных поверхностей в отличие от крупных макетов элементарных структур, о которых речь шла выше, был применен метод микрофотографии. Фотографирование производилось с 6-кратным увеличением при помощи микроскопа Цейса с фотографической камерой „Фоку“, помещаемой вместо окуляра. Рассматриваемый объект освещался направленным или рассеянным светом, причем освещенность в плоскости фотографируемого объекта во всех случаях поддерживалась равной 400 лк. Направленное освещение создавалось лампой накаливания, передвигающейся по поворотной штанге, причем весь опыт проводился в черной комнате.

Для создания рассеянного света была использована описанная выше светящаяся отраженным светом полусфера, в центре которой устанавливался микроскоп. Для уменьшения затемняющего действия тубуса микроскопа последний был закрыт освещенной снизу белой бумагой с отверстием для объектива.

Для получения результатов, наиболее точно протоколирующих видимость объектов, снимки каждого из объектов при различных условиях освещения производились при одном и том же времени экспозиции и проявлялись в одинаковых условиях. Исключение в этом отношении составляет лишь снимок 9, который

потребовал большего времени экспозиции по сравнению со снимками 7 и 8.

На рис. 4—6 приведены полученные таким образом микрофотографии поверхности отожженного фарфора, на которой стальной иглой нанесен ряд равнонаправленных царапин. Рис. 4 и 5 соответствуют различным азимутальным направлениям падения света, которые на этих (и всех последующих) фотографиях указаны стрелкой. Угол, составляемый падающим светом с нормалью, в обоих случаях равен 75° . Эти фотографии показывают, что царапина хорошо видна при боковом падении света вследствие продольной тени в ее полости, при направленном же падении света вдоль царапины последняя почти исчезает.

Снимок, произведенный при рассеянном освещении (рис. 6), показывает, что в этом случае не только практически исчезает видимость всех царапин, но и пропадают характерные особенности фактуры поверхности.

Аналогичные явления наблюдаются на металле. На рис. 7, 8 и 9 изображены снимки поверхности латуни, обработанной драчевым напильником, причем обработка левой и правой половины куска произведена во взаимно перпендикулярных направлениях. Все фотографии произведены при одном и том же угле падения света в 60° , но при различных азимутах. Обе системы царапин равноярки, когда свет одинаково по отношению к ним направлен (рис. 9), когда же свет направлен поперец одной из систем царапин (рис. 7 и 8), тогда царапины этой системы представляются несравненно более яркими. Это объясняется зеркальным отражением света, склонами отдельных царапин в сторону наблюдения.

С еще большей наглядностью то же явление можно наблюдать на рис. 10 и 11, на которых приведены мик-

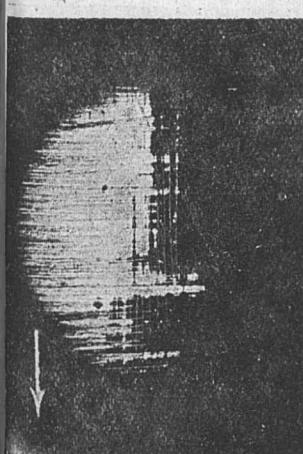


Рис. 8.

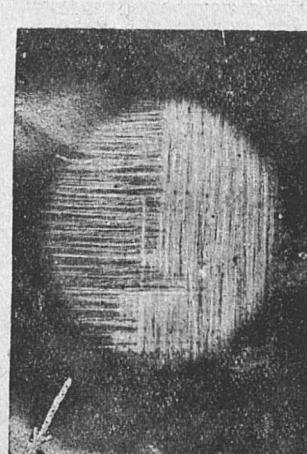


Рис. 9.

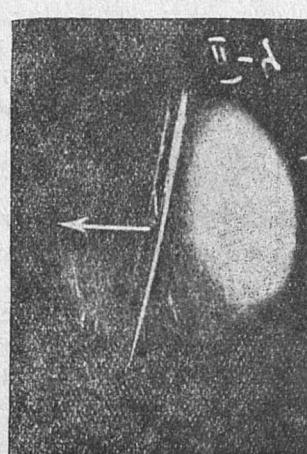


Рис. 10.

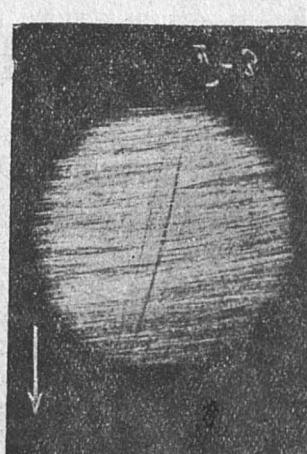


Рис. 11.

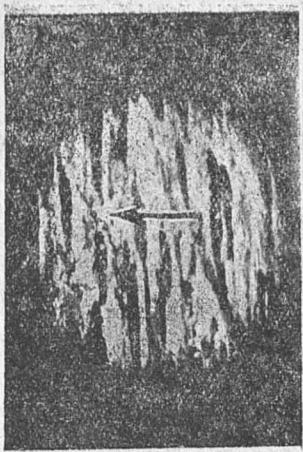


Рис. 12.



Рис. 13.

рофотографии полированной поверхности никеля, освещенной направленным светом при угле падения 35° . Крупная царапина, едва заметная на рис. 11, загорается при повороте объекта на 90° (рис. 10). (На последнем рисунке вышел досадный посторонний блик, не относящийся к существу дела).

Задача о видимости царапин на металле встречается часто как конкретная производственная задача. Ре-

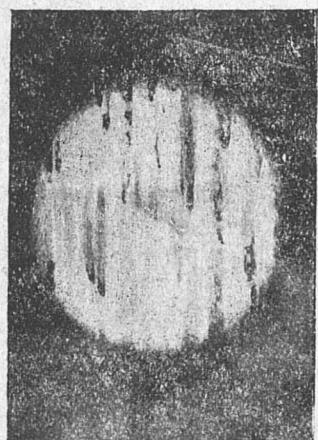


Рис. 14.

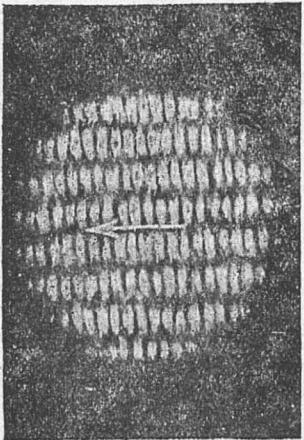


Рис. 15.

командуемая иногда для этих случаев система диффузного освещения, правда, гарантирует различие крупных царапин, но вовсе не обеспечивает видимость мелких. Исключительное значение имеет также направление света для обнаружения царапин на полированных поверхностях стекла в оптическом производстве, что составляет специальную и серьезную светотехническую задачу.

Интересны также некоторые другие микрофотографии, из которых ниже приводятся следующие. Рис. 12 и 13—снимки натуральной фанеры, произведенные при косом падении света (угол падения 75°); рис. 14—тоже при диффузном освещении. Рис. 15 и 16—микрофотографии шелковой материи (рипса) при направленном свете под углом 55° ; рис. 17—тоже при диффузном освещении.

Рис. 18 и 19 представляют надпись чернилами на белой бумаге, снятую при отражении света в направлении глаза (рис. 18) и вне этого направления (рис. 19). Рис. 20 и 21 дают аналогичную картину на примере снимков черты тушью на ватманской бумаге. Последние четыре снимка наглядно иллюстрируют значение правильно выбранного направления света для учебных, канцелярских и чертежных занятий.

На рис. 20 особенно отчетливо видно, что уменьшение контраста является следствием высокой яркости

отдельных элементов, образующих надпись, зеркально отражающих свет в направлении к глазу. Интересным примером аналогичного явления может служить видимость меловой надписи на классной доске. Меловая черта представляет при рассмотрении ее под микроскопом (рис. 22) некоторую рельефную поверхность. Поэтому меловая надпись на доске имеет ряд элементов, плоскость которых наклонена к плоскости доски, что имеет значение в вопросе освещения классных досок. При косом падении света от специального софитного устройства получается большой яркостный контраст между надписью и фоном, обуславливающий ее хорошую видимость. Контраст обясняется тем, что освещенность доски вследствие косого падения света получается очень малой, и коэффициент яркости в направлениях, близких к нормали, еще ослаблен вследствие наличия элементов зеркального отражения. Меловая же надпись имеет в своей микроструктуре склоны, отраженные к свету, которые, рассеивая его, обуславливают высокий коэффициент яркости всей надписи в целом. При обычном освещении доски контраст надписи заметно уменьшается, что ухудшает ее видимость, не говоря уже о возможном появлении при этом элементов блеска.

Следует отметить, что вопросу о видимости одного и того же объекта при различных системах освещения уделяется сейчас большое внимание и в технике микроскопии. За последние годы создан ряд новых специальных осветительных приспособлений, позволяющих рассматривать и фотографировать объект при оптимальном пространственном распределении падающего на него света. В каталогах крупных фирм, изготавливающих микроскопы, можно найти ряд чрезвычайно любопытных для светотехника фотографий с одного и того же объекта при различном его освещении.

Сопоставляя наблюдения различных объектов при диффузном и при направленном свете, можно, вообще говоря, отметить, что диффузное освещение, которое в общежитии часто считают идеальным, почти не создает как микро-, так и макротеней, определяющих восприятие формы и фактуры поверхности. Пример, когда диффузное освещение может вовсе уничтожить видимость детали, приведен на рис. 23 и 24. Снимки сделаны с пластиинки из отожженного фарфора, на которой лежит крошечный осколок того же материала. Первый снимок (рис. 23) сделан при направленном освещении, когда свет падает под углом 75° , второй (рис. 24)—в условиях диффузного освещения. Фотографии полностью протоколируют условия видения.

Говоря о художественном воспроизведении света, следует также указать, что диффузное освещение в целом ряде случаев производит более скучное впечатление, уменьшая многообразие форм и различие

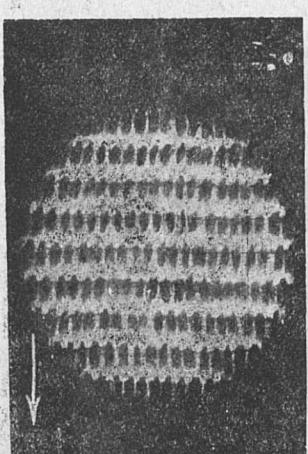


Рис. 16.

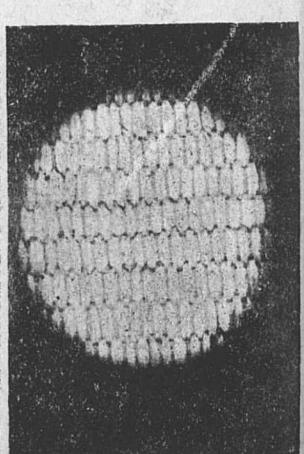


Рис. 17.

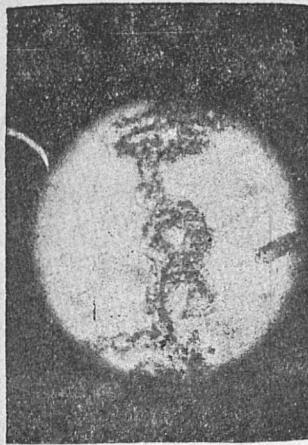


Рис. 18.



Рис. 19.

материалов. Общеизвестными иллюстрациями этого действия диффузного освещения являются фотографии орнаментов, капителей, скульптур и пр., заснятые при различных условиях освещения. Сопоставляя такие фотографии, можно видеть, что при диффузном освещении все становится более плоским и вялым.

В качестве другого примера, подтверждающего высказанные выше положения, можно указать на различное восприятие окружающего в солнечный и пасмурный дни. Радостный и веселый характер зрительного восприятия солнечного дня объясняется не столько более высокими уровнями освещенности по сравнению с пасмурным днем, сколько наличием теней, бликов, яркостных и цветовых контрастов. Это же объясняет, почему на театральной сцене, которую невозможно залить одинаково направленным светом, никогда не удается создать действительной иллюзии солнечного дня

II

Рассмотрим случай зрительной задачи, при которой глаз должен различать ту или иную неподвижную деталь на однородном фоне. Если цвет детали совпадает с цветом фона, то видимость детали целиком определяется создаваемым ею яркостным контрастом. Яркостный контраст в свою очередь может быть обусловлен неодинакостью отражения фона и детали, точнее говоря, неодинакостью коэффициентов яркости в направлении взгляда, а также тенями и многократными отражениями света между деталью и фоном, если деталь объемна.

В качестве примера яркостного контраста, обусловленного объемностью детали, рассмотрим случай цилиндра, лежащего на бесконечной плоскости. При этом мы примем, что поверхности цилиндра и плоскости рассеивают свет по закону ЛамBERTA и имеют одинаковый коэффициент отражения (равный для разобранного нами случая 0,8) и одинаковый спектральный состав отраженного света.

На рис. 25 представлено распределение воспринимаемых глазом яркостей для достаточно удаленного наблюдателя, рассматривающего цилиндр сверху. Перпендикулярно вниз от прямой OO' отложены воспринимаемые глазом яркости. Сплошная кривая соответствует освещению параллельным пучком, идущим слева под углом 45° ; пунктирная кривая соответствует идеально рассеянному освещению. При этом за I принята яркость фона без детали или, иначе, вдали от детали, где уже не оказывается вызываемое ею возмущение светового поля. Обе кривые построены расчетным путем с учетом затенения и многократного отражения света. Расчет производился очень приближенно, поскольку задачей авторов было получение иллюстративных данных и анализ факторов, обуславливающих контраст.

Такие же картины распределения яркости при различном освещении детали могут быть получены и экспериментально или при помощи описанного в I части статьи "микрофотометра" или методом фотографической фотометрии. В последнем случае полученная кривая может быть непосредственно построена на фотографическом отпечатке, что обеспечит наглядную картину яркостного контраста.

Возвращаясь к рис. 25 и сопоставляя кривые, соответствующие направленному и рассеянному освещению, мы видим, что обе эти системы создают совершенно различный яркостный контраст. Рассмотрим первоначально распределение яркости при направленном освещении (сплошная кривая), причем будем перемещаться слева направо. Яркость фона по мере приближения к цилиндру возрастает, поскольку усиливается влияние отражения света от ярко освещенной поверхности цилиндра. На границе с цилиндром происходит небольшой скачок яркости, достигающий максимума там, где глаз видит участок цилиндра, на который лучи света падают нормально. По мере перехода к затененной части цилиндра яркость быстро падает почти до нуля. Лишь небольшой скачок яркости происходит в затененной части поверхности цилиндра на границе с фоном благодаря отраженному от него свету. Далее яркость держится на очень низ-



Рис. 20.

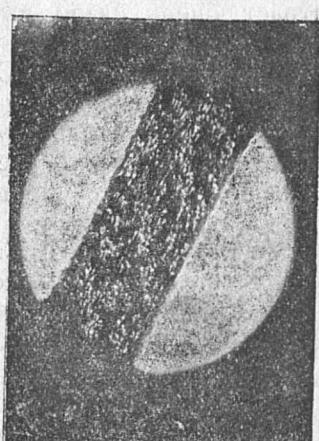


Рис. 21.

ком уровне в той части фона, которая затенена цилиндром и испытывает резкий скачок при переходе от затененной части фона к незатененной. Яркостный контраст является хорошо выраженным и резким.

Совсем иное распределение яркостей получается при рассеянном освещении (пунктирная кривая). Перемещая взгляд по фону в направлении к цилинду, мы убеждаемся в том, что яркость непрерывно падает

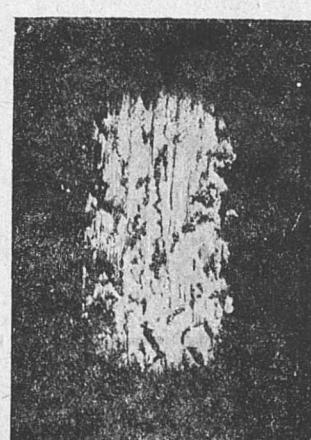


Рис. 22.

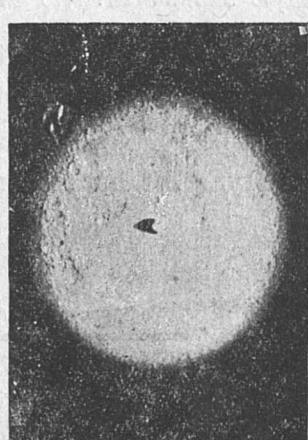


Рис. 23.

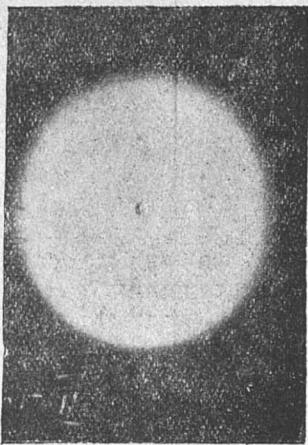


Рис. 24.

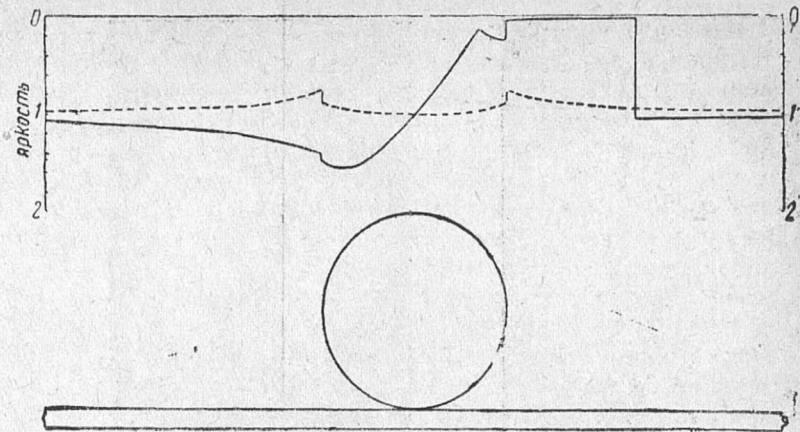


Рис. 25.

вследствие затенения света цилиндром, лишь частично компенсируемого отражением света поверхностью цилиндра. При этом представляется интересным отметить, что довольно далеко от цилиндра оказывается в обоих случаях вызываемое им возмущение светового поля. При переносе взгляда на цилиндр происходит скачок яркости, которая продолжает расти по направлению к его центру. Цилиндр воспринимается во всех своих точках несколько светлее фона. Яркостный контраст очень слабо выражен, что свидетельствует о трудности обнаружения и распознавания формы рассматриваемой детали. Сопоставление кривых распределения яркости для направленного и рассеянного освещения свидетельствует о качественном преимуществе направленного света при решении данной зрительной задачи. Совершенно аналогичное явление наблюдается с шаром на плоскости.

Теперь возникает естественный вопрос о том, чтобы количественно охарактеризовать обе системы освещения. Кривая распределения яркости не дает нам возможности присвоить контрасту определенное число, поскольку не изучена контрастная чувствительность глаза при непрерывном или сложном изменении яркости. Все работы, посвященные этому вопросу, рассматривают лишь простейший случай, когда яркость фона во всех его точках и яркость детали постоянны и лишь происходит определенный скачок яркости в ту или иную сторону при переходе от фона к детали. Этот случай может быть схематически изображен следующей кривой, представленной на рис. 26. Такая кривая распределения яркости может быть охарактеризована тремя величинами:

1. яркостью фона B
2. яркостью детали B_g
3. угловым протяжением детали γ .

Обычно вместо этих трех величин вводят следующую эквивалентную систему понятий:

1) неравенство $B_g > B$, или $B_g < B$

2) контраст $k = \frac{B_g - B}{B}$

3) угловое протяжение детали γ .

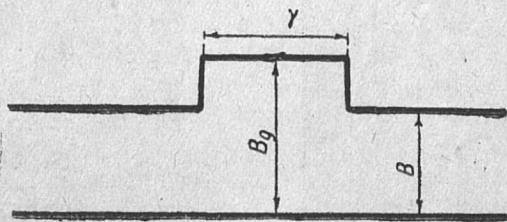


Рис. 26.

Различимость детали зависит от всех трех факторов. При определенном сочетании значений всех этих факторов деталь видна, при другом сочетании не видна.

Даже этот простейший случай контраста не является достаточно изученным, о чем свидетельствует не только отсутствие данных о степени видимости такого контраста, но даже и ясности в постановке вопроса. Простейший вопрос — видна деталь или нет — может изучаться в двух, по сути дела, эквивалентных формах.

Первая — задан контраст k и определяется такое предельное значение γ_0 угла γ , что при $\gamma < \gamma_0$ деталь не видна. В этом случае задача близка к определению зрительной функции — остроты зрения. Величина γ_0 есть функция яркости B и контраста k .

Второй путь: задано угловое протяжение детали γ и требуется определить такое предельное значение k_0 контраста k , при котором деталь перестает быть видимой. В данном случае можно говорить о контрастной чувствительности. Величина k_0 есть функция яркости B и углового размера γ .

При такой постановке вопроса совершенно очевидно, что острота зрения и контрастная чувствительность представляют собой не независимые функции, а являются лишь двумя подходами к одной и той же зрительной функции. В последнее время большое внимание уделяется как вопросу зависимости остроты зрения от контраста, так и вопросу о зависимости контрастной чувствительности от углового протяжения детали. Следует отметить еще раз, что оба вопроса отличаются друг от друга не по существу, а лишь по названию: вполне достаточно изучения одной из этих зависимостей, чтобы из тех же данных можно было определить вторую, так как $\gamma_0 = f(B, k)$, а $k_0 = f(B, \gamma)$.

Итак даже простейший теоретический случай (плоский выступ яркости) и в наиболее простом подходе (видна деталь или нет) мало изучен. Тем более сложны рядовые задачи из светотехнической практики, когда распределение яркости имеет сколь угодно сложный характер. Деталь обычно является объемной, и отражение света от ее поверхностей усложняется наличием элементов зеркального отражения. Расчет или измерение яркостей в отдельных точках детали и фона представляет одинаково трудные задачи, поскольку в общем случае распределение яркости по объекту следует считать неизвестным.

Если же учесть, что практически интересной является такая постановка вопроса, когда требуется не только установить наличие или отсутствие видимости детали, но определить степень трудности решения зрительной задачи, то проблема представляется во всей ее сложности.

Изучение контрастной чувствительности или остроты зрения для различных типовых случаев распределения яркости, например при размытой границе, является обширным полем для дальнейших исследований в области физиологической оптики. Эти исследования представляют самый непосредственный интерес для светотехника, поскольку они позволяют по кривой распределения яркости дать ответ на вопрос о том, видна ли деталь или нет. Но все же и эти исследования не дадут практического способа для светотехника оценить различные системы освещения по степени видимости того или иного объекта. В светотехнической практике чувствуется потребность в простом приборе, который измерял бы степень видимости предмета, подобно тому, как люксметр измеряет степень его освещения. Это пожелание представляется авторам настоящей статьи вполне осуществимым, и в дальнейшем излагаются сущность предложенного А. А. Гершун метода оценки освещения по видимости деталей и те, правда, достаточно грубые и примитивные опыты, которые проделаны авторами в доказательство возможности применения этого метода. Идея,ложенная в основу метода, вытекает из следующих соображений.

В случае, если различие детали находится на пределе возможности, значение видимости может быть непосредственно определено процентом правильных ответов на вопрос: видна или не видна деталь. В более сложных случаях, представляющих как раз практический интерес, когда деталь всегда видна и вопрос идет о степени трудности решения зрительной задачи, этот метод непосредственно применен быть не может. В этих случаях можно тем или иным способом затруднить зрительную задачу (например, ограничивая время фиксирования детали), пока решение задачи не окажется невозможным. Характеристикой видимости в этом случае может служить критическое значение величины, определяющей фактор, введенный для затруднения зрительной задачи.

Пусть зрительная задача заключается в обнаружении, распознавании формы некоторой детали (рис. 27), и соответствующей светотехнической задачей является создание таких условий освещения, которые лучше всего способствуют разрешению зрительной задачи. Оценка этих условий, характеризующих определенным числом „качество“ освещения, может быть получена следующим образом.

Пусть при изучаемом освещении предмета отчетливо различима вследствие яркостного или цветового контраста некоторая его деталь. Накладываем на предмет дымку, помещая, например, между

Рис. 27.

глазом Γ (рис. 27) и наблюдаемым предметом A полу-серебренное зеркало Z , в котором отражается светящаяся поверхность M . Яркость поверхности может изменяться в требуемых пределах, например, путем перемещения лампы L , если M —молочное стекло. По мере увеличения яркости дымки видимость детали ухудшается, первоначально затрудняется распознавание форм детали, а при дальнейшем увеличении размывающей яркости—и самое ее обнаружение. При некотором критическом значении яркости дымки зрительная задача становится неразрешимой; критерием возможности или невозможности разрешения ее мо-

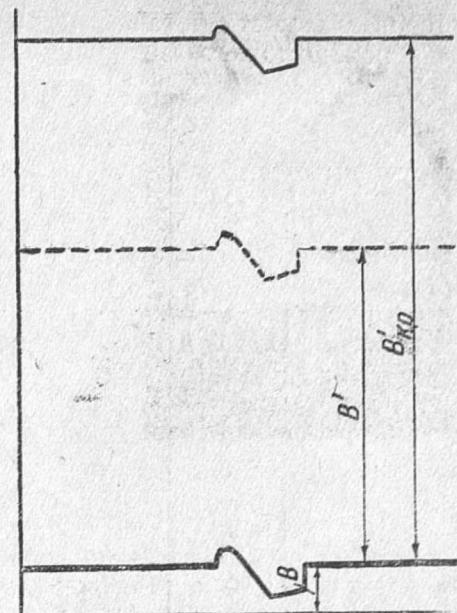


Рис. 28.

жет явиться процент правильных ответов наблюдателя на вопрос о местонахождении и форме детали. Если этот процент будет больше определенной величины, задача считается разрешимой, если меньше—неразрешимой. Чем лучше освещение, т. е. первоначальная различимость детали (без дымки), тем труднее ее „размыть“, т. е. тем больше критическая яркость дымки.

Различимость детали может быть охарактеризована относительным (к яркости фона) значением критической яркости дымки.

Описанная выше экспериментальная схема не нова, так же как и соответствующий ей метод числовой оценки видимости предмета. На этом принципе построен ряд полевых приборов¹, служащих для сравнительной оценки видимости различных объектов при данных условиях освещения и данном состоянии атмосферы. Естественно, у автора возникла мысль о том, что если этот метод позволяет сравнивать видимость различных предметов при одном и том же освещении, то можно сравнивать тем же методом и видимость одного и того же предмета при различных системах освещения. Подобно тому, как метеорологи оценивают мутность атмосферы по состоянию видимости, светотехники могут воспользоваться тем же приемом для оценки освещения предмета. Такой способ представляется исключительно соблазнительным вследствие крайней простоты эксперимента.

Рассмотрим теперь на простом примере сущность явления, происходящего при наложении дымки. Пусть глаз смотрит на некоторые детали, находящиеся на равномерно ярком фоне. Каждой системе освещения соответствует свое распределение яркости (жирная линия на рис. 28). Яркость фона обозначим B . Накладываем на эту картину дымку, что сводится к увеличению яркости в каждой точке на одну и ту же величину B' (пунктирная линия). Очевидно, что при этом

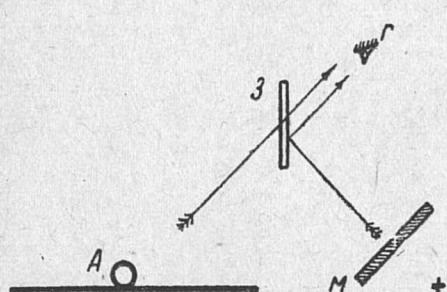
контраст уменьшается в $\frac{B'+B}{B}$ раз. Это значит, что

если мы сохраним один и тот же масштаб для яркости фона, то отклонения яркости в месте расположения детали уменьшаются в этой мере. При некотором критическом значении яркости дымки B'_{kp} (тонкая линия) контраст, обусловленный деталью, станет на пределе различия, и глаз перестанет воспринимать деталь.

¹ Loyd A., Jones A., Method and Instrument for the Measurement of the Visibility of Object. „Philosophical Magazine“, T. XXXIX. VI серия, 1920, стр. 96—134.

Шаронов В. В. Новый метод изменения мутности атмосферы и видимости.

Доклады Академии Наук СССР. Т. III, № 7, 1934.



Мерой видимости детали при данной системе освещения можно принять величину

$$V = \frac{B'_{kp}}{B},$$

которую мы будем называть различимостью.

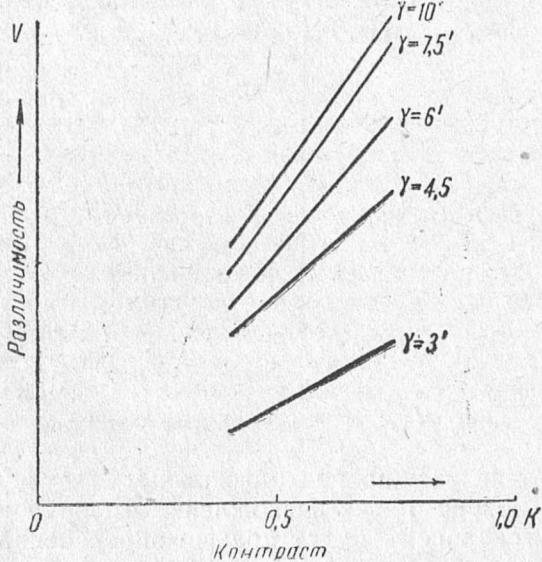


Рис. 29.

Представляется интересным найти значения различимости применительно к простейшему случаю контраста — плоскому выступу яркости (рис. 26). Первичальный контраст

$$k = \frac{B_g - B}{B}.$$

После наложения яркости дымки B' уменьшается до значения

$$k' = \frac{B_g - B}{B + B'}.$$

Критическое значение яркости B'_{kp} соответствует контрасту

$$k_0 = \frac{B_g - B}{B + B'_{kp}},$$

где k_0 есть порожнее значение контраста, т. е. величина обратная контрастной чувствительности при яркости адаптации $B + B'_{kp}$ и данном угловом протяжении детали.

Из этих двух соотношений для k и k_0 вытекает, что различимость равна

$$V = \frac{B'_{kp}}{B} = \frac{k - k_0}{k_0}.$$

При $k \gg k_0$, что соответствует большинству практически встречающихся случаев, различимость равна контрасту k , выраженному в числе порогов k_0 .

Авторами был произведен ряд качественных наблюдений по проверке возможности применения описанного выше метода с помощью установки, схематически изображенной на рис. 27. Эти опыты подтвердили полную возможность вполне определенного установления видимости детали при постепенном увеличении накладываемой дымки. В дальнейшем были произведены некоторые предварительные измерения, не ставящие целью получение цифрового материала, а поставленные для нахождения общего хода искомых зависимостей. Эти опыты были проведены несколько упрощенным способом под руководством авторов студентами Ленинградского университета А. Д. Курлович и П. Н. Энно во время прохождения ими производственной практики в Светотехнической лаборатории.

В качестве пробы были взяты таблицы кружков Ландольта различного размера и контраста, причем подопытные рассматривали изображение пробы на

матовом экране, отброшенное с помощью эпископа. Добавочным освещением экрана со стороны при помощи специальных осветителей создавалось наложение дымки и достигалось желаемое изменение контраста. При неизменном удалении экрана от эпископа абсолютная величина яркости фона определялась освещенностью пробы под эпископом, а угол зрения — размерами разрывов в проектируемых кружках. Такая замена реального объекта его изображением на экране не вызывает принципиальных возражений, поскольку опыт проводился на плоских пробах.

Примененный тест в основном соответствует разработанному случаю плоского выступа яркости. Поэтому зависимость различимости от контраста при заданном угловом размере детали должна в первом приближении при $k \gg k_0$ подчиняться условию

$$V = -\frac{k}{k_0}.$$

Первые опыты ставили своей целью проверку этого соотношения при постоянстве величины k_0 (постоянство яркости и углового размера детали) и различных значениях k . Следовало ожидать пропорциональности между V и k , причем коэффициент пропорциональности должен был быть тем больше, чем больше угловой размер детали (чем меньше k_0). Результаты опытов изображены на рис. 29; они в пределах погрешности совместимы с теорией.

Вторая серия независимых опытов ставила своей целью определение различимости в зависимости от углового размера детали γ при постоянной яркости и одинаковом контрасте k . Можно было ожидать следующего хода кривых. При изменении углового размера γ от 0 до некоторого значения γ_0 различимость должна быть равна нулю. По мере дальнейшего роста угла γ различимость должна расти (так как k_0 при этом уменьшается) вначале быстро, а затем более медленно. Кривые для различных значений k должны отличаться друг от друга лишь масштабом. Результаты измерений изображены на рис. 30. Итак, опыты в

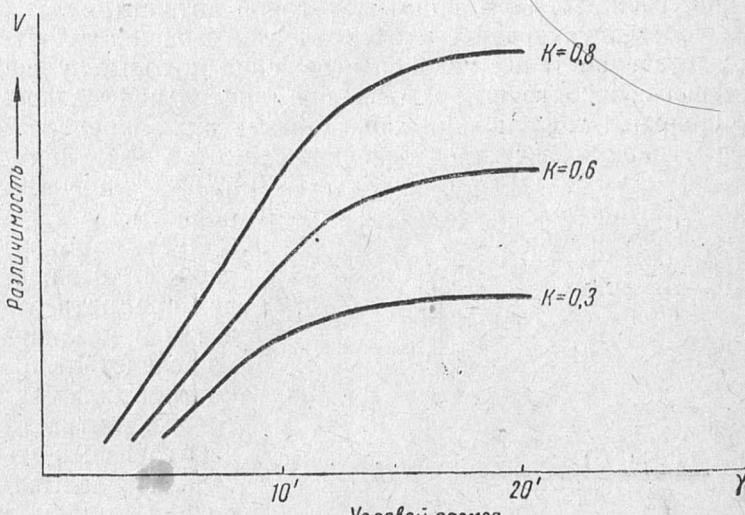


Рис. 20.

достаточной мере подтвердили правильность рассуждений, положенных в основу метода наложения дымки. Это позволяет считать, что предлагаемый метод заслуживает дальнейшего изучения с соблюдением всех строгих условий физиологического эксперимента и при условии проведения ряда предварительных лабораторных исследований может завоевать место в светотехнической практике.

В заключение авторы считают своим приятным долгом принести благодарность проф. С. О. Майзель за ряд советов по работе.