

М. ЛЕКИЦ

СВЕТ И РАБОТА

ОНТИ . ГТТИ . 1934

Депозитарий

М. ЛЕКИШ

Визитка

С В Е Т И Р А Б О Т А

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ДОПОЛНЕНИЯМИ
проф. С. В. КРАВКОВА

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА



О Н Т И
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1934 ЛЕНИНГРАД

71364846

ИЗДАТЕЛЬСТВО

1934

LIGHT AND WORK

BY

M. LUCKIESH

NEW YORK

D. VAN NOSTRAND COMPANY

1924

Редакция *М. И. Полицарова*.
Корректурa *З. В. Смирновой*.
Сдано в набор 17 марта 1934 г.
Формат бум. 82 × 110.
Авторских листов 13 $\frac{1}{4}$.
Количество печ. эк. в 1 бум. листе 70820.
Удостоверенный Главлита № В-73451.

Оформление *В. Ф. Затульской*.
Наблюдал за выпуском *Л. М. Волкович*.
Поступило к печати 25 июля 1934 г.
Количество бум. листов 3 $\frac{1}{4}$.
Тираж 4000 экз.
Зак. № 290.
Изд. № 211.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Предлагаемая вниманию читателя книга представляет собой перевод книги М. Luckiesh «Light and Work», New York 1924. Автор, директор исследовательской светотехнической лаборатории лампового отделения «General Electric Co», имеет целый ряд работ по вопросам светотехники и цветопередачи и является одним из видных представителей современной светотехники. Данная книга, переведенная уже и на немецкий язык, ценна главным образом тем, что на основании приводимого большого фактического материала убедительно доказывает необходимость уделения большего внимания созданию таких осветительных условий труда, которые отвечали бы как требованиям физиологии зрения, так и экономической выгоды производства.

Перевод сделан с некоторыми сокращениями и переделками. Кроме того, нами внесены небольшие дополнения, в коих мы стремились сообщить читателю о более новых научных данных, относящихся к затрагиваемым темам.

С. КРАВКОВ.

Москва, декабрь, 1932 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.

Крупные успехи, достигнутые за последние годы в деле производства и использования искусственного света, позволяют надеяться, что мы — впервые в истории человечества — недалеко здесь от создания вполне идеальных условий. В течение бесчисленных веков, человечество, когда дневного света становилось недостаточно, вынуждено было довольствоваться очень ограниченными возможностями искусственного освещения. А ныне — прошло всего не более двадцати лет, искусственное освещение уже стало мощным конкурентом дневного света в закрытых помещениях. Значение этого конкурента в настоящее время чрезвычайно выросло не только в силу соображений экономических, но и в силу большей контролируемости условий искусственного освещения. Наряду с удешевлением искусственного света мы получаем все большие и большие возможности воспроизводить посредством него дневной свет как со стороны качества этого последнего, так и со стороны наиболее желательных для нас интенсивностей освещения.

Двадцать лет назад вопросы, рассматриваемые в этой книге, имели бы лишь теоретический интерес, в настоящее же время они полны самого практического значения. Перспективы, открываемые искусственным освещением, стимулировали исследования в области света, цвета и зрения. Сопоставление и соответствующее истолкование данных лабораторных исследований и повседневной практики принесут, несомненно, чрезвычайную практическую пользу. Многие вопросы остаются, конечно, еще не решенными. Но ведь всегда так и бывает: чем больше знаний мы приобретаем, тем больше рождается и новых вопросов. Качество есть основная характеристика света, количество — основная характеристика осветительных условий. Оба эти фактора мы постоянно и должны иметь в виду в наших рассуждениях, развиваемых в этой книге. Вопросы освещения рассматриваются нами при этом не ради их самих, но в связи с запросами потребителей освещения, для которых они и имеют основное значение.

Естественное освещение вне помещений рассматривается нами как могучий фактор среды, длительно влиявший на человека в течение веков эволюции. Мы рассматриваем затем и вопросы дневного освещения закрытых пространств. Искусственный свет оценивается нами с точки зрения его качества, количества и денежной стоимости. Основные зрительные функции анализируются нами с точки зрения наибольшей эффективности работы глаза. Мы касаемся вопроса о скорости зрительного восприятия, за чем следует рассмотрение влияния интенсивности освещения на производительность работы. Делается попытка установить качество и интенсивность освещения, наиболее выгодные для производительности работы, поскольку эта последняя зависит от зрительных функций. Мы приходим к неожиданным на первый взгляд выводам касательно экономической выгоды рационального освещения и той интенсивности искусственного света, которую мы должны применять в настоящее время.

Мы надеемся, что эта книга будет полезна для светотехников, организаторов производств, рабочих и всех тех, кто заинтересован в наибольшей безопасности, производительности и приятности труда.

М. Л е к и ш.

Февраль 1924 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие редактора	3
Предисловие автора	4
 Глава I. СВЕТ И ЖИЗНЬ	 9
Окружающее 10. Живые существа 11. Перво- бытный человек 12. Свет 13. Эволюция глаза 15. Лучистая энергия или радиация 15. Биологиче- ские действия радиации 17. Основные условия освещения 19. Что дается хорошим освещением 20.	
 Глава II. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ	 22
Солнечный свет 22. Влияние атмосферы 26. Свет неба 29. Свет Луны и звезд 34. Обычный естественный ландшафт 35. Основные принципы освещения 39.	
 Глава III. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ	 42
Отверстия для проникновения дневного света в помещение 43. Интенсивность освещения 45. Отра- жение света окружающими предметами 48. Ка- чество света 49. Тепличное действие света 50. Ги- гиеническая ценность солнечной радиации 52. Вы- цветание красок под влиянием света 53. Стой- мость естественного освещения. 53. Здания без окоя. 54. Стекла для отверстий дневного осве- щения 56.	
 Глава IV. ИСКУССТВЕННЫЙ СВЕТ	 62
Огонь 62. Прimitивные источники света 63. Ма- сляные лампы 63. Газовые источники света 64. Электрические источники света 64. Электриче- ские дуговые лампы 66. Ртутные дуги и газо- вые трубки 66. Электрические лампы на- каливания 67. Световая отдача 68. Стоимость искусственного света 70.	

Глава V. ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ЦВЕТ	73
Спектральный характер источников света 74. Естественные источники света 79. Что такое цвет 60. Идеальные условия освещения для работы, требующей различения цветов 83. Приблизительно дневной свет, даваемый искусственным освещением 85.	
Глава VI. КАЧЕСТВО СВЕТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА.	86
Свет естественного качества 87. Свет, по своему качеству отличающийся от естественного света 92.	
Глава VII. КОЛИЧЕСТВО СВЕТА	97
Солнце как источник света 98. Искусственное освещение и его снижающаяся стоимость 98. Естественное и искусственное освещение внутренности помещений 100. Зависимость искусственного освещения от естественной дневной освещенности 101.	
Глава VIII. ОСНОВНОЕ О ЗРЕНИИ	104
Глаз 105. Яркость рассматриваемого объекта и освещенность 109. Ощущение яркости 111. Зрительный угол 117. Острота зрения 118. Цветовые ощущения 123. Одновременный контраст 125. Иррадиация 125. Эрачон 126. Адаптация глаза 131. Явление Пуркинье 132. Нарастание и спадание зрительных ощущений 133. Внешние факторы, влияющие на зрение 137. Бикулярное зрение 138. Тени 138. Блики 139. Фоны 139.	
Глава IX. СКОРОСТЬ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ . .	140
Скорость различения мелких деталей 141. Скорость чтения 146. Скорость различения в зависимости от предшествующих экспозиций «путующих образов» 149. Простые опыты над скоростью зрительного восприятия 151.	
Глава X. ОСВЕЩЕНИЕ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА	153
Чего можно ждать от улучшения условий освещения 154. Улучшение освещения и продуктивность труда 155.	
Глава XI. ЗНАЧЕНИЕ УХОДА ЗА ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ.	163
Влияние чистки стекол на естественное освещение внутри помещений 163. Поглощение света загрязненными стеклами при дневном освеще-	

нии 165. Ослабление искусственного освещения 166. Убытки, вызываемые отсутствием ухода за осветительной установкой 168.

Глава XII. ОСВЕЩЕНИЕ И ОКРАСКА 169

Влияние цвета стен и потолка 170. Отражательные свойства поверхностей 173. Коэффициенты отражения 175. Цвет стен и потолка 177. Окраска машин 178. Отражение невидимых лучей 179.

Глава XIII. НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСВЕЩЕНИЯ 180

Освещенность, коэффициент отражения и яркость 180. Графическое изображение зависимости зрительных функций от различных факторов 183. Выводы из данных, касающихся зависимости функций зрения от интенсивности освещения 185. Наилучшая интенсивность освещения вне учета ее стоимости 188. Малый контраст требует большего освещения 189. Средний коэффициент отражения 191. Коэффициент безопасности в освещении 192.

Глава XIV. ЭКОНОМИЧЕСКИ НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСВЕЩЕНИЯ 194

Повышение производительности труда покрывает расходы по усилению освещения 195. Форма кривых, изображающих рост производительности труда 198.

Глава XV. ВИДИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ 203

Блескость 204. Яркости источников света и арматур 206. Напряжение глаз 206. Зрительное утомление 207. Видимость 209. Безопасность и несчастные случаи 209. Пути сообщения 209. Транспортные сигналы 211.

ГЛАВА I.

СВЕТ И ЖИЗНЬ.

С того момента, как первобытный человек почувствовал свои возможности и стал бороться с вредными влияниями окружающей его среды, он стал создавать для себя и для своих потомков искусственный мир. Неустанно он исследовал тайны окружающей его природы и использовал их для удовлетворения собственных нужд. Естественное окружение стало, таким образом, известным компромиссом между природными условиями и тем, что было внесено в них человеком, стремящимся создать среду, наиболее способствующую его выживанию. Нельзя, конечно, забывать того, что и сам человек есть продукт природы, а поэтому и он сам подчиняется ее законам. Тем не менее, благодаря своему познанию этих законов, он оказался способен создать для себя значительно лучшие условия жизни, чем то было бы в силу одних лишь влияний природы.

Каждая из стихий природы представляет собой достаточно сложную проблему с точки зрения использования этой стихии культурным человеком. Свет и его производные — цвет, освещение и зрение — в их влиянии на производительную деятельность цивилизованного человека имеют первостепенное значение в деле построения того искусственного мира, о котором упомянуто выше. В среде, окружающей эволюционирующего человека, освещение посредством того или иного света было и остается фактором такого же значения, как воздух, земля и вода. Построив себе жилище, человек уже ограничил свое пользование дневным естественным освещением. И мы видим, как, попав в темноту, человек старается «создать свет».

Нетрудно представить себе тот энтузиазм, который испытывал человек при первых своих успехах в этом деле. Однако по сравнению с естественным освещением он, вплоть до наших дней, достиг немногого — он научился лишь рассеивать темноту в ближайшем соседстве, вокруг своих световых источников. Это было похоже на зажигание спички в огромной темной комнате. Получив, однако, возможность несколько

видеть вокруг себя, человек смог уже выполнять свою работу и без дневного света, в уверенности, что достаточное освещение надлежащего качества им уже создано. Ему редко приходило в голову, что в сущности он только лишь несколько разогнал темноту при помощи своих источников света, более или менее случайных по качеству. Он не сознавал того, что благодеяния освещения непрерывно возрастают по мере того, как мы продвигаемся вперед от простого уничтожения тьмы в ближайшем окружающем пространстве к условиям естественного дневного освещения. Он еще не понимал, что искусственное освещение исходит из принципов освещения естественного и усовершенствований — где это нужно — условий этого последнего и что человеческая деятельность становится в таком случае наиболее продуктивной и приятной.

Поскольку зрительные процессы играют существенную и важную роль в человеческой деятельности, создание условий, способствующих их наилучшему протеканию, равносильно улучшению человеческой производительности вообще и имеет поэтому также и большое экономическое значение. Не только на основании подобных общих соображений, но и на основании данных специальных исследований и опытов в настоящее время несомненно, что повышение норм искусственного освещения до уровня, практически ныне уже осуществимого, принесет значительную экономическую выгоду. Задачей настоящей книги и является анализ условий естественного освещения, выяснение его важнейших принципов и тех его усовершенствований, которые являются желательными, рассмотрение связи между освещением и зрением и обнаружение тех экономических выгод, которые несет с собою достаточное, рационально устроенное освещение, увеличивая безопасность, производительность и приятность работы.

О К Р У Ж А Ю Щ Е Е.

Полного понимания значения света и всех возможностей современного освещения не может быть без ознакомления с той естественной средой, в которой веками эволюционировал человеческий род. Наиболее могущественным фактором этой среды и являлся свет или, говоря более обще, солнечная радиация. Интенсивность солнечного света есть то, к чему на протяжении веков приспособлялся зрительный орган человека.

Распределение света в естественном освещении вне помещения оставило свой след в нашем ощущении, говорящем нам,

что «естественным» и нормальным является то, чтобы нижняя часть поля зрения имела меньшую яркость по сравнению с верхней. Ведь небо является обычно самым светлым из больших участков в поле нашего зрения. Солнце как источник прямого света также должно было сказаться на человеческой природе.

Подобные световые факторы окружающей среды влияли как на формирование наших органов чувств, так и на выработку у нас определенного рода психологических потребностей и вкусов. Игнорировать все это при рассмотрении вопроса об освещении, наилучше отвечающем потребностям человеческой природы, мы никак не можем. А между тем с подобным игнорированием мы постоянно сталкиваемся. Даже многие специально занимающиеся вопросами освещения не понимают всей важности создания условий, подобных естественным, природным. Так легко забывается, что то, что мы имеем сегодня, было не всегда. Занятые сегодняшним днем, мы упускаем из вида, что искусственное освещение есть порождение, в сущности, лишь прошлого века.

В настоящее время зависимость наша от искусственного света очень велика. Поэтому всякое возможное улучшение в деле искусственного освещения должно быть использовано. Однако это невозможно без достаточно широкого кругозора, даваемого светотехнику изучением условий естественного освещения. Вот почему ближайшие главы настоящей книги и посвящены ознакомлению читателя с теми осветительными условиями, к которым в течение веков приспособлялись глаза и вся природа человека. Сперва мы должны, однако, хотя бы вкратце коснуться еще некоторых важных вопросов.

ЖИВЫЕ СУЩЕСТВА.

Свет необходим почти для всех проявлений жизни так же, как он необходим для зрения. Несомненно, что он играет основную роль в эволюции всего живого. Если мы кинем взор в отдаленнейшие эпохи прошлого, рисуемые нашим воображением по данным геологии, то у нас может, пожалуй, родиться вопрос, почему же эволюция жизни прошла именно по пути, для которого необходим свет. В тот период, когда Земля находилась еще в горячем состоянии, темнота, повидимому, имела столько же шансов сделаться средой развития жизни, сколько и свет. Но тьма уступила эту роль могучей силе света. И все, что мы можем сказать о темноте теперь, так это то, что она соответствует периоду общего отдыха

живых существ. Конечно, мы можем осуществлять некоторые виды рабочей активности и в темноте. Доказательством тому служат слепые. Но сама неуверенность их поступки есть уже вызывающее сочувствие, доказательство того, как много надежности и твердости в наших движениях обусловлено светом.

Животворное действие света заметно на каждом шагу. Растения для своего нормального роста нуждаются в свете. При этом их потребность в освещении для здоровья больше, чем эта потребность у животных. Большинству из растений требуется дневного света в сотни раз больше, чем его содержится обычно в нашем искусственном освещении. Человек и многие из животных могут достаточно хорошо и здорово жить при таких интенсивностях освещения, которые явно недостаточны для растений. Мы знаем, что даже в хорошо освещенной комнате растение тянется к окну, ища для себя еще больше света.

ПЕРВОВЫТНЫЙ ЧЕЛОВЕК.

Несомненно, что доисторический человек был приспособлен к тому, чтобы жить днем на ярком естественном освещении вне жилищ. Разве могли бы примитивные народы, живущие и поныне в подобных условиях, пережить внезапное перенесение их в нашу обстановку закрытых помещений? Человеческий род переходит к жизни в домах постепенно, наряду с чем растут и его знания, помогавшие ему найти какую-либо замену благ солнечного света. Цивилизованный человек ставит уже и вопросы санитарии и личной гигиены. Лишенный же знаний и подобных потребностей дикий человек, вероятно, задохнулся бы или даже вовсе погиб, если бы его лишили солнечного света в такой же мере, как его лишен современный культурный человек. Однако знания не могут устранить сразу влияний векового приспособления организма к определенным условиям окружающей среды. Они не могут изменить тех физиологических и психологических законов, которые являются продуктами длительных периодов приспособления. Глаз не может хорошо видеть при слабом освещении, раз в ходе эволюции человеческого рода он привык функционировать в условиях гораздо больших интенсивностей освещения, даваемых дневным светом. Продолжительная работа зрения едва ли будет удовлетворительной и чуждой утомления и переутомления, если она будет протекать в условиях, существенно отличных от общих условий естественного освещения на открытом воздухе.

Поэтому все источники света, значительно отличающиеся от дневного и, в частности, от солнечного света, должны быть, строго говоря, взяты под подозрение, если мы предназначаем их для освещения мест, где совершается продолжительная и трудная зрительная работа. Различные психологические влияния весьма отличающихся друг от друга осветительных установок также представляют собой прямой предмет исследования, интересный для светотехника.

Человек отвоевывает у природы ее тайны и строит свой собственный искусственный мир культуры. Он может при этом усовершенствовать природу, и он часто это делает. Однако пока человек не создал чего-либо, что равноценно или даже превосходит то, что дает сама природа, природа остается наиболее верным путеводителем. В течение тысячелетий развития человека он почти ничего не знал о физических законах окружающего его мира и был лишь продуктом этой окружающей среды, являвшейся окружающей средой и для его предков. При таких условиях человек развивался в достаточной мере беспомощно и бессознательно. Человеческие познания законов природы оставались, в сущности, очень бедными вплоть до последних столетий, когда началось систематическое экспериментальное изучение мира. Но это значит, что экспериментальная наука еще очень молода, объем же того, что ей предстоит еще сделать, колоссален. Неудивительно поэтому, что мы сплошь и рядом сталкиваемся с такими вопросами, ответить на которые еще не в состоянии. Естественно, что мы больше знаем о физической, чем о физиологической и психологической сторонах жизни. Особенно это верно применительно к нашим знаниям о свете и радиации вообще.

С В Е Т.

Свет связан обычно с физической энергией, которую мы называем радиацией или лучистой энергией. Так, например, подобная энергия, испускаемая Солнцем, может быть названа солнечной радиацией. Солнечная радиация излучается во все стороны мирового пространства, и часть этого излучения перехватывается сравнительно маленьким телом, называемым Землей. Здесь солнечная радиация претерпевает различные превращения: часть ее поглощается и переходит в тепловую энергию, нагревая тем самым поглощающие ее тела; часть лучистой энергии, идущей от Солнца, действует убивающим образом на бактерии; часть служит источником химических

изменений, обуславливающих рост растений; часть, попадая в глаз человека, вызывает ощущение света. Существует много интересных влияний, оказываемых солнечной радиацией; здесь мы, однако, ограничимся лишь вопросами влияния на человеческое существо лучистой энергии, видимой нами как свет, и близких к ней видов радиации (см. рис. 1).

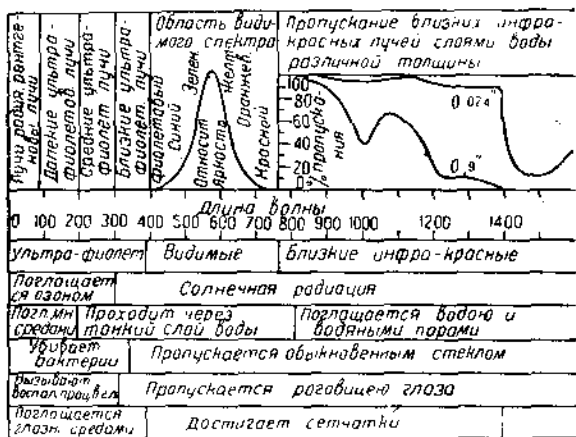


Рис. 1. Характеристика различных областей спектра и радиаций различных длин волн.

Лучистая энергия Солнца состоит из излучений многих длин волн. Лучи отдельных длин волн могут быть выделены при помощи призм и некоторых других приборов. Человеческий глаз реагирует лишь на определенный участок длин волн. Этот участок излучений, видимый глазом, есть по существу те же электромагнитные волны, что и волны беспроволочной телеграфии или радио; он отличается от последних лишь длиной волны. Излучения тех длин волн, к которым чувствителен наш глаз, вызывают у нас ощущения того или иного цвета. Наиболее короткие длины волн, из тех, к которым глаз является чувствительным, дают нам ощущение фиолетового. По мере перехода к лучам с большей длиной волны цветное ощущение непрерывно меняется, переходя через цвета синий, зеленый, желтый, оранжевый и красный. Это — наиболее определенные цвета в спектре. Теоретически различных цветов следовало бы ожидать столько же, сколько имеется различных длин волн в границах той области солнечной радиации, к которой чувствителен глаз. Практически глаз может разли-

чать в спектре всего около 125 отдельных цветовых тонов. Если в глаз попадают одновременно лучи всех этих видимых им длин волн и притом в тех же количественных соотношениях, которые имеются в солнечном излучении, то нормальный глаз получает в результате ощущение цвета, близкого к белому. Этот факт является чрезвычайно важным, как это мы увидим ниже.

Эволюция глаза.

Остановимся здесь коротко на одном очень интересном факте. Мы только что говорили о той области длин волн лучистой энергии, которую наш орган зрения превращает в ощущение цвета. Измерение относительных величин энергии лучей этих различных длин волн на земной поверхности в полдень показывает, что максимум энергии приходится на лучи тех длин волн, которые порождают ощущение зеленовато-желтого. Измерение относительной чувствительности глаза к лучам разной длины волны обнаруживает, что глаз наиболее чувствительным является к лучам, вызывающим у нас ощущение зеленовато-желтого цвета. Иначе говоря, если мы воспроизведем спектр, в котором лучи различных длин волн будут иметь одинаковую энергию, мы найдем, что наиболее ярким является участок зеленовато-желтого цвета. Это обстоятельство не должно казаться удивительным, поскольку человеческий глаз есть продукт многовековой эволюции и приспособления к среде, в коей солнечный свет является господствующим фактором. Животные, эволюционное развитие которых протекало при существенно других условиях, обнаруживают и в рассматриваемом отношении уже иные характеристики. Вода в достаточно толстом слое имеет синевато-зеленый оттенок. Это значит, что свет лишь этого цвета проходит на данную глубину воды. Живущие на этой глубине рыбы не нуждаются поэтому в том, чтобы их глаз был чувствительным ко всем тем лучам, которые видит глаз человека, и интересно отметить, что их цветное зрение действительно соответствующим образом сужено. У существ, живущих в местах, лишенных солнечного света, под землею или на дне моря, мы или вовсе не находим глаз или они имеются в неразвитом виде.

Лучистая энергия, или радиация.

Те виды радиации, на которые наш глаз отвечает ощущениями яркости и цветного тона, мы можем назвать **видимой радиацией**, производимый же ею зрительный

эффект — светом. Отдельные лучи видимой радиации, будучи разделены друг от друга, дают нам серию цветов радуги. Этот ряд цветов называется **в и д и м ы м с п е к т р о м**. Солнце и другие источники энергии наряду с видимой радиацией излучают и невидимые глазом лучи различных длин волн. Область лучей с длинами волн, большими, чем те, которые вызывают у нас ощущение красного цвета, называется **и н ф р а к р а с н ы м** **и з л у ч е н и е м**. Область лучей с более короткими длинами волн, чем те, которые порождают у нас ощущение фиолетового цвета, носит название области **у л ь т р а ф и о л е т о в о г о** **и з л у ч е н и я**. Мы упростим и расширим наше понимание лучистой энергии, идущей от Солнца и других источников, если скажем, что наш глаз есть один из «приемников», характеризующихся в общем тем, к каким длинам волн каждый из них является чувствительным. Так, например, обыкновенная фотографическая эмульсия чувствительна по отношению к длинам волн, вызывающим у нас ощущение синего и фиолетового, а также по отношению к большей области лучей ультрафиолетовых. Растениями поглощаются лучи различных длин волн. Многие фотохимические реакции вызываются излучением лишь определенной длины волны. Химическая реакция или повышение температуры наблюдается во всех случаях, когда лучистая энергия поглощается данным телом. Невидимые излучения не имеют особого значения с точки зрения чисто световой, но мы должны будем остановиться и на их рассмотрении в связи с общим вопросом о свойствах естественного, природного освещения. Эти невидимые лучи принадлежат к числу факторов естественной среды, влиявшей на ход эволюции всего живого, и постольку не могут игнорироваться в настоящей книге. Невидимая радиация наряду с видимой имеется и у искусственных источников света. Не оказывая никакого влияния на чисто световой эффект, она достаточно широко используется во многих химических реакциях, в терапии, в деле стерилизации и пр. Наши знания относительно невидимых лучей и их использования беднее наших познаний, касающихся видимой радиации или света. Однако эти знания быстро растут. На рис. 1 показаны участки ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной радиации в соответствии с характеризующими их длинами волн; на том же рисунке показаны границы пропускания лучей с короткой длиной волны кварцем, водой и обыкновенными стеклами; указана самая короткая длина волны солнечной радиации, доходящая до земной

поверхности, указаны наиболее длинноволновые лучи, оказывающие бактерицидное действие; дана кривая относительной «видимости» отдельных длин волн видимой части спектра, и названы цвета отдельных участков спектра.

Указанные значения, конечно, лишь приблизительные, поскольку в зависимости от специальных условий они могут несколько изменяться. Область инфракрасной радиации простирается значительно дальше, чем то, что могло быть показано на рисунке. Поэтому рисунок не является ограниченным с правой стороны. Мы сознательно не употребляли таких обозначений, как «активные» или «химические» лучи; подобные названия достаточно бессодержательны, поскольку многие, если не все, виды излучений могут вызвать прямой или косвенный химический эффект. Рис. 1 дополняется ниже приводимой табл. 1. Хотя единица длины волны сама по себе особого интереса здесь и не представляет, все же некоторые из читателей захотят представить себе эту величину более определенно. Им мы напомним: 1μ есть одна миллионная часть миллиметра.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ.

Вернемся на некоторое время к дневному освещению, чтобы не терять из вида тех условий, в которых развивался современный человек. Поскольку все испытанное запоминается, полного незнания окружающего не могло быть и у самых примитивных существ. По мере же развития наблюдения и, наконец, эксперимента человек добился очень многого в овладении явлениями природы и использовании их для своих специальных надобностей. Дикарь в наши дни уже знает кое-что о свойствах солнечного света. В неясной форме дикарь уже сознает, что Солнце помогает заживать раны и делает питьевую воду более здоровой. Образованный человек уже знает много касательно излучения и его возможных действий, но все же в области вопросов о лечебном значении света и радиации вообще еще больше остается невыясненного.

Известно, что солнечные ванны в некоторых случаях оказывают оздоровляющее действие. И человек стал пользоваться «солнечными ваннами» и с искусственным источником света. При этом порою обращают внимание лишь на видимый свет, а между тем во всяком излучающем источнике имеется еще и невидимая радиация, которая также может иметь значение. Бактерицидное действие солнечной радиации, как ныне

уже известно, следует приписывать лучам ультрафиолетовым. Падающий на земную поверхность дождь собирается в потоки, реки и озера, несущие в себе продукты распада растений и зародыши всякого рода болезней. Лучами Солнца эти зародыши бактерий убиваются. Вне помещений, таким образом, мы всегда имеем могучий процесс стерилизации, осуществляемой солнечными лучами по отношению ко всему, что находится на земле и в воде.

ТАБЛИЦА 1.

Некоторые данные, касающиеся излучения.

Длина волны в м μ	
Короче 200	Крайние ультрафиолетовые лучи поглощаются большинством тел.
200—300	Область среднего ультрафиолетового излучения; проходит через кварц и воду, поглощается обыкновенными стеклами и озоном, действует разрушающим образом на живые ткани, убивает зародыши бактерий.
290	Приблизительная граница ультрафиолетовой радиации, доходящей от Солнца до поверхности Земли; лучи с более короткими длинами волн, повидимому, поглощаются озоном в верхних слоях атмосферы.
310	Приблизительная граница ультрафиолетовых лучей, оказывающих бактерицидное действие.
300—400	Область ближайшего ультрафиолетового излучения; пропускается кварцем, водой и обыкновенными стеклами.
390—760	Видимая радиация, вызывающая у нас ощущение яркости и цветовых тонов.
390—430	Фиолетовый цвет.
430—470	Синий цвет.
470—500	Голубой цвет.
500—530	Зеленый цвет.
530—560	Желтовато-зеленый цвет.
560—590	Желтый цвет.
590—620	Оранжевый цвет.
620—760	Красный цвет.
460	Максимум энергии в радиации голубого неба.
555	Максимум чувствительности глаза.
555 (приблиз.)	Максимум энергии в солнечной радиации.
Длиннее, чем 760	Область инфракрасных лучей; поглощается толстыми слоями воды; частично поглощается водяными парами в атмосфере.

Избыток солнечного света тягостен и вреден, но, с другой стороны, известно, что существуют болезни, особенно процветающие как раз в месяцы с пониженным солнечным светом. Например, рахит развивается по преимуществу зимою, и в настоящее время можно считать хорошо установленным, что

слабость солнечного света и, следовательно, недостаточная интенсивность ультрафиолетовой радиации являются причиной увеличения случаев рахита именно в это время года. Во многих других случаях солнечная радиация также является благотворительной. Поэтому и в наш век широкого применения искусственного света мы отнюдь не должны игнорировать свойств освещения дневного как со стороны качества его света, так и со стороны его интенсивности. Мы безусловно можем утверждать, что наилучшим искусственным светом будет такой свет, характеристики которого наиболее близки к свойствам естественного дневного света.

О С Н О В Н Ы Е У С Л О В И Я О С В Е Щ Е Н И Я .

Если условия искусственного освещения существенно отличаются от условий освещения естественного — и в отношении своей интенсивности, и по своему спектральному составу и, в частности, по наличию в нем невидимых лучей, — мы можем оценить такое искусственное освещение лишь после специального выяснения тех психофизиологических влияний, каковые оно оказывает на человека.

С точки зрения многовековой эволюции человеческого рода человек начал жить в помещениях, лишенных солнечного света, совсем лишь недавно. Поэтому мы все еще должны считать биологически благоприятными те условия освещения, в которых мы жили в естественной среде вне жилищ. Трудно ожидать, чтобы наш зрительный орган и физиологические реакции нашего организма вообще могли в один день, один год или одно столетие вполне приспособиться к резким переменам такого могучего фактора окружающей среды, как освещение. К счастью, человек обладает, известной сопротивляемостью по отношению к вредным влияниям и может все же в известной мере адаптироваться и к новым, неестественным для него условиям. Но не будут ли все таки наилучшими те условия, при которых затрата энергии, идущей на подобные приспособления и сопротивления, будет минимальной?

Хорошо поставленный механизм, работающий без лишних трений и прочих видов напрасной траты энергии, при тех же затратах даст больший положительный эффект, чем механизм, в коем эти лишние трения имеются. Освещение, недостаточное в количественном или в качественном отношении, вызывает как бы подобные ненужные трения и тем понижает производительность лиц, работающих при таких условиях освеще-

ния, хотя бы сами они этого и не сознавали. Развешанные там и сям лампы еще не создают всех условий, благоприятствующих наибольшей продуктивности. Наивно думать, что поскольку нами разогнана темнота, мы уже разрешили удовлетворительно проблему освещения. Какая дистанция отделяет темноту от условий дневной освещенности в ясную погоду! Первая делает невозможной или почти невозможной какую-либо деятельность. Дневной свет есть естественная обстановка для нас как активных существ. Порою, правда, интенсивность дневного света бывает чрезмерной для тонкой зрительной работы (как, например, чтение). Но от таких чрезмерных интенсивностей естественного освещения мы в условиях искусственного освещения бываем всегда еще чрезвычайно далеки. Обычные уровни искусственного освещения относительно ближе к другой крайности — к темноте.

Переход искусственного освещения от этой крайности в противоположную сторону, сторону приближения к условиям естественного освещения вне помещений, несет с собою — со всех точек зрения — бесспорные выгоды.

Что дается хорошим освещением.

Прежде чем перейти к рассмотрению отдельных вопросов нашей темы, дадим здесь, в заключении нашего введения, обзор всего того, чем может сказаться рациональное освещение на рабочей деятельности человека.

а) По мере увеличения освещения растет производительность работы. При этом, как показывают и специальные эксперименты, стоимость этой добавочной продукции во много раз превосходит стоимость добавочных расходов на улучшенное освещение.

б) Трудно ожидать хорошей работы в темноте. По мере улучшения освещения улучшается и качество работы. Применительно в особенности к тонким работам освещенность, гораздо большая, чем та, которую применяют теперь, будет все же экономически выгодна.

в) Естественно ожидать, что в потемках работающий будет много материала портить. Эта порча материалов уменьшается даже благодаря слабому освещению. Минимума же своего она достигает лишь тогда, когда освещение вполне рационально.

г) Безопасность работы также есть продукт не темноты, но достаточного и соответствующим образом устроенного освещения.

е). В полной темноте глаза не напрягаются и не устают. Однако и напряжение и усталость появляются в результате недостаточного и несоответствующего освещения. Несомненно, что наши глаза, эволюционировавшие в условиях естественного освещения, будут наименьше напрягаться и утомляться при таком искусственном освещении, которое приближается к естественному по своему качеству, интенсивности и распределению яркости в поле зрения.

ф) Темнота есть время отдыха. Свет действует стимулирующим образом. Рациональное освещение вызывает большую активность; будучи правильно организована, она обуславливает в итоге повышение производительности.

г) Хорошая освещенность окружающего действует оживляющим образом. И здесь нет оснований опасаться слишком больших освещенностей. Недостаточное же и несоответствующее освещение, напротив, влияет угнетающе.

и) В темноте не приходится ожидать и должной дисциплины и порядка в работе. Соответствующее рациональное освещение способствует и тому и другому.

Несомненно, имеется и еще много других, более мелких влияний, говорящих в пользу рационального освещения. Однако уже приведенные нами выше, главные из таких влияний, достаточны, чтобы видеть всю пользу хорошего освещения фабрик, контор, магазинов, квартир и транспорта, — словом, всех тех обстановок, в которых участвует работа человеческого глаза.

Свет является также и заметным экономическим фактором. Большинство лиц, так или иначе соприкасающихся с вопросами света и освещения, несомненно, все еще не представляют себе всей важности различия плохого освещения от хорошего. Им нетрудно было бы убедиться в этом различии по прямым результатам того и другого. Они сразу бы могли заметить, что слепящие источники света в поле зрения или недостаточное освещение влекут за собой увеличение числа несчастных случаев. Что же касается психологических и физиологических влияний различных осветительных установок, то выяснить их, правда, уже не так легко, поскольку они не проявляются столь непосредственно. Глаз может многое претерпевать без прямых проявлений своего страдания, однако все эти неблагоприятствующие ему условия в конце концов на нем сказываются. Без известного риска мы не можем ставить наши органы чувств и наш организм вообще в условия, радикально отличные от тех, к которым они приучены многовековой

предшествующей жизнью. Это есть одна из предпосылок настоящей книги. В ближайших главах мы рассмотрим условия естественного освещения, создаваемые природой, и то, в какой мере при пользовании искусственным светом мы можем воспроизводить и усовершенствовать эти условия.

ГЛАВА II.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ.

Естественное освещение снаружи интересует современного цивилизованного человека, очевидно, постольку, поскольку оно влияет на естественное освещение внутренности помещений. В связи с человеческой деятельностью — ее продуктивностью, безопасностью и приятностью — условия естественного наружного освещения имеют, однако, фундаментальное значение. Как уже подчеркивалось нами выше, именно эти условия и были той средой, к какой приспосабливались наш организм, органы чувств и техника в течение многих веков эволюции.

Главным фактором, влияющим на распределение света и яркости в наружном освещении, являются Солнце, небо, атмосфера, облака, цвета и отражательные свойства различных освещаемых поверхностей. Как взятые порознь, так и в своих комбинациях, все эти факторы оказывают весьма существенное влияние.

СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ.

Несмотря на удаленность Солнца, создаваемая им интенсивность освещения на земной поверхности чрезвычайно велика. И то обстоятельство, что, для большинства людей громаднейшая разница дневной освещенности от обычной освещенности искусственным светом все же резко не ощущается, служит доказательством чрезвычайной адаптируемости нашего органа зрения. Освещенность, создаваемая прямыми солнечными лучами в ясный день, когда Солнце стоит в зените, для средних широт равняется приблизительно 100 000 люксов. Люкс есть освещенность, создаваемая одной нормальной свечой, стоящей на расстоянии 1 м перед освещаемой поверхностью. Чтобы воспроизвести освещенность, создаваемую Солнцем, мы должны были бы, следовательно, поставить на расстоянии метра перед освещаемой точкой поверхности 100 000 таких свечей.

1000-ваттная газонаполненная лампа с расстояния в 30 см создает всего одну десятую такой интенсивности освещения. Освещенность, как известно, обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света¹. Поскольку удаленность Солнца от Земли около 149 500 000 км, мы можем подсчитать, что сила света Солнца равняется приблизительно 2,5 биллиона биллионов биллионов свечей. Сколь ничтожны сравнительно с этим человеческие возможности в области создания искусственных источников света!

Сила света светового источника по тому или иному направлению обуславливается его яркостью и размером. Солнце не только значительно ярче всех световых источников, созданных людьми. Правда, посредством «варывообразного» перекала провода электрическим током мы в состоянии получать температуры, равные с температурой Солнца, и даже больше, чем эта последняя. Однако среди имеющихся ныне источников искусственного света нет ни одного, приближающегося по своей яркости к яркости Солнца, хотя светотехника в общем к этому и стремится. Учитывая то, что спектральный состав света зависит в значительной мере от температуры накаливаемого тела, человек стал прибегать к разным искусственным способам воспроизведения света Солнца и света неба. Об этих попытках создать искусственный дневной свет у нас еще будет речь ниже.

Естественная освещенность, создаваемая Солнцем на том или другом месте земной поверхности, зависит от положения Солнца над горизонтом. Если освещенная поверхность ориентирована перпендикулярно к световому потоку, идущему от светового источника, она имеет для нас определенную яркость. Если мы как-либо повернем ее и световые лучи будут падать на нее уже под большим углом, яркость ее уменьшится. Иными словами, интенсивность освещения зависит от плотности светового потока, приходящегося на единицу освещенной поверхности. Горизонтальные поверхности не получают никакого освещения от Солнца в момент его восхода; в полдень их освещенность Солнцем достигает своего максимума (конечно, в случае, если все прочие условия остаются теми же самыми).

Колебания силы солнечного света и солнечной радиации вообще были предметом многих исследований. Оказалось,

¹ В случае, если размер этого источника мал по сравнению с расстоянием.

что подобные колебания в общем очень малы и с практической точки зрения светотехника значения не имеют, хотя и представляют бесспорный научный интерес.

С точки зрения освещения нас интересуют главным образом качество и большая интенсивность солнечного света, а также вариации в создаваемой им освещенности, обусловленные географической широтой местности, состоянием атмосферы, высотой Солнца над горизонтом и вызванными им отдельными тенями. На рис. 2 показаны изменения освещен-

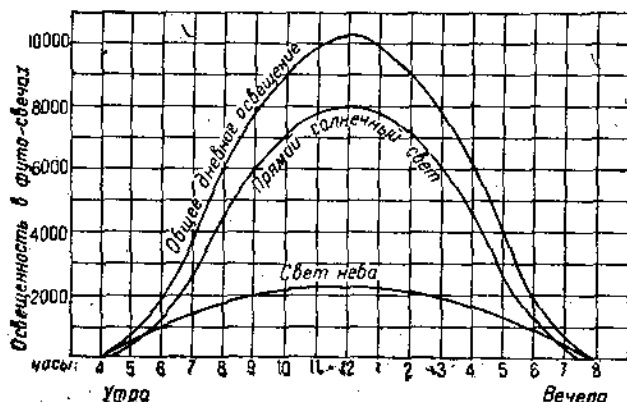


Рис. 2. Колебания естественной освещенности, создаваемой на горизонтальной поверхности в течение ясного летнего дня светом одного неба, прямым солнечным светом и тем и другим вместе.

ности горизонтальных (и близких к горизонтальным) поверхностей в течение ясного дня в середине лета для местностей, лежащих в средних географических широтах¹. По сравнению с максимумом общего дневного освещения интенсивность обычного искусственного освещения была бы на рисунке изображена ординатой меньшей, чем толщина самой линии абсциссы. Освещенность на рассвете и в сумерки дается лишь той освещенностью от неба, которая имеется еще до восхода Солнца и после его заката. В ясный зимний день кривая дневной освещенности в общем имеет ту же форму, и лишь величина освещенности здесь, конечно, меньше благодаря более низкому положению Солнца над горизонтом.

¹ Показанные на рис. 2 освещенности даны в футах-свечах; для пересчета их на люксы следует помнить, что 1 фута-свеча равна 10,7 люкса.

Систематические измерения естественной освещенности в течение ряда лет производятся проф. Калитиным в Институте актинометрии и атмосферной оптики в г. Слуцке (под Ленинградом). По его данным максимальная дневная освещенность, создаваемая рассеянным светом неба, лежит для Ленинградской области около 23 000 люксов.

Продолжительность прямого солнечного освещения горизонтальной поверхности в течение дня естественным образом варьирует в зависимости от времени года и географической широты данной местности. На рис. 3 показаны эти продолжительности для середины лета и середины зимы для различных широт северного полушария. Прямое солнечное освещение поверхности, перпендикулярной к световому лучу, в ясный день для средних географических широт при наиболее высоком положении Солнца колеблется в общем от 75 000 люксов зимой до 100 000 и более люксов летом. На

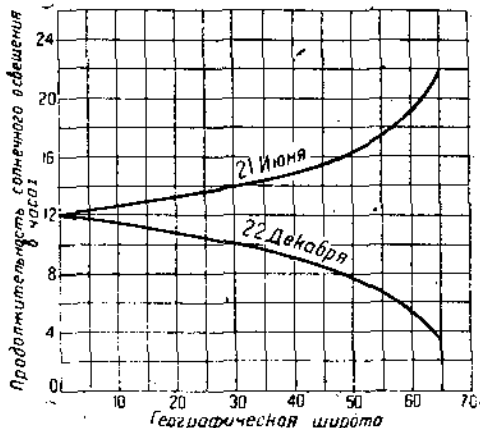


Рис. 3. Наибольшая продолжительность прямого солнечного освещения летом и зимой в местностях различных северных широт.

горизонтальных поверхностях, в силу более косого падения световых лучей, освещенности бывают несколько меньше тех, которые названы выше. В ясные дни в течение всего года (за исключением лишь часов перед восходом Солнца и после его заката) освещенность на поверхностях, составляющих угол не больший, чем 30° с горизонталью, общая естественная освещенность обычно не спускается ниже 11 000 люксов, в часы же, близкие к полудню, она бывает близка к 100 000 люксов. Из этой общей дневной освещенности на долю освещенности, создаваемой прямым солнечным светом, приходится около 80%. Даже поверхности, стоящие почти вертикально и обращенные к северу (т. е. освещаемые лишь светом неба, но не прямыми солнечными лучами), освещаются им в течение всего года не слабее, чем несколькими тысячами люксов.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ.

С точки зрения использования света и излучения вообще влияние атмосферы очень важно. Мы живем на дне атмосферного «океана» и приспособлены к нему так же, как рыба привыкла и приспособилась к свойствам и влияниям воды в океане, коей она живет.

Хотя мы, вообще говоря, и могли бы сами получать кислород из других источников и снабжать им и растения, все же

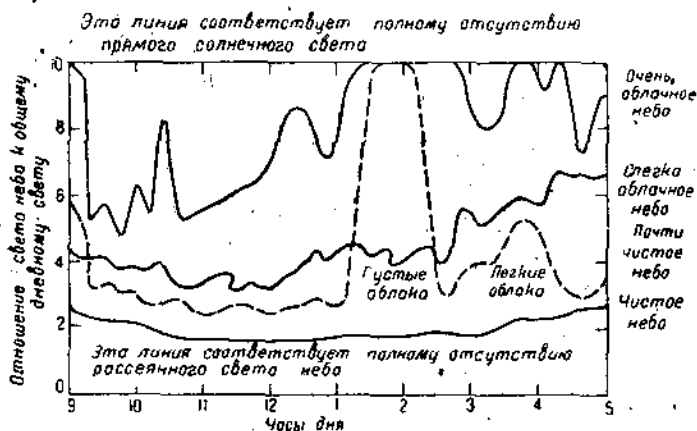


Рис. 4. Колебания отношения освещенности, создаваемой на горизонтальной поверхности светом неба, к общей освещенности дневным светом в течение четырех дней, различиях по степени облачности.

вся жизнь на Земле очень быстро бы исчезла, если бы исчезла атмосфера. С точки зрения освещения атмосфера представляет для нас большой интерес, поскольку она поглощает часть солнечной радиации, рассеивает свет и обуславливает значительные колебания в интенсивности дневного освещения (рис. 4).

В общем всякое тело, как твердое, так и жидкое, не бывает вполне прозрачно для лучистой энергии любой длины волны. Обыкновенное стекло вполне прозрачно для видимой радиации или света, но не пропускает через себя ультрафиолетовых лучей и «средней» области ультрафиолетовой радиации (лучи с длиной волны короче 300 μ). Подобным же образом и атмосферные газы пропускают видимую радиацию, но поглощают часть невидимых лучей (ультрафиолетовых и инфра-

красных). Водяные пары, углекислота и озон поглощают инфракрасные лучи; инфракрасные лучи поглощаются водяными парами главным образом в ближайшем к земной поверхности слое атмосферы. В связи с освещением и зрением поглощение атмосферою инфракрасных лучей достаточно безразлично. Впрочем, поскольку инфракрасные лучи поглощаются и глазными средами, слишком большая концентрация их в освещении может быть вредна. Каких-либо экспериментальных доказательств того, что и в условиях обычного естественного или искусственного освещения инфракрасные лучи вредны, не имеется.

Поглощение в атмосфере уменьшает количество лучистой энергии, попадающей в глаз при дневном освещении. Поскольку современные искусственные источники света излучают относительно гораздо больше инфракрасных лучей, чем Солнце (или небо), то при одной и той же освещенности от искусственного освещения тело будет больше нагреваться, чем от освещения естественного. В этом обстоятельстве лежит одна из трудностей удачной имитации естественного света посредством современных источников искусственного света. Поэтому всюду там, где нам приходится заменять естественный свет очень сильным искусственным освещением, как то: в экспериментировании над растениями, в лечебном деле, при изучении цветения красок и т. п., необходимо бывает пользоваться кюветками с водой как фильтром для отсеивания тепловых, инфракрасных лучей. В обычных же условиях искусственного освещения мы с подобной проблемой не сталкиваемся, поскольку искусственный свет здесь не столь силен. Создание «холодного» света есть, однако, одна из очередных задач ученого в области светотехники.

Поглощение атмосферою ультрафиолетовых лучей имеет большое значение. Тело, столь раскаленное, каким является Солнце, весьма богато ультрафиолетовыми лучами различной длины волны. Тем не менее в течение долгого времени оставалось невыясненным, почему в солнечной радиации, доходящей до земной поверхности, мы не находим ультрафиолетовых лучей с длиной волны, более короткой, чем 290 мμ. Человеческий организм не мог поэтому и быть к ним приспособленным. Неудивительно, что подобные ультрафиолетовые лучи с короткими длинами волн действуют раздражающим и даже разрушающим образом на пигментные клетки, на среды глаз и т. д. Такие источники искусственного света, как угольная дуга, магнетитовые лампы и квар-

цевые ртутные лампы, излучают ультрафиолетовый свет более короткой длины волны, чем содержащийся в дневном свете. В силу этого они вредны для зрения. Стоит, однако, окружить их обыкновенным стеклом — и вредно действующая ультрафиолетовая радиация окажется устраненной в силу своего поглощения в этом стекле. Впрочем, долго и пристально смотреть на упомянутые источники света не рекомендуется даже и через стекло. Тайна отсутствия в солнечной радиации на земной поверхности коротковолновых ультрафиолетовых лучей в настоящее время разъясняется указанием на то, что эти лучи поглощаются озоном в верхних слоях атмосферы.

Коротковолновая ультрафиолетовая радиация, непривычная для глаза, а потому для него и вредная, оказывает, однако, и некоторые полезные действия. Именно ради них человек порою искусственно и вызывает этот вид излучения в лечебном деле, в химии, при очищении продуктов от имеющихся в них зародышей бактерий. К счастью, бактерицидным (убивающим микробы) влиянием обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны, начиная от 310 μm ; таким образом известное количество их имеется и в доходящей до земной поверхности солнечной радиации. Благодаря же общей большой интенсивности дневного света этих лучей оказывается достаточно, чтобы убивать многие болезнетворные бактерии. Благодаря поверхностным изменениям, которые происходят в пигментных клетках, эти же ультрафиолетовые лучи вызывают загар кожи.

Итак, мы видели, что атмосфера укорачивает спектр солнечной радиации как со стороны ультрафиолетовых лучей, так и со стороны ее инфракрасных лучей. Без заметного поглощения остается лишь видимая радиация.

Немудрено поэтому, что наш глаз как раз и приспособлен видеть именно эту, не поглощаемую атмосферой область радиации.

Из числа прочих влияний, оказываемых атмосферой, очень большой интерес для нас здесь представляет рассеяние ею света. Подобным светорассеянием ведь и вызывается цвет неба.

Облака обуславливают громадные колебания в интенсивности дневного освещения в отдельные моменты. Эти колебания силы дневного света являются наиболее неприятными свойствами его с точки зрения использования естественного освещения внутри помещений. На рис. 4 показаны почасовые

изменения в горизонтальной освещенности прямым солнечным светом, вызываемые облачностью, для четырех взятых для примера типичных дней.

Благодаря большой интенсивности дневного света эти колебания его все же не столь заметны, как они были бы в случае обычных интенсивностей, имеющихсЯ у нас при искусственном освещении.

С В Е Т Н Е Б А .

Всякая среда в известной мере рассеивает свет, — даже и самые прозрачные твердые тела, жидкости или газы. Самая чистая вода при достаточно большой толщине слоя кажется голубовато-зеленой и имеет некоторую яркость, обусловленную лишь рассеянным светом. То же самое следует сказать и об атмосфере, хотя яркость неба в ясный день создается главным образом освещенными частицами пыли, дыма и воды, находящимися в воздухе. По измерениям, произведенным автором этой книги с высоты в 4000—6000 м, оказалось, что яркость неба в ясное утро на уровне моря раз в десять меньше, чем яркость неба, видимая с обычного уровня земной поверхности. Рассеяние света в низких слоях атмосферы происходит главным образом благодаря наличию твердых или жидких «инородных» частиц. Светорассеяние же в верхних слоях обязано своим происхождением молекулам имеющихся там газов.

По мере того как поднимаешься на горы все выше и выше, небо становится все темнее и темнее. Для всякого, кто это наблюдал, становится совершенно очевидным, что небо ярко лишь благодаря тому, что солнечный свет рассеивается атмосферой. Если бы в воздухе не было частиц воды, пыли, дыма и льда, небо казалось бы нам темносиним. Если бы атмосферы вокруг Земли вовсе не имелось и ее поверхность граничила бы непосредственно с пустотой, мы созерцали бы ослепительно яркое Солнце, сияющее на темном, «ночном» небе, испещренном звездами. Поскольку мы приспособлены видеть яркое небо, отсутствие его было бы одним из весьма тягостных световых эффектов, судить о чем мы отчасти можем по впечатлению, получаемому при смотрении на небо с больших высот (конечно, в случае отсутствия облачности), а отчасти также по уличному освещению, когда фонари стоят вдали от домов и деревьев и бывают окружены тьмою. Точно так же, если мы оклеим потолок и стены нашей комнаты черным бархатом, то в этом случае мы тоже получим впечатление, невыносимое для нас, привыкших к тому, чтобы небо было ярко.

Голубой цвет неба объясняется тем, что мельчайшие частицы и молекулы рассеивают лучи с короткой длиной волны (в частности лучи синие) больше, чем свет более длинных волн. Прямой свет от Солнца, проходя через весь слой атмосферы, утрачивает лучи фиолетовые, синие и зеленые в относительно большей мере, чем лучи желтые, оранжевые и красные, и приобретает благодаря этому более красноватую окраску по сравнению с той, которую он имеет в верхних слоях атмосферы. По мере того как высота Солнца над горизонтом уменьшается, его лучам приходится пронизывать все более и более толстый слой атмосферы. Этим обстоятельством объясняется оранжевато-красный цвет заходящего Солнца. Различия в цвете заходящего Солнца обусловлены различным количеством всякого рода частиц дыма, воды, пыли и льда, имеющимся в воздухе, и общей толщиной атмосферного слоя (см. рис. 18 и 19).

Интересное доказательство избирательного рассеяния света мелкими частицами может быть просто дано посредством зажженной сигары. Струящийся с конца ее дым имеет определенно синеватый оттенок. Дым же, выпускаемый курящим из рта, бывает значительно белее. В последнем случае частички дыма бывают более крупными в силу оседания на них влаги. Частички же более крупного размера уже не обнаруживают того предпочтительного рассеяния лучей с короткими длинами волн, которое имеется у частиц совсем мелких. Тень, отбрасываемая клубами дыма на белой бумаге, кажется красноватой, доказывая тем, что дым обладает избирательным поглощением. К этому сводится и главное объяснение красноватого оттенка заходящего Солнца.

Нас интересуют особенно цвет или качество дневного света, зависящие, как мы видели выше, от сочетания прямого света, света неба, облаков и пр. Вопрос о качестве света рассматривается нами ниже, в гл. V и VI.

Со светотехнической точки зрения особого внимания заслуживают те световые эффекты, которые обуславливаются большой светящейся поверхностью неба. Благодаря ей не только смягчается жестокая яркость самого Солнца, но и создаваемого им освещения. Небо освещает тени, создаваемые прямым солнечным светом, делает их более яркими и тем смягчает их резкость. В обычный ясный день яркость тени, освещаемой всем небесным сводом, равняется приблизительно 0,2 той яркости, которую имеет поверхность, залитая прямым солнечным светом. По мере того как небо «сгущается» и ста-

новится все более «серым» и облачным, относительная яркость тени возрастает, пока, наконец, тень вовсе не перестает быть заметной. Приблизительное процентное соотношение прямого солнечного света и рассеянного света неба, имеющееся при различных состояниях атмосферы, приведено ниже в табл. II.

ТАБЛИЦА II.

Процентное участие прямого солнечного света неба в общем освещении, падающем на горизонтальную поверхность в полдень при различных состояниях неба.

	Свет неба	Прямой солнечный свет
Вне атмосферы	0	100
Очень ясный день	10	90
Ясный день	20	80
Слегка пасмурный день	30	70
Пасмурный день	50	50
Очень пасмурный день	100	0

Отношение освещенности, создаваемой светом неба на горизонтальной поверхности на Земле, к общей дневной освещенности для четырех типичных летних дней показано выше на рис. 4. Как можно видеть, освещенность, обусловленная светом неба, менее изменчива, чем освещенность прямым солнечным светом. Хотя первая тоже подвержена некоторым колебаниям, все же приведенные на нашем рисунке кривые очень хорошо иллюстрируют чрезвычайное непостоянство прямого солнечного света, объясняемое набегающими облаками и затуманиванием неба.

С увеличением облачности и затуманенности свет неба составляет все больший процент общего дневного света, и при полном закрывании Солнца облаками вся освещенность создается, очевидно, только светом неба. По мере того как небо становится относительно ярче, общее количество света, падающего на земную поверхность, уменьшается; поэтому наибольшая освещенность вне помещения бывает в ясные дни. Внутри же помещений дело обстоит иначе, поскольку здесь источником света является главным образом небо, а не прямые лучи Солнца. Естественная освещенность в помещениях, не пользующихся прямым солнечным светом, будет наибольшей тогда, когда небо наиболее ярко. Уме-

ренно пасмурное небо наиболее ярко. Оно и является самым благоприятным с точки зрения дневного освещения закрытых помещений. Яркость небесного свода представляет интерес с двух сторон: во-первых, от нее зависит освещенность, во-вторых, она дает нам представление о тех яркостях, которые являются привычными для человеческого глаза.

Измерение силы света, идущего от неба через экран с отверстием в 1 см^2 , позволяет нам вычислить яркость небесного свода в св./см^2 или в стильбах. Яркость неба есть величина очень непостоянная; обычно, однако, она не превышает $\frac{2}{3}$ свечи с квадратного сантиметра. Приблизительные величины средней яркости неба при различных условиях погоды приведены ниже в табл. III.

ТАБЛИЦА III.

Средняя яркость неба при различных условиях.

	В стильбах
Вне атмосферы	0,0
Очень ясный день	0,08
Обычное голубое небо	0,16
Легкая затуманенность	0,32
Средняя степень пасмурности	0,47
Густая туманность неба или тонкий слой облаков	0,61
Средняя облачность	0,16
Густая облачность	0,08
Предельно густая облачность	0,0
Наибольшая яркость облаков, освещенных Солнцем	3,2

Залитые солнечным светом облака бывают обычно в 5—10 раз ярче окружающего их фона. По измерениям автора густые облака отражают около 78% падающего на них света.

Яркость облаков и неба в условиях естественного освещения открытых пространств переносится нашим глазом без каких-либо неприятных ощущений. Поэтому можно думать, что эти яркости приблизительно и суть те максимальные яркости, которые допустимы и при искусственном освещении. Но, конечно, внутри помещений они все же могут еще чрезмерно раздражать глаз, так как условия здесь (общий уровень освещенности, контрастность с окружающими и пр.) в общем весьма отличны от того, что мы имеем снаружи.

Сумерки (освещение перед восходом Солнца и после его заката) объясняются лишь рассеянным светом неба. Не существуя этого последнего, день наступал бы почти сразу, равно как и ночь приходила бы почти мгновенно. Свет неба играет, таким образом, решающую роль в деле приучения нашего глаза к постепенности перехода от ночи к дню, и обратно, от дня к ночи. Из этой приученности нашего глаза к постепенным переходам от тьмы к свету, и обратно, мы должны извлекать важные уроки и при оценке условий освещения искусственного.

Естественная освещенность, имеющаяся обычно перед восходом Солнца и в ближайшее время после его заката, не превышает 1000 люксов. И все же эта освещенность значительно превосходит интенсивности искусственного освещения, применяемого нами в это время внутри помещения. Когда сумерки создают освещение порядка десятка люксов, нам кажется уже, что для работы зрения стало слишком темно. Мы зажигаем искусственный свет и в течение первого времени испытываем от него некоторое неприятное чувство чего-то несовершенного. Это впечатление остается у нас, пока естественный свет вовсе не померкнет и пока мы не адаптируемся вполне к уровню освещения искусственного. Обычно сумеречный свет становится уже недостаточным и для работы вне помещения тогда, когда Солнце находится ниже чем на 6° над горизонтом. Для средних географических широт это случается примерно спустя полчаса после заката Солнца и за полчаса до его восхода.

Дым, находящийся в воздухе, оказывает очень заметное влияние на дневную освещенность. Благодаря ему в некоторых современных городах сила света от Солнца и неба ослабляется на целых 50%. Если загрязненность воздуха дымом не чрезмерна, то она делает небо даже более светлым, чем оно бывает при совсем чистом воздухе. Но, конечно, и в этом случае общее количество света, попадающего на земную поверхность, уменьшается.

Больше всего рассеянного света бывает на небе вокруг Солнца. Поэтому яркость неба здесь наибольшая, и небо как источник света оказывается особенно переменчивым именно в тех местах, которые лежат на пути кажущегося движения Солнца по небу. Это хорошо иллюстрируется рис. 5, на котором показаны колебания яркости части неба, лежащей приблизительно на 20° над горизонтом в течение ясного августовского дня для четырех сторон горизонта — севера, востока, юга

и запада. Измерения производились в местности средней северной широты (40°) между 9 часами утра и 5 часами дня. Как видим, восточная часть неба светлее утром, чем после обеда, когда Солнце перемещается к западу. Наоборот, западная сторона неба ярче всего во вторую половину дня.

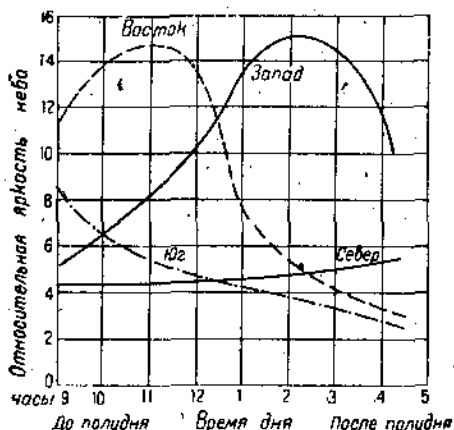


Рис. 5. Изменение яркости участков неба, лежащих на 20° над горизонтом в северной, восточной, южной и западной сторонах небосвода в течение дня.

Вместе с тем мы видим, что яркость восточной и западной сторон неба подвержена наибольшим колебаниям. Северное и южное небо в этом отношении более постоянно (если не считать, конечно, возможных облаков); особенно это верно относительно северной стороны неба.

Вспомним, что колористы, художники, фотографы и вообще все те, кто заинтересован в наибольшем постоянстве дневного освещения, действительно предпочитают устраивать окна на север. При разработке

вопросов искусственного освещения мы должны иметь в виду, что свет северного неба в течение многих веков предпочитался человеком больше именно в силу своего постоянства, чем в силу характера своей цветности. Спектральный состав света северной стороны неба для нашего полушария также подвержен наименьшим колебаниям. О цветности источников света см. ниже, в гл. V.

СВЕТ ЛУНЫ И ЗВЕЗД.

Не существуя лунного света и света звезд, человеческий глаз, вероятно, не имел бы специальных рецепторов, чувствительных именно к очень слабому свету. Природа не способствует развитию бесполезных органов, и наверное такие специальные органы восприятия слабого света, как «палочки» нашей сетчатки, у нас исчезли бы. Возможно, что эти органы унаследованы человеком от его более древних предков, коим они и были нужны. Доисторическая жизнь протекала

в море; среди глубин последнего и было полезно обладать органом, чувствительным именно к весьма слабым световым раздражениям.

Как бы то ни было, лунный свет и свет от звезд есть условия окружающей нас природы, при наличии которых мы можем уже видеть. Интенсивность лунного освещения бывает порядка десятых долей люкса, т. е. составляет всего миллионные доли максимального дневного освещения. Свет же, идущий от звезд, соответствует порядку величины всего биллионной доли максимального дневного света. Естественно, что наша способность зрительно ориентироваться в окружающем при подобных естественных ночных источниках света значительно более ограничена сравнительно с условиями, имеющимися днем. Но все же тот факт, что мы вообще можем еще видеть при освещенностях, равных всего миллионной или биллионной доле дневной освещенности, говорит об изумительной чувствительности человеческого органа зрения.

Лунный свет есть хороший пример прямого естественного освещения без какого-либо заметного общего освещения от неба. Он подобен в этом отношении солнечному свету без света неба, так как яркость неба при полной Луне относительно настолько мала, что не может заметным образом освещать то, что затемнено. То же обстоятельство, что мы все-таки видим и предметы, находящиеся в тени, объясняется попаданием на них лунного света, отражаемого соседними предметами. В результате лунное освещение и производит на нас часто несколько «резкое» впечатление.

Цветность лунного света физически та же, что и цветность полуденного Солнца, хотя высказываются и противоположные этому утверждения. На сцене, например, лунный свет воспроизводится обычно явным голубовато-зеленым цветом. В действительности же он по своему спектральному составу бел, поскольку бел сам солнечный свет, Луной отражаемый. Голубовато-зеленый же оттенок лунного света обусловливается некоторыми физиологическими особенностями нашего глаза, благодаря которым мы слабый белый свет видим как голубоватый, а очень яркий белый свет как желтоватый.

О Б Ы Ч Н Ы Й Е С Т Е С Т В Е Н Н Ы Й Л А Н Д Ш А Ф Т.

Распределение яркостей и цветов в естественном ландшафте важно светотехнику знать потому, что человек в ходе эволюции адаптировался именно к этим условиям, и всякое резкое изменение их едва ли будет благоприятно для него.

Источник естественного света — Солнце — настолько ярок, что смотреть на него прямо без серьезного вреда для глаз мы не можем. Свет неба уже не производит подобного слепящего действия; мы в состоянии смотреть на небо обычно без каких-либо неприятных ощущений. Однако в помещениях, где наш глаз приспособлен в общем к яркостям гораздо меньшим, уже и яркости небесного свода могут производить на нас неприятное впечатление в силу своей чрезмерности. Тем не менее всему этому уделяется еще мало внимания при искусственном освещении помещений, и мы бываем очень часто повинны в употреблении в помещениях чрезвычайно ярких, ничем не прикрытых источников света, вызывающих чрезмерную контрастность в поле зрения и не создающих вместе с тем достаточной освещенности. Подобные осветительные условия противоположны природным, к которым, как сказано, адаптированы наши психофизиологические процессы.

Очень знаменателен тот факт, что мы всегда стремимся создать себе такую обстановку, в коей яркости увеличиваются по направлению снизу вверх. В этом мы подражаем природе. Кто-нибудь может нам сказать, что подобное распределение яркости вполне логично, ибо при нем вся ситуация кажется наиболее устойчивой. Темный пол поддерживает более светлые стены, и эти последние поддерживают еще более светлый потолок. Но, спросим мы, почему именно такое соотношение яркостей кажется наиболее устойчивым? Почему темное кажется нам поддерживающим находящееся над ним более светлое?

Несомненно, что ответ надо искать лишь в условиях естественной, природной обстановки, сделавшей нас тем, чем мы являемся не только в физическом, но и в физиологическом и в психологическом отношениях.

Коэффициенты отражения различных видов земной поверхности в общем весьма малы. Поэтому естественный пейзаж и выглядит так, что передний и средний его планы имеют яркость, значительно меньшую, чем яркость неба. Ниже, в табл. IV, показаны средние величины коэффициентов суммарного отражения света различными видами земной поверхности, найденные проф. В. С. Кулебакиным.

Освещенная Солнцем снежная поверхность может служить примером неприятного для глаз распределения яркостей в поле зрения. Большие яркие поля ниже линии горизонта являются картиной, мало для нас обычной. На больших

населенных людьми пространствах земли снежный пейзаж ведь и вовсе отсутствует.

Яркость снега бывает приблизительно та же, что и яркость освещенных Солнцем облаков, т. е. она в 5—10 раз превосходит яркость чистого неба. Снег отражает также и ультрафиолетовые лучи. Поэтому, хотя до земной поверхности и достигает лишь ограниченный участок ультрафиолетовой радиации, все же в силу подобной большой отражающей способ-

ТАБЛИЦА IV.

Коэффициент суммарного отражения света земными покровами.

	В процентах
Песок желтый сухой	31
» » мокрый	18
Суглинок сухой	15
» мокрый	7
Сено	22
Трава зеленая сухая	14
» » свежая	9
Чернозем (пахотная земля)	7
Бетонный пол	17
Асфальтовый тротуар сухой	10
» » мокрый	7
Будыжник мостовой сухой	14
» » мокрый	9
Солома свежая	29
Снег свежий	78

ности снега она здесь оказывается достаточной для того, чтобы вредно влиять на глаза. От длительного смотрения на освещенную солнечным светом снежную поверхность развивается так называемая «снежная слепота». Из физики известно, что поверхность, отражающая все падающие на нее лучи, идущие из точек какой-либо полусферы, над ней находящейся, будет иметь ту же яркость, что эта полусфера. Так, например, в случае неба, равномерно затуманенного, поверхность, вполне отражающая свет, будучи положена горизонтально на земную поверхность, покажется нам столь же яркой, как небо.

Если при ясном небе прямая солнечная освещенность раза в четыре превышает освещенность, создаваемую светом

неба, то белая поверхность на Земле будет иметь яркость, раз в пять большую по сравнению с яркостью неба. Подобное как раз и имеется в случае снежной поверхности, освещенной Солнцем. По сравнению, однако, с ярким, но затуманенным небом снег оказывается уже более темным, поскольку имеет коэффициент отражения около 80%. Яркость любого предмета, освещаемого небом, приближается к яркости этого последнего постольку, поскольку коэффициент отражения его приближается к 100%. Лучшее зеркало может давать поэтому лишь около 95% яркости неба; самый белый порошок — около 98% и т. д.

Интерес представляют, далее, те психофизиологические влияния, которые оказывает на нас определенный порядок расположения цветов в природном ландшафте. Это должно нами учитываться не только при убранстве нашего собственного жилища, но и при оборудовании всякого рода рабочих помещений, контор и фабрик. Нельзя, конечно, думать, что цветам присущи какие-то изначально свойственные им специфические влияния. Естественнее думать, что различие наших реакций по отношению к ним есть результат определенной адаптации к ним как к естественным факторам окружающей нас среды. Почему, например, зеленый цвет производит впечатление чего-то нейтрального и успокаивающего? Вероятно, потому, что человечество в течение многовековой эволюции было постоянно окружено зеленой растительностью. Впечатление нейтральности есть самое естественное следствие подобной привычности: зеленый цвет и является в силу всего этого наилучшим для окраски помещений, в коих протекает наша повседневная работа.

Желтовато-оранжевые оттенки твердо ассоциированы у нас с представлением об огне. Эта ассоциация закреплялась в течение бесчисленных веков жизни человека на земной поверхности. Неудивительно поэтому, что желто-оранжево-красные цвета кажутся нам «теплыми» и возбуждающими.

Всеми этими рассуждениями и догадками мы касаемся очень сложной и вместе с тем очень интересной темы. Мы должны учитывать влияние на нас всей окружающей обстановки, поэтому те или иные цвета должны с разбором выбирать и в качестве обстановки своего рабочего помещения. Природа очень красочна, и для наших рабочих помещений нельзя оправдать однотонности. Выбирая же ту или иную окраску, не следует забывать того, что нам подсказывает природа цветами своих естественных ландшафтов. В иных

случаях мы можем, правда, в целях наибольшего использования психофизиологического влияния цветов идти даже дальше того, что есть в естественных природных условиях. Значительные эффекты, обусловленные цветами и их расположением, мы можем порождать путем создания условий, явно отличающихся от привычных для человека естественных, даваемых самой природой. Так, мы можем, например, окружать человека большими поверхностями очень насыщенных цветов, чего в природе не встречается, или создавать неестественные соотношения яркостей и т. д. Однако подобное направление использования цветов как раз противоположно тому, о чем мы должны заботиться при разрешении наших обычных светотехнических проблем.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОСВЕЩЕНИЯ.

Поскольку мы являемся наилучше приспособленными к естественным условиям окружающего, рассмотрение свойств естественного освещения открытых пространств позволяет нам сделать ряд выводов, полезных для разрешения светотехнических вопросов вообще. Поэтому пусть нам будет позволено здесь сформулировать то, что вытекает из рассмотрения условий естественного освещения в качестве руководящих принципов. Естественное освещение имеет свои характерные черты. Отметим следующие:

а) Прежде всего естественное освещение характеризуется весьма большой интенсивностью, в среднем порядка десятка тысяч люксов. Такие интенсивности буквально в тысячу раз превосходят те освещенности, коими пользуется человек при искусственном свете.

б) Впечатление резкости прямого солнечного света смягчается благодаря наличию рядом большой светящейся поверхности неба. В ясные дни свет неба, как мы уже видели, составляет около 20% всего света. Свет неба не только смягчает резкость теней, но и создает условия, позволяющие нам удовлетворительно видеть то, что находится в тени. Чем ниже уровень общего освещения, тем больший процент света должен падать на затененные предметы, чтобы мы могли их достаточно хорошо различать. Вне помещений днем естественного света обычно бывает достаточно всюду; благодаря этому всякая неуверенность, вызванная неясным видением, здесь отсутствует. Работа и передвижение становятся более быстрыми и вместе с тем более гарантированными от всякого рода несчастных случаев.

с) Свет, идущий лишь от большой светящейся поверхности, каковой является затуманенное небо, менее нас удовлетворяет, чем комбинация прямого света от Солнца с рассеянным светом от неба. Наличие некоторых теней, вообще говоря, помогает нашей зрительной ориентировке в окружающем: в пасмурные же дни тени не вырисовываются достаточно определенно. Освещение, не создающее теней, кажется нам, достаточно неопределенным, неинтересным, производящим порою даже угнетающее впечатление.

д) Яркость освещенных предметов при сером небе по сравнению с яркостью самого неба невелика, благодаря чему мы можем лучше сосредоточить на них свое внимание и вообще наилучше их видеть. Эта характерная черта естественного освещения обычно маскируется тем, что общий уровень дневной освещенности очень высок. При низких уровнях, даваемых отраженным искусственным светом, это обстоятельство становится уже заметным.

е) При естественной освещенности наружного пространства предмет отбрасывает лишь одну тень. Это есть существенное обстоятельство для хорошей видимости предметов. Между тем в условиях искусственного освещения с этим очень часто не считаются. Нет необходимости, чтобы был обязательно только один источник света — окно или искусственный светильник, — для хорошего видения надо лишь, чтобы один из источников света был явным образом господствующим.

ф) Господствующий источник света находится сверху, глаза же наши направлены и защищены так, что прямо его не видят. Иными словами, Солнце и большая часть неба обычно лежат вне поля зрения глаза, смотрящего прямо перед собой.

г) Солнце настолько ослепительно ярко, что никто из людей не может прямо смотреть на него. Яркость же неба, напротив, такова, что в условиях наружного освещения мы смотрим на него без какого-либо неудобства для глаз. Следующей после Солнца наибольшей яркостью обладают освещенные Солнцем облака (и белые предметы); их яркость не превосходит, однако, 3,2 свечи с квадратного сантиметра. При освещении внутренности помещения следует по возможности ослаблять максимальную яркость источников света и во всяком случае допускать яркость не большую, чем та, к которой наш глаз адаптирован в условиях естественного освещения.

h) Обычно при естественном освещении мы не имеем в поле зрения резких контрастов, которые были бы явно не-

приятны для глаз. Имеющие же место крайне резкие контрасты (солнечный диск на небе, зеркальное отражение Солнца от воды и т. п.) нашим взором всячески избегаются.

й) Естественное распределение яркостей в природном ландшафте таково, что предметы, стоящие на переднем плане и вообще занимающие большую часть поля зрения, обычно бывают гораздо менее ярки, чем верхние части поля зрения (небо и облака). Подобное естественное распределение яркостей хорошо сохранять и в освещении внутренности помещений.

ж) Спектральный состав полуденного солнечного света примерно соответствует белому. Белое освещение, как нетрудно понять, является наилучшим для различия цветовых оттенков. Оно позволяет наилучше выявиться каждому цвету, поскольку специально не благоприятствует какому-нибудь одному из них.

з) Северное небо для мест, лежащих в северных широтах, наиболее постоянно как по интенсивности своего света, так и по его качеству, т. е. спектральному составу. В силу этого оно стало признанным стандартом для всякого рода работ с цветами, хотя по спектральному составу создаваемого им освещения и не является оптимальным.

Будучи голубым, свет северного неба особенно благоприятствует выявлению цветов, отражающих синие лучи, как то: цветов фиолетовых, синих, голубых и пурпурных. Поэтому северное небо предпочитается главным образом за постоянство интенсивности создаваемого им освещения, а не за свою цветность или спектральный состав. При выборе искусственного света для работ, связанных с тонким различием цветов, следует выбирать свет белый, близкий по своему спектру к свету полуденного Солнца.

л) Дневной свет есть комбинация солнечного света со светом голубого неба. Поскольку доля последнего не превышает обычно 20%, суммарный дневной свет близок к свету полуденного Солнца. К подобному именно цвету человеческий глаз и адаптировался в течение многовековой эволюции. Идеальный искусственный свет должен поэтому по своему качеству или спектральному составу приближаться к среднему дневному свету. Последний, как мы видели, наиболее выгоден и для различения цветовых оттенков.

м) Орган зрения человека адаптирован не только к видимой радиации, имеющейся в дневном свете, но он выработал в себе способность и противостоять вредным влияниям имею-

щейся здесь невидимой радиации. Поэтому всякий источник искусственного света, содержащий в себе лучи длин волн, отсутствующих в дневном свете, должен применяться с осторожностью, пока не будет доказана безвредность этой новой радиации для человека.

п) Если в источнике искусственного света отсутствуют какие-либо виды радиации, имеющиеся в видимом спектре Солнца, то опять-таки признать подобный источник света вполне подходящим для освещения мы вправе лишь после специального психофизиологического испытания.

ГЛАВА III.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ВНУТРЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ.

С ростом цивилизации человеческая деятельность стала протекать и в закрытых помещениях. Поскольку же мощных источников искусственного света еще не существовало, требовалось давать доступ внутрь помещений дневному свету. Источником света в этом случае является по преимуществу небо. Солнце прямым образом не может проникать все время в окна, да, кроме того, иногда оно бывает и заслонено облаками. В силу этого при естественном освещении помещений главным образом приходится рассчитывать не на прямой солнечный свет. Кроме того, прямой солнечный свет, несмотря на свою общую приятность, может нередко вызывать и неприятные для глаза ощущения благодаря порожденным им внутри помещения блеским «бликам».

Обычно солнечной радиации приписывают бактерицидное действие. При прохождении света через обычные стекла эта способность солнечного света убивать зародыши бактерий в значительной мере, однако, утрачивается. В силу архитектурных условий обычные отверстия для попадания дневного света внутрь помещения — окна — устраиваются вертикальными, в стенах, а поэтому распределение света внутри помещения бывает обычно достаточно неравномерным. Освещенность, создаваемая дневным светом внутри помещения, гораздо меньше освещенности, имеющейся вне помещения; поэтому все колебания в силе дневного света бывают здесь гораздо более заметны и более вредны. Естественная освещенность внутри помещения не только меняется вместе с изменениями наруж-

ного естественного освещения, но зависит еще от ориентировки и площади окон, их высоты над полом, от размера и удаленности противостоящих зданий и иных затемняющих свет предметов и от ряда других факторов, многие из которых не зависят от владельца данного помещения.

Наконец, проведение естественного света в помещение вызывает и известные затраты. Дневное освещение здесь уже перестает быть даровым, каким оно является снаружи. При всестороннем рассмотрении вопроса оказывается, что искусственное освещение почти со всех точек зрения может быть выставлено в качестве серьезного соперника освещению естественному.

ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ ПРОНИКНОВЕНИЯ ДНЕВНОГО СВЕТА В ПОМЕЩЕНИЕ.

Если иметь в виду только попадание дневного света внутрь помещения, то подобная задача могла бы быть разрешена очень просто и хорошо посредством всякого отверстия, сделанного в потолке или стенах. Но простое отверстие открывало бы внутренность помещения влияниям погоды, дыма и пыли и, кроме того, уносило бы наружу значительную долю тепла. Тем не менее первоначальные жилища, использовавшие дневное освещение еще задолго до применения стекла, были построены именно таким простым образом. Подобные «открытые небу» строения мы встречаем даже на столь высоком уровне цивилизации, на коем стояла классическая Греция.

Эволюция архитектуры есть предмет в достаточной мере сложный. Несомненно, что вид и конструкция зданий определялись весьма многими факторами, в том числе и наличными строительными материалами. Едва ли не самым влиятельным являлся здесь фактор климатический. В Персии, например, как стране жаркой и залитой солнечным светом, открытые дворники в домах были обычны еще за 450 лет до нашей эры. Храмы были открыты небу, поскольку свет, Солнце, Луна и звезды были нужны для религиозных церемоний. Один из наилучших памятников античной архитектуры — Панаtheon в Риме — освещается большим круглым открытым отверстием в его куполе. Закрывающиеся окна мы встречаем в первые столетия в ассирийских храмах. В греческих и римских храмах свет проникал внутрь помещения часто лишь через дверное отверстие. В солнечных местностях вблизи Средиземного моря отверстия для проникновения дневного света

внутри помещения были относительно меньше по сравнению со странами более северными.

С развитием выработки стекла стало возможным делать оконные отверстия более крупными. С ростом цивилизации стали строиться уже многоэтажные жилища. Естественно, что отверстия для проникновения света внутри помещений необходимо стало делать уже в стенах в виде окон, находящихся в вертикальной плоскости. «Верхний» же свет через отверстия в потолке и крыше, очевидно, стал возможным лишь в верхних этажах.

С точки зрения равномерности создаваемого освещения «верхний свет» предпочтительнее окон. Будучи в поле нашего зрения, окна могут являться источниками слепящей блескости, поскольку прочая внутренность комнаты, в частности ее стены, бывают сравнительно темными. Со всех почти точек зрения естественное освещение помещений посредством оконных отверстий представляется в высшей степени неудовлетворительным по сравнению с тем, что мы имеем при естественном освещении вне помещений, или даже по сравнению с тем, что может быть достигнуто искусственным освещением. И по направлению светового потока и по равномерности его распределения, равно как по его непостоянству, интенсивности и продолжительности действия, естественное освещение внутренних помещений в условиях наших городов весьма далеко от идеала. Благодаря всему этому окна, с одной стороны, «выпускают свет в комнату» с другой же — частично «выпускают условия хорошего видения».

Окна служат не только для пропускания света в помещение, но и для того, чтобы из них можно было смотреть наружу. В силу этого именно мы и видим, что окна устраиваются обычно в нижних частях стен. С осветительной точки зрения нижние части низко расположенных окон для освещения горизонтального рабочего места гораздо менее полезны, чем верхние их части. Естественное освещение помещений бывает поэтому, лучшим, если окнами занята верхняя часть стен. При таком расположении окон нами избегаются и вредное влияние блескости от них, легко возникающее тогда, когда окна лежат сравнительно низко. Для освещения внутренних помещений целесообразны поэтому или окна с занавесками или же окна, помещенные в верхней части стены.

Простейшей формой «верхнего света» является плоский (или почти плоский) прозрачный потолок. При нем мы используем как прямой солнечный свет, так и рассеянный свет неб:

Если применяются какие-либо рассеивающие свет стекла — мы улучшаем условия освещения для солнечных дней, однако, ценою потери света, что может быть очень нежелательно в дни не солнечные. Светорассеяние может достигаться посредством прозрачных, но гофрированных стекол. Такие стекла лучше пропускают сквозь себя свет в том случае, когда гофрировка их обращена в сторону светового источника. Непрактичность подобных стекол состоит в их легком загрязнении и вытекающих отсюда добавочных расходах на их промывание.

Немало внимания было уделено устройству «верхнего» дневного света; в частности, на фабриках существует несколько типов его устройства. Главные из них — это плоская прозрачная крыша, шед с вертикальным стеклом, шед с наклонным стеклом, фонари Буало, двускатные фонари и др. Каждый из этих типов имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от характера окружающих условий и совершаемой в данном помещении работы. В наше время ни одна фабрика не может функционировать круглый год, не прибегая к добавочному искусственному освещению. И вообще искусственное освещение начинает привлекать к себе все больший интерес, во многих случаях за счет забот об усовершенствовании освещения естественного. Причины этого следует видеть в учетывании таких факторов, как сравнительная дороговизна рационального естественного освещения, независимость от нас силы дневного света, осуществимость «верхнего» света только в верхнем этаже здания, неравномерная освещенность от окон, а также и во все растущей дешевизне искусственного света.

Интенсивность освещения.

Величина освещенности внутри помещения совсем отлична от освещенности, которую мы имеем днем снаружи. В то время как эта последняя характеризуется в общем десятками тысяч люксов, дневное освещение внутри зданий обычно редко достигает нескольких тысяч люксов; за исключением мест, прилежащих к окнам, дневная освещенность внутри комнат, как правило, не превосходит тысячи люксов. При этом естественная освещенность внутри помещения подвержена, как мы уже указывали, чрезвычайно большим колебаниям. Измерения показывают, что подобные колебания могут совершаться в пределах почти от нуля до тысячи люксов. Средняя же обычная дневная освещенность внутри зданий бывает не более 100 люксов.

Этот низкий уровень освещенности не покажется удивительным, если мы примем во внимание то, что не прямой солнечный свет служит здесь обычно источником света, а лишь свет, идущий от ограниченного участка небесного свода, видимого с данной освещаемой точки внутри комнаты. Поскольку освещенность, создаваемая небом в ясный день, составляет около 20% общей освещенности земной поверхности, максимальное освещение от небесного свода будет около 15 000—20 000 люксов в местностях, лежащих в средних географических широтах. И эти цифры верны для того случая, когда данная поверхность получает свет от всего небесного свода, т. е. от полусферы или телесного угла в 180° . Тот же телесный угол, который имеет светящаяся поверхность неба для той или иной точки освещаемого ею пространства внутри помещений, как нетрудно видеть, составляет всегда лишь весьма небольшую долю этого угла полусферы. Допустим, например, что в окно видно с некоторой точки 5% всей поверхности небесного свода; в таком случае на этой точке в полдень ясного дня освещенность будет составлять около 1000 люксов, поскольку небо в такой день дает, как сказано, около 20% общей дневной освещенности, равной снаружи 100 000 люксов.

Степень освещенности того или иного места внутри помещения дневным светом лучше всего характеризуется величиной «коэффициента естественной освещенности». Этот коэффициент определяется как отношение горизонтальной освещенности данного оцениваемого места помещения к горизонтальной же освещенности, имеющейся в то же самое время снаружи, вблизи здания. Освещенность, создаваемая прямыми солнечными лучами, в последнем случае исключается. Таким образом «коэффициент естественной освещенности»

$$e = \frac{E}{R},$$

где E есть освещенность данного места внутри помещения, а R — одновременная освещенность на открытом месте. Нетрудно видеть, что, поскольку нам известны величины e и R , мы всегда можем легко подсчитать и E , т. е. сказать, скольким же люксам равна освещенность на данном месте внутри помещения. «Коэффициент естественной освещенности» служит наиболее определенной и показательной характеристикой того, удовлетворительно или нет освещается дневным светом данное место. Простое же указание на имеющуюся на нем

в данный момент освещенность в люксах, напротив, недостаточно, так как не позволяет нам судить о том, как будет освещаться данное место при весьма обычных колебаниях наружного дневного света. В зависимости от удаленности данного места от окон, в зависимости от устройства этих последних и ряда других факторов «коэффициент естественной освещенности» бывает очень различным, в общем колеблясь от 0,2 до 0,002 и менее.

Отклоняясь несколько от прямого содержания настоящей книги, мы коснемся здесь коротко того, как можно подсчитать освещенность, создаваемую дневным светом на том или

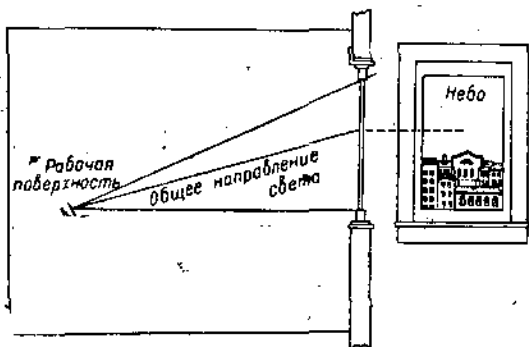


Рис. 6. Схема освещения рабочей поверхности, находящейся внутри помещения, светом неба, идущим через окно.

ином месте внутри здания. Освещенность какой-либо поверхности, ориентированной перпендикулярно к световому потоку, идущему от источника, находится, если разделить силу света этого источника на квадрат его расстояния от освещаемой поверхности. Этот закон «обратности квадрату расстояния» вполне верен лишь тогда, когда удаленность светового источника от освещаемой поверхности по крайней мере в 10 раз больше размера самого источника. Если же световой источник находится ближе, можно говорить лишь о приблизительной верности упомянутого закона. В окне источником света служит поверхность неба, видимая с точки зрения, находящейся на данной освещаемой поверхности (рис. 6). Сила света такого источника может быть легко найдена путем перемножения площади окна, заполненной небом, на яркость этого последнего. Освещенность же согласно вышесказан-

ному и определится из деления найденной силы света на квадрат расстояния от окна до данной точки освещенной поверхности. Вычисленная так освещенность будет максимальной, — соответствующей тому случаю, когда освещаемая поверхность перпендикулярна к направлению светового потока. При том или другом наклоне ее по отношению к этому направлению освещенность будет меньшей, — пропорционально косинусу угла наклона. Поскольку горизонтальные поверхности в комнате составляют довольно большой угол с направлением светового потока, идущего от окон в стене, освещенность их будет значительно меньше, чем освещенность поверхностей, перпендикулярных этому направлению.

Небо не все одинаково ярко; поэтому при подсчетах приходится брать некоторую среднюю яркость его. В ясную погоду небо обычно бывает близ горизонта ярче, чем в зените. При «сером» же небе соотношение это бывает обратным. Выше в табл. III, и приведены яркости в различных условиях погоды.

При «верхнем свете» можно достичь гораздо большей освещенности, чем при освещении через окна, во-первых, в силу того, что при верхнем свете световой поток падает на освещенные поверхности перпендикулярно, во-вторых же, в силу того, что светящаяся поверхность потолка может быть относительно очень большой.

О Т Р А Ж Е Н И Е С В Е Т А О К Р У Ж А Ю Щ И М И П Р Е Д М Е Т А М И .

В вышеописанных подсчетах естественной освещенности внутри здания мы принимали в расчет лишь видимую светящуюся поверхность неба и его яркость. Видимые через окно предметы обычно имеют яркость относительно весьма малую по сравнению с яркостью неба, почему мы и можем здесь не учитывать тот световой поток, который добавляется ими. Окраска же их в белый цвет во многих случаях существенно увеличила бы естественную освещенность внутри соседних зданий. Отсюда возникает проблема применения при постройках материалов белых и вообще светлых.

Белая стена, освещенная прямыми лучами Солнца, бывает гораздо ярче, чем небо в ясный день. Ее яркость может достигать 1,5 свечи с квадратного сантиметра. В пасмурные дни, когда прямого солнечного освещения нет, понятно, что и увеличение освещения, происходящее в силу отражения света от светлых поверхностей окружающих предметов, бы-

вает уже не так значительно, хотя в такие дни оно как раз и является особенно желательным. Белая поверхность, на которую падает свет лишь от части небесного свода и на которую прямой солнечный свет не падает, никогда не может иметь яркости неба. В пасмурные дни ее яркость редко превосходит немногие доли свечи с квадратного сантиметра.

Снежный покров значительно увеличивает естественную освещенность внутри помещений. Снег отражает свет к потолку комнат, откуда он и распространяется по всей комнате. Увеличение освещенности помещений, обусловливаемое снегом зимою, при сравнительно малых интенсивностях дневного света бывает особенно кстати. Если смежное с зданием пространство имеет несколько световых поверхностей, так что свет претерпевает многократное отражение, происходящее от этого добавочное освещение внутри помещений бывает особенно значительным.

Отражение света от пола, стен и потолка улучшает освещение в комнате, рассеивая свет и повышая освещенность на рабочих местах. Коэффициенты отражения пола, стен и потолка имеют при этом первостепенное значение. Значительная доля светового потока, идущего из окон, падает именно на пол, стены и потолок и достигает рабочих мест лишь после многократных отражений.

КАЧЕСТВО СВЕТА.

Хотя специально вопросам, связанным с качеством света, посвящены ниже главы V и VI, несколько замечаний по этому поводу уместно сделать и здесь. Поскольку главным источником света для внутреннего освещения служит свет неба, именно его качество, или спектральный состав, интересует нас здесь в первую голову. Выше мы уже видели, что северная сторона неба является наиболее постоянной как в смысле интенсивности света, так и в отношении его спектрального состава. Восточная же, западная и южная стороны горизонта в этом отношении гораздо менее постоянны, лежа ближе к пути, проходимому по небу Солнцем. В силу этого при многих работах, например при работах, связанных с различением цветов, предпочитается именно северная сторона небесного свода. Между тем нетрудно видеть, что свет яркого северного неба голубоватый и потому не является наилучшим для различения цветовых оттенков. Он ставит один цвета в преимущественное положение по сравнению с другими, чего не должен делать нейтральный «стандартный» свет.

Свет изменяется при отражении от цветных предметов. Свет, отражаемый, например, зеленой листвой, имеет зеленый оттенок; свет, отражаемый красными кирпичами, красноват, и свет, отражаемый желтыми стенами, желтоват. Подобные цветные поверхности, находясь на пути светового потока, идущего от дневного света неба, придают ему, следовательно, тот или иной хроматический оттенок, порою весьма заметный. Благодаря этому дневной свет приобретает еще большее непостоянство, игнорирование коего часто затрудняет точную работу, связанную с различием цветов. Качество дневного света меняется и в течение сезонов года и в течение дня. В наших широтах земной покров летом является зеленым, в прочие же времена года имеет другой цвет. В течение дня дневной свет, попадающий внутрь комнаты, может меняться в своем качестве, например, от того, что Солнце, освещавшее первоначально кирпичную стену противоположащего здания, перестает ее освещать, красная стена попадает в тень, и тот добавок красного цвета, который ею обуславливался, становится значительно меньшим. Если солнечные лучи падают на поверхность какого-либо иного цвета, окраска дневного света соответствующим образом изменяется в другом направлении. Для точных работ, требующих различения цветовых оттенков, подобное непостоянство качества дневного света чрезвычайно неблагоприятно. Создание искусственного дневного света есть здесь естественный выход из затруднения. Искусственный дневной свет может быть достаточно постоянным как по своему спектральному составу, так и по своей интенсивности.

В заключение скажем здесь еще, что и расцветка вещей, находящихся в комнате, ее стен и потолка в очень большой мере влияет на качество дневного освещения и влияет относительно еще больше, чем на качество освещения искусственного, поскольку дневная освещенность, создаваемая внутри помещения, есть по преимуществу освещенность светом отраженным. Поэтому комнаты, предназначенные для цветовых работ, должны быть окрашены ахроматическими цветами.

Тепличное действие света.

Это влияние света может быть и полезно и нежелательно — в зависимости от обстоятельств. Объясняется тепличное действие света тем, что при некоторых условиях радиация попадает как бы в ловушку. Стекло прозрачно для большинства солнечных лучей, в том числе для лучей с длинами волн,

заходящих в область инфракрасного излучения много дальше, чем то можно видеть на рис. 1. Все эти виды радиации проходят через стекло и в значительной мере поглощаются стенами комнаты и всеми теми предметами, которые в ней находятся. В результате температура поглощающих тел повышается. Они сами, следовательно, начинают излучать энергию. Поскольку, однако, температура их все же относительно низка по сравнению с солнечной, излучаемые ими лучи имеют очень большие длины волн. По отношению к ним стекло уже является непрозрачным. Температура внутри помещения начинает значительно подниматься, пока не оказывается достигнутым равновесие и пока скорость отдачи тепла вовне сквозь стены, пол, потолок и окна не будет равна скорости его накопления внутри данного закрытого пространства.

Тепличное действие света используется, как известно, при культивировании всякого рода растений внутри помещений. В прочих случаях оно экономит отопление зимой, но является причиной тягостной жары летом. Делались попытки создать такие стекла, которые не пропускали бы инфракрасных лучей, идущих от Солнца. Однако такие стекла могут принести все же мало пользы. Значительная доля солнечной радиации приходится на видимую часть спектра, которая, очевидно, не может быть задержана стеклом без соответствующего уменьшения светового потока, нужного для освещения. Кроме того, поглощая инфракрасные лучи, стекла сами станут источниками излучения лучей с очень большими длинами волн. Приблизительно половина таких лучей попадала бы от стекла внутрь комнаты и опять-таки повышала бы температуру в помещении.

Как можно видеть из рис. 1, слой воды сантиметра в два толщиной уже полностью поглощает инфракрасную радиацию с длиной волны больше 1400 мμ. Поэтому такой слой воды «охлаждал» бы солнечные лучи, почти не ослабляя их светового действия. Однако и при устранении всех инфракрасных лучей тепловое действие солнечного света не исчезло бы полностью, поскольку максимум энергии солнечного излучения лежит в видимой части спектра.

В главе II мы упоминали, что водяные пары, имеющиеся в атмосфере, поглощают значительное количество инфракрасных лучей. Водяные пары все же более прозрачны для них, чем вода. Общее количество водяных паров в атмосфере в отношении поглощения ими инфракрасной радиации в общем эквивалентно слою воды толщиной около 1 см.

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ.

В настоящее время уже твердо установлено, что ультрафиолетовые лучи, имеющиеся в солнечной радиации, оказывают бактерицидное действие, т. е. убивают бактерии. До земной поверхности доходит лишь сравнительно небольшая часть этих лучей, поскольку все лучи с длинами волн короче $290 \text{ м}\mu$ поглощаются, повидимому, в верхних слоях атмосферы. Между тем наибольшее бактерицидное влияние оказывают ультрафиолетовые лучи с длиной волны от 280 до $240 \text{ м}\mu$. Но, мало этого, и из тех ультрафиолетовых лучей, которые достигают земной поверхности, значительная доля поглощается нашими обыкновенными оконными стеклами (см. рис. 1).

Таким образом, попадая внутрь помещения через стеклянные окна, солнечная радиация утрачивает для нас очень большую долю своей гигиенической ценности. Большинство обыкновенных стекол заметно поглощает коротковолновые лучи с длиной волны, начиная от $350 \text{ м}\mu$, а для лучей в $310 \text{ м}\mu$ стекла эти являются уже совсем непрозрачными; отдельные сорта стекол допускают здесь, правда, некоторые различия. Специальные эксперименты, произведенные с кварцевой ртутной лампой, показали, что обычное стекло раз в тысячу ослабляет бактерицидное действие ультрафиолетовой части излучения.

Гигиеническое действие солнечного света сказывается не только в том, что солнечные лучи оказываются способными убивать болезнетворные бактерии и их споры, но и в ряде других влияний. Не все они, правда, еще в достаточной мере изучены. Однако упомянем здесь все же о лечебном действии солнечного света на больных, страдающих рахитом. Одной из причин рахита, по современным представлениям, является отсутствие в организме особого рода витаминов. Под действием солнечного света эти витамины в нашем организме образуются, и болезнь излечивается. Как установлено специальными опытами, этому образованию нужных витаминов способствуют главным образом именно ультрафиолетовые лучи. Витамины образуются из веществ, имеющихся в подкожном жировом слое у человека.

Поскольку все упомянутые дезинфицирующие и лечебные действия солнечной радиации обусловлены главным образом ультрафиолетовыми лучами, весьма желательно дать им проникать внутрь наших зданий. Между тем мы уже видели выше, что обычные стекла, употребляемые для окон, ультрафиоле-

товых лучей почти совершенно не пропускают. Отсюда, естественно, возникла потребность в изготовлении таких стекол, которые, будучи прозрачными для видимых длин волн, пропускали бы также и лучи ультрафиолетовые. В настоящее время такие — увиолевые — стекла изготавливаются и довольно широко уже используются за границей для остекления зданий. О них подробнее мы скажем несколько ниже.

ВЫЦВЕТАНИЕ КРАСОК ПОД ВЛИЯНИЕМ СВЕТА.

Лишь поглощаемая данным телом радиация может вызвать «выгорание» его цвета. В общем можно сказать, что наибольшей активностью в этом отношении обладают ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи. Влажность и высокая температура ускоряют процесс выцветания красок. Особенно вреден для пестрых покрасок прямой солнечный свет, благодаря его общей большой интенсивности и наличию в нем ультрафиолетовых лучей. Даже и через обычное стекло он все же вызывает заметное «выгорание» красок. Для нежных и непрочных по отношению к свету красок вреден также и свет неба, однако благодаря меньшей интенсивности все же не так, как прямой солнечный свет. Выход из затруднения дается применением в соответствующих случаях искусственного освещения лампами «дневного света». При этом колбы этих ламп не должны пропускать коротких ультрафиолетовых лучей. Таким путем можем, например, в музеях создавать освещение, достаточное для хорошего различения цветов и цветных объектов и все же не столь сильное, как естественный свет в ясные дни.

СТОИМОСТЬ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ.

Естественный дневной свет является для всех вещь настолько обычной, что удивительным может показаться самая речь о том, что он что-то стоит, а между тем, поскольку мы имеем в виду естественное освещение внутренних зданий, и естественное освещение стоит денег. В общем оно обходится во столько же, сколько стоит освещение искусственное, а в некоторых случаях, в условиях современной городской жизни, даже и намного дороже.

Отдельные статьи расхода, вызываемого устройством и эксплуатацией естественного освещения, таковы:

а) различная стоимость зданий с окнами и верхним светом и зданий без того и другого;

b) потеря площади, уделяемой для «световых двориков» и иных устройств, увеличивающих дневное освещение внутри помещения;

c) стоимость добавочного отопления, уходящего на покрытие тех утерь тепла, которые происходят благодаря окнам и прочим отверстиям для дневного света.

Главные расходы, связанные с эксплуатацией естественного освещения внутренности помещений:

d) проценты с затрат основного капитала;

e) амортизация приспособлений для естественного освещения;

f) починки;

g) чистка стекол;

h) изнашивание добавочных отопительных приспособлений;

i) добавочный отопительный материал.

С точки зрения настоящей книги вам не столько интересны цифры расходов, требуемых естественным освещением, сами по себе, сколько их сравнительная величина при сопоставлении с расходами, идущими на искусственное освещение той же комнаты, того же дома или помещения. Подобный подсчет был произведен в очень многих случаях и почти всюду оказалось, что естественное освещение обходится дороже искусственного. Так, например, оборудование естественным освещением дома в семь комнат требует в существующих американских условиях в среднем около 600 долларов и эксплуатационные расходы в год около 100 долларов. Эти же цифры близки к затратам на искусственное освещение того же помещения, при условии, однако, что это освещение будет уже значительно выше обычных стандартных норм.

Небезынтересно упомянуть здесь еще и о добавочных расходах, падающих на счет естественного освещения. Сюда относятся: занавески на окнах, порча вещей от пыли и возможного попадания влаги сквозь оконные отверстия, выцветание обивки и покраски предметов, потеря части потолочных и стенных поверхностей, наконец, стоимость искусственного освещения, необходимого в качестве добавки к естественному освещению в тех случаях, когда последнее становится недостаточным.

ЗДАНИЯ БЕЗ ОКОН.

В наших населенных городах естественное освещение внутренностей помещений бывает часто явно неудовлетворительно и невыгодно с экономической точки зрения. На фабриках окна бывают порою настолько законтельными, что факти-

чески становятся вовсе ненужными. Пространства внутри здания, отведенные для «световых двориков», усиливающих дневное освещение, могут быть использованы для увеличения полезной площади помещения при условии устройства искусственного освещения и должной вентиляции. Вообще очень часто мы видим, что экономически более выгодно бывает заменить естественное дневное освещение искусственным. Психологическое влияние отсутствия окон не должно, конечно, упускаться из вида. Однако в условиях американских городов одно естественное дневное освещение оказывается сплошь и рядом недостаточным; во многих же случаях все равно приходится работать все время при одном искусственном свете. Наша усложненная цивилизация требует того, чтобы тысячи людей работали и ночью. Оборудование для искусственного освещения имеется почти всюду, и во многих случаях было бы экономически вполне целесообразно издержки, идущие на недостаточное и несовершенное дневное освещение, направить на усовершенствование освещения искусственного. Во многих случаях, как, например, при освещении музеев, расходы, обусловленные естественным дневным освещением, настолько велики, результат же обычно столь неудовлетворителен, что направление всех этих средств на освещение только лишь искусственное дало бы возможность создать прямо-таки чудесное искусственное освещение.

Всем этим мы отнюдь не хотим рекомендовать вообще отказаться от естественного освещения всюду. Мы хотели бы лишь обратить внимание на то, что во многих случаях экономические соображения говорят за целесообразность замены несовершенного естественного освещения вполне рационально устроенным освещением искусственным. Что касается проблемы вентиляции, то следует сказать, что вентиляция не обязательно ведь должна быть связана с естественным освещением.

В настоящее время проектируются и строятся здания, частично вовсе не получающие естественного освещения. Мы хотим иметь естественное освещение главным образом там, где оно может быть достаточно совершенным и не слишком дорогим. Искусственное освещение внутренности помещений обладает гораздо большими возможностями по сравнению с естественным освещением, особенно в условиях скученности зданий в наших городах, экономии площади и ограниченности небесного свода, используемого в качестве источника света.

СТЕКЛА ДЛЯ ОТВЕРСТИЙ ДНЕВНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ.

Отверстия, служащие для проникновения дневного света внутрь помещения, обычно не приходится закрывать рассеивающими стеклами вроде опалового или молочного. Как уже упоминалось выше, такие рассеивающие свет стекла отражают назад света почти столько же, а порою и больше, чем пропускают сквозь себя внутрь помещения. Если взять хорошо рассеивающее свет молочное стекло и посмотреть на него в отраженном и в проходящем свете, то можно видеть, что оно в обоих случаях будет почти одинаково ярко. Матовые стекла также весьма значительную долю падающего на них света отражают обратно. Недостатком их является еще и сравнительная трудность их очищения от осевшей на них пыли. В силу сказанного самыми подходящими для отверстий дневного освещения являются наиболее прозрачные стекла. Они при этом не обязательно должны быть гладкими. Последнее требуется лишь для окон, через которые мы желаем смотреть.

Ребристые и галькообразные стекла являются наилучшими видами стекол, устраняющими прямые солнечные лучи и вместе с тем не слишком ослабляющими общий световой поток, на них падающий. Ребристые стекла направляют прошедший сквозь них свет перпендикулярно ребрам. Галькообразные стекла распространяют его во всех направлениях. На рис. 7 и приведены четыре сорта подобных стекол — галькообразное, крупноребристое, мелкоребристое и волнистое — по отпечаткам, сделанным с них на приложенной к ним фотографической бумаге. Приведено также и их поперечное сечение.

Репродукция подлинных фотографий прошедшего сквозь эти типичные стекла света дана на рис. 8. Для галькообразного и волнистого стекол приведены по две фотографии для каждого. В одном случае шероховатая поверхность направлена к источнику света, в другом случае — от него, в сторону же падающего света обращена гладкая сторона.

При перпендикулярном падении света на чистое гладкое стекло около 4,5% падающего света отражается от передней поверхности его; примерно столько же отражается от задней его поверхности. При увеличении угла падения процент отраженного света возрастает, как то и иллюстрировано на рис. 9, для углов падения, близких к 0°, 45° и 70°. На рисунке показаны и доли отражения, приходящегося на переднюю и заднюю поверхности стекла.

Увеличение процента отражения при увеличении угла падения до 45° нарастает постепенно. При дальнейшем

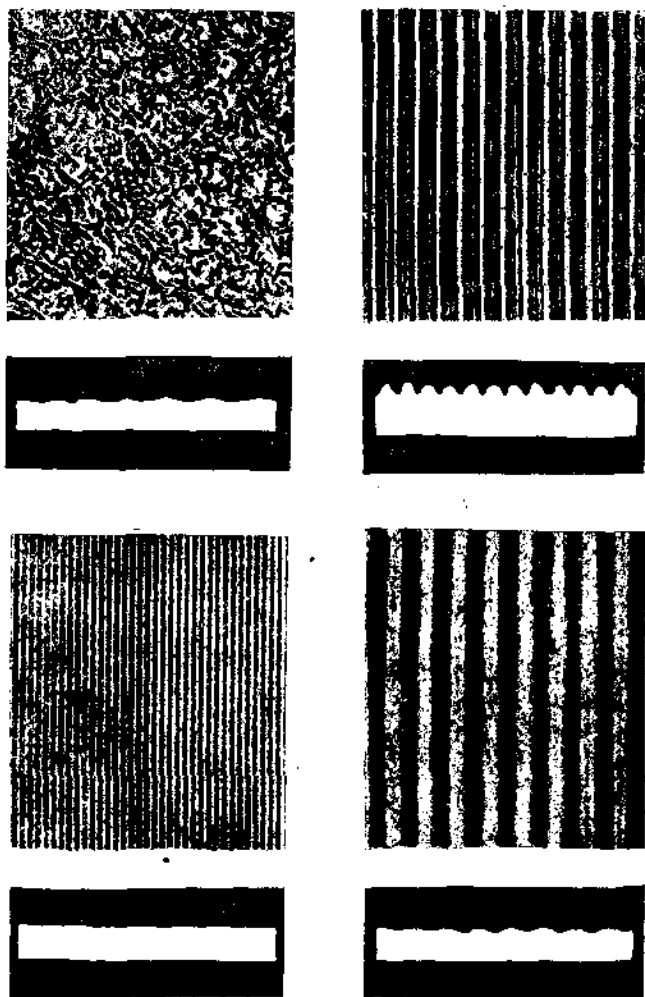


Рис. 7. Четыре типа негладких стекол. На приведенных разрезах видно свойство их поверхности.

же увеличении угла падения это нарастание идет быстро и при угле падения, равном 90° , составляет уже 100%. Это

показано на рис. 10 для случая обыкновенного плоского стекла, для одной гладкой поверхности его и для двух таких поверхностей. Количество отраженного света зависит также

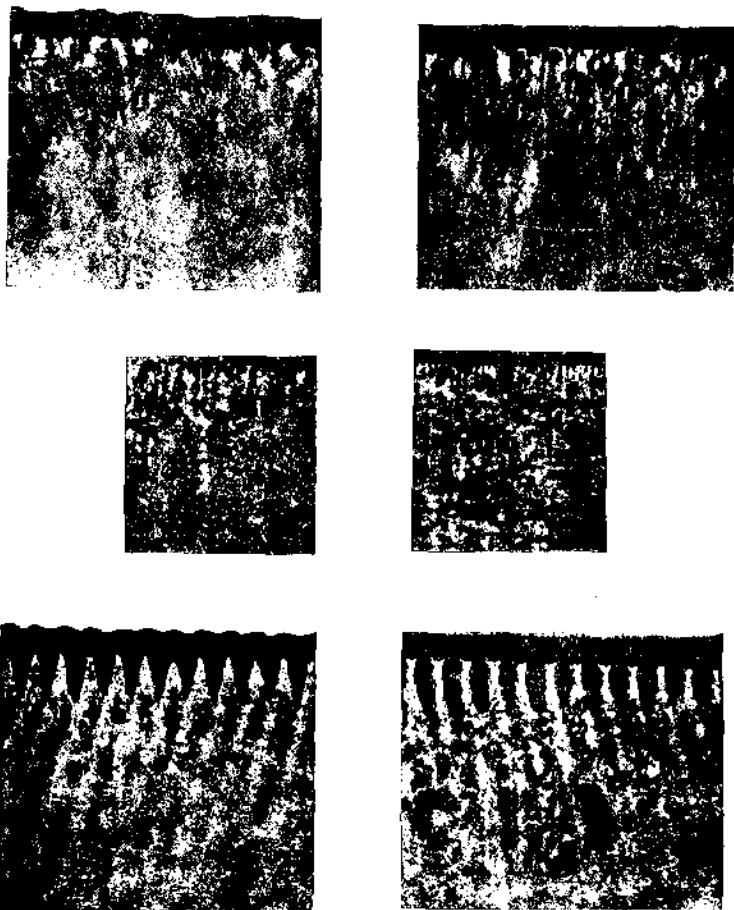


Рис. 8. Фотографии света, проходящего через стекла различных типов, приведенных выше на рис. 7.

и от оптических свойств стекла, его показателя преломления. Впрочем, обычные стекла в этом отношении больших различий не обнаруживают.

Из того, что сказано выше, можно видеть, что обычные стекла не пропускают более 91% падающего на них света.

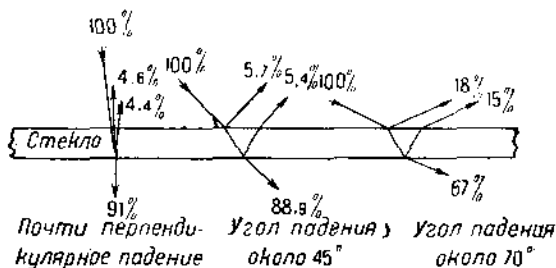


Рис. 9. Приблизительное процентное отражение света передней и задней поверхностью гладкого стекла при различных углах падения света. Цифры снизу показывают процент света, прошедшего сквозь стекло, если пренебречь поглощением света в самом стекле.

При больших же углах падения (т. е. углах, составляемых направлением падающего луча и перпендикуляром к поверхности стекла) пропускание становится гораздо меньшим. Такова одна из существенных потерь, имеющая место при установках естественного освещения. Коэффициент пропускания гладкого стекла, очевидно, будет меньшим для лучей, падающих на стекло под тем или иным углом большим 0° , чем для лучей, падающих на него перпендикулярно. Поэтому ниже, в табл. V, показаны коэффициенты пропускания различных типичных стекол как для случая перпендикулярного падения светового луча на стекло, так и для случая светового потока, падающего на стекло под раз-

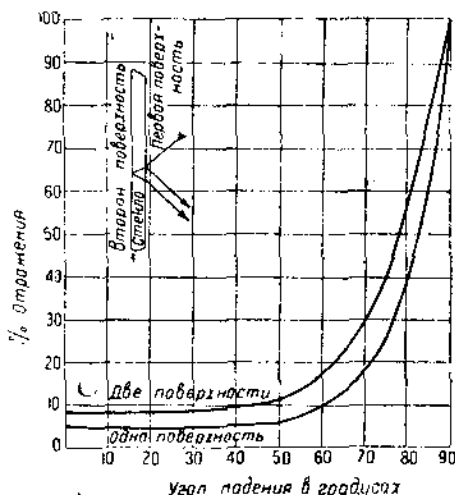


Рис. 10. Процентное отражение света от одной и от двух поверхностей гладкого стекла в зависимости от угла падения света на это стекло.

личными углами, от одинаково яркой полусферы, что имеет место при освещении небом. Поскольку коэффициент пропускания у стекол с одной неровной поверхностью (матированных, ребристых и галькообразных) бывает значительно меньше тогда, когда эта неровная поверхность обращена от падающего света, чем в обратном случае, в табл. V приведены цифры, относящиеся как к тем, так и к другим условиям. Поэтому, при одинаковости всего прочего, ребристые, галькообразные и матированные стекла, для того чтобы пропускать больше света, должны быть обращены своей неровной поверхностью к свету.

ТАБЛИЦА V.

Коэффициенты пропускания некоторых типичных стекол для прямого и рассеянного света.

Сорт стекла	Сторона, обращенная к свету	Коэффициент пропускания	
		освещение перпендикулярным пучком	освещение светом с рассеянной поверхности
Гладкое	—	0,90	0,80
Матированное	Шероховатая	0,78	0,70
	Гладкая	0,74	0,70
Галькообразное	Шероховатая	0,85	0,75
	Гладкая	0,79	0,75
Крупноребристое	Шероховатая	0,77	0,62
	Гладкая	0,52	0,62
Мелкоребристое	Шероховатая	0,86	0,79
	Гладкая	0,79	0,79
Волнистое	Шероховатая	0,88	0,82
	Гладкая	0,86	0,82

Направление светового луча при попадании его из воздуха в стекло резко изменяется, если луч падает на стекло не перпендикулярно. Величина подобного «преломления» зависит от показателя преломления данного стекла. Преломление света при попадании его из воздуха в стекло используется в светотехнических целях при применении так называемых призматических стекол. Изменение в направлении светового луча, вызываемое такими призматическими стеклами, иллюстрируется, например, рис. 11. Призматические стекла могут быть с пользой применяемы для того, чтобы световой поток, идущий косо сверху, направить по более горизонтальному направлению вглубь помещения, в места, более удаленные от

окон. Полезное действие призматических стекол, однако, тотчас же утрачивается, как только они перестают содержаться в должной чистоте. Стекланные призмы могут и полностью отражать падающий на них свет, как то и показано на рис. 12. Для этого нужно, чтобы свет падал на грань, разделяющую

ТАБЛИЦА VI.

Длина волны в μ	Процент пропускания			Длина волны в μ	% пропускания
	английское стекло 1926 г. "Vitraglass"	узкое стекло пробной плавки завода "Пролетарий" (Донец) 1929 г.	обыкновенное стекло той же толщины (1,3 мм)		
405	91	—	—	340	85
400	—	90	92	320	72
390	—	90	90	—	—
380	—	90	88	310	68
370	—	90	84	300	54
366	89	—	—	295	48
360	—	90	77	—	—
350	—	88	66	290	38
340	—	83	50	285	28
334	87	—	—	280	18
330	—	76	8	—	—
326	—	72	0	275	11
320	—	63	0	270	6
313	67	—	—	—	—
310	—	45	0	—	—
302	48	—	—	265	3
300	—	22	—	—	—
297	35	—	—	—	—
290	19	10	—	260	1
289	—	—	—	—	—
280	5	—	—	—	—
270	—	4	—	—	—
268	—	0,5	—	—	—
265	0,4	0,2	—	—	—

стекло от воздуха под достаточно большим углом. Направление луча при отражении в этом случае изменяется на 90° . Полное внутреннее отражение в призмах используется светотехниками довольно часто.

Выше, в табл. XV, показано, какое большое значение имеет содержание стекол в должной чистоте.

Остановимся, наконец, на вопросе о пропускании стеклами ультрафиолетовых лучей. Выше мы видели, что ультрафиолетовому излучению в настоящее время приписывается определенное гигиеническое и лечебное значение. Желательно

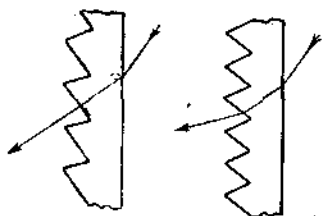


Рис. 11. Преломление светового луча призматическим стеклом.

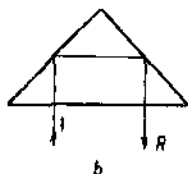
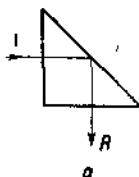


Рис. 12. Полное внутреннее отражение света в стеклянной призме.

поэтому сохранить эти полезные влияния солнечной радиации и при застеклении помещения. В этих целях вырабатывают, как уже было упомянуто выше, особые сорта стекол: «Vita-glass» и «увиолевые» стекла. Коэффициенты пропускания некоторых таких стекол и приведены в табл. VI.

ГЛАВА IV.

ИСКУССТВЕННЫЙ СВЕТ.

Прежде чем перейти к сравнению естественного освещения с искусственным, остановимся на ходе развития искусственного освещения. Несомненно, что многие из читателей удивятся, узнав, что искусственное освещение в настоящее время может рассматриваться уже как серьезный конкурент освещения естественного. Это удивление, однако, в значительной степени объясняется незнанием изумительных успехов, достигнутых искусственным освещением за последнее время, а также ложным представлением о том, что естественное освещение ничего не стоит. Мы остановимся поэтому на эволюции искусственного освещения и особенно на успехах, достигнутых здесь за последнее столетие.

Огонь.

Огонь был искусственным источником света в течение бесчисленного ряда веков. Время, когда огонь впервые стал употребляться для освещения и нагревания, остается неиз-

вестным, поскольку оно лежит в доисторическом периоде жизни человечества. Человек до изобретения и применения огня был не больше, как просто животное. Можно думать, что именно огонь как очаг особенно способствовал созданию дома и семьи. Пламя костра в течение веков ассоциировалось с представлением о домашнем уюте, удобствах и защищенности. Желто-оранжевый цвет огня едва ли оказал заметное влияние на физическую и физиологическую сторону нашего зрения, поскольку естественный дневной свет являлся все же фактором гораздо более могущественным. Весьма вероятно, однако, что желто-оранжевый цвет пламени огня оставил психологический оттенок на человеческой природе, став для нас символом комфорта, отдыха, уюта, тепла и дома.

П р и м и т и в н ы е и с т о ч н и к и с в е т а .

В древнейшие времена жизни примитивного человека, как и у примитивных народов в наши дни, для получения огня просто сжигалось то или иное вещество в его естественном виде. Позже, по мере развития, человек стал выбирать для добывания огня уже специальные вещества, особенно хорошо горящие и дающие много света. Постепенно он стал изыскивать специальный материал для горения и стремиться его усовершенствовать. Растительные и животные жиры и масла стали использоваться им в целях освещения. Стали готовиться сосуды из камня, глины для этих горючих веществ, и таким образом был изобретен фитиль. Светильники подобного рода мы находим в древнейших дошедших до нас остатках первобытной культуры. Возникновение свечи, служащей удобным светильником и по настоящее время, также восходит к темной древности. Применение ее имело место еще за много столетий до христианской эры. Свеча есть развитие еще более древней масляной лампы и представляет собой фитиль, окруженный твердым горючим материалом, расплавляемым при горении. Это приспособление, в сущности, подобно сердцевине тростника, пропитанной салом или маслом, что порою употребляется крестьянами в качестве светильника и поныне.

М а с л я н ы е л а м п ы .

На протяжении столетий источником света для человека служили деревянные лучины, сосновые шишки, дрова, масляные лампы, светильники из тростника и свечи. Кажется прямо невероятным, что потребовались целые тысячелетия,

чтобы человек перешел от ничем незащищенных и мигающих огней всех этих примитивных источников света к светильникам гораздо более совершенным. Лишь в 1783 г. французский химик Арган изобрел лампу в нашем смысле, приспособив к светильнику цилиндрическое стекло. Как передают, это открытие произошло случайно. Арган подогревал бутылку на огне, бутылка лопнула, и дно у нее отвалилось. Случайно Арган прикрыл ею огонь. Мигающее до тех пор пламя вдруг стало постоянным. Размышления над этим случаем и дальнейшие эксперименты привели его к конструированию лампы. В качестве наилучшего горючего материала для ламп первоначально, в колониальное время, применялся китовый жир. Источники нефти в земле были скрыты от человечества до 1853 г., когда Дрэн впервые обнаружил их в Пенсильвании.

ГАЗОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА.

Первые эксперименты, относящиеся к той области знаний, которая привела к добычанию светильного газа из каменного угля, относятся еще в XVI столетию. Мердок в 1794 г. получил очищенный газ из угля, провел его в свой дом и впервые устроил газовое освещение. До 1885 г., до изобретения Вельсбахом калильной сетки, газовые светильники применялись в виде открытых газовых горелок. При применении же сеток то же количество сгоревшего газа стало давать уже больший световой поток. Это обуславливается особенностями окисей некоторых редких земель, применяемых в этих калильных сетках (например церий, торий, цирконий). При сжигании ленточки магния в пламени бунзеновской горелки остается белая ленточка пепла (магnezия). При помещении ее в синеватое пламя газовой горелки она начинает ярко светиться, с яркостью значительно большей, чем то соответствовало бы ее температуре. Прodelывая этот опыт, мы воспроизводим принцип газокалильной сетки и приблизительно повторяем опыт, приведший Вельсбаха к изобретению такой сетки.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА.

До 1800 г. практически об электричестве ничего не было известно, кроме тех явлений статических зарядов, которые возникают при трении о стеклянную палочку. Известен был также опыт с электрическим раздражением лягушечьей ножки. Сколько-нибудь мощные источники электричества оставались еще не открытыми. В 1800 г. в тогдашнем неболь-

пом еще мире ученых сенсацию вызвало открытие Вольта, показавшего, что столбик, составленный из чередующихся пластинок цинка и меди, разделенных друг от друга влажной материей, служит источником заметного электрического тока. Этот столбик Вольта был усовершенствован далее и послужил предшественником вольтова элемента. Сэр Гемфри Дэви, используя подобные «химические» источники электрического тока, пространно изучал электрические искры и дуги и получал свет путем накаливания металлических и угольных нитей. Систематическое научное изучение электричества, однако, только еще начиналось. Ученик Дэви, Фарадей, тщательно исследовал явления электромагнетизма, и в частности, эффекты пересечения магнитного поля электрическим проводником в виде медной проволоки. Открытые им законы Фарадей сформулировал в 1830—1840 гг. и положил тем основание для развития, ряд лет спустя, учения о динамомашинах. Таким образом мы видим, что все изумительное развитие электротехники произошло, в сущности, лишь в прошлом столетии.

Когда, наконец, около 1860 г. был изобретен достаточно мощный и удобный источник электрической энергии, была создана возможность и для практического развития электрического освещения. В качестве наиболее известных и заслуженных деятелей этой эпохи здесь следует назвать Чарльза Бреша, изобретшего в 1877 г. электрическую дуговую лампу, и Томаса Эдисона, изобретшего в 1879 г. электрическую лампочку накаливания. Открытия их имеют первостепенное значение для развития осветительных систем вообще, включая сюда генераторы электрической энергии, распределительные сети и источники света. Лишь с этих пор цивилизованный человек перестал добывать искусственный свет просто сжиганием чего-нибудь.

Электрические лампочки и газонакаливаемые лампочки Вельсбаха, появившиеся несколько позже, излучали свет уже более белый, чем оранжево-желтое пламя, служившее человечеству источником света в течение бесчисленных веков. По мере развития учения об электричестве и электротехники стали появляться все новые источники электрического света, все более и более выгодные в световом отношении. Вполне рациональный источник должен удовлетворять ряду требований как в отношении своей практичности, безопасности, размера и коэффициента своего полезного светового действия, так и в отношении качества излучаемого им света.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДУГОВЫЕ ЛАМПЫ.

Успехи в деле добывания и изучения электрической энергии привели, как сказано, к появлению различных электрических источников света. Лампы накаливания и электрические дуги вошли в употребление почти в одно и то же время и в течение ряда лет конкурировали друг с другом. Дуговые лампы являются наиболее целесообразными в тех случаях, когда требуются источники света прежде всего большой световой мощности. С другой стороны, там, где очень большого светового потока не требуется, как, например, внутри помещения, в комнатах, предпочтительными являются электрические лампы накаливания. Конструкции и ламп накаливания и электрических дуг все время совершенствуются.

Угольная дуга заключается в колбу. Подобные закрытые дуги оказываются более долговечными, чем предшествовавшие им дуги открытые. Затем угли стали начинаться некоторыми химическими веществами, благодаря чему эффективность дуг возросла. Много света стало даваться пламенем этих начинающих угли веществ; от этого подобные дуги известны под названием пламенных дуг. Большая доля света, испускаемого электрическими дугами, исходит от раскаленной точки положительно заряженного угля, называемого положительным кратером. Из пламенных дуг наиболее распространены дуги, дающие желтый свет. Наконец, были изобретены так называемые магнетитовые дуги, имеющие положительный электрод из меди и отрицательный электрод в виде железной трубки, покрытой окисью железа и титания. Если не считать еще ртутной дуги, то этот тип электрических дуг наиболее распространен в осветительном деле в Америке. Главным образом дуговые лампы употребляются для сильного уличного освещения. Впрочем, и здесь лампы накаливания имеют все же большее значение.

РТУТНЫЕ ДУГИ И ГАЗОВЫЕ ТРУБКИ.

Первая ртутная дуга была сконструирована, повидимому, Уэем (Way) в 1870 г. Он заставлял тонкую струйку ртути течь из одного резервуара в другой, причем каждый из этих последних был соединен с полюсами батареи. В этом случае между капельками ртути и образовалась дуга. Современные ртутные дуги, построенные Петером Купером Хьюитом, представляют собой прозрачную трубку из стекла или кварца, из которой выкачан воздух и в конце которой впаяны электроды.

При этом отрицательный электрод прикрыт жидкой ртутью. Ток, проходящий через пары ртути, и заставляет их светиться. Свет ртутной дуги дает не сплошной спектр, но линейчатый, т. е. содержит в себе лучи не всех, но лишь некоторых определенных длин волн солнечного спектра. Наиболее интенсивны при этом в спектре ртутной дуги бывают линии зеленовато-желтого, зеленого, фиолетовато-синего и фиолетового цветов. Красных лучей в нем вовсе не имеется. Понятно поэтому, что видимость цветных предметов при освещении их светом ртутной лампы чрезвычайно изменяется. Ртутные лампы в целях освещения применяются лишь при некоторых специальных условиях. Кварцевые ртутные дуги находят себе применение для стерилизации, в терапии и вообще во всех тех случаях, где требуется много ультрафиолетовых лучей.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ.

Первая лампочка Эдисона и другие подобные ей электрические лампочки имели угольную нить и благодаря этому обладали очень малым коэффициентом полезного светового действия по сравнению с современными электрическими лампочками накаливания. В 1906 г. Уитней после ряда предварительных проб приготовил металлизированные угольные нити, устроенные таким образом, что они могли выдерживать уже значительно более высокую температуру накала, чем прежние угольные нити. Благодаря этому световой эффект стал большим. Поскольку действие быстро возрастает по мере повышения температуры накаливаемого тела, одной из забот ученого в области светотехники является изыскание материалов для нитей, которые допускали бы накаливание до возможно более высокой температуры. Уголь расплавляется лишь при чрезвычайно высоких температурах, однако его распыление, наступающее при этом, не позволяет пользоваться высокими температурами в практическом пользовании электрическими лампочками. Способ Уитнея уменьшал подобное распыление.

В дальнейшем ходе развития электрических ламп угольные нити были заменены танталовыми и вольфрамовыми, как переносящими больший накал без распыления. В эту эпоху, однако, нити помещались еще в пустое, безвоздушное пространство. Делалось это ввиду того, что при наличии даже инертного газа в колбе тепло быстро бы уходило с нити, благодаря чему понижалась бы их температура и уменьшалось световое действие. Кулиджу удалось найти способ про-

тягивать вольфрам и готовить из него совсем тонкие нити. Ленгмюр стал свивать эти тонкие нити в спиральки, получая таким образом эквивалент нитей более толстого диаметра. Установив, что охлаждающий эффект газа нарастает не так быстро, как нарастает световой эффект при увеличении размера нити, Ленгмюр стал применять газонаполненные лампы. Уже ранее хорошо было известно, что вакуум способствует распылению раскаленной нити, наличие же некоторого газового давления значительно замедляет скорость такого распыления. При уменьшении же скорости распыления оказалось возможным накаливать нить до еще более высокой температуры, результатом чего было увеличение светового действия лампы. Все эти обстоятельства и делали газонаполненную лампу более совершенным источником света по сравнению с лампой пустотной. Вольфрамовые лампы накаливания могут изготавливаться любой светосилы. Приготавливаются лампы до 30 000 ватт, и с технической точки зрения нет препятствий к изготовлению и еще более мощных ламп.

Упомянем здесь, наконец, о том, что наряду с лампами накаливания в последнее время все большее распространение получают электрические лампы (трубки), использующие уже не температурное излучение накаленной нити, а свечение (люминесценцию) некоторых паров и газов, возникающее при прохождении через них электрических разрядов. Таковы «трубки» ртутные, неоновые, натриевые, трубки Мура и др. Следует заметить, что в большинстве случаев свет, испускаемый такими лампами, имеет цветной характер.

С В Е Т О В А Я О Т Д А Ч А .

Световая отдача электрических ламп, характеризуемая числом люменов с ватта, за последние годы непрерывно и быстро растет. Средние величины этих отношений для ламп накаливания за 1905—1923 гг. показаны на рис. 13.

Особенно быстро световая отдача ламп возрастает с 1906 г.; в настоящее время мы получаем света от наших ламп гораздо больше, чем раньше. Этот рост световой отдачи ламп накаливания и позволяет искусственному свету выступать ныне в качестве серьезного конкурента освещению дневному, поскольку речь идет об освещении внутренности зданий. Сейчас мы — не в пример прошлым временам — вполне в состоянии за небольшую цену иметь вполне достаточное и рациональное искусственное освещение. Приведенные на рис. 13 величины

относятся к обычным обиходным лампам. Лампы же большого числа ватт обычно гораздо более эффективны в световом отношении, чем лампы маловаттные.

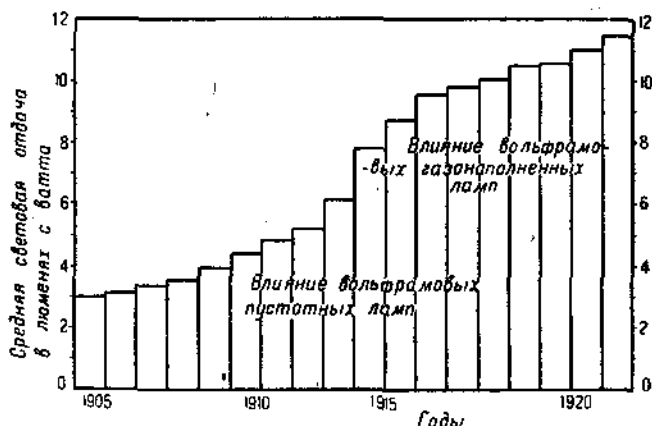


Рис. 13. Световая отдача электрических ламп, применявшихся с 1905 по 1923 г.

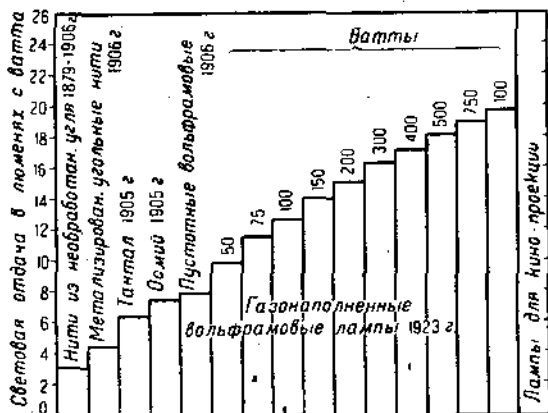


Рис. 14. Световая отдача различных электрических ламп.

Ввиду распространенности ламп накаливания в наше время остановимся еще на некоторых деталях, касающихся их световой отдачи, исчисляемой люменами¹ с одного ватта. На

¹ Источник в одну свечу излучает по всем направлениям 4π люменов.

рис. 14 показана световая отдача газонаполненных лампочек (производства 1923 г.) различного числа ватт наряду с величинами световойдачи ламп более старых типов. Легко видеть, что световая отдача 1000-ваттной газонаполненной вольфрамовой лампы (Mazda производства 1923 г.) в 7 раз превышает таковую угольной лампы, изготовлявшейся в 1905 г., и почти в 2,5 раза больше, чем у пустотной вольфрамовой лампы 1906 г. Впервые газонаполненные лампы стали применяться в 1914 г.

Стоимость искусственного света.

Интересно бросить взор назад, на прошлое столетие, для того чтобы ясно увидеть, как искусственный свет становится

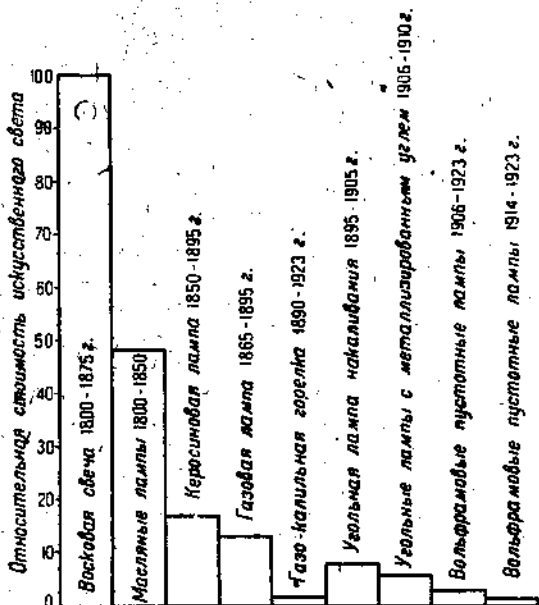


Рис. 15. Относительная стоимость искусственного света в различные годы прошлого столетия (для Америки).

все более дешевым. На рис. 15 показана приблизительная относительная стоимость в Америке различных способов искусственного света в разные периоды, соответствующие наиболее широкому применению данного рода освещения.

Как можно видеть из этого рисунка, в настоящее время искусственный свет стоит всего 1—2% того, что он стоил менее столетия тому назад. Такое изумительное удешевление делает понятным и широкое распространение искусственного освещения и то, что при освещении внутренности помещений искусственное освещение оказывается серьезным соперником освещению естественному. Условия, влияющие на стоимость естественного освещения внутренности зданий, за последнее столетие в общем несколько ухудшились. Подобные же обстоятельства влияли замедляющим образом и на падение стоимости освещения искусственного. Тем не менее успехи науки позволили настолько увеличить световую отдачу ламп, что в результате искусственный свет все же значительно подешевел. Все огромное экономическое значение сделанных здесь научных открытий широкой публикой едва ли сознается.

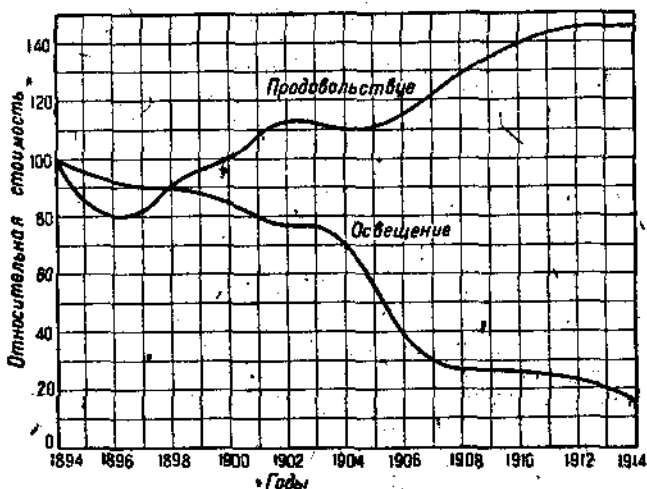


Рис. 16. Изменение относительной стоимости продовольствия и искусственного освещения в Америке в течение последних 20 лет, предшествовавших мировой войне.

На рис. 16 показаны кривые относительного уменьшения стоимости искусственного света и относительного увеличения стоимости продуктов питания (для американских условий довоенного времени). За время с 1914 г. стоимость электрического освещения в общем не возросла, между тем как стои-

мость продуктов питания, как всем известно, повысилась очень существенно. Стоимость искусственного света в настоящее время достигла такого уровня, что всякий может иметь хорошее искусственное освещение за деньги, составляющие совсем незначительную долю заработка.

Соединенные Штаты Америки в отношении потребления искусственного света стояли на первом месте, и все же освещение даже в этой стране стоит значительно ниже требуемых норм. Среднее количество искусственного света, потребляемого одним жителем, правда, возрастает, однако это возрастание приблизительно пропорционально уменьшению стоимости

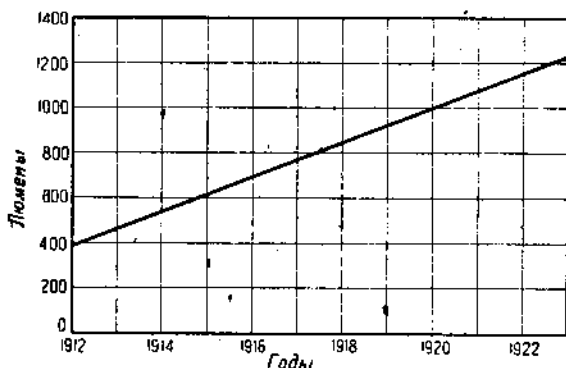


Рис. 17. Приблизительное количество люменов искусственного света, потреблявшихся жителем САСШ в год в период времени с 1912 по 1923 г.

искусственного света. На рис. 17 показаны в люменах приблизительные средние величины потребления искусственного света жителем САСШ за 1912—1922 гг. Главная доля искусственного света в этом периоде приходится на свет, даваемый электрическими лампами накаливания. Газовое освещение идет на убыль. Освещение посредством электрических дуг составляет лишь очень малый процент всего искусственного освещения.

Рис. 17 и дает приблизительную картину роста потребления искусственного света населением САСШ в год, близкую к истинной скорости увеличения потребления искусственного света. Скорость эта, несомненно, будет еще большей, когда потребитель лучше осознает громадное значение и важность вполне достаточного и рационально устроенного освещения.

ГЛАВА V.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА И ЦВЕТ.

Каждая светотехническая проблема может быть расчленена на три вопроса — вопрос о качестве света, вопрос об интенсивности освещения и вопрос о распределении света в поле зрения.

Интенсивность освещения есть количество света, приходящееся на единицу поверхности. Распределение света зависит от направления светового потока и от его отражения. Качество или спектральный характер есть характеристика именно света, в то время как вышеупомянутые два фактора относились к освещению. Свет сам по себе может отличаться от другого света лишь по своему качеству. Качество света определяет и его цвет. Свет определенного состава имеет вполне определенный цвет; однако свет одного и того же цвета не обязательно будет одинаковым и по своему качеству или спектральному составу. Об этом мы говорим подробнее в другой нашей книге («Color and its applications», 1921), поэтому здесь ограничимся лишь упоминанием этого факта. Следует обратить внимание на то, что процесс нашего зрения носит, так сказать, «синтетический» характер. Глаз, получая от Солнца путем отражения от какой-нибудь ахроматической поверхности лучи различных длин волн, каждый из коих в отдельности вызывает у нас ощущение того или иного хроматического цвета (фиолетового, синего, зеленого, желтого, оранжевого, красного или какого-либо промежуточного), при одновременном попадании их в глаз видит все же не многообразие цветов, но один результирующий белый цвет. Если мы смешаем в нужной пропорции голубовато-зеленый и красный свет и осветим такой смесью ахроматическую поверхность — последняя покажется нам серой. Ахроматический цвет, получающийся от смешения всех лучей солнечного спектра, и ахроматический цвет, возникающий в результате смешения только пары спектральных лучей, могут выглядеть совсем одинаково, несмотря на различие своего качества или спектрального состава.

Цвет светового потока представляет собой предмет, менее знакомый среднему читателю, чем интенсивность освещения. Даже многие светотехники гораздо менее ориентированы в этой стороне вопроса, чем в проблемах интенсивности и распределения света. Между тем качество, или спект-

ральный состав, света чрезвычайно важен не только в повседневной жизни, но и в областях научного и художественного использования света и зрения. Под качеством света понимается относительное количество энергии в лучах различных длин волн, имеющих в видимом спектре данного источника света, или, иными словами, спектральное распределение энергии в видимом спектре. При расширенном смысле слова «качество» здесь могут учитываться и ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

Распределения энергии в спектре мы непосредственно не видим. Установить его можно лишь посредством специального прибора — спектрофотометра. Исследуемый свет разлагается (обычно посредством стеклянной призмы) в спектр, т. е. лучи различных длин волн распределяются в виде ряда, дающего нам полосу цветов, переходящих друг к другу от фиолетового к красному, как то показано на рис. 1. То же самое предельвается со стандартным светом, распределение энергии в коем известно.

Затем интенсивность радиации исследуемого света каждой длины волны (или цветности) может быть измерена в величинах интенсивности радиации стандартного света той же длины волны (или цветности) путем обычной процедуры фотометрирования. Производя подобное фотометрирование по всему спектру, мы в результате и получаем кривую распределения энергии в спектре данного исследуемого света. При известном навыке, зная спектральный характер освещающего источника, мы можем предсказывать его влияние на цвет тех или иных цветных объектов.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА.

На рис. 18 приведены кривые распределения энергии в лучах видимого спектра в свете Солнца в различное время дня. В полдень, как видим, максимум энергии лежит в средней области видимого спектра — в лучах зеленовато-желтых. Из рис. 1 явствует, что это есть область наибольшей чувствительности глаза. В своем месте мы уже отмечали, что в этом сказывается влияние света как важного фактора, определявшего собою эволюцию человека и его зрительного органа. Действительно, нет ничего удивительного в том, что в результате приспособления к окружающим условиям человеческий глаз стал наиболее чувствителен как раз к тем лучам, которые обладают наибольшей энергией.

На рис. 1 показано, как глаз расценивает радиацию различных длин волн, т. е. показана относительная яркость отдельных лучей при условии, что энергия их взята одинаковой. Эта относительная яркость лучей разной длины волны дает кривую светлоты или видимости спектральных цветов. На рис. 18 приведены лишь относительные величины энергии лучей различных длин волн, характеризующие спектр солнечного света в различное время дня. Эта энергия здесь не перечислена еще на субъективное световое действие ее на глаз. Часто бывает целесообразным давать кривые именно распределения энергии в данном свете, поскольку реагирующим прибором не всегда является человеческий глаз, но иногда, например, фотографическая эмульсия или какие-нибудь другие фотохимические процессы, чувствительность которых к лучам разной длины волны отличается от чувствительности глаза.

По мере того как Солнце начинает «садиться», свет его оказывается вынужденным пройти через все больший слой атмосферы, содержащий в себе и дым, и пыль, и воду, и частички льда. Поскольку слой воздуха со «взвешенными» в нем частицами обладает избирательным пропусканием, свет, проходящий сквозь них и достигающий поверхности Земли, приобретает все более желтоватый оттенок (при закате и восходе Солнца). Это иллюстрируется второй снизу кривой рис. 18. При низком положении Солнца над горизонтом и определенном состоянии атмосферы Солнце может казаться совершенно красным. Этому соответствует самая нижняя кривая рис. 18. На рис. 19 приведены кривые распределения энергии в спектре некоторых других источников света, представляющих интерес для светотехники. Для сравнения в качестве приблизительно белого цвета приведено распределение энергии в спектре полуденного Солнца. Свет неба в случае ясного голубого

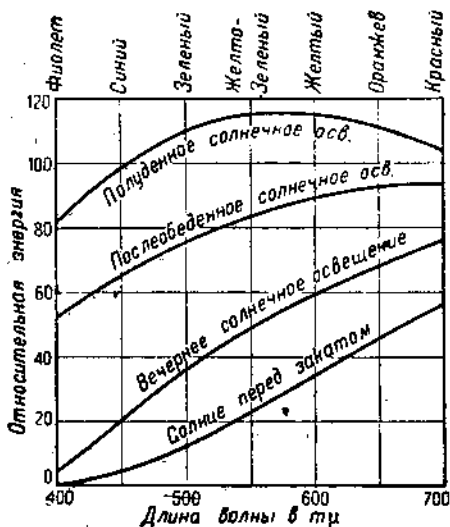


Рис. 18. Распределение энергии в солнечном свете в различное время дня.

неба, как можно видеть, содержит в себе относительно гораздо больше радиации коротких длин волн (фиолетовой, синей и зеленой), чем свет Солнца. Спектральный характер

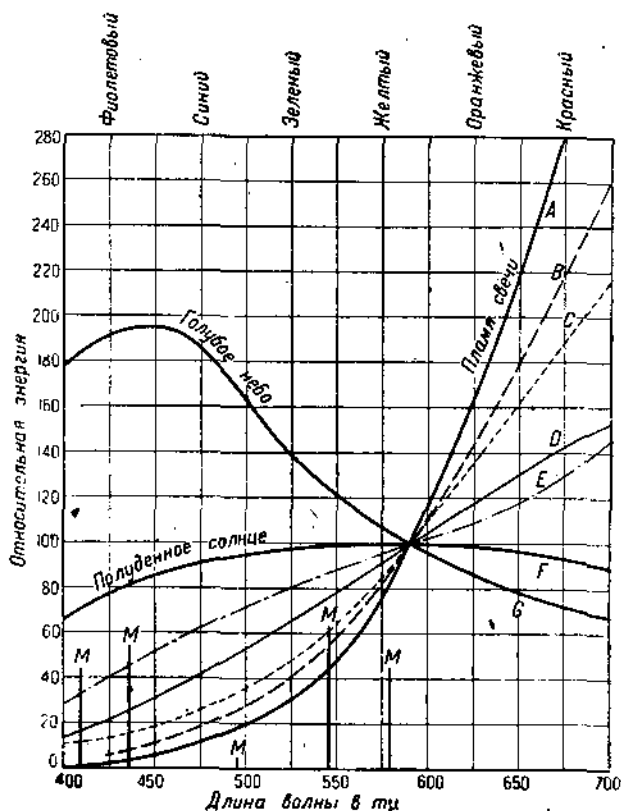


Рис. 19. Распределение энергии в видимом спектре излучения различных источников света. А — пламя свечи, В — угольная нить, С — пустотная вольфрамовая лампа (8 люменов с ватта), D — газонаполненная вольфрамовая лампа (22 люмена с ватта), E — лампа «дневного света», F — полуденное Солнце, G — голубое небо, М — ртутная дуга.

света свечи прямо противоположен свету голубого неба; в нем по преимуществу представлено излучение длинных длин волн (желтые, оранжевые, красные). Он гораздо более желт,

чем полуденный свет Солнца. Подобным же образом в силу особенностей в кривой распределения энергии в спектре свет угольной электрической лампочки желтее, чем свет пустотной вольфрамовой лампы, свет же последней в свою очередь желтее света газонаполненной вольфрамовой лампы.

Цвет испускаемого света есть здесь функция температуры накаливания нити, и, обратно, по цвету, испускаемому нагретым твердым телом (нитью, кратером дуги и т. п.), мы можем судить и о качестве спектрального состава света. Сказанное не будет, однако, справедливым по отношению к светящимся газам и парам (например к свету дуги дуговой лампы или свету дуговой ртутной лампы).

Зависимость цвета от температуры можно иллюстрировать на вольфрамовой нити, нагреваемой электрическим током. Включив в цепь реостат и производя опыт в темной комнате, можно видеть, что при весьма слабом токе вообще не происходит нагревания нити, достаточного, чтобы она как-либо светила. При уменьшении сопротивления в цепи ток усиливается, нить нагревается больше. Однако свечение все же еще может не появляться. Между тем известная радиация нитью все время испускалась, причем эта радиация была лишь очень длинноволновой, инфракрасной и не вызывала у нас какого-либо зрительного ощущения. При дальнейшем усилении тока, нить начинает светиться тлеющим красным цветом. Если мы делаем ток еще более сильным, то вольфрамовая нить делается еще ярче и становится более желтой. Иными словами, при повышении температуры нагреваемой нити начинает излучаться относительно все больше и больше лучей с короткими длинами волн, т. е. лучей сине-фиолетовой половины спектра. Если бы мы в конце концов могли нагреть нить до температуры Солнца, она стала бы излучать белый свет приблизительно того же спектрального состава, что показан кривой распределения энергии для полуденного света Солнца на рис. 19.

Световая отдача нити как источника света возрастает по мере возрастания ее температуры. Когда она вовсе не светила, ее световая отдача равнялась нулю, и электрическая энергия, идущая на проходящий через нее ток, полностью пропадала для нас, поскольку мы заинтересованы именно в получении света. Максимальная световая отдача была бы достигнута при приближении температуры нити к температуре Солнца, при дальнейшем же повышении температуры она становилась бы уже меньшей. Последнее объясняется

тем, что приблизительно при температуре Солнца вольфрамовая нить излучает максимальное количество энергии в области видимой части спектра. Здесь интересно отметить, что вообще для тел, излучающих свет по законам температурного излучения, температура Солнца является наиболее выгодной в световом отношении, глаз же наш наиболее приспособлен к восприятию именно солнечной радиации.

В описанном выше эксперименте с нагреванием нити мы имели перед собой пример обычного способа получения света в электрических лампочках. Научные усилия в этой области направлены к тому, чтобы создавать здесь нити из таких веществ, которые бы допускали длительное накаливание до возможно более высоких температур. До сих пор еще не найдено твердых тел, которые, будучи нагреты до температуры Солнца, могли бы служить практичным источником света. Температура (в градусах Фаренгейта) употребляемых ныне световых источников наряду с их световой отдачей (в люменах с ватта) приведена в табл. VII.

ТАБЛИЦА VII.

Приблизительные температуры и световая отдача некоторых световых источников.

	Температура в °C	Световая отдача (люмены с одного ватта)
Угольная нить	1820	3,0
Металлизованная угольная нить	1900	4,5
Вольфрамовая нить пустотной лампы	2050	8,0
Вольфрамовая нить газонаполненной лампы	до 2950	от 10 до 26
Полуденный солнечный свет	4950	(100)

Остановимся здесь еще вкратце на светящихся газах и парах. До сих пор у нас шла речь о свечении твердых тел. Свечение таких тел подчиняется известным законам. Испускаемый ими спектр является сплошным, т. е. в нем содержатся лучи всех длин волн, лежащих между некоторыми, достаточно широкими границами. В газах и парах атомные излучатели распределены более свободно, и при электрическом возбуждении газов или паров получается спектр уже не сплошной, но состоящий из отдельных линий или полос. Каждый газ или пар испускает свой характерный лишь для него линей-

чатый или полосатый спектр. На этом основывается, как известно, спектральный анализ. Зная, какие линии характеризуют тот или иной газ, мы, находя затем эти линии в спектре, например, какой-нибудь звезды, умозаключаем, что и на ней имеется соответствующее вещество в газообразном состоянии.

Число источников света, в коих используется свечение электрически возбужденных газов или паров, становится за последние годы все большим и большим. В течение некоторого времени находили себе применение трубки Мура, содержащие азот. Для работ, требующих хорошего различения цветов, применялась также трубка Мура с уголекислотой, дающая белый свет. Неоновые и гелиевые трубки также находят себе применение. Наиболее распространены, однако, ртутные дуговые лампы. Спектр такой лампы в видимой части состоит главным образом из четырех линий: фиолетовой, синей, зеленой и желтой (двойной). На рис. 19 эти спектральные линии обозначены буквой М. Относительное количество энергии, излучаемое каждой из этих линий, изображено высотой соответствующей ей черты на рисунке. Поскольку лучи средней части спектра обладают наибольшей «видимостью», 95% всего света ртутной дуги приходится на две ее линии: зеленую и желтую. Почти все цвета в освещении ртутной лампой кажутся в силу сказанного весьма неестественными.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА.

Естественными источниками света являются свет Солнца и свет неба. Свет полуденного Солнца настолько мощен, что является для нас характерным качеством естественного света вообще. К нему и приспособлен наилучше человеческий глаз в результате многовековой эволюции. Не следует, однако, забывать, и о другом качестве света — о свете обыкновенного пламени, которое также сопутствовало развивающемуся человеку в виде костров и очагов. Свет их можно назвать поэтому также как бы «естественным» для человека светом. Дневной свет ассоциировался с периодом человеческой активности и работы, свет же пламени костров и очагов — с представлением об отдыхе и доме. Этих психологических характеристик того и другого освещения мы коснемся ниже, в главе VI.

Таким образом на одном конце шкалы естественных источников света мы имеем красновато-оранжевое пламя, на другом — голубой свет неба. В промежутке между тем и другим находится цвет полуденного Солнца. Цвет всех этих ис-

точников может быть в настоящее время воспроизводим человеком искусственно, там, где это ему желательно или необходимо. Достигается это весьма просто посредством применения светофильтров соответствующего пропускания, фильтрующих свет от обычной вольфрамовой лампы накаливания. Конечно, нужное качество света достигается здесь за счет снижения его интенсивности. Требуется брать поэтому достаточно мощные лампы. В настоящее время имеется ряд светофильтров (как сухих, так и жидких), позволяющих нам получать искусственным путем свет любого качества — от света полуденного Солнца до света северного неба.

Путем окраски колбы лампы мы можем легко воспроизвести цвет обыкновенного пламени. Между цветом пламени и цветом Солнца в полдень лежит цвет вольфрамовой лампочки накаливания. Некоторые из них, так называемые лампочки «дневного света», приближаются по своему качеству к дневному свету в силу голубой окраски их стекла. Для обиходного употребления они вполне удовлетворительны и весьма удобны для освещения при работах, требующих правильного различения цветовых оттенков. Для особо же точных колориметрических работ применяются уже некоторые специальные установки «искусственного дневного света», мало пригодные для освещения больших пространств. Для того чтобы читатель мог нагляднее представить себе взаимные соотношения цветов различных естественных и искусственных источников света, ниже дана табл. VIII.

Начиная от света голубого неба, приведенного сверху таблицы, мы переходим к белому свету полуденного солнечного света и далее через ряд желтоватых оттенков, даваемых накаливаемыми твердыми телами, к цвету обычного пламени. На правой стороне таблицы указаны те искусственные источники света, которые в настоящее время могут воспроизвести цвет любого естественного источника света. В некоторых случаях, правда, для этого приходится пользоваться тщательно подобранными светофильтрами.

ЧТО ТАКОЕ ЦВЕТ.

Качество, или спектральный характер, света уже были определены выше. Понятия эти приложимы ко всякому свету — как к прямому свету излучающего источника, так и к свету, отраженному от какой-нибудь цветной поверхности. Спектральный характер света есть его основная физическая харак-

теристика. Глаз, как мы уже видели выше, сам неспособен бывает установить спектральный характер света и разлагать его, таким образом, на его компоненты. Одинаковый для глаза

ТАБЛИЦА VII.

Соотношение естественных и искусственных источников света друг с другом в отношении их цветности.

Естественные	Искусственные
<i>Голубоватый оттенок</i>	
Голубое небо	Искусственный свет голубого неба, достигаемый посредством светофильтра
Комбинация света неба с прямым солнечным светом	Любой оттенок дневного света может быть получен от вольфрамовой лампы накаливания в соединении с соответствующим светофильтром
<i>Белый свет</i>	
Солнце в полдень	Искусственный солнечный свет (посредством светофильтра)
Светящиеся накаливаемые твердые тела (могут быть названы естественными световыми источниками третьего рода)	Вольфрамовые лампочки «дневного света»
	Газонаполненные вольфрамовые лампы
	Пустотные вольфрамовые лампы
	Танталовые лампы
	Металлизированные угольные лампы
	Угольные лампы
Свет обычного пламени (может быть названо естественным световым источником второго рода)	Лампы накаливания с соответствующим светофильтром
Пламя	Лампа накаливания с соответствующим светофильтром

желтый цвет может вызываться как монохроматическим желтым излучением, так и смесью красных лучей с зелеными. Игнорирование того, что глаз, в отличие от уха, есть аппарат

точников может быть в настоящее время воспроизводим человеком искусственно, там, где это ему желательно или необходимо. Достигается это весьма просто посредством применения светофильтров соответствующего пропускания, фильтрующих свет от обычной вольфрамовой лампы накаливания. Конечно, нужное качество света достигается здесь за счет снижения его интенсивности. Требуется брать поэтому достаточно мощные лампы. В настоящее время имеется ряд светофильтров (как сухих, так и жидких), позволяющих нам получать искусственным путем свет любого качества — от света полуденного Солнца до света северного неба.

Путем окраски колбы лампы мы можем легко воспроизвести цвет обыкновенного пламени. Между цветом пламени и цветом Солнца в полдень лежит цвет вольфрамовой лампы накаливания. Некоторые из них, так называемые лампы «дневного света», приближаются по своему качеству к дневному свету в силу голубой окраски их стекла. Для обиходного употребления они вполне удовлетворительны и весьма удобны для освещения при работах, требующих правильного различения цветовых оттенков. Для особо же точных колориметрических работ применяются уже некоторые специальные установки «искусственного дневного света», мало пригодные для освещения больших пространств. Для того чтобы читатель мог нагляднее представить себе взаимные соотношения цветов различных естественных и искусственных источников света, ниже дана табл. VIII.

Начиная от света голубого неба, приведенного сверху таблицы, мы переходим к белому свету полуденного солнечного света и далее через ряд желтоватых оттенков, даваемых накаливаемыми твердыми телами, к цвету обычного пламени. На правой стороне таблицы указаны те искусственные источники света, которые в настоящее время могут воспроизвести цвет любого естественного источника света. В некоторых случаях, правда, для этого приходится пользоваться тщательно подобранными светофильтрами.

ЧТО ТАКОЕ ЦВЕТ.

Качество, или спектральный характер, света уже были определены выше. Понятия эти применимы ко всякому свету — как к прямому свету излучающего источника, так и к свету, отраженному от какой-нибудь цветной поверхности. Спектральный характер света есть его основная физическая харак-

теристика. Глаз, как мы уже видели выше, сам неспособен бывает установить спектральный характер света и разлагать его, таким образом, на его компоненты. Одинаковый для глаза

ТАБЛИЦА VIII.

Соотношение естественных и искусственных источников света друг с другом в отношении их цветности.

Естественные	Искусственные
<i>Голубоватый оттенок</i>	
Голубое небо	Искусственный свет голубого неба, достигаемый посредством светофильтра
Комбинация света неба с прямым солнечным светом	Любой оттенок дневного света может быть получен от вольфрамовой лампы накаливания в соединении с соответствующим светофильтром
<i>Белый свет</i>	
Солнце в полдень	Искусственный солнечный свет (посредством светофильтра) Вольфрамовые лампочки «дневного света» Газонаполненные вольфрамовые лампы Пустотные вольфрамовые лампы Танталовые лампы Металлизованные угольные лампы Угольные лампы
Светящиеся накаливаемые твердые тела (могут быть названы естественными световыми источниками третьего рода)	Лампы накаливания с соответствующим светофильтром
Свет обычного пламени (может быть названо естественным световым источником второго рода)	Лампа накаливания с соответствующим светофильтром
Пламя	

желтый цвет может вызываться как монохроматическим желтым излучением, так и смесью красных лучей с зелеными. Игнорирование того, что глаз, в отличие от уха, есть аппарат

синтезирующий, но не анализирующий, было причиной многих заблуждений в науке и мешало полному пониманию соотношения между свойствами света и теми или иными видимыми нашим глазом цветами.

Для понимания того, что такое цвет, нам необходимо исходить из того, что цвет реально определяется свойствами света. Пигмент или краситель играют лишь роль избирательного поглотителя. Они поглощают радиацию одних длин волн и отражают радиацию других длин волн. Например, киноварь имеет физическое свойство поглощать большую часть видимой радиации и отражать главным образом красные лучи. Все же она, как и большинство красок, отражает лучи не только одной длины волны, но целого ряда длин волн. Кроме красных лучей она отражает и оранжевые и отчасти желтые; результирующее ощущение, вызываемое этими лучами, и дает то, что мы называем общим термином: «красный цвет». Относительно отражения данной краской невидимой радиации мы здесь ничего сказать не можем. Обычно различные покраски обнаруживают избирательное поглощение и в области инфракрасной; однако в связи с вопросом о видимом цвете покраски это для нас значения не имеет.

Киноварь кажется нам красной лишь тогда, когда в освещающем источнике имеются отражаемые ею красные лучи. В ином случае она, конечно, никаких красных лучей отражать не сможет. При освещении ее, например, светом ртутной дуги она выглядит почти совершенно черной. Наши губы при таком освещении кажутся синевато-черными, поскольку они отражают некоторое количество синих и фиолетовых лучей и большое количество красных, в данном случае отсутствующих в свете самого освещения. Неудивительно поэтому, что при свете ртутной лампы все красное выглядит мертвенно-темным. Если мы осветим два ряда цветов, например, покраску фиолетовую, синюю, зеленую и желтую, оранжевую, красную, один раз светом неба, а другой раз обыкновенным искусственным светом, мы без труда заметим, что цвета фиолетовые, синие и зеленые при дневном освещении будут выглядеть гораздо более яркими и насыщенными, чем при искусственном свете. Обратное, однако, будет наблюдаться на оттенках желтого, оранжевого и красного. Желтоватый источник света делает более яркими и полноцветными цвета желто-красные; синеватый же источник света способствует наилучшей видимости цветов фиолетовых, синих и зеленых. То же будет верно и по отношению к сложным цветам. Пурпурная поверхность,

например, отражает по преимуществу фиолетовые и красные. При искусственном освещении она выглядит сообразно с этим почти красной, при голубоватом же свете — почти синей. Следует самому проделать эти простые эксперименты. Они позволят лучше понять связь между спектральным составом освещающего света и видимой цветностью освещаемых им предметов.

То, что Солнце в полдень посылает свет почти белый, было общим убеждением тех, кто работает в области изучения цвета. В недавнее время Прист доказал это и специальным исследованием. Он показал, что белый свет излучается телом при температуре, близкой к 4930°C . Температура же Солнца в полдень по измерениям, произведенным в Вашингтоне, соответствует цветовой температуре в 5030°C .

ИДЕАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ, ТРЕБУЮЩЕЙ РАЗЛИЧЕНИЯ ЦВЕТОВ.

Из всего того, что говорилось выше, следует, что для работ, требующих тонкого различения цветов, идеальным источником света будет такой, свет коего вполне нейтрален. Он не будет создавать преимущественных условий ни для какого цвета. Примем при этом во внимание, что мы при благоприятных условиях должны различать более сотни цветовых тонов и тысячи вообще различных цветовых оттенков. Очевидно, что здесь необходимо пользоваться каким-то стандартным освещением и притом освещением белым, как ставящим все цвета в одинаковые условия. Таковым удобно считать свет полуденного Солнца в ясный день. Он почти постоянен по своему качеству и почти бел. Из всех естественных источников света он самый главенствующий.

Как упоминалось выше, при переходе человека к жизни в закрытых помещениях естественным источником дневного света для него стал свет неба. Свет северной стороны неба в нашем полушарии более постоянен как по своему качеству, так и по интенсивности по сравнению со светом неба прочих сторон горизонта. Поэтому северная сторона неба относительно наиболее выгодна и для работ с цветами.

В настоящее время возможно и искусственным путем создать белый свет, по своему качеству весьма близкий к белому солнечному свету. Для этого приходится применять специальным образом подобранные светофильтры, пропускающие через

них свет обыкновенных источников искусственного света. В недавнее время в Америке сконструирована специальная лампа «солнечного света» (Sunlight). Она представляет собою сочетание в одной колбе вольфрамовой нити накаливания и ртутной дуги. Излучение ртутной дуги, богатое по преимуществу сине-фиолетовыми лучами, накладывается на сплошной спектр, даваемый накаленной вольфрамовой нитью, что в результате дает свет, весьма близкий к белому солнечному свету.

Для всех точных колориметрических работ необходимо пользоваться белым светом. Стоимость его устройства весьма незначительна сравнительно с обуславливаемой им экономией времени, уменьшением брака и общим улучшением качества работы.

При освещении помещений, в которых производятся работы, требующие хорошего различения цветовых оттенков, целесообразно применять рассеянный свет, падающий с достаточно большой поверхности. Полезно применять в этих целях несколько источников искусственного дневного света и пользоваться специальной комнатой с белым потолком и серыми стенами. Цвет поля зависит и от цвета окружающего его фона. Желательно поэтому в качестве такового брать средний серый цвет, хотя и такое решение вопроса является, конечно, компромиссным, не создающим вполне одинаковых условий для разных цветов. Цветное поле среди более темного фона светлеет, будучи же помещено на более светлый фон кажется, напротив, более темным. Кажущаяся яркость цветного поля остается неизменной в том случае, когда фон так же ярк, как и поле.

Кроме подобных явлений светового контраста, контраста по яркости, при помещении цветного поля на фон какого-нибудь другого цвета наблюдается обычно и эффект цветового контраста. Цвет фона стремится всегда несколько видоизменить цвет находящегося на нем поля в направлении цвета, дополнительного к цвету фона. Цветовой контраст можно хорошо наблюдать, положив какие-нибудь серые бумажки на цветные фоны. Если фон зеленый — серая бумажка приобретает малиновато-красный оттенок, на синем фоне она покажется желтоватой, на красном — зеленоватой и т. д.

При работе с цветами не следует забывать и о возможности влияния так называемых последовательных образов. После пристального смотрения на какое-нибудь яркое цветное поле, при переводе взора на белую или серую поверхность мы видим

на ней очертания этого же поля, но в цвете дополнительном. После смотрения, например, на голубое, последовательный образ бывает желтоватым, после смотрения на красное — зеленоватым и т. п. В обычных условиях эти последовательные образы (отрицательные последовательные образы) длятся весьма недолго — несколько секунд, однако при быстром сравнении двух ярких цветов путем последовательного переключения ввора с одного на другой их влияние может оказаться достаточно заметным.

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ДНЕВНОЙ СВЕТ, ДАВАЕМЫЙ ИСКУССТВЕННЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ.

Световая отдача искусственных источников дневного света, достаточно точно воспроизводящих качество этого последнего, в настоящее время еще сравнительно невелика. Поэтому применение этих источников для общего освещения является пока еще слишком дорогим стоящим, да и не все отдельные виды работ требуют в одинаковой мере точного искусственного дневного света. Очень часто значительное улучшение условий работ создается уже устройством приблизительно дневного искусственного освещения. В качестве такого приблизительно дневного света могут служить лампы накаливания «дневного света». Свет их есть уже заметный шаг в направлении к свету, даваемому Солнцем в полдень; освещаемые ими предметы выглядят поэтому гораздо натуральнее, чем при освещении обыкновенными лампами накаливания. Широкое распространение ламп «дневного света» само уже говорит за их желательность. Большинство людей и не подозревает, в какой мере мы в нашей повседневной работе зависим от цветов. Внимательный анализ нашего окружающего и нашей деятельности может без труда выяснить громадную роль, ими играемую. Деревья, металлы, всякого рода фабрикаты и вообще все, что нас окружает, имеет тот или иной цвет. Бесцветного почти не существует. Мы можем подумать, что, например, «белый» порошок бесцветен, но стоит нам сделать в нем пальцем углубление, чтобы увидеть, что и он имеет известный хроматический оттенок. Свет, падающий в это углубление, претерпевает многократное отражение от его стенок. При каждом отражении хроматичность его несколько усиливается, после же многократных отражений становится вполне заметной.

Применение вольфрамовых ламп «дневного света» в качестве источников общего освещения избавляет нас часто от дорого стоящей порчи материалов и потери времени на пере-

делки. Применение ламп «дневного света» полезно не только там, где идет речь об освещении помещения, в котором совершается работа, требующая различения цветовых оттенков, но и всюду, где мы вынуждены бываем добавлять искусственное освещение к естественному. В этих условиях качественное различие между двумя источниками света становится, понятно, меньшим. Если же при различном направлении световых потоков они оказываются еще различными и по своему цвету, у нас возникает неприятное впечатление заметной двойственности. Эта неприятная двойственность, конечно, бывает гораздо менее заметна тогда, когда направления искусственного и естественного света совпадают, например, в случае, когда лампы дневного света висят под стеклянным потолком, служащим верхним светом естественного освещения. Чаще же, однако, естественный свет падает из окон, находящихся в стенах, искусственный же от ламп, подвешенных у потолка. Поэтому забота о том, чтобы оба света были возможно близки друг к другу по цвету, является вполне актуальной.

ГЛАВА VI.

КАЧЕСТВО СВЕТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА.

Мы все более приходим к убеждению, что идеальным освещением с точки зрения продуктивности повседневной работы человека является белый или приблизительно белый свет. Учитывая влияние адаптации человеческого существа к окружающим условиям, мы, конечно, и не можем думать иначе. Свет, по качеству своему возможно близкий к дневному (все равно, будет ли это свет естественный или свет искусственный), есть то, к чему мы должны безусловно стремиться. К счастью, усовершенствование ламп накаливания ведется как раз в этом же направлении: лампы с наибольшей световой отдачей являются вместе с тем и наиболее белыми по своему цвету. Главным фактором, делающим белый свет наиболее предпочтительным для человека, служит, по мнению автора, именно многовековая адаптация человека к дневному свету. Адаптация эта касается не только физической, но и физиологической и психической сторон человеческого существа.

Природное освещение сказалось на физической стороне нашего существа — на нашей физиономии и глазных средах.

Физиологический процесс зрения есть также продукт адаптации и, несомненно, под влиянием совсем новых условий сможет измениться лишь весьма постепенно. Наша психология еще, пожалуй, наиболее изменчива. Определенные перемены здесь мы наблюдаем уже на протяжении краткого периода нашей жизни. При достаточно широком и глубоком рассмотрении проблемы освещения мы обязательно должны учитывать и эту психологическую сторону. Такой подход позволит нам разъяснить и те кажущиеся противоречия, которые стоят на пути удовлетворительного разрешения вопроса о наилучшем качестве освещения. Мы не можем представить себе первобытного человека, начинающего свое развитие по пути цивилизации без огня. Поэтому мы имеем все основания считать, что пламя — очаг, и соответствующий свету его цвет стали для человека чем-то естественным, по крайней мере в известных условиях и обстановке. Об этом мы кратко уже упоминали выше, в главах IV и V, и остановимся подробнее еще раз в настоящей главе.

СВЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО КАЧЕСТВА.

Нет никакого сомнения в том, что для работ, требующих различения цветовых оттенков, белое освещение является самым предпочтительным. Возникают, однако, и другие вопросы. Какое качество света является наилучшим для работ, не связанных с различением цветовых оттенков? К какому качеству света мы уже наследственным образом приспособлены лучше всего?

Полный ответ здесь может дать лишь исчерпывающее исследование этого круга вопросов. В настоящее время мы располагаем лишь ограниченным запасом экспериментальных данных, большим количеством наблюдений общего характера и известными логическими выводами. Человека при этом мы должны иметь в виду как существо двойное: как живущее днем — дневное, и как живущее ночью — ночное. Со днем и с дневным светом у нас ассоциированы работа и выполнение серьезных задач посредством зрения. Поэтому днем мы желаем иметь достаточно интенсивное освещение, по своему качеству соответствующее дневному. Подобное ожидание есть некоторое реальное, хотя и неосознаваемое требование, унаследованное от наших предков еще с доисторических времен и присущее каждому из нас.

Если день с его высокими интенсивностями освещения есть время серьезной работы, то ночь для большинства людей

является уже как раз обратным — периодом отдыха и бездеятельности. В этом случае мы испытываем настроение домашности, с чем и ассоциировался — опять-таки в ходе многовековой истории человеческой культуры — оранжево-желтый цвет пламени костров и очагов.

Но сейчас нас интересует человек прежде всего как существо «дневное», работающее. Те — правда, еще недостаточные — данные физиологии зрения, в частности по вопросу о зрительном утомлении, которыми мы в настоящее время располагаем, говорят за то, что свет, по качеству своему сходный с дневным, является наиболее благоприятным для продолжительной зрительной работы. Есть опытные данные, говорящие за то, что освещение нравится тем больше, чем больше качество, его приближается к белому. В течение целой зимы автор проводил специальные эксперименты по вопросу о роли качества освещения рабочего помещения. Освещение варьировалось от почти дневного света, даваемого соответствующими лампами накаливания «дневного света», до насыщенного темноватооранжевого цвета. Между этими крайностями имелось несколько промежуточных по своему качеству освещений (желтоватых цветов) соответственно различным температурам накаливаемого излучателя. Исследования производились тогда, когда испытуемые — автор и еще один взрослый человек — были заняты активным писанием или чтением научных и технических книг и статей. При таких условиях испытуемые должны были находиться в рабочем, «дневном», настроении. Результат подобных опытов с полной несомненностью показал, что освещение нравится тем больше, чем более оно по своему качеству приближается к дневному, обратно — по мере увеличения желтизны освещение признается все менее желательным.

Недавно аналогичные же эксперименты были произведены автором приблизительно над 35 интеллигентными лицами. Результаты — по крайней мере в пределах условий опыта — оказались весьма показательными. Испытуемые не были почему-либо заинтересованы в результатах экспериментов. Кроме того, в экспериментах принимались все предосторожности, требуемые психофизиологической методикой, для того чтобы избежать каких-либо посторонних влияний, внушений, предвзятости и т. п. В качестве работы было взято чтение книги, напечатанной черными буквами на белой бумаге. Окружающее было обычно, практически нейтрально по цвету и не могло каким-либо заметным образом влиять на исход

опытов. В качестве источников света брались лампы Mazda C (вольфрамовая, газонаполненная) с бесцветной колбой и Mazda «дневного света»; и те и другие лампы горели при нормальном для них напряжении. В обоих случаях свет освещения был одинаково рассеянным и одинаково распределенным в комнате. Таким образом различие между обоими видами освещения было лишь в качестве и в интенсивности его.

Лампы «дневного света» в силу синей окраски их колб пропускают лишь около двух третей того светового потока, который дается обыкновенными лампами того же числа ватт. В опытах же применялись как раз лампы одинакового числа ватт. Следовательно, освещенность лампами «дневного света» составляла во всех случаях лишь две трети освещенности, создаваемой лампами с бесцветными колбами. Одинаковость числа ватт в лампочках обоих испытываемых сортов должна была делать описываемые эксперименты особенно интересными с практической точки зрения. После предварительного периода приспособления испытуемых к условиям опыта им предлагалось

ТАБЛИЦА IX.

Эксперименты	Освещенность в футо-свечах		Число испыты- ваемых	%, испытуемых, предпочтавших лампы «днев- ного света»
	обыкновенными лампами	лампами «дневного света»		
1	0,75	0,5	28	75
2	6,0	4,0	34	62
3	13,5	9,0	32	54
4	21,0	14,0	32	54
5	28,5	19,0	34	77

читать при данном уровне освещения того или иного рода. Для большей легкости сравнения и оценки того или иного качества освещения испытуемый мог по желанию сам включать то одно, то другое. Поскольку дело шло о чтении черных букв, напечатанных на белом, возможные затруднения в различении цветовых оттенков здесь отсутствовали. Эксперимент, таким образом, должен был выяснить лишь проблему большей или меньшей желательности того или иного качества освещения самого по себе. Дальнейший, более детальный и глу-

бокий анализ причин предпочтения одного цвета освещения другому здесь специально не проводился.

Несмотря на меньшую освещенность, создаваемую лампами «дневного света», они все же предпочитались большинством испытуемых, как то видно выше из табл. IX.

В опытах со всеми пятью уровнями освещенности испытуемые были одни и те же. Эксперименты производились на протяжении почти целого года. Возможные влияния запоминания оценок устранялись. Уровни освещенности были: минимальная 0,75 футо-свечей и максимальная 28,5 футо-свечей при лампах обыкновенных и, следовательно, две трети этих величин при лампах «дневного света». Упомянем еще раз, что лампы «дневного света» дают лишь приблизительно дневной свет, как о том уже говорилось выше.

Интересным результатом всех опытов было то, что в большинстве случаев испытуемые предпочитали работать при освещении этими лампами «дневного света», чем при большем (на одну треть) освещении, создаваемом обыкновенными вольфрамовыми лампами накаливания того же числа ватт. Это предпочтение света, более близкого по своему качеству к дневному свету, сказывалось даже при низких уровнях освещенности в 0,5—0,75 футо-свечи, когда, казалось бы, особенно важна именно большая интенсивность освещения.

Автором производились и другие эксперименты, результат коих еще более явно показал предпочтительность освещения, приближающегося по своему качеству к дневному свету. Общепринятым считается, что смешение обычного искусственного света с естественным дневным в случае различного направления световых потоков, не совпадающих по качеству, производит неприятное впечатление, особенно заметное тогда, когда величина освещенностей естественным и искусственным светом близка к равенству. В экспериментах мы использовали свет тех же источников, что и в предыдущих опытах (лампы Mazda C обыкновенные и лампы Mazda «дневного света»). Во всех случаях свет этих искусственных источников брался в качестве дополнения к освещенности в 4 футо-свечи, создаваемой на странице читаемой книги естественным дневным светом неба, идущим через окно, расположенное слева. Результаты опытов приведены в табл. X.

Предпочтение здесь также оказалось в пользу приблизительно дневного света, добавленного к естественному дневному свету; обычные лампы накаливания и лампы «дневного света» брались одинакового числа ватт.

Из таблицы видно, что здесь свет ламп «дневного света» предпочитается еще больше, несмотря на большую освещенность, создаваемую светом обычных ламп накаливания. Поэтому из всех этих экспериментов мы можем смело заключить, что при одинаковых освещенностях обычными лампами и лампами «дневного света» последние всегда будут предпочитаться для серьезной зрительной работы.

ТАБЛИЦА X.

Эксперимент	Освещенность в футо-свечах, добавляемая к 4 футо-свечам, даваемым естественным дневным светом		Число испытуемых	% испытуемых, предпочитающих лампы «дневного света»
	обыкновенными лампами	лампами дневного света		
6	6,0	4,0	32	75
7	13,5	9,0	36	67
8	21,0	14,0	36	72
9	28,5	19,0	36	89

Автору приходилось встречать лиц, жаловавшихся на неприятность и неудобство зрительной работы ночью при обычном электрическом освещении и чувствовавших себя вполне хорошо при искусственном освещении лампами «дневного света». Автор склонен думать, что при искусственном дневном свете мы уже чувствуем себя, как «дневные», «активные» существа, в то время как оранжево-желтый цвет освещения располагает нас, наоборот, к отдыху.

Установить достаточно полно и твердо законы влияния качества света на нашу человеческую природу — задача достаточно трудная. Для этого необходимо прежде всего подвергнуть обследованию достаточно большое число лиц. Кроме того, реакции одного и того же человека на одно и то же качество освещения могут быть весьма различны в зависимости от всей сложности его психической жизни в отдельные моменты.

В пользу предпочтительности освещения дневного по сравнению со смешанным и обыкновенным искусственным говорят также и некоторые другие эксперименты. Так, например, Ферри и Рэнд испытывали продуктивность различных функций зрения при освещении естественном, при освещении обычном искусственным и при освещении смешанном. Освещенность при всех качествах освещения сохранялась приблизительно

одна и та же. Опыты показали, что естественное освещение дало наилучшие результаты в отношении остроты зрения, скорости зрительного восприятия и устойчивости ясного видения. В последние годы Кван Тэнт проводил эксперименты о влиянии качества освещения специально на скорость зрительного восприятия. Перед испытуемыми стояла задача — как можно скорее заметить направление разрыва в черном кольце (так называемом кольце Ландольта) или как можно скорее прочесть цифры, неясно намеченные на заштрихованном поле.

Во всех случаях, несмотря на ту же самую освещенность, глаз наилучше функционировал в освещении дневном. В прочих же бывших в опыте видах освещения — освещении ртутной лампой и освещении обыкновенной лампой накаливания — скорость зрительного восприятия была меньшей.

СВЕТ, ПО КАЧЕСТВУ СВОЕМУ ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ ОТ ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА.

Из вышесказанного и из рис. 19 можно видеть, что главной характеристикой естественного света является сплошной спектр, в котором представлены все видимые нами лучи. Распределение энергии в лучах различных длин волн в спектрах солнечного света и обыкновенной свечи весьма различно. Различные же электрические лампы накаливания занимают по характеру своих спектров места промежуточные между солнечным светом и свечой, как то и было отмечено в табл. VIII. Лампы накаливания представляют собою накалинные до различных температур твердые тела, дающие в зависимости от температуры определенный естественный ряд цветности излучаемого света — от более белого через оттенки желтого к оранжевому. Читатель, несомненно, без труда сможет вспомнить об источниках искусственного света, производящих впечатление «неестественных». Таковым оказалась, например, газонакаливная лампа с зеленоватым оттенком ее света, что вызывало неблагоприятную ее оценку. Смягчающим обстоятельством явилось, однако, то, что свет газонакаливной лампы давал все же все видимые нами длины волн. Зеленоватым же он был в силу относительно большего присутствия излучений из средней области спектра. Поэтому свету газонакаливной лампы присуща лишь слабая степень «неестественности»; сплошной же характер излучаемого ею спектра позволяет поставить газонакаливную лампу в один ряд с прочими, упомянутыми выше источниками искусственного света.

Единственным явно «неестественным» источником света из ныне употребляемых является ртутная дуговая лампа. Цветность ее света синеватая; белая или серая поверхность при освещении ее ртутной лампой кажется синеватого цвета. Тем не менее спектр ртутной дуги, как это показано на рис. 19, состоит из четырех главных линий (отмеченных буквой М); две из них — зеленая и желтая (двойная) — обуславливают более 90% всего излучаемого света. Еще менее «естественным», чем свет ртутной лампы, был бы свет источника, имевшего всего одну линию в спектре и притом в одном из концов видимого спектра, т. е. красную или фиолетовую. Такой свет называется монохроматическим, поскольку все излучение сосредоточено в лучах одной длины волны, т. е., следовательно, одного спектрального цвета. Может быть, наиболее заметной характеристикой света ртутной дуги является то, что все освещенные ею предметы приобретают своеобразный и весьма неестественный вид. Как уже упоминалось об этом выше, красные предметы кажутся черными, поскольку свет ртутной дуги не содержит в себе ни красных, ни оранжевых лучей. К счастью, однако, в свете ртутной лампы имеется достаточное количество синих и фиолетовых лучей, дающих в результате смешения с зелеными и желтыми лучами, все же свет не очень цветной, благодаря чему серые и бесцветные поверхности приобретают лишь некоторую синеватую окраску. В силу этого свет ртутной лампы, несмотря на свою «неестественность», все же находит себе известное применение в практике.

Вероятно, вследствие того, что человеческий глаз обладает хроматической абберрацией, очень мелкие детали, лежащие на границе видимости, в монохроматическом освещении видятся нами при меньшей интенсивности освещения, чем в обычном освещении. Белль и позже него автор изучали этот вопрос экспериментально. В результате этих опытов было установлено, что при рассмотрении очень мелких деталей, лежащих на границе видимости, освещение светом ртутной дуги выгоднее, чем освещение солнечное, или освещение каким-либо другим смешанным светом. По мере того как требуется различать уже более крупные объемы, преимущество монохроматического (или приближающегося к нему как свет ртутной лампы) освещения становится все менее важным. Равным образом преимущество это уменьшается и при значительной интенсивности освещения. Поэтому для обычных зрительных работ (вроде чтения) и обычных уровней освеще-

ценности монохроматическое освещение практически заметной выгоды не приносит. Кроме того, освещение ртутной лампой многим работающим, даже над различением мелких деталей, не нравится в силу все же своей «неестественности».

Из монохроматических лучей для остроты зрения нормального глаза наиболее благоприятными оказываются лучи желтые и зеленые. В этом отношении свет ртутной дуги должен быть как раз особенно благоприятен для остроты зрения, поскольку главным образом и состоит из желтой и зеленой линий. Есть указания на то, что время реакций на зрительные раздражения при освещении светом ртутной лампы бывает короче, чем при обычном освещении. Данные эти не могут, однако, считаться окончательными уже в силу недостаточного количества подвергавшихся испытанию лиц. Поэтому, вполне отдавая должное всем успехам, достигнутым в области производства ртутных ламп, автор все же думает, что практическое применение их может быть лишь достаточно ограниченным некоторыми специальными видами работ, а никак не может получить широкого распространения для целей общего освещения, когда большое число лиц было бы подвергнуто психологическому влиянию совсем неестественной расцветки всего окружающего. Конечно, окончательное решение этого вопроса требует еще тщательного исследования с привлечением к нему большого числа опытных.

Мы все подвержены влиянию окружающего. Противостоять вполне этим влияниям не в состоянии никто. Надо полагать поэтому, что для работающего не может остаться безразличным и тот напоминающий мертвецов вид, который приобретают лица всех окружающих в свете дуговой ртутной лампы. Вероятно, что в результате общей неестественности всего окружающего у работающих может возникнуть настроение известной подавленности, известного нарушения душевного равновесия. Возможно, что после длительного и каждодневного пребывания в освещении ртутной лампой появятся известные нарушения в самой способности верно определять цвета. Все эти вопросы должны быть выяснены специальным исследованием, достаточно обширным и трудным.

Ввиду спорности многого в вопросе о преимуществах и недостатках освещения, приближающегося к монохроматическому, автором был поставлен нижеследующий простой эксперимент, позволяющий установить, какое количество света требуется читающим лицом при двух существенно различных по своему качеству родах освещения. В ящике, имеющем

нижнюю стенку, сделанную из рассеивающего стекла, были подвешены газонаполненные вольфрамовые лампы, а рядом с ними ртутные дуги. Яркость видимых частей ламп была одинакового уровня в обоих случаях; распределение и направление световых потоков также были теми же самыми; окружающее по своей окраске было нейтрально. Иначе говоря, все условия, кроме спектрального характера света, были тождественны. В качестве работы предлагалось читать черный шрифт, напечатанный на белой бумаге. После некоторого периода адаптации к чтению при некоторой установленной интенсивности освещения читающему предлагалось изменить интенсивность освещения так, чтобы выбрать в конце концов освещенность, самую для него подходящую. В каждом эксперименте максимальные возможные освещенности, даваемые как тем, так и другим источником света, варьировались и были равны соответственно: 10, 30 и 45 фута-свечам. Результаты опытов приведены в табл. XI.

ТАБЛИЦА XI.

Выбор освещенностей при освещении ртутной дуговой лампой и газонаполненной вольфрамовой лампой.

Эксперимент №	Число испытываемых	Максимальная возможная освещенность в фута-свечах	Средняя выбранная освещенность в фута-свечах	
			при свете ртутной лампы	при свете лампы накаливания
1	22	10	6,3	5,3
2	55	30	14,2	12,7
3	24	45	18,9	16,1
4 ¹	26	30	18,0	17,4

Как можно видеть, заметной разницы в выбранных уровнях освещенности не обнаружилось. Между тем, казалось бы, что освещение, более благоприятное для зрения, должно было бы достигать своего оптимума при меньшей интенсивности освещения ².

¹ В этом эксперименте бумага с напечатанным текстом была закрашена в серый цвет с коэффициентом отражения 41%.

² Едва ли можно, однако, этим экспериментам Лёкиша придавать решающее значение. То, что устанавливалось испытываемыми в этих опытах, была не наилучшая освещенность, а среднее значение освещенности для данных границ ее, — освещенность «не слишком большая и не слишком маленькая». Только этим можно объяснить неизменный рост выбираемого уровня освещенности, по мере того как растет максимальная возможная освещенность (см. табл. XI). *Прим. ред.*

Влияние цветности освещения на человека следует рассматривать, вообще говоря, с двух сторон: во-первых, следует выяснить влияние данного спектрального состава света специально на функции зрения, во-вторых же, необходимо ставить вопрос и более широко, интересуясь тем, как изменяются общее психофизиологическое состояние организма и его реакции при воздействии света различного качества. Опыты Фэрри и Рэнд специально выяснили зависимость таких зрительных функций, как острота зрения, скорость зрительного восприятия, устойчивость ясного видения и, наконец, утомляемость зрения от цветности освещения. Источниками света различных цветов служили монохроматические спектральные лучи; освещенность на испытательной таблице при всех цветах освещения сохранялась одной и той же; она была равна приблизительно 3 люксам.

Данные этих экспериментов показали, что наиболее благоприятными для функций зрения оказываются лучи желтые. В недавние годы Рофом также изучался вопрос о зависимости остроты зрения от цветности освещения. Согласно его данным средняя область спектра выгоднее прочих.

Влияние цветности освещения на общебиологические функции человеческого организма остается изученным пока в весьма недостаточной степени. Можно считать лишь установленным, что свет вообще действует на нас стимулирующим, возбуждающим образом. Так, при пребывании в светлом помещении сердце у нас бьется чаще, чем при пребывании в темноте. Прессей на основании произведенных им экспериментов находит возможным утверждать, что и психические процессы протекают при усилении освещения более быстрым темпом.

Что касается специально роли различных цветов освещения, то пока мы должны ограничиться лишь утверждением довольно общего характера, что цвета красно-оранжево-желтые действуют возбуждающим образом, зеленые успокаивают, сине-фиолетовые же влияют также успокаивающе, но порою уже и с некоторым налетом угнетения. Есть экспериментальные данные (Фэрэ, Гоанга и др.), иллюстрирующие это возбуждающее влияние красно-оранжевых цветов на мускульную силу руки, на наиболее удобном темпе произвольных движений, на дыхании и пульсе. Но, повторяем, весь этот круг вопросов требует еще дополнительных систематических исследований.

ГЛАВА VII.

КОЛИЧЕСТВО СВЕТА.

Вопросов, связанных с интенсивностью освещения, мы касались уже выше в различных местах настоящей книги; все же остановимся здесь вкратце на некоторых специальных темах, касающихся интенсивности света, хотя это и вынуждает нас отчасти к некоторым повторениям.

В вопросе об интенсивности освещения мы сталкиваемся с удивительной ненормальностью или, лучше сказать, непоследовательностью. Как уже отмечалось выше, в течение дня мы имеем чрезвычайно высокие уровни освещенности, между тем освещение, в котором мы находим возможным быть при искусственном свете внутри помещения, весьма близко к другой крайности—к темноте. И, несмотря на это, мы нередко все же слышим жалобы на «переосвещение» — на то, что «света слишком много», — в то время как освещенность не превосходит и сотни люксов. Такие интенсивности освещения имеют место снаружи приблизительно через полчаса после захода Солнца, и здесь мы находим их уже явно недостаточными, заставляющими нас откладывать в сторону читаемую книгу и ожидать зажигания искусственного света в комнате. Войдя же в помещение некоторое время спустя, мы испытываем порою, как уже упомянуто, впечатление «слишком большого света». Измерения могут, конечно, тотчас же показать совершенную неосновательность подобных жалоб. Есть, однако, еще более простой способ демонстрирования того же самого. Зажгите полное искусственное освещение в комнате днем и затем выключите его: разница в общей освещенности будет почти не заметна. Если освещенность, создаваемая искусственным светом, незначительна, даже по сравнению с хорошим дневным освещением внутренности помещения она подавно уже весьма мала по сравнению с дневным светом снаружи, превышающим ее в сотни раз. Объяснение упомянутого кажущегося противоречия лежит в том, что имеющаяся часто блескость и неравномерность освещения внутри помещения принимается за его якобы чрезмерную интенсивность. Интересно отметить, что наиболее тонкая работа в тех или иных производствах, пользующихся естественным освещением, обычно помещается вблизи окон. Практически при рационально устроенном искусственном освещении мы никогда не можем получить «слиш-

ком много» света. Как мы увидим ниже подробнее, все зрительные функции достигают максимальной продуктивности при освещенностях, достаточно высоких, превышающих тысячи люксов.

СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК СВЕТА.

Если мы подумаем о Солнце как источнике света и о той интенсивности освещения, которую оно всегда создает на одной половине земного шара, то все достижения нашей световой техники покажутся в достаточной мере скромными. Колоссальное количественное превосходство солнечного освещения по сравнению со всяким искусственным обычно недостаточно сознается. Как указывалось уже выше, сила света Солнца, измеряемая на земной поверхности, равняется биллиону биллионов биллионов свечей. Голые цифры не дают нам наглядного представления о всей грандиозности такой интенсивности света. Допустим, что население всего земного шара равняется приблизительно двум биллионам людей. Если мы соберем всех их в одну группу и каждому из людей дадим по биллиону ламп в биллион свечей каждая, то общий световой поток, испускаемый всеми этими лампами, сможет состязаться с Солнцем по силе света. Или позволим себе другую иллюстрацию. Если бы современная скорость производства искусственных источников света увеличилась в биллион раз, то все же понадобилось бы 100 миллионов лет, чтобы накопить такое количество ламп, общая сила света которых равнялась бы приблизительно силе света Солнца.

Представим себе, что земная поверхность освещается с некоторого расстояния лампами, заключенными в совершенные рефлекторы. Предположим при этом, что все население земли распределено равномерно. Один человек в таком случае придется на 153 м^2 . Чтобы создать освещенность, равную средней полуденной дневной освещенности, следовало бы на каждых этих 153 м^2 повесить около миллиона современных 1000-ваттных ламп накаливания. Для получения такого количества ламп надо было бы, чтобы каждый человек делал ежедневно в течение всей своей жизни по 25 000 ламп.

ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ И ЕГО СНИЖАЮЩАЯ СТОИМОСТЬ.

Все эти цифры приблизительно, но они все же достаточно хорошо показывают, как далеко еще человечество от опасности искусственно «переосветить» Землю. Конечно, если учитывать лишь внутренности зданий, освещаемая искусственным све-

том площадь будет много меньше, чем земная поверхность. Однако и применительно к такому суженному полю деятельности специалисты были до сих пор очень консервативны и склонны обращать внимание прежде всего на стоимость осветительной установки. Подобная установка, в общем, может быть, и правильная, не была особенно выгодна для человечества. В качестве освещенности, рекомендуемой для общего освещения внутренности помещений, устанавливают в среднем освещенность всего в несколько десятков люксов. Приходится считаться здесь и с известной рутинностью населения, еще недавно довольствовавшегося чуть ли не светом свечи и еще не изжившего своих привычек этого полутемного времени. Ведь всего в последние 50—60 лет мы шагнули от слабого света пламени неэлектрических ламп к в сотни раз более мощным источникам света.

Стоимость электрического освещения настолько упала, что сейчас за один цент мы можем истратить столько же света, сколько сто лет назад стоило бы один доллар. Несмотря на это, использование нами искусственного света в освещении наших фабричных и торговых помещений далеко не пропорционально этому его удешевлению. Рабочий, занятый какой-либо работой, требующей тонкого зрительного различения, сто лет назад все же имел освещенность рабочей поверхности около 10 люксов. Имеет ли он теперь освещенности в сто раз больше, что стоит тех же затрат? Лишь в редких случаях ответ может быть утвердительным. Однако есть основания надеяться, что в недалеком будущем искусственные освещенности в 500—1000 люксов будут явлением обыкновенным.

Опять подчеркнем здесь, что при рациональном устройстве освещения и при соответствующей окружающей обстановке никакие из даваемых осветительной практикой освещенностей не будут слишком большими. Ведь при хороших условиях наружного естественного освещения мы не испытываем никаких неудобств от «переосвещения», хотя освещенности доходят до десятков тысяч люксов. Ниже, в главе VIII, мы увидим, что способность глаза различать мелкие детали и тонкие различия в яркости возрастает с усилением освещенности вплоть до уровней очень высоких. Кинем взор на сто лет назад и допустим, что покупательная способность американских денег уменьшилась за истекшее столетие в три раза, уровень же потребностей повысился раз в пять. Если принять эти приблизительные допущения, то окажется, что для освещения

рабочих мест в наши дни мы могли бы иметь в 1500 раз больше искусственного света, чем то было доступно 100 лет назад.

Не требуется особой фантазии или наблюдательности для того, чтобы констатировать явное отставание развития искусственного освещения от прогресса других сторон нашего быта. Искусственное освещение займет свое место лишь тогда, когда все преимущества рационального и достаточного освещения будут вполне осознаны. Светотехник пока еще не требует освещенностей в тысячи люксов. Он был бы доволен видеть в качестве нормы освещенности различных мест освещенности порядка 200—300 люксов. Он уверен, что и такое улучшение даст достаточно доказательств всей важности и выгоды вполне рационального освещения. Введение более высоких норм освещенности будет тогда уже естественным следствием убедительности таких доказательств.

Естественное и искусственное освещение внутренних помещений.

Кроме случаев применения «верхнего света» естественное освещение внутренних помещений редко бывает вполне удовлетворительным с точки зрения распределения света в помещении. При боковом освещении больших комнат неодинаковость освещенности бывает очень значительной. Интенсивность естественного освещения внутри помещения также всегда значительно ниже освещенности, имеющейся снаружи. Стоимость же естественного освещения помещений приблизительно та же что и стоимость искусственного освещения. Естественное освещение фабрично-заводских предприятий бывает обычно ниже естественного освещения квартир и контор. Уорд Гаррисон обследовал условия естественной освещенности, имеющиеся в ясные и пасмурные дни на некоторых американских фабриках-и заводах различных видов производств. Из его данных следует, что средняя горизонтальная освещенность оказывается менее 100 люксов. Лишь в двух из семнадцати обследованных производств эта средняя превосходила 100 люксов. Различия в вертикальной освещенности колебались от 20 до 350 люксов; в среднем вертикальная освещенность была близка к 100 люксам. Это все суть освещенности, без труда создаваемые и искусственным светом, причем выгода, протекающая от увеличения продукции, вполне покрывала бы расходы на устройство такого освещения.

Устройство искусственного освещения необходимо во всяком производственном помещении, поскольку освещение может

понадобиться всегда при чрезмерном ослаблении дневного света, что случается сплошь и рядом. Кроме того, искусственное освещение необходимо для работы ночью. Потребность же в максимальном увеличении продукции делает ночную работу все более необходимой. К тому же осветительные условия искусственного освещения могут быть в настоящее время ничуть не менее рациональны, чем условия освещения естественного. Гаррисон подсчитал и примерную стоимость искусственного освещения, создающего ту же освещенность, что и среднее естественное освещение днем. Его соображения, положенные в основание подобного подсчета, относящегося к условиям американской послевоенной жизни, приведены ниже.

«При применении хорошо рассеивающей арматуры, для того чтобы создать освещенность от 50 до 106 люксов, при современных условиях требуется несколько менее чем 1 ватт на 1 квадратный фут пола. При цене тока в 2 цента за киловатт-час общая стоимость ночного освещения (в течение 2500 час. в год) не превысит 7,5 цента на квадратный фут площади.

При удвоении площади фабрики с тем расчетом, чтобы можно было выполнять ту же работу только в течение одного лишь дневного времени, мы должны сопоставить вышеуказанный расход на освещение с ежегодной стоимостью добавочного оборудования нового помещения машинами, амортизацией и пр. Имеющиеся на этот счет данные говорят, что эти расходы для различных видов производства колеблются от 30 до 75 центов с квадратного фута площади в год. Таким образом подобные расходы при площади помещения в 100 000 квадратных футов составят приблизительно от 30 000 до 75 000 долларов. Стоимость искусственного освещения той же площади для ночной смены в течение года не превышает 7500 долларов. Получающаяся таким путем экономия, примерно в 20 000—70 000 долларов, для многих предприятий может иметь решающее значение. С точки зрения потребления добавочные расходы, вызванные переходом фабрики на исключительно дневную работу, почувствуются как удорожание продуктов примерно на 15—30%. Ночная работа, следовательно, удешевляет стоимость товаров.

Несмотря на эти расчеты, остаются все же еще неустраивающими возражения, обычно выставляемые против применения ночного труда. Указывают на то, что люди не любят работать ночью, что хорошие работники не должны работать ночью, что трудно изменить уже закрепившуюся у нас привычку работать днем, что, наконец, вполне полезный, дающий отдых сон возможен лишь ночью.

ЗАВИСИМОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ДНЕВНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ.

Одним из наиболее явных ограничений применения естественного освещения внутренних помещений служит тот факт, что эта естественная освещенность внутри зданий становится недостаточной уже при сравнительно больших пере-

щенностях, имеющихсся снаружки. Иначе говоря, с точки зрения работающего в закрытом помещении темнота наступает значительно раньше, чем темнеет снаружки. А. Смирнов произвел в Вашингтоне одно интересное, касающееся этого вопроса исследование. Расход электрической энергии в этом городе

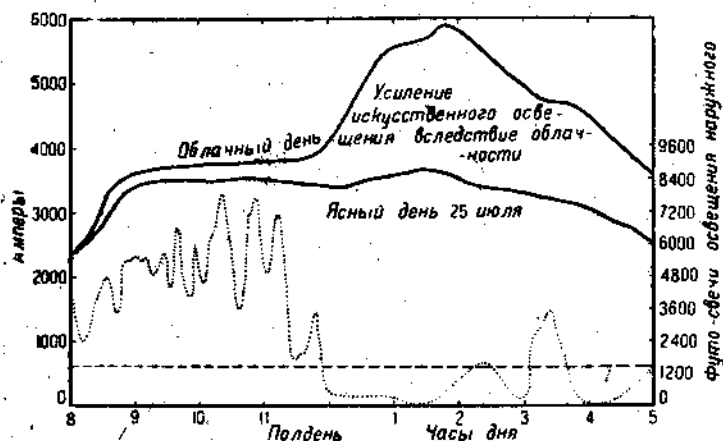


Рис. 20. Влияние атмосферных условий на потребление электрической энергии, идущей на искусственное освещение. Пунктирная линия обозначает общую интенсивность освещения снаружки (день 29 июля) (шкала в фута-свечах приведена справа); две остальные кривые обозначают общее потребление электроэнергии (шкала слева) в течение облачного дня (29 июля) и ясного дня (25 июля).

идет главным образом на обслуживание всякого рода конторских и торговых помещений и лишь в меньшей части на фабричные надобности. Ток, идущий на особые специальные цели, учитывался отдельно. Предметом же учета в данном исследовании была лишь энергия, идущая на освещение конторских и торговых помещений. Смирнов сопоставлял показания Бюро погоды с соответствующими им по времени показаниями о потреблении электроэнергии. Он определенно установил при этом, что потребление тока явно возрастало, как только общая дневная освещенность, создаваемая небесным сводом, падала ниже 1500 фута-свечей. Колебания наружного дневного освещения, происходящие на уровне, превышающем 1800 фута-свечей, на потреблении осветительного тока почти не сказываются. Некоторые из данных, полученных Смирновым, воспроизведены на рис. 20. Интересно сопоставить об-

щую правильность хода кривой, характеризующей расход электроэнергии в ясный день (25 июля), с кривой для 29 июля, когда после полудня небо стало облачным. Пунктирная линия, показанная на рисунке, обозначает колебания общей горизонтальной дневной освещенности на открытом пространстве в течение облачного дня 29 июля. К ней относится правая шкала, отложенная по вертикали (футы-свечи); к двум же предыдущим кривым относится шкала слева (амперы осветительного тока). Горизонтальная прерывистая линия, проведенная на уровне 1500 фута-свечей, обозначает как раз то наружное дневное освещение, при котором естественное освещение внутренности помещений становится уже недостаточным.

Следует подчеркнуть, что разница в количестве израсходованного тока для ясного и для облачного дней достаточно значительна. Она и должна быть отнесена на счет того искусственного света, который требовался днем в качестве добавки к освещению естественному. В переводе на деньги эта добавка составит в условиях наших населенных и тесных городов немалую сумму. Из рис. 20 видно, что добавочный расход электрического тока вследствие облачности послеполуденного дня 29 июля составил около 20% обычного расхода его в ясный день. Соответствующая этому стоимость при подсчете сравнительной стоимости искусственного и естественного освещения должна быть переложена с первого на второй, поскольку расход вызывается здесь недостаточностью дневного света в дневное время. Само собой разумеется, что критическая наружная освещенность, с уменьшением которой внутри помещений становится уже недостаточно светло, так что приходится прибегать к искусственному свету, бывает очень различной в зависимости от устройства помещения и прочих условий. По данным Смирнова, когда на открытом пространстве в Вашингтоне было 1500 фута-свечей, на подоконниках окон, обращенных на запад в обследованных им помещениях, освещенность равнялась 360 фута-свечам, на расстоянии же 6 футов от окна внутри комнаты — всего 9 фута-свечам. В иных местах дело обстоит и того хуже. Полагая, что искусственный свет зажигается тогда, когда освещенность доходит в среднем до 2 фута-свечей, можно думать, что максимальная средняя дневная освещенность внутри помещения бывает около 10 фута-свечей. Эта цифра достаточно близка к фактически имеющимся величинам. Таким образом мы видим, что средняя естественная освещенность внутри здания в наших

городах совсем не так велика. Она составляет, в сущности, около 1% наружной дневной освещенности. Создать такую же величину освещенности искусственным путем есть дело совсем не трудное и недорого стоящее.

Если не говорить о стоимости, идеальное освещение с точки зрения наибольшей продуктивности работы нашего глаза, быстроты, безопасности и удобства производимых нами работ предполагает освещенности порядка тысяч люксов (см. главу XIII).

Даже учитывая экономическую сторону вопроса, имеющиеся данные о росте производительности, большей безопасности работы, уменьшении брака и повышении самочувствия все же заставляют нас утверждать, что освещенность рабочих помещений, в несколько раз превышающая имеющуюся, является лишь желательной (см. главу XIV).

По данным 1919 г., относящимся к САСШ, около трети всех индустриальных работ производится при искусственном освещении. Это значит, что при искусственном свете выделяется громадное количество товаров. При этом лишь в 40% всех обследованных фабрик и заводов освещение было удовлетворительным и соблюдались осветительные нормы 1919 г. За последние годы рекомендуемые нормы освещенности изменялись, становясь все более высокими. С точки зрения того, что нам ныне известно о зависимостях зрительных функций от света, мы с полной уверенностью можем утверждать, что в настоящее время, вероятно, не имеется еще ни одной фабрики, где осветительные условия удовлетворяли бы требованиям, соответствующим максимальной продуктивности зрительной работы.

ГЛАВА VIII.

ОСНОВНОЕ О ЗРЕНИИ.

Зрение осуществляется благодаря нашей способности замечать различия в яркостях и цветовых тонах. Цветное зрение имеет для человека значение большее, чем он о том думает. Однако в основе всех зрительных восприятий лежит по преимуществу различение яркостей. Если яркость объекта не отличается от яркости окружающего его фона, мы с трудом замечаем этот объект, несмотря на то, что различие в цветовом тоне может еще все же иметься. Различать объекты одинаковой яркости мы можем лишь благодаря наличию у

нас цветного зрения. Многие устройства специально предполагают нормальное цветное зрение, например цветовая сигнализация. Нечего говорить о том, что цветно-слепой лишен всех тех наслаждений, которые даются нам благодаря созерцанию специально цветового убранства окружающего нас мира. Несмотря на бесспорность всего этого, для выполнения работ повседневной жизни различение яркостей все же важнейшее различение цветовых оттенков. Поэтому главное внимание наше и будет уделено вопросам, связанным с различением яркостей, восприятием различий в яркостях и видению мелких деталей. Вопросы цвета, вопросы более сложные, будут затрагиваться нами лишь по мере необходимости их рассмотрения по основному плану книги. Специально же проблеме цвета посвящена у нас другая книга.

Глаз.

Наша способность видеть мелкие детали, иначе говоря, острота нашего зрения зависит прежде всего от оптических свойств преломляющих сред глаза, структуры сетчатой оболочки, интенсивности освещения, относительной и абсолютной яркости объекта и фона, на котором он находится, от размера этого объекта или того зрительного угла, под которым он видится с данного расстояния. О том, что известное значение имеет здесь и спектральный состав света, упоминалось уже выше, в главе V и в других местах. Способность замечать различия в яркости сравнительно больших поверхностей зависит в общем от тех же факторов, что и наша способность видеть мелкие детали. Лишь структура сетчатки и разрешающая сила глаза как оптического инструмента не имеют здесь такого значения. На рис. 21 дано изображение глаза (в горизонтальном разрезе) с обозначением всех его главных частей.

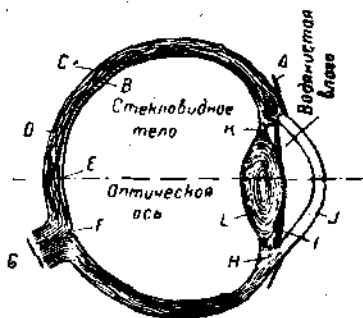


Рис. 21. Горизонтальный разрез глазного яблока. А — конъюнктива, В — сетчатка, С — сосудистая оболочка, D — склера, E — желтое пятно, F — слепое пятно, G — зрительный нерв, H — цилиарное тело, I — радужная оболочка (iris), J — роговая оболочка, K — линзы, L — хрусталик.

Для того чтобы объект виделся нами достаточно четко, надо, чтобы падающие от него лучи давали достаточно четкое изображение на сетчатке. Глазу присущи те же дефекты и ограничения, которые имеются у всякой более или менее простой оптической системы. Строение сетчатки и величина отдельных светочувствительных элементов ее также влияют, как сказано, на ясность различения нами мелких деталей, давая определенный предел для возможного уменьшения размеров этих последних. В этом отношении дело обстоит сходно с тем, что мы имеем в фотографии, пользуясь фотографической эмульсией, также имеющей определенную «зернистость». Исследование глаза как оптического инструмента убеждает нас в том, что он далек от совершенства; однако, если мы учтем широкие пределы его чувствительности, его способность адаптироваться, приспосабливаться к чрезвычайно различным условиям яркости, мы согласимся с тем, что глаз все же устроен замечательно. Действительно, прав был великий Гельмгольд, сказав, что можно приготовить более совершенный оптический инструмент, но нельзя приготовить более совершенного глаза как органа чувств. Чувствительность глаза зависит от таких факторов, как состояние адаптации и угловой размер раздражителя. Пределы яркостей, при которых глаз может функционировать, характеризуются отношением единицы к 10 миллиардам. Достаточно удивительна и различительная способность глаза как двигательного органа.

Способность глаза реагировать как на очень слабые, так и на очень интенсивные раздражители частью объясняется существованием в сетчатке двоякого рода воспринимающих элементов, чему соответствуют два особые зрительные режима. Очень слабые яркости воспринимаются «палочками» сетчатки — окончаниями зрительного нерва, названными так в силу своего внешнего сходства с палочками. Благодаря именно палочкам сетчатки мы видим яркости, вызываемые очень слабыми интенсивностями освещения, как то: Луной, светом звезд и слабым искусственным освещением. Палочки не порождают у нас ощущений хроматических тонов или цветов в собственном смысле слова, в чем нас убеждает «бесцветный» вид всех предметов при очень слабом освещении. В центральной части сетчатки (в fovea) палочек совсем нет или их очень мало. Поэтому мы часто, для того чтобы видеть какую-нибудь слабую звезду, должны бываем смотреть на нее не прямо, а несколько боковыми местами сетчатки. Есть основания утвер-

ждать, что при освещенностях, близких к 0,01 люкса (и менее), в нашем зрении функционируют лишь палочки сетчатки. Зрение посредством палочек сетчатки называется зрением сумеречным или периферическим. Другой сорт воспринимающих элементов сетчатки называется «колбочками» (также вследствие своего внешнего вида). Колбочки не реагируют на очень слабые световые раздражители и их чувствительность в этом отношении меньше чувствительности палочек. На все же более сильные световые раздражители, соответствующие нашим обычным средним и высоким уровням освещения, они отвечают уже теми или иными хроматическими или ахроматическими ощущениями. Таким образом практически огромная доля всей нашей зрительной работы совершается именно колбочками сетчатки. Цветные хроматические ощущения возникают у нас лишь при возбуждении именно этого колбочного аппарата глаза. Колбочки, в противоположность палочкам, наиболее густо собраны в центральных местах сетчатки. Зрение посредством колбочек называют поэтому зрением дневным, центральным или цветным зрением.

В центральной ямке сетчатки (*fovea centralis*) палочки отсутствуют вовсе или же имеются в очень небольшом количестве. Заполняющие же эти места сетчатки колбочки имеют удлиненно-уточенный вид по сравнению с колбочками, находящимися на периферии сетчатки. Колбочки и палочки являются теми анатомическими элементами, которым мы имеем все основания приписать роль рецептора зрительного раздражения.

Подобная двойственность аппарата нашего зрения дает объяснение многим фактам, установленным физиологической оптикой. Характеристики зрения отдельными местами сетчатки стоят в связи с распределением в ней палочек и колбочек и их свойствами. В частности, самый малый видимый глазом промежуток между двумя какими-нибудь объектами, помимо всего прочего, определяется и размерами воспринимающих элементов сетчатки. Чтобы мы могли его видеть, необходимо, чтобы изображение этого промежутка и самого объекта на сетчатке покрывал и был более чем один такой элемент.

Обычно глаз не видит раздельными объекты, отстоящие друг от друга менее чем на 40 угловых секунд; этому углу соответствует приблизительно протяжение в 0,06 мм, видимое с расстояния в 35 см. Относящиеся сюда данные читатель найдет ниже, в табл. XII и на рис. 25.

Наш глаз может быть «настроен» как на малые, так и на большие интенсивности света. «Перестройка» глаза с одного режима на другой происходит постепенно, но не сразу, как переключение скорости автомобиля. Сравнение с автомобилем может быть проведено и далее. Автомобиль не приспособлен к тому, чтобы продолжительно функционировать тихим ходом. Так же и глаз. Для длительной работы он должен быть «настроен» на высокие интенсивности света. Мы уже неоднократно видели выше, что наилучше глаз функционирует именно при высоких уровнях освещенности (и соответственно яркости) и только в случае, если яркость становится уже чрезмерно большой, работа глаза начинает вновь терпеть ущерб. Опасаться подобных яркостей нам, однако, приходится лишь в очень редких случаях, поскольку они значительно превосходят яркость, создаваемую прямым солнечным светом.

Большинство кривых, приведенных в этой книге и показывающих рост остроты зрения, разностной чувствительности, скорости зрительного восприятия и т. д. по мере увеличения освещения, имеют сходство, например, с кривыми, показывающими продуктивность электромоторов. Нерационально пользоваться этими моторами при режиме, соответствующем низким ординатам кривой. Совершенно то же следует сказать и применительно к глазу. К счастью, современные успехи производства и эксплуатации электрического света настолько значительны, что с эконоимической точки зрения представляется вполне возможным создать условия искусственного освещения даже более благоприятные для зрения, чем имеющиеся обычно условия естественного освещения внутри помещений. В главе X мы еще раз увидим, насколько целесообразно бывает увеличивать интенсивность освещения.

Регулятором количества света, попадающего в глаз, является зрачок. Он играет роль диафрагмы в фотографическом аппарате, от которой зависит яркость изображения, получающегося на пластинке. При усилении света, падающего на глаз, зрачок рефлекторно суживается, при ослаблении — расширяется. При этом диаметр зрачка может изменяться приблизительно от 2 до 8 мм. Подобным вариациям соответствуют апертуры фотографических камер от F_{20} до F_2 . Отчетливость изображения в известной мере зависит от величины диафрагмы зрачка. При малом размере зрачка изображение, получающееся на сетчатке, может быть более отчетливым, чем при большом зрачке; однако яркость его пострадает, несмотря

на то, что объективно освещение рассматриваемого предмета остается все тем же. Четкость изображений на сетчатке увеличивается при уменьшении зрачкового отверстия потому, что при таком уменьшении ослабляется вредное влияние сферической aberrации. С другой стороны, однако, при чрезмерном уменьшении зрачкового отверстия начинает сказываться вредным образом дифракция света, также уменьшая четкость изображения. Известно ведь, что разрешающая способность линз тем больше, чем больше их апертура; поэтому именно и стремятся сделать объективы астрономических телескопов возможно большими по своему диаметру. Наиболее благоприятным для четкости изображений на сетчатке размером зрачка является зрачок диаметром около 3 мм.

Громадное значение в нашем зрении имеет способность глаза адаптироваться к различным уровням яркости или освещенности. Попадая из темного помещения в освещенное, мы в первый момент чувствуем себя «ослепленными», пока не адаптируемся к этим новым условиям, и обратно, переходя из хорошо освещенного пространства в пространство, слабо освещенное, мы сперва ничего в нем не видим, но затем постепенно приспособляемся, адаптируемся и к нему. Явление адаптации важно для светотехники, хотя при идеальных условиях освещения подобной неадаптации с одного уровня яркости на другой происходить и не должно.

Таким образом мы видим, что есть целый ряд интересных и важных факторов физиологического порядка, которые так или иначе влияют на различительную способность глаза. Мы могли бы остановиться здесь и еще на многих других факторах (например на проблемах цвета), но это отвлекло бы нас несколько в сторону.

ЯРКОСТЬ РАССМАТРИВАЕМОГО ОБЪЕКТА И ОСВЕЩЕННОСТЬ.

Ученые уже давно характеризуют свои испытательные объекты в величинах яркости, а не интенсивности освещения. Подобный метод следует считать вполне правильным и надежным. Между тем инженер-светотехник привык больше оперировать с освещенностью — люксами и футо-свечами¹ (в Америке). Правда, зная коэффициент отражения объекта, мы при этих условиях всегда сможем вычислить также и его яркость. Многие из приводимых автором в этой книге данных и выра-

¹ Напомним здесь, что 1 футо-свеча равна 10,76 люкса.

жены в футо-свечах на ахроматическую поверхность, диффузно отражающую свет и имеющую коэффициент отражения соответственно 80 и 8%. Такие поверхности именно и близки к часто встречающимся в практической жизни «белым» и темно-серым поверхностям.

Применяемые для испытания зрения знаки обычно бывают черными на белом фоне. Конечно, цветность здесь далеко не безразлична, и вопросы, с нею связанные, еще подлежат лабораторному изучению; все же сочетание черного с белым весьма часто встречается в естественной обстановке. Целесообразно, однако, пользоваться испытательными объектами и меньшей контрастности (например серыми знаками на сером же фоне); это сделает условия опыта еще более близкими к тем условиям различения яркостей, с которыми имеет дело работающий человек в обыденной обстановке.

Строго говоря, то, что мы называем «черным», все же отражает некоторое количество падающего на него света. Таким образом и «белое» не есть идеально белое, но поглощает известную долю света. Густая «черная» печать и чернила отражают от 2 до 5% падающего на них света; черный войлок отражает около 1%; черный бархат обычно отражает менее 1% и лишь отверстие, сделанное в ящике, оклеенном внутри черным бархатом, практически вовсе не дает света.

Белые бумаги и белые краски отражают от 70 до 85%. Чистейший порошок углекислой магнезии может отражать от 90 до 98% всего падающего на него света. Хорошая же белая бумага имеет коэффициент диффузного отражения, равный 80%. Посмотрим, какие яркости имеет такая белая бумага при разных уровнях освещенности. Яркость выражается различными единицами. Свечи с квадратного сантиметра или стильбы, а также ламберты являются достаточно удобными единицами для того, чтобы характеризовать яркость неба или каких-либо источников искусственного света. Миллиламберт (= 0,001 ламберта) служит подходящей единицей для измерения яркости объектов, освещаемых не более чем 10 000 люксов.

Соотношения некоторых из относящихся сюда величин приведены ниже:

1 ламберт = 1000 миллиламбертов = 0,318 свечи с квадратного сантиметра.

1 свеча с квадратного дюйма = 0,487 ламберта = 487 миллиламбертам

1 свеча с квадратного сантиметра или 1 стильб = 3,142 ламберта = 3142 миллиламбертам.

1 фута-свеча на идеально белую поверхность (коэффициент отражения 100%) дает яркость, равную 1,076 миллиламберта.

1 фута-свеча на обыкновенную «белую» поверхность (с коэффициентом отражения 80%) соответствует яркости в 0,86 миллиламберта.

1 миллиламберт = 0,929 люмена с одного квадратного фута = яркости, создаваемой 0,929 фута-свечи на диффузной поверхности с коэффициентом отражения, равным 100%.

1 фута-свеча = освещенности от 1 люмена, падающего на квадратный фут.

Для того чтобы выразить яркость какой-либо диффузно отражающей поверхности в миллиламбертах, надо интенсивность освещения, выраженную в фута-свечах, помножить на коэффициент отражения данной поверхности и полученное произведение помножить еще на 1,076. Если освещенность выражается в люксах, то яркость (в миллиламбертах) будет равняться произведению освещенности в люксах на коэффициент отражения, умноженному еще на 0,1. Графически связь освещенности с яркостью показана ниже на рис. 54.

Определения ламберта (и миллиламберта) предполагают поверхность, обладающую совершенным диффузным отражением, поэтому все вышеприведенные величины будут точны лишь применительно к таким диффузно отражающим или пропускающим свет поверхностям.

ОЩУЩЕНИЕ ЯРКОСТИ.

Наиболее важной функцией зрения является различение яркостей. При воздействии на сетчатку лучистой энергии определенных длин волн (приблизительно от 390 до 760 мμ, см. рис. 1 и табл. I) у нас возникает ощущение яркости. Вместе с тем, как хорошо известно, излучения различных длин волн вызывают и ощущения разных цветовых тонов. В случае воздействия на глаз одновременно лучей различных длин волн мы ощущаем все же некоторый один цвет, результирующий по психофизиологическим законам смешения цветов. В главе V мы видели, что различные спектральные распределения лучистой энергии могут давать одинаковые же интегральные эффекты белого света полуденного солнечного освещения или ненасыщенного желтого — в случае света, испускаемого вольфрамовыми лампами накаливания.

Величина минимальной, «порожной» (предельной), яркости, которую наш глаз уже оказывается в состоянии видеть, при постоянстве угловой величины светящейся поверхности зависит от состояния адаптации глаза и от длины волны раздражающего света. При темновой адаптации глаза величина эта

чрезвычайно мала и практического интереса для светотехника почти не представляет. Все яркости, с которыми мы имеем дело в обыденной жизни, значительно превышают эту порождающую величину. Поэтому практически нам гораздо важнее остановиться на вопросе о различении яркостей. Подобная разностная или контрастная чувствительность глаза была предметом тщательных исследований многих ученых. На

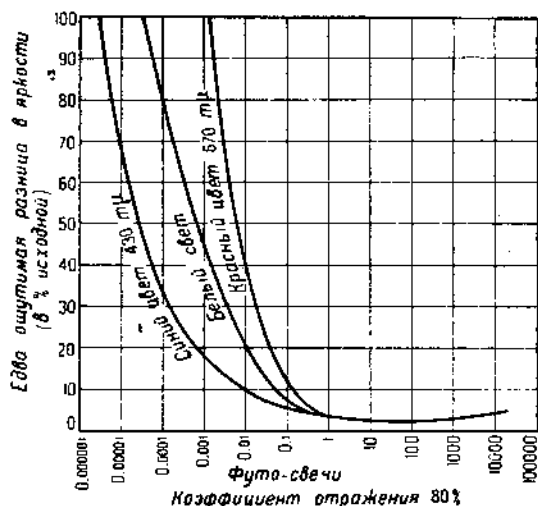


Рис. 22. Едва заметная разница в яркостях, ощущаемая глазом (в зависимости от величины исходной яркости поля сравнения).

рис. 22 приведены данные, полученные Кенигом и относящиеся к различению нашим глазом яркостей белого, красного и синего цветов.

Шкала ординат (слева) показывает минимальную, впервые замечаемую, разность яркостей (выраженную в процентах большей, исходной яркости). По горизонтали (оси абсцисс) отложены различные исходные яркости (выраженные в фута-свечах на «белую» поверхность, имеющую коэффициент диффузного отражения, равный 80%). Эти величины пересчитаны из других величин, данных в самой работе Кенига. Сама разностная чувствительность глаза будет, очевидно, величиной, обратной по отношению к едва заметной разнице яркостей. Чем эта разница меньше, тем чувствительность больше, и наоборот. Как можно видеть из данных Кенига, наилучшую

разностную чувствительность наш глаз обнаруживает при оперировании с яркостями, соответствующими приблизительно 200—2000 люксам на белую поверхность.

Для большей ясности на рис. 23 изображена уже прямо чувствительность глаза к различению яркостей при разных исходных яркостях поля сравнения. Рост разностной чувствительности по мере увеличения освещения здесь совершенно очевиден. Здесь, подобно ряду других случаев, мы видим, что при высоких освещенностях глаз работает гораздо эффективнее, чем при освещенностях низких. Подчеркнем, что решающим фактором в данном случае является яркость. Если же мы говорим об освещенностях (футо-свечах или люксах), то необходимо всегда принимать при этом в расчет и коэффициенты отражения освещаемых поверхностей. На рис. 23 они и указаны. Зная же освещенность и коэффициент отражения, мы без труда находим яркость.

Отметим в качестве иллюстрации, что яркость так называемой белой поверхности (коэффициент отражения 80%) при одной и той же освещенности будет в 10 раз больше, чем яркость темносерой поверхности, имеющей коэффициент отражения, равный 8%. Большая часть нашей зрительной работы совершается с поверхностями с малыми коэффициентами отражения; яркость этих поверхностей мала по сравнению с яркостью поверхностей, обладающих высокими коэффициентами отражения, находящимися в том же освещении. На рис. 23 даны две шкалы освещенности: одна сверху, другая снизу. Лежащие на одной вертикали точки обеих этих шкал показывают те освещенности, которые дают одну и ту же яркость

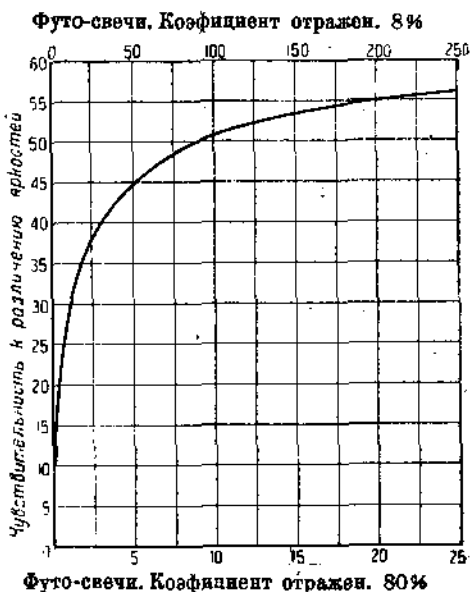


Рис. 23. Рост разностной или контрастной чувствительности по мере увеличения освещения.

на поверхности с коэффициентом отражения в 80% (нижняя шкала) и на поверхности с коэффициентом отражения в 8% (верхняя шкала). При одинаковой же яркости одинаковой оказывается и разностная чувствительность. Изображенная на рис. 23 кривая может относиться и к поверхности с любым другим коэффициентом отражения, надо лишь соответственным образом изменить шкалу освещенности. Так, для поверхности с коэффициентом отражения в 40% необходимо или помножить значения нижней шкалы на 2 или разделить значения верхней шкалы на 5. Иметь в виду подобные соотношения чрезвычайно важно при практическом выборе наиболее эффективных условий освещения.

Следует еще обратить внимание и на то, что глазу приходится различать яркости не только на освещенных поверхностях, но и на затененных местах их. Здесь мы можем легко встретиться с очень малыми яркостями как вследствие малого коэффициента отражения, так и вследствие пониженной освещенности. Принимая во внимание это обстоятельство, мы должны всегда иметь известный запас освещения с тем расчетом, чтобы интенсивность освещения обуславливала наибольшую продуктивность работы глаза не только при просмотре на поверхности светлые, но и на поверхности темные, т. е. поверхности с малыми коэффициентами отражения. Иными словами, для того чтобы зрение работающего в обыденной жизни функционировало вполне успешно, надо, чтобы освещенность во много раз превосходила ту, которая соответствует наилучшей работе глаза в идеальных условиях лабораторной обстановки. Для обычных производственных условий всегда должен иметься значительный световой запас, как о том еще будет сказано ниже, в главе XIII.

Интересно, далее, посмотреть на процентный рост разностной чувствительности глаза, имеющей место по мере того, как интенсивность освещения увеличивается. Это показано на рис. 24, где за 100 принята разностная чувствительность глаза, имеющаяся при различении яркостей на поверхности с коэффициентом отражения в 80% при освещении в одну фута-свечу (или соответственно на поверхности с коэффициентом отражения в 8% при освещении в 10 фута-свечей). Сплошная линия относится к поверхностям, получающим полностью освещение, обозначенное по оси абсцисс. Из кривой видно, что при увеличении освещения с 1 до 10 фута-свечей на белой поверхности с коэффициентом отражения в 80% разностная чувствительность возрастает на 75% (нижняя шкала). Такой

же прирост чувствительности при тех же яркостях, в случае серой поверхности с коэффициентом отражения в 8%, дается увеличением освещения с 10 до 100 футо-свечей (верхняя шкала).

Выше уже отмечалось, что в обыденной жизни нам часто приходится рассматривать детали, находящиеся и в затененном пространстве. Нам

нередко бывает необходимо, например, в сложных машинах смотреть на их части, расположенные под столом, или на части, обращенные от света, и т. п. Разностная чувствительность нашего глаза по отношению к подобным затененным поверхностям, получающим всего 10% общего освещения, обозначенного по шкалам абсцисс, изображена на рис. 24 прерывистой линией. Как можно видеть, 100%-ное увеличение разностной чувствительности требует усиления освещения с 1 до 10 футо-свечей или с 10 до 100

футо-свечей, смотря по тому, о каких — белых или серых — поверхностях идет речь. Правда, в этом подсчете еще не принято во внимание то понижение разностной чувствительности, которое испытывает глаз, смотрящий в затененное пространство, от контраста с соседними, более яркими частями поля зрения. Все вышесказанное говорит в пользу необходимости возможно большего повышения общей освещенности, что позволило бы и теньям быть все же достаточно яркими.

Помимо интенсивности освещения и яркости ряд других факторов также оказывает влияние на разностную чувствительность глаза. Так, например, там, где освещение явно

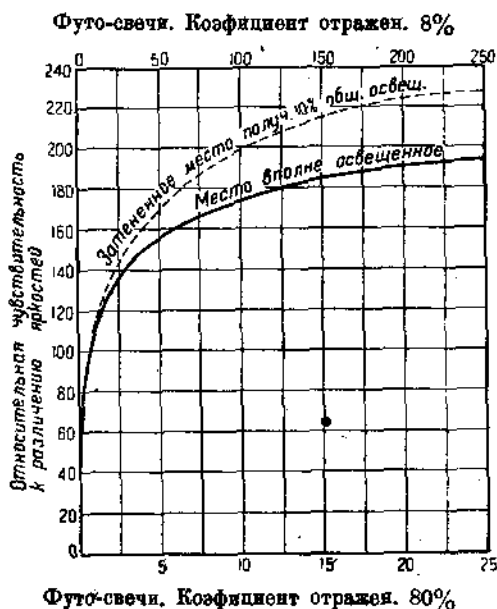


Рис. 24. Процентное нарастание контрастной чувствительности при повышении яркости исходного поля сравнения.

неудовлетворительно и недостаточно, разностной чувствительности глаза могут помогать темновая адаптация глаза и размер рассматриваемого объекта. Ривсом были получены интересные данные касательно влияния углового размера и яркости раздражителя на способность нашего глаза различать яркости спустя различные периоды времени после того, как глаз адаптировался к иной яркости. Вопросы, связанные с адаптационной способностью нашего глаза, изучались вообще многими авторами. При этом, как это мы ниже и увидим, было установлено, что чувствительность глаза в зависимости от пребывания его на свету или в темноте может изменяться в сотни тысяч раз. Подобное изменение чувствительности происходит не сразу, но постепенно, и идет в первое время быстро, а затем все медленнее. Увеличение чувствительности глаза при темновой адаптации достигает своего максимума лишь через $1\frac{1}{2}$ — 2 часа пребывания глаза в темноте. Световая адаптация, сказывающаяся понижением чувствительности глаза, напротив, достигает своего постоянного уровня быстрее — через 5—10 мин. после перехода глаза в более светлое помещение. Поскольку, однако, мы имеем вполне рациональные условия освещения, резких разниц в яркости отдельных частей поля зрения для работающего глаза быть не должно. Поэтому и «переадаптация» глаза с одного уровня яркости на другие здесь особой роли играть не должна. Фактически все же мы обычно имеем условия далеко не идеальные, и глазу приходится сплошь и рядом переходить с больших яркостей на малые, и обратно. Во всех подобных случаях известное время уходит всегда на адаптацию глаз к новому уровню яркости. Порою это время может сказываться как заметная задержка и на общих темпах работы.

Заслуживает внимания, далее, то обстоятельство, что — при равенстве всех прочих условий — чем рассматриваемый объект меньше, тем при большей контрастности его с фоном он нами впервые замечается. Данные, приведенные на рис. 22, 23 и 24, относятся к полям, значительно превышающим предельно маленький угол зрения. Для полей же, видимых под малым углом зрения, разностная чувствительность бывает меньше. Общая связь между минимальным угловым размером объекта и минимальным контрастом его с фоном, при котором объект становится впервые заметным, изображена на рис. 25. Площадь, закрашенная черным, изображает те комбинации величины объекта с его контрастностью, при которых при данной интенсивности освещения объект остается

еще невидимым. Значения, соответствующие едва заметной «порожной», видимости объекта, соответствуют заштрихованной полосе, идущей по краю черного пространства. Все прочее пространство рисунка соответствует условиям вполне ясного видения объекта.

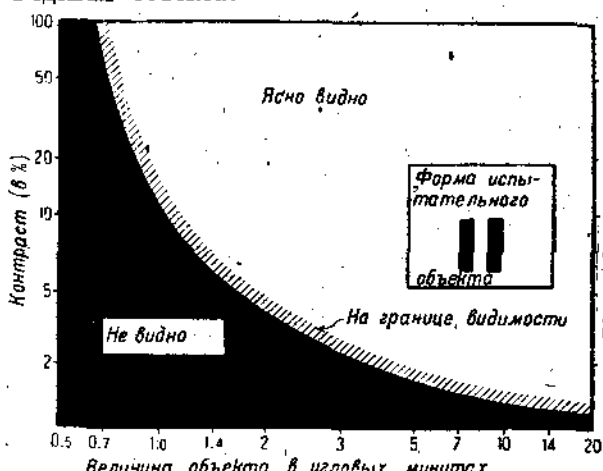


Рис. 25. Видимость объекта в зависимости от его величины и контрастности с фоном.

Если объект не замечается нами в силу своего малого размера, его можно бывает часто сделать хорошо видимым путём усиления освещения.

З Р И Т Е Л Ь Н Ы Й У Г О Л .

Для глаза важное значение имеет не размер объекта сам по себе, но размер соответствующего ему изображения на сетчатке. Иными словами, важно, под каким углом данный объект видится нашим глазом. Этот же угол определяется, с одной стороны, величиной объекта, а с другой — его расстоянием от глаза. Малые зрительные углы прямо пропорциональны частному от деления линейной величины объекта на его удаленность от глаза. Небольшой предмет на расстоянии 1 м от глаза виден под тем же зрительным углом, что и предмет вдвое больший с расстояния в 2 м. Поскольку для зрения важны именно угловые величины объектов, некоторые соотношения, касающиеся малых зрительных углов, приведены ниже в табл. XII и на рис. 26.

В таблице, во втором ее столбце, дана линейная величина предмета в сотых долях дюйма¹. Так, например, объект приблизительно в две сотых дюйма с расстояния 35 см от глаза виден под углом в 5'. Третий столбец таблицы позволяет

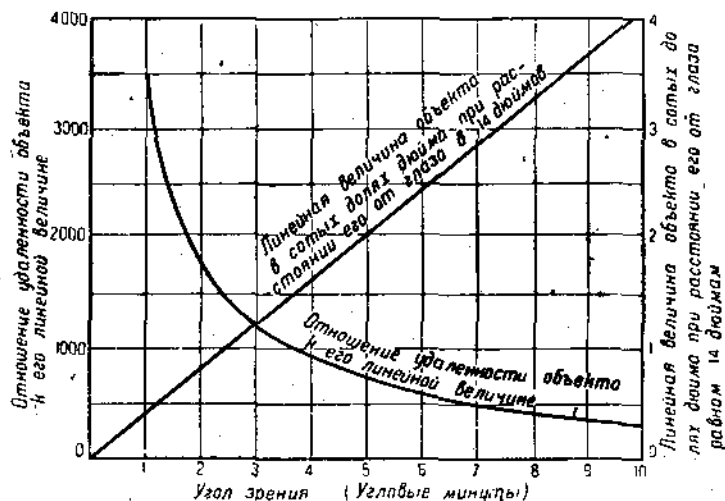


Рис. 26. Связь между величиной объекта, его удаленностью от глаза и углом зрения, под которым он видится.

находить угловую величину предмета, поскольку известно отношение его линейной величины к расстоянию его до глаза.

ОСТРОТА ЗРЕНИЯ.

Следующим важным фактором зрения, вслед за способностью глаза подмечать различия в яркостях, является острота зрения. Термин «острота зрения» прилагается обычно к нашей способности видеть мелкие детали. Острота зрения характеризуется тем минимальным угловым расстоянием между двумя объектами, при котором в данных условиях освещения эти объекты еще могут быть видимы как отдельные.

В качестве испытательного объекта для исследования остроты зрения могут употребляться различные мелкие детали, как то: буквы, тонкие линии, кольца с разрывом, точки и т. п. Угол зрения вычисляется при этом из отношения линейной

¹ Дюйм = 2,54 сантиметра.

величины рассматриваемой детали к расстоянию ее до глаза. Приближая или удаляя подобную испытательную таблицу, мы изменяем соответственно угол, под которым глаз видит детали. Пользоваться таким методом установления остроты

ТАБЛИЦА XII.

Отношение величин объектов к их расстоянию от глаза для случаев малых углов зрения.

Зрительный угол (в минутах дуги)	Величина предмета, находящегося на расстоянии 35,5 см от глаза, в см	Отношение величины предмета к его расстоянию от глаза
1	0,0103	3448
2	0,0206	1724
3	0,0309	1149
4	0,0412	862
5	0,0515	689
6	0,0622	571
7	0,0725	490
8	0,0830	429
9	0,0931	382
10	0,1065	344

зрения в анализирующих научных работах, не рекомендуется, поскольку здесь наряду с изменением угловой величины рассматриваемого предмета происходит и изменение в установке глаза на фокус (аккомодация). Целесообразно применять в качестве испытательных таблиц параллельные штрихи или кольца с разрывом, устроенные так, что их можно вращать вокруг некоторого центра. Испытуемый в этом случае должен быть в состоянии всегда сказать, в каком направлении ориентирован данный испытательный объект. Подобным приемом мы получаем возможность контроля над показаниями испытуемых.

На рис. 27 сплошной линией показано соотношение между остротой зрения и освещенностью, верное для нормального глаза, для случая рассматривания «черных» объектов на «белом» фоне (с коэффициентом отражения в 80%). К этому случаю относится нижняя шкала абсциссы. Как легко видеть, кривая весьма сходна со многими другими кривыми, относящимися к различным функциям зрения и приведенными выше в данной книге.

Кривая может несколько меняться в зависимости от характера тех объектов, которые предъявляются на испытательной таблице при определении остроты зрения. Практически, однако, эти возможные различия совершенно неважны с точки зрения интересующей нас сейчас зависимости остроты зрения от освещенности.

При слабом освещении и соответственно малой яркости фона острота оказывается значительно меньшей, чем при освещении более сильном.

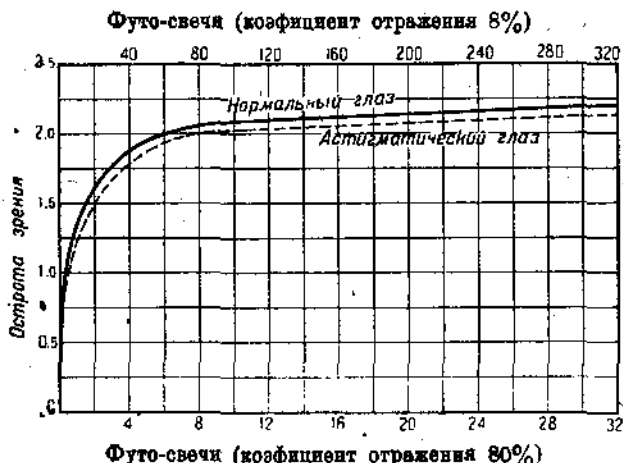


Рис. 27. Зависимость остроты зрения от освещенности.

В случае испытания нами различения глазом черных знаков, находящихся не на белом, а на темносером фоне (с коэффициентом отражения в 8%), значения остроты зрения изобразятся той же кривой рис. 27; для этих условий освещенности надо отсчитывать лишь по верхней шкале абсцисс. Для фона с коэффициентом отражения в 40% кривая останется той же, значения же шкал абсцисс надо лишь соответственно изменить — или помножить на 2 значения нижней шкалы или разделить на 5 значений верхней шкалы. Подобным образом мы можем подбирать величины требуемой освещенности для поверхностей с любым коэффициентом отражения.

Поскольку речь идет об остроте зрения по отношению к различению черных объектов, находящихся на белом фоне, все опытные данные, имеющиеся на этот счет, согласно говорят, что своего наивысшего уровня острота зрения достигает

лишь при освещенностях в 150 и более люксов. В обычных же бытовых и производственных условиях, когда рассматриваемые объекты бывают часто затенены и граничат с поверхностями, имеющими малые коэффициенты отражения, наилучшая острота зрения требует освещенности еще более высокой. Этот вопрос мы еще затронем ниже, в главе XI.

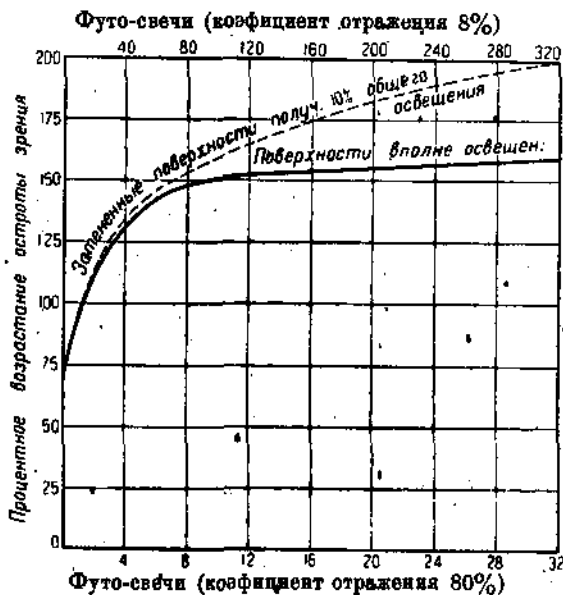


Рис. 28. Процентное нарастание остроты зрения с освещением.

Небезынтересно, далее, обратить внимание на процентное повышение остроты зрения по мере увеличения яркости (или освещенности) двух применявшихся в опыте ахроматических фонов с коэффициентами отражения в 80 и 8%. На рис. 28 за 100 принята острота зрения, соответствующая освещенности в 1 футо-свечу (для поверхности с коэффициентом отражения, равным 80%) и освещенности в 10 футо-светей (для поверхности с коэффициентом отражения, равным 8%). На рисунке показана также и кривая остроты зрения, имеющейся на затененных местах, получающих лишь 10% всего освещения.

Все вышесказанное относится к глазам с нормальным зрением. Само собою разумеется, что лица, обладающие ненормальностями зрения, которые можно устранить посредством оч-

ков, должны носить соответствующие очки. Между тем многие, зрение коих требует небольшой коррекции, работают все же без очков. Поэтому светотехнику при устройстве освещения следует считаться и с потребностями таких лиц с аномальным зрением. Острота зрения лиц, страдающих небольшим астигматизмом, показана на рис. 27 прерывистой линией. Как показывают медицинские обследования, на некоторых производствах до 50% всех работающих имеют пониженное зрение.

В том случае, когда речь идет о различении нашим глазом белых фигур, находящихся на черном фоне, зависимость

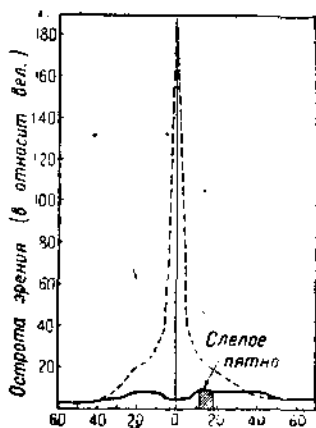


Рис. 29. Зависимость остроты зрения от раздражаемого места сетчатки.

остроты зрения от освещенности оказывается уже иной, отличной от той, которая изображена выше на рис. 27 и 28. Здесь острота зрения бывает самой хорошей при сравнительно весьма малых освещенностях; при заметном же увеличении освещения острота зрения, напротив, понижается. Объяснение этому обстоятельству надо искать в явлениях иррадиации света в глазу, о чем еще будет сказано ниже.

Острота зрения, обнаруживаемая при рассмотрении двумя глазами (бинокулярном зрении), обычно оказывается больше, чем острота зрения какого-нибудь одного глаза. Это явление, хорошо знакомое глазным врачам, следует объяснять, с одной стороны, большим суже-

нием зрачка при бинокулярном зрении, с другой — суммацией возбуждений в зрительном центре.

Всем хорошо известно, далее, что мелкие детали мы видим наилучше в том случае, когда смотрим на них прямо, а не как-либо боковыми местами сетчатки. При очень слабых яркостях дело обстоит, однако, обратным образом. На рис. 29 прерывистая линия обозначает относительную остроту зрения при обычных для работы условиях яркости, сплошная же линия показывает остроту зрения в случае очень слабого освещения рассматриваемых объектов. Нуль на оси абсцисс обозначает центр сетчатки, т. е. центр центральной ямки ее. Как можно видеть, для значительных яркостей, когда у нас функциони-

рует по преимуществу дневное зрение колбочки сетчатки), острота зрения быстро падает по мере перехода от центра сетчатки немного к периферии ее. Для очень же слабых освещенностей — вроде тех, какие создаются светом лунным или светом звезд, — имеет место обратное. Наиболее чувствительной областью сетчатки оказывается в этом случае область от 10° до 20° к периферии от центральной ямки. Поэтому слабые звезды нами лучше замечаются именно тогда, когда мы смотрим на них не прямо, а несколько боком.

Слепое пятно, имеющееся в глазу (соответствующее самому месту вхождения зрительного нерва в сетчатку и не имеющее ни палочек, ни колбочек), является причиной разрыва, изображенного на обеих линиях рис. 29 вправо от 0. Практически на работе зрения слепое пятно не сказывается, поскольку мы обычно смотрим двумя глазами, и то, что падает на слепое пятно в одном глазу, в другом попадает на зрячее место. Существование у нас в глазу слепого пятна может быть установлено каждым посредством простого опыта. Для этого надо фиксировать одним глазом, например правым, черную точку, изображенную на белом фоне, другой же глаз (левый) закрыть; при этом следует обращать внимание на некоторую вторую точку, падающуюся сантиметров на 5 в сторону (в нашем примере — вправо) от фиксируемой точки. Несколько подвигав белую поверхность с нарисованными точками в ту и в другую сторону, мы можем без труда найти такое положение ее (на расстоянии около 30 см от глаза), при котором нефиксируемая точка вовсе исчезнет в силу того, что изображение ее на сетчатке упадет как раз на область слепого пятна.

Ц В Е Т О В Ы Е о щ у щ е н и я .

При обычных средних уровнях освещенности на хроматических поверхностях мы можем замечать различия в их яркости так же хорошо, как и на поверхностях ахроматических. В хороших лабораторных условиях едва заметные ступени яркости могут составлять 1,6 и менее процентов исходной яркости. Между совершенно белым и совершенно черным при хорошем освещении мы можем различать более 60 ступеней ахроматических цветов различной яркости. На цветных хроматических поверхностях число возможных заметных ступеней яркости уж не так велико, поскольку, например, насыщенный красный цвет имеет коэффициент отражения

всего около 20%. Поэтому между ним и черным цветом мы можем заметить лишь около 12 ступеней убывающей яркости.

В спектре солнечного света или света лампы накаливания наш глаз может различать около 150 цветовых тонов. В свете, испускаемом ртутной дугой, имеется всего четыре цветовых тона, представленные главными линиями его спектра.

Если добавлять к спектральным цветам еще цвета пурпурные, в спектре отсутствующие, то общее количество различаемых глазом цветовых тонов в условиях лабораторного опыта может быть признано близким к 150. Различия цветов по насыщенности воспринимаются нами в общем хуже, чем различия их по цветовому тону или по яркости. Число ступеней насыщенности, которое может иметь для нас спектральный цвет, оставаясь тем же по яркости и по цветовому тону, равняется в среднем 20. Таким образом, перемножая число различимых нами цветовых тонов (150) на среднее число различных ступеней яркости (30) и на среднее число различных ступеней насыщенности (20), мы получаем 90 000 как приблизительное общее количество различимых нами — при данном уровне освещения — хроматических цветов. Принимая же во внимание и абсолютную яркость, зависящую от взятого уровня освещения, каковой также может меняться в очень больших пределах, мы должны будем сказать, что все количество возможных для нас различных зрительных ощущений исчисляется миллионами.

Джонс и Лаурей нашли, что чувствительность глаза к изменениям насыщенности меняется в зависимости от величины исходной насыщенности. Процент добавочной подмеси белого, нужный для появления едва заметной разницы в насыщенности, оказывается наибольшим для цветов средних степеней насыщенности. Чистый цвет имеет насыщенность, равную 100%. При ослаблении освещения наша способность различать яркости и цветовые оттенки понижается. Кроме того, при слабом свете сказывается так называемое явление Пуркинье, проявляющееся в том, что относительно наиболее светлыми для нас становятся цвета зеленые вместо желтых, кажущихся наиболее светлыми в условиях достаточно интенсивного освещения.

При различении очень тонких различий в цвете следует иметь в виду и возможные здесь влияния последовательных образов или последовательного контраста. Часть сетчатки, утомленная одним каким-нибудь цветом, видит в течение

некоторого времени последовательный образ, окрашенный в цвет дополнительный.

Центральная часть сетчатки носит название «желтого пятна» вследствие того, что имеет желтую окраску, поглощающую в довольно значительной степени лучи синей части спектра. Очертания желтого пятна в собственном глазу можно бывает порою видеть, когда глаз бывает утомлен смотрением на яркие поверхности. Наличие желтого пятна может быть установлено и посредством сравнения яркости некоторых цветов, видимых центрально, с яркостью этих же цветов, видимых несколько боковыми частями сетчатки.

ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРАСТ.

Если мы два совершенно различных цвета поместим рядом, то обычно они покажутся нам более живыми и отличными друг от друга, чем при иных условиях. Серая бумага, положенная на зеленый фон той же яркости, приобретает пурпуроватый оттенок, дополнительный к цвету фона. Подобная изменчивость цвета в зависимости от соседства с другим цветом всегда имеется в наших зрительных восприятиях, когда мы видим цветовые различия. Наблюдать его можно на любой картине или цветном отпечатке. Предположим у нас в зелени находится оранжевый горшок с цветами. Оранжевый цвет в этих условиях будет выглядеть очень живым. Посмотрим теперь на тот же оранжевый цвет через отверстие в белом или сером экране, заслоняющем от нас все прочие цвета. Оранжевый цвет покажется уже гораздо менее полноцветным. Эффект одновременного контраста дает себя чувствовать и на цветах ахроматических. Белое поле, помещенное на темносерый фон, кажется гораздо более ярким. Эффект одновременного контраста бывает очень замечен на ряде серых полосок, дающих переход от самого светлого к самому темному, если такие полоски лежат рядом одна с другой. Сторона каждой полоски, прилежащая к более темной полосе, выглядит более светлой, чем другая ее сторона, прилежащая к более светлому, соседнему полю. Избежать контрастного влияния на цвет со стороны окружающего мы не можем никогда.

И Р Р А Д И А Ц И Я.

Если вырезать кружок из белого картона и положить его на черный фон, то белый кружок на черном фоне покажется больше, чем соответствующее ему темное отверстие в белом

картоне. При зажигании лампы, находящейся в матовой или молочной колбе, кажется, что эта колба несколько увеличивается в своем размере. Порою вследствие этого порождается даже иллюзия некоторого приближения зажигаемой лампы к смотрящему.

Наиболее ярким примером иррадиации служит, наконец, накалившая нить в электрической лампе. В накаленном светящемся состоянии она кажется во много раз толще нити ненакаленной, темной. Это можно наблюдать даже при низком вольтаже, когда нить светится лишь как бы тлеющим огнем. При этом интересно наблюдать, как кажущаяся толщина нити увеличивается по мере увеличения яркости ее. Эффект иррадиации света в глазу, как оказывается по опытам Кравкова, может увеличиваться в случае воздействия на человека каких-либо побочных раздражителей (световых, слуховых и обонятельных), вызывающих добавочное возбуждение соответствующих зрительных центров.

З Р А Ч О К.

Краткое описание глаза было дано уже выше и иллюстрировано рис. 21. Зрачок, как мы видели, предохраняет глаз от внезапных и резких перемен в уровнях яркости или освещенности, действующих на глаз. Поскольку минимальный диаметр зрачка приближается к 1 мм, а максимальный — к 8 мм, площадь его может, очевидно, меняться раз в 50. Яркость изображения, получающегося на сетчатке, пропорциональна площади зрачкового отверстия; поэтому и эта яркость под влиянием зрачка может изменяться раз в 50. Учитывая еще и способность глаза «адаптироваться», мы должны признать, что глаз является органом весьма хорошо приспособленным к чрезвычайно большим вариациям яркости окружающего.

Выше мы упоминали уже и о том, что величина зрачка играет важную роль и в оптическом построении изображения на сетчатке. При этом здесь сталкиваются два различных влияния зрачкового отверстия; с одной стороны, при уменьшении зрачка уменьшаются круги светорассеяния, вызываемые сферической аберрацией глаза, — изображение на сетчатке в силу этого делается более отчетливым; с другой стороны, вследствие дифракции света уменьшение отверстия зрачка влечет за собою понижение разрешающей силы оптической системы глаза. Учитывая оба эти влияния, на ос-

новании теоретических подсчетов приходится признать, что зрачок диаметром в 3 мм оказывается самым выгодным для четкости изображений на сетчатке.

Влияния, оказываемые величиной зрачка, можно легко наблюдать, приставляя плотно к глазу «искусственные зрачки» — в виде маленьких круглых отверстий, проделанных в тонких металлических пластинках. Кобб изучал влияние размера зрачка на остроту зрения. Рассматриваемым объектом служили тонкие черные линии на белом фоне.

Ширина линий равнялась ширине промежутка между ними и могла меняться вместе с изменением этого промежутка. На рис. 30 сплошной линией А показана острота зрения (в относительных величинах), наблюдавшаяся Коббом, при зрачках разной величины. Соответствующие величины зрительных углов, даваемых расстоянием от середины черной линии до середины белого промежутка, показаны на шкале ординат справа в угловых минутах. Как можно видеть, деления этой шкалы непропорциональны показанным на ней величинам, произведение же из величины относительной остроты зрения и соответствующего ей зрительного угла всюду постоянно. Из опытов Кобба следует, что острота зрения достигает своего максимума при зрачке в 3—4 мм диаметром. Яркость испытательной таблицы в опытах равнялась $1,89 \cdot 10^{-4}$ стильба.

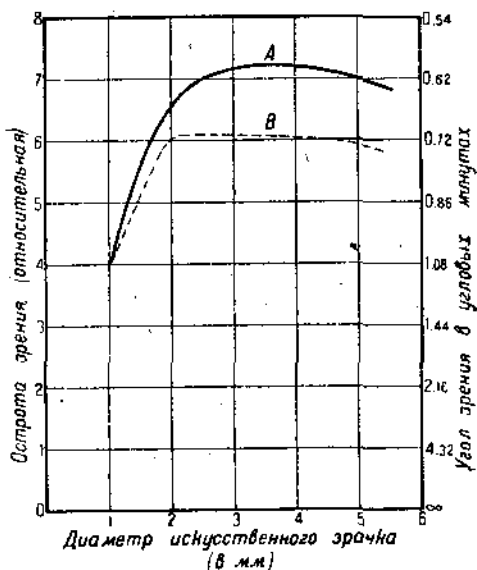


Рис. 30. Влияние величины зрачка на остроту зрения.

Диаметр зрачка, устанавливающийся при обычных, хороших условиях освещения, близок к 3—4 мм. При изменении в опытах диаметра зрачка в пределах от 1 до 5,6 мм яркость изображения на сетчатке менялась примерно в 31 раз. Соответствующие этим условиям величины остроты зрения и изо-

бражены на рисунке сплошной линией А. Коббом была проведена и другая серия опытов, в которых он сохранял яркость изображения на сетчатке все время постоянной; для этого он уменьшал освещенность испытательной таблицы пропорционально увеличению отверстия зрачка. Иными словами, освещенность испытуемой таблицы при искусственном зрачке в 5,6 мм диаметром устанавливалась в 31 раз меньшей, чем освещенность при зрачке диаметром в 1 мм. Результаты этой серии опытов приведены на рис. 30 прерывистой кривой В. Как видим, и в этом случае наилучшую остроту зрения дает зрачок диаметром около 3 мм; однако острота зрения остается здесь практически той же самой при диаметрах зрачка от 2 до 4 и даже 5 мм.

Чрезвычайно интересным является то, что, говоря о влиянии зрачкового отверстия на остроту зрения, мы всегда должны, следовательно, иметь в виду соответствующее изменение яркости изображения на сетчатке. Повышение этой яркости в силу увеличения зрачкового отверстия столь же благотворительно сказывается на зрении, как и эквивалентное усиление освещения рассматриваемого объекта при сохранении зрачкового отверстия постоянным. Кривая В рис. 30 показывает, как это уже отмечено выше, что зрачковое отверстие само по себе мало сказывается на остроте зрения при вариации диаметра зрачка от 2 почти до 5 мм. Этому соответствует изменение яркости сетчаточного изображения почти в 6 раз. Если бы мы могли при некоторых условиях сохранять диаметр зрачка равным 5 мм вместо 2,5 мм, это значило бы для зрения то же самое, что и увеличение интенсивности освещения рассматриваемого объекта на 300%. Нельзя найти более веского аргумента против допущения всякого рода блестящих источников в поле зрения. Все они, — как то: голые лампы без соответствующей арматуры, зеркальное отражение их от гладких поверхностей, чрезмерный контраст и пр., — влекут за собою рефлекторное сужение зрачка. Напротив, рассеянный свет, должным образом распределенный по рабочему помещению, позволяет зрачку расшириться, отчего повышается эффективность освещения. Следует, далее, обратить внимание на то, что зрачок, сузившийся под влиянием света, при переходе к меньшим яркостям вновь расширяется. Ривс показал, что после 15-минутной адаптации к темноте диаметр зрачка для шести испытуемых был в среднем около 8 мм. Он повторил свои измерения для адаптации глаза к различным уровням яркости вплоть до 3000 мил-

диламбертов (около 0,6 свечи с 1 см^2). При этой наибольшей яркости зрачок через 15 мин. суживался до размера 2 мм в диаметре. Испытуемыми в опытах Ривса были лица молодого возраста. Средние результаты измерений Ривса, произведенных им на шести лицах, приведены ниже на рис. 31. По оси абсцисс дана логарифмическая шкала яркостей адаптирующего поля (в фута-свечах на поверхности с коэффициентом отражения в 80%).

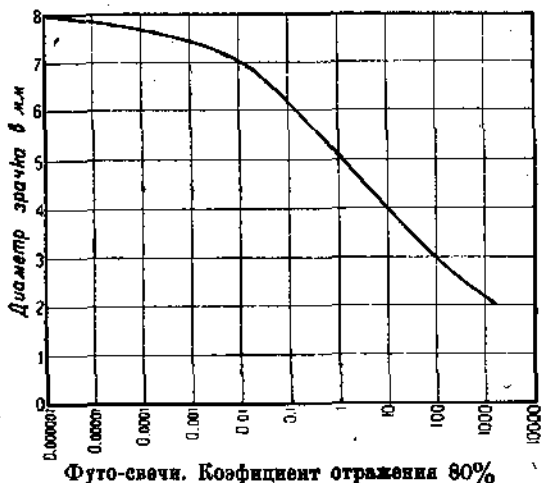


Рис. 31. Влияние адаптирующей яркости на величину зрачкового отверстия.

Следует отметить, что размеры зрачка, имеющиеся при адаптации к яркости от 1 до 100 миллиламбертов, как раз соответствуют его размерам, обеспечивающим наилучшую остроту зрения. Яркости от светящихся источников света обычно бывают во много раз больше, чем максимальные яркости, применявшиеся в опытах Ривса.

Рис. 32 воспроизводит данные Ривса, которые были получены им относительно скорости сужения зрачка при переходе глаза к свету (100 миллиламбертов) и скорости расширения его при обратном переходе в темноту. Приводимые здесь значения суть средние из данных, полученных на шести лицах. Сплошная линия показывает ход сужения зрачка, прерывистая — ход его расширения. Нижняя горизонтальная шкала относится к сплошной кривой, верхняя горизонтальная шкала — к

прерывистой. Очень интересно отметить, что на максимальное расширение зрачка идет приблизительно столько же минут, сколько секунд требуется на его максимальное сужение.

Отметим, наконец, что величина зрачкового отверстия меняется и в зависимости от того, смотрит ли глаз на предмет близкий или на предмет далекий. Иными словами, величина зрачка связана еще и с аккомодацией нашего глаза. При этом,

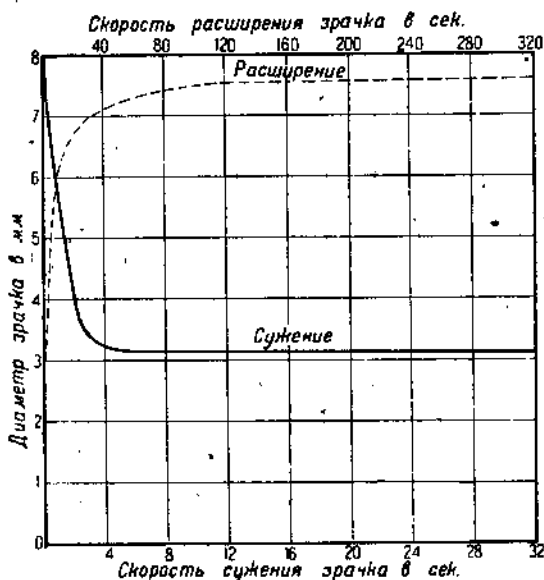


Рис. 32. Скорость сужения и расширения зрачка — при переходе от темноты к свету, и обратно.

чем эта последняя больше, чем более близкий объект мы, следовательно, фиксируем, тем зрачок бывает уже, и наоборот. Так, по данным опытов Кувре, например, оказалось, что при одной и той же яркости объекта (0,05 миллилампберта), в зависимости лишь от большего или меньшего приближения его к глазу, зрачок менял свой диаметр от 5,1 до 2,7 мм. Причиной подобной зависимости, надо думать, служит то, что зрачок реагирует не только на яркость изображения, образующегося на сетчатке, но и на его размер.

АДАПТАЦИЯ ГЛАЗА.

Явление адаптации или приспособления глаза к тому или иному уровню освещения хорошо знакомо каждому по собственному опыту. Вместе с тем известно, что процесс адаптации требует известного времени. Известную роль играет здесь и изменение зрачкового отверстия. Однако основным образом адаптация зависит от изменения в сетчатке.

Зайдя днем с открытого пространства вне помещений в темную комнату, мы нуждаемся в довольно большом времени для того, чтобы наш глаз приспособился к освещению этой комнаты. Она может и не быть вполне темной, однако в течение первых минут кажется нам такой. Самая малая яркость, которую мы способны заметить здесь в первую секунду, во много раз больше, чем минимальная яркость, видимая нами после того, как глаз наш побыл уже минут десять в темноте. Своей наибольшей чувствительности глаз достигает лишь после приблизительно полуторачасового пребывания в темноте. Ход темновой адаптации глаза был предметом изучения многих исследователей. На рис. 33 показан типичный ход возрастания чувствительности глаза, по мере того как глаз после пребывания на свету находится в темноте. Как видим, в течение первых 5—10 мин. чувствительность нарастает очень медленно, в период от 10 до 30 мин. возрастание чувствительности идет особенно быстро. В последний период оно вновь замедляется. Чувствительность может увеличиться в 70 000 раз и более. Если предварительное освещение глаз было небольшим, то перегиб кривой, наблюдаемого на рис. 33 для времени около 10—15 мин., не наблюдается вовсе; чувствительность в этих условиях с первых минут нарастает быстрым темпом, постоянно все более и более замедляющимся. Отсюда можно сделать вывод, что большие неравномерности в яркости окру-

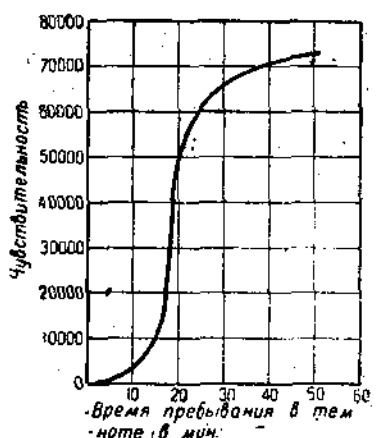


Рис. 33. Кривая темновой адаптации глаза.

предметом изучения многих исследователей. На рис. 33 показан типичный ход возрастания чувствительности глаза, по мере того как глаз после пребывания на свету находится в темноте. Как видим, в течение первых 5—10 мин. чувствительность нарастает очень медленно, в период от 10 до 30 мин. возрастание чувствительности идет особенно быстро. В последний период оно вновь замедляется. Чувствительность может увеличиться в 70 000 раз и более. Если предварительное освещение глаз было небольшим, то перегиб кривой, наблюдаемого на рис. 33 для времени около 10—15 мин., не наблюдается вовсе; чувствительность в этих условиях с первых минут нарастает быстрым темпом, постоянно все более и более замедляющимся. Отсюда можно сделать вывод, что большие неравномерности в яркости окру-

жающего вредны для работающего глаза. Переходя от большей яркости к меньшей, глаз на несколько минут заметным образом снижает свою чувствительность. Слепящее действие голых ламп, автомобильных и уличных фонарей в большой мере связано с адаптацией глаза. Светящееся поле сравнительно небольшой яркости может быть слепящим для глаза, адаптированного к темноте, в то время как более яркая и светосильная нить электрической лампы накаливания на фоне яркого неба — для глаза, адаптированного к свету — слепящей не кажется.

При переходе глаз от темноты к свету наблюдается картина, обратная той, которая описана выше, а именно, чувствительность глаза снижается. Снижение это идет в первые минуты быстро, затем медленно и бывает тем большим, чем более интенсивный свет действует на глаз. В отличие от адаптации темновой, адаптация глаз к свету заканчивается уже через несколько минут (5—10). При длительном действии на глаз какого-нибудь хроматического раздражителя происходит постепенное понижение чувствительности глаз к данному цвету; это снижение чувствительности сказывается уменьшением яркости раздражающего света. Подобная цветовая адаптация или цветовое утомление идет тем дальше, чем ярче свет, действующий на глаз. При одинаковой же яркости нескольких раздражителей разного цвета самым утомляющим по опытам Кравцова оказывается цвет сине-фиолетовый, а менее всего утомляющим — цвет зеленый.

В основе явлений световой и цветовой адаптации, по современным представлениям, лежит процесс фотохимического разложения светочувствительных веществ в сетчатке глаза и обратный процесс восстановления и накопления этих веществ, происходящий в темноте. В теориях, разработанных Лазаревым и затем Гектом, подобные представления укладываются в математические, количественные формулы.

ЯВЛЕНИЕ ПУРКИНЬЕ.

При слабых интенсивностях света лучи с короткими длинами волн (фиолетовые, синие, зеленые) кажутся нам относительно более светлыми, чем при интенсивностях больших. Обратное как раз верно применительно к видимым излучениям с большой длиной волны (желтый, оранжевый, красный цвета). Это явление, открытое Пуркинье около ста лет назад, представляет большой научный интерес и имеет зна-

чение и при разрешении некоторых осветительных проблем. Как это можно было видеть из рис. 22, порожная величина для синего цвета ниже порожной величины для цвета красного. Предположим, что мы осветили некоторую белую поверхность синим и красным цветами, одинаковыми по яркости, каковая равняется яркости белой поверхности (с коэффициентом отражения 80%), освещаемой одной фито-свечой. Если мы снизим теперь освещенность и для красного и для синего цветов, например, в 5 раз, мы заметим, что синее поле стало явно более светлым, чем красное, ему первоначально равное. При дальнейшем ослаблении света синее становится относительно все более и более ярким. Наконец, мы дойдем и до такой яркости, соответствующей примерно яркости, даваемой 0,01 люкса белого света на белую поверхность, при которой красный цвет станет практически уже невидимым, синий же будет еще достаточно ясно замечаться.

Таким образом свет голубоватый при слабых интенсивностях оказывается более эффективным, чем свет желтоватый. Подобное преимущество синеватого света сказывается лишь при слабых интенсивностях освещения, меньших 0,5 люкса, при обычных же освещенностях, превышающих 1 люкс, о нем говорить практически не приходится. При световой адаптации глаза явления Пуркинье не наблюдается. Не наблюдается оно и при раздражении центральной части сетчатки («центральной ямки» ее), где имеются лишь колбочки.

НА РАСТАНИЕ И СПАДАНИЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОЩУЩЕНИЙ.

Ощущение яркости и цвета не достигает своей максимальной и окончательной величины, как только упало на сетчатку соответствующее изображение раздражителя. Равным образом ощущение не исчезает полностью в один миг, как только раздражитель перестает действовать на глаз. В действительности, если раздражитель достаточно интенсивен, то ощущение яркости в первые моменты «перескакивает» свою постоянную величину. Многие, несомненно, могли это наблюдать при зажигании в комнате электрической лампы. В первый момент потолок порою кажется «вспыхивающим» чрезмерно ярко. Это особенно легко бывает подметить при очень интенсивном освещении. Явление это представляет для нас известный интерес в связи с вопросами функционирования нашего зрительного аппарата. Оно может быть и специально

демонстрировано посредством особых вращающихся дисков и иными способами.

На рис. 34 приведены иллюстрирующие вышеописанный феномен данные опытов Брока и Зульцер. Опыты состояли в сравнении яркости некоторой белой поверхности, находящейся в условиях постоянного освещения и длительно воздействующей на глаз, с яркостями, обнаруживаемыми той

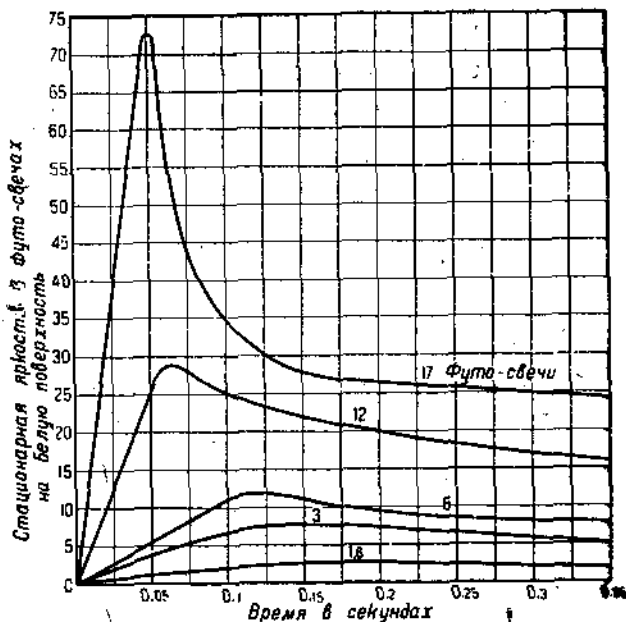


Рис. 34. Ход изменения яркости ощущений по мере действия раздражителя на глаз.

же белой поверхностью через различные краткие интервалы времени после начала действия ее на глаз. Авторы производили опыты с пятью уровнями освещения белой поверхности. Эти освещенности обозначены на рисунке цифрами, стоящими у каждой кривой. Как можно видеть из этих кривых, сверхнормальный максимум яркости ощущений, соответствующих большим интенсивностям раздражения, приходится на время приблизительно около 0.05 сек. после начала действия раздражения. При слабых раздражителях такого момента сверхнормальной яркости вовсе не наблюдается.

Автор и некоторые другие исследователи изучали явление сверхнормальной яркости на ощущениях хроматических. Подобное явление имеет и практическое значение в деле применения кратковременных световых сигналов. В общем опыты показали, что у цветов среднего участка спектра описанное явление сверхнормальной яркости выражено слабее, чем у цветов синих и красных.

Доказательством того, что ощущения не исчезают одновременно с прекращением раздражения, служат последовательные образы. Обычно последовательный образ после какого-нибудь хроматического раздражения имеет цветность, дополнительную к тому последнему. С явлениями последовательных образов приходится считаться во многих случаях.

Последовательные образы от ярких объектов — в частности от источников света — бывают не только неприятны, но и оказывают слепящее действие, длящееся некоторое время. Слепящему действию последовательных образов от источников света обязаны бывают своим возникновением очень многие несчастные случаи на фабриках и на улице. Оставаясь у нас в глазах после взгляда на яркие поля, они значительно снижают нашу способность видеть. Это обстоятельство служит также одним из важных аргументов против допущения блестящих источников в поле зрения. Автором измерялась продолжительность последовательных образов. Полученные им на этот счет данные показаны на рис. 35. Яркости применявшихся раздражителей (в стильбах) показаны цифрой над каждой кривой. Наибольшая яркость раздражителя была близка к яркости нити электрической лампы накаливания. Последовательный образ длится тем продолжи-

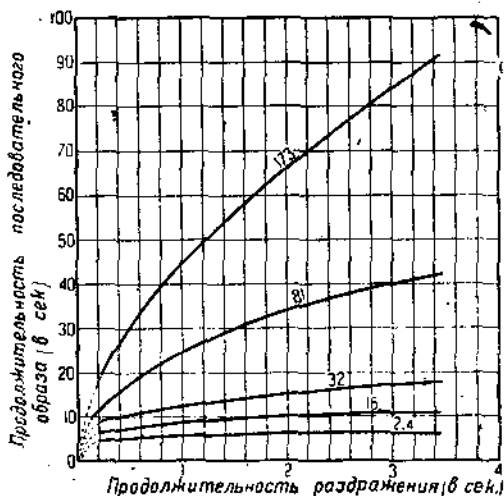


Рис. 35. Продолжительность последовательного образа в зависимости от длительности раздражения.

тельнее, чем дольше раздражитель воздействовал на глаз. В случае наиболее яркого раздражителя, соответствующего наиболее яркой нити ламп накаливания, оказалось, что после смотрения на такую яркость в течение 1 сек. последовательный образ длился 45 сек. Смотрение на тот же раздражитель в течение 3,5 сек. удлинило продолжительность последовательного образа до 93 сек. Последовательные образы, оказывая слепящее действие в течение, как видим, сравнительно продолжительного времени, в случае частого их появления у нас в глазу могут существенно мешать работе. Понятно поэтому, что при улучшении условий освещения, в смысле устранения блестящих полей устройством рациональной арматуры, производительность труда повышается.

Свет прерывающийся производит на нас обычно впечатление неприятного мигания. Если же перерывы достаточно часты, то наступает слияние мелькающего ощущения в одно сплошное. Частота перерывов, при которой мелькания исчезают, зависит от яркости света и формы кривой появления раздражителя. Эта частота возрастает с увеличением яркости и бывает большей в том случае, когда смена света с темнотой происходит сразу, а не постепенно. В силу известной инерции, обнаруживаемой нитью лампы накаливания при ее охлаждении и нагревании, а также в силу сохраняющихся у нас последовательных образов перерывы переменного тока нами ощущаются лишь при малой частоте их. При токе в 25 периодов на ярких поверхностях мигание еще может быть заметно. На поверхностях же темносерых и темных перерывы частотой в 25 периодов в секунду миганий уже не вызывают. В практике с вопросами слияния мельканий мы сталкиваемся при пользовании для целей освещения переменным током с малой частотой периодов, а также в некоторых специальных условиях, как то: при освещении кинематографических экранов.

Рис. 36 должен дать читателю, незнакому с затронутыми вопросами, представление о тех частотах, при которых мелькание исчезает. Полею меняющейся яркости был диск, наполовину белый, наполовину черный; при этом смена света с темнотой происходила сразу. Частота вращения такого диска (число оборотов в секунду) могла меняться до тех пор, пока мелькания не исчезали. Поскольку яркость поверхности зависит от двух факторов — интенсивности освещения и коэффициента отражения данной поверхности, — на рис. 36 приведены кривые для поверхностей с разными коэффициентами

отражения; при этом общая им всем освещенность отложена по оси абсцисс (в фута-свечах). Легко видеть, что увеличение необходимого для слияния мельканий числа периодов особенно быстро идет при низких освещенностях, меньших чем 5 фута-свечей. Кривые относятся к тому случаю, когда период ос-

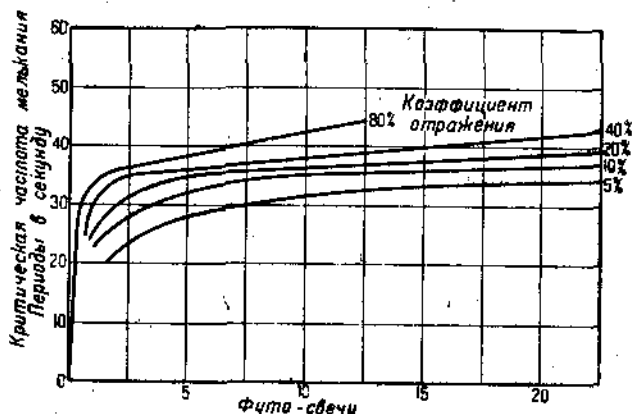


Рис. 36. Критическая частота мельканий в зависимости от яркости поля.

вещения был равен периоду затемнения. Если же период темноты много больше периода освещения, исчезновение миганий требует уже большей частоты периодов.

ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЗРЕНИЕ.

Для того чтобы создать обстановку, наиболее благоприятствующую функционированию нашего зрительного аппарата, мы должны заботиться и о создании ряда внешних факторов, влияющих на зрение. К числу таковых относятся: направление, распределение, интенсивность и качество света. Тени бывают не менее важны, чем ярко освещенные места. Очень существенен и фон, на котором нам даны рассматриваемые предметы.

Сказанное в этой главе относится в общем к зрению двумя глазами. Испытательные таблицы, применявшиеся во всех опытах, о которых шла речь выше, были двумерны, но не рельефны. В связи с этим нами не затрагивались еще и вопросы о преимуществах бинокулярного зрения по сравнению с монокулярным.

Бинокулярное зрение. Преимущество зрения двумя глазами по сравнению с зрением одним глазом особенно сказывается при оценке нами рельефа предмета. Каждый глаз видит несколько отличное изображение одного и того же рельефного предмета. Это-то несоответствие изображений, получающихся в обоих глазах, главным образом и обуславливает впечатление рельефности. Существенными моментами, благодаря которым мы оцениваем третье измерение окружающего нас пространства и наполняющих его вещей, служат следующие:

- a) Размеры.
- b) Перспектива.
- c) Бросаемость в глаза данного предмета.
- d) Изменение света и тени на нем.
- e) Изменение зрительного угла в отношении к его расстоянию от нас.
- f) Мускульные усилия, связанные с аккомодацией глаз.
- g) Мускульные усилия, связанные с конвергенцией глаз.
- h) Закрывание дальних предметов ближайшими.
- i) Стереоскопичность видения.
- k) Яркость цвета в зависимости от расстояния (в случае больших расстояний на открытых пространствах).

Тени. Тенью мы называем то место объекта, которое не получает прямых лучей от имеющегося источника света. Тени от одного предмета, падающие на другой предмет, играют весьма важную роль в наших зрительных восприятиях. Без них предметы, находящиеся на фоне, одинаковом с ними по яркости и по цвету, были бы для нас не видны. Размер светового источника или, точнее, телесный угол, ему соответствующий, определяет собой границы тени. От прямого солнечного света тени бывают достаточно резки, от света же неба, напротив, — распылчаты. Так же обстоит дело с искусственными источниками света. От малых источников тени получаются резко очерченными; большие рассеивающие светящиеся поверхности создают тени гораздо более мягкие. Потолки, отражающие свет, действуют в этом отношении подобно небесному своду. Место и направление тени зависит, понятно, от места светящегося источника. Яркость тени зависит от рассеянного света, имеющегося в помещении и порождаемого отражениями от потолка и других предметов. Если в затененном пространстве имеются предметы, которые наш глаз должен достаточно хорошо различать, тень должна быть достаточно яркой. Для подобных случаев следует

стремиться к тому, чтобы освещенность затемненного пространства не была ниже 10% той освещенности, которая имеется на незатененном месте. Если же в затененном пространстве не находится ничего, что мы должны были бы специально рассматривать, то темные тени могут быть даже полезны для нашей зрительной ориентировки в окружающем. Не одиочные тени, падающие в различных направлениях, однако, сбивают нас в наших зрительных восприятиях. Поэтому желательно, чтобы всегда имелось лишь одно господствующее направление освещения.

Б л и к и. Блики противоположны теням и во многих случаях также бывают полезны, как и эти последние. Предметы нами узнаются часто именно по соотношению даваемых ими бликов; так, цилиндрический гладкий объект имеет блик в виде прямой линии, шаровидный предмет — в виде небольшого пятна и т. д. Нередко мы различаем предметы только благодаря даваемым ими отсветам — бликам. Это особенно верно применительно к мелким объектам вроде, например, тонких нитей и т. п.

Ф о н ы. Поскольку для зрительного различения предметов необходим известный контраст, мы, изменяя фон, можем очень существенно помогать зрению. Для этого надо сделать фон заметно более темным или более светлым, чем рассматриваемый объект. Чем меньше размер этого последнего, тем более контрастный фон требуется. Светлые фоны в общем менее рациональны, чем темные: они в большей мере утомляют глаза.

При применении ярких фонов следует иметь в виду и эффекты иррадиации, состоящие в том, что светлые поверхности всегда несколько «расплываются» и заходят на соседние темные, благодаря чему кажущиеся размеры этих последних уменьшаются; понижается вследствие этого и видимость тонких деталей на светлом фоне. С другой стороны, детали, видимые благодаря бликам, становятся вследствие иррадиации еще более заметными, так как кажущаяся величина этих отсвечивающих точек становится большей. Вспомним, что раскаленный волосок электрической лампы кажется нам во много раз толще, чем он же в ненагретом, темном виде.

Влияние различных фонов на видимость объектов может быть хорошо иллюстрировано простым экспериментом, состоящим в том, что мы за тонкими натянутыми нитями помещаем белый, серый, темносерый и совсем черный фоны. Варьируя освещение нитей и их цвет, здесь можно сделать много интересных наблюдений.

ГЛАВА IX.

СКОРОСТЬ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ.

Производительность работы как отдельного работника, так и группы работников в целом прямым образом зависит от той «скорости», с которой совершаются отдельные акты этой работы. В общем можно сказать, что всякая рабочая операция предполагает моменты зрительного различения, волевого решения и мускульной активности. Относительное значение этих моментов в отдельных видах деятельности может в известной мере варьировать, однако зрительному различению в большинстве случаев принадлежит все же значительное место.

Браковщик, например, должен замечать брак. Если же он его не замечает — он не выполняет своего назначения. При недостаточном или при плохо устроенном освещении он вынужден бывает рассматривать вещи с особой тщательностью и медленно в силу понижения его зрительной работоспособности. На это уходит лишнее время, и если его зрительная оценка составляет достаточно заметную долю всего производственного процесса, то и замедление темпа всей работы может быть достаточно заметным.

Скорость зрительного различения или, иначе, скорость зрительного восприятия зависит от всех факторов света и освещения, влияющих на нашу способность видеть различия в яркости и цвете, равно как и на нашу способность различать мелкие детали. Вообще говоря, здесь влияют, очевидно, и факторы, от которых зависят различение нами цветовых тонов. В обычных условиях, однако, когда качество света уже раз навсегда выбрано, главными факторами, влияющими на скорость зрительного восприятия, остаются интенсивность освещения, распределение света в поле зрения и направление света.

Интенсивность освещения может оказывать благотворное влияние на функции зрения даже и тогда, когда все прочие стороны освещения уже устроены вполне рационально. Это обстоятельство уже было достаточно иллюстрировано выше, в главе VIII. Интенсивность освещения или яркость оказывают большое влияние на продолжительность времени, требуемого актом зрительного различения. В силу различных причин вопросы скорости зрительного восприятия не привлекали к себе до последнего времени достаточного внимания исследователей.

Данные, приведенные ниже, в главе X, покажут как, согласно исследованиям поставленным на самом производстве, производительность труда растет по мере улучшения условий освещения. Наряду с продолжением подобного рода исследований на фабриках и заводах настоятельно желательными являются и специальные лабораторные эксперименты, позволяющие лучше анализировать всю сложность человеческой активности, связанной со зрением.

СКОРОСТЬ РАЗЛИЧЕНИЯ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ.

Время, требующееся на то, чтобы мы успели различить (увидеть какой-либо мелкий объект), укорачивается по мере усиления освещения. Скорость различения и будет величиной, обратной продолжительности этого времени (выражаемого обычно в секундах). Размер различаемого объекта характеризуется в опытах обычно в угловых единицах, поскольку зрительный угол учитывает как реальный размер объекта, так и удаленность его от глаза. Для объектов, линейная величина которых мала по сравнению с расстоянием их от глаза, угол, под которым они видны, будет приблизительно пропорционален частному от деления линейного размера объекта на расстояние его от глаза.



Рис. 37. Интернациональный тест для испытания остроты зрения (кольцо Ландольта).

Для иллюстрации того, как скорость зрительного восприятия мелких деталей зависит от интенсивности освещения, остановимся здесь на работе Ферри и Ренд. В качестве испытательного объекта они пользовались интернациональным тестом для испытания остроты зрения (кольцами Ландольта). Это есть черное кольцо с разрывом в нем (см. рис. 37). Размер видимой детали здесь есть угловая величина разрыва в черном кольце для глаза, смотрящего на кольцо с определенного расстояния. Испытательное кольцо можно поворачивать в ту или иную сторону, благодаря чему испытуемый должен бы-

вает не просто лишь отметить заметность или незаметность разрыва, но также и то, в какую сторону разрыв направлен. Ферри и Ренд пользовались в своих опытах кольцами с разрывами в них, соответственно равными 1, 2, 3, 4 и 5 угловым минутам. Источником света служили обыкновенные лампы накаливания. Освещенность испытательных таблиц варьировалась от минимальной до 1200 люксов.

На рис. 38 показана связь скорости зрительного различения с освещенностью. Различаемыми объектами служили,

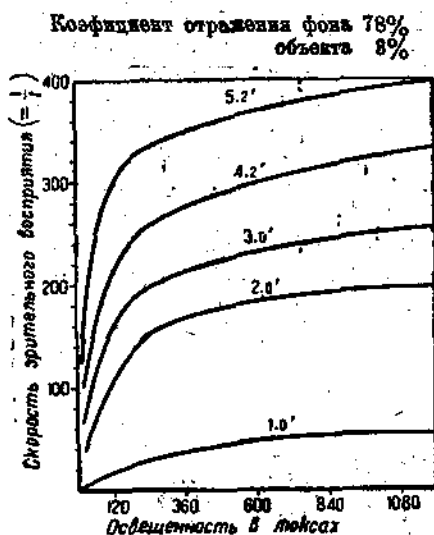


Рис. 38. Скорость зрительного различения в зависимости от освещенности и величины объекта.

как уже сказано, черные кольца Ландольта. Фон был белый (коэффициентом отражения в 78%). Соответствующие величины разрывов показаны на рисунке цифрами около кривых. Как можно видеть из рассмотрения приведенных кривых, скорость зрительного различения по мере усиления освещения неизменно растет. При этом это нарастание скорости зрительного восприятия идет особенно быстрым темпом в начале кривой, в дальнейшем же уровень достигнутой скорости остается уже более постоянным. Этот перелом кривой для объектов больших наступает раньше, чем для объектов малых, поэтому значительное

усиление освещенности особенно полезно для скорости различения именно мелких объектов. Из рисунка же 38 можно видеть, насколько большое влияние на скорость зрительного различения оказывает увеличение угловых размеров рассматриваемого предмета.

Так же, как увеличение размера объекта, влияет увеличение контрастности. Нижеследующие кривые на рис. 39 показывают ход нарастания скорости зрительного различения при увеличении освещения для случаев черных колец Ландольта, находящихся на фонах, имевших коэффициенты

отражения 78, 29, 21 и 16%. Размер разрыва в кольце оставался в этих сериях опыта постоянным (равным 5,2').

Скорость зрительного различения нарастает с увеличением освещения вначале быстро, а затем все медленнее. Вставал поэтому вопрос, до каких же уровней освещенности целесообразно здесь доходить, поскольку мы заинтересованы в увеличении скорости зрительного восприятия.

Ферри и Ренд назвали критической интенсивностью освещения ту величину его, ниже которой усиление освещения на 60 люксов увеличивает скорость зрительного восприятия на 5 и больше процентов, выше же которой каждые дополнительные 60 люксов ускоряют зрительное восприятие менее чем на 5%. Найденные ими значения такой критической освещенности для различения объектов различного размера и разной контрастности приведены ниже (в люксах):

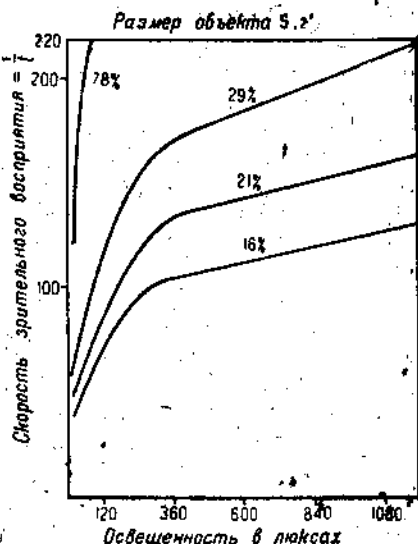


Рис. 39. Скорость зрительного различения в зависимости от освещенности и контраста.

ТАБЛИЦА XIII.

Размер объекта (в минутах) и коэффициент отражения фона.

Уг. мин. в °	1	2	3	4,2	5,2
78	444	276	228	162	156
29	720	468	324	276	276
21	756	540	420	300	312
16	810	612	456	360	336

Таблица показывает, что чем больше объект и чем он больше контрастирует с фоном, тем при меньшей освещенности достигается уже предельная скорость зрительного восприятия.

В общем же мы видим, что с увеличением освещенности скорость зрительного восприятия растет. Естественно поэтому ожидать, что и всякая производственная работа, включающая в себя моменты зрительного различения, при высоком уровне освещения будет протекать более успешно; увеличение производительности, вызываемое повышением уровня освещенности, будет большим или меньшим в зависимости от того, какую относительную долю всех производственных операций составляет работа, требующая специально зрительного различения. Во всяком случае можно сказать, что скорость зрительного восприятия заметным образом возрастает при увеличении освещенности вплоть до 120 и более люксов даже тогда, когда речь идет о различении черных объектов на белом фоне. В случае же, когда контрастность между объектом и фоном меньше, ускоряющее влияние усиленного освещения продолжается и при значительно больших освещенностях. Обычно мы имеем дело как раз с объектами небольшой контрастности; поэтому освещенность, нужная для достижения определенной скорости зрительного восприятия, должна быть тем большей по сравнению с условиями различения черных объектов на белом фоне, чем меньше коэффициент отражения фона.

Кобб в течение ряда лет ставил опыты по изучению времени, требующегося глазу для узнавания того или иного объекта. Многие из полученных им результатов весьма важны с точки зрения анализа всех тех факторов, которые способствуют или мешают нашему зрению. Кобб показывал своим испытуемым различные объекты. Некоторые из них представлялись испытуемому без каких-либо помех; некоторые же перемежались с предшествующими им и следующими за ними «сбивающими образами». В первом случае испытуемому предлагалось фиксировать свой взор на одном месте экрана, на котором должна была появиться точка; все прочее поле зрения не содержало каких-либо отвлекающих предметов. Во второй серии опытов испытуемый также смотрел на некоторый пункт экрана, на котором появлялся испытательный объект, за короткое же время перед его показыванием на экране испытуемому представлялись различные иные изображения. Подобные же «сбивающие» изображения показывались и тотчас вслед за предъявлением испытательного объекта.

На рис. 40 показано, как от интенсивности освещения зависит скорость зрительного восприятия круглой черной точки, находящейся на белом фоне, коэффициент отражения которого равен 80%. Черная точка имела 0,4 см в диаметре и показывалась

валясь испытуемому лицу с расстояния в 5,9 м. При таких условиях точка виделась испытуемым под углом в 2,4 угловых минуты.

До предъявления такой точки и после ее экспонирования глаз смотрел на поверхность той же яркости, что и фон, на котором находилась точка. В подобного рода экспериментах

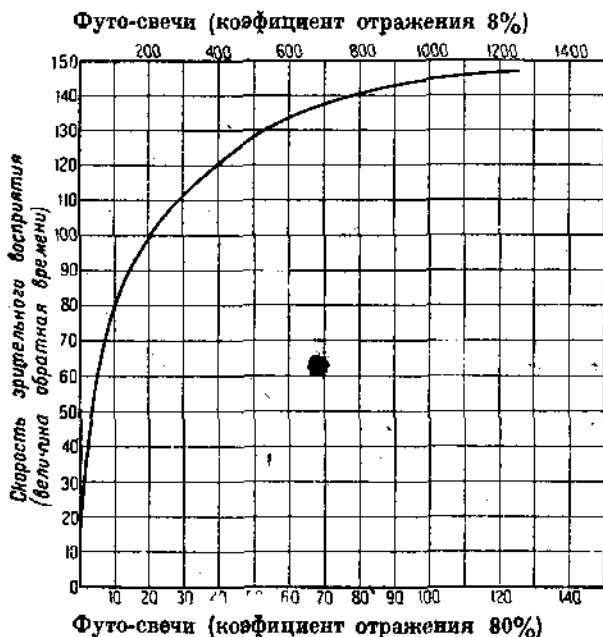


Рис. 40. Скорость зрительного восприятия черной точки в зависимости от освещенности.

существенно знать, действительно ли испытуемое лицо видит то, о чем говорит. Поэтому для контроля из каждых десяти предъявлений в пяти случаях вовсе никакой точки не показывалось. При этом чередование подобных контрольных экспериментов с предъявлениями черной точки производилось в полном беспорядке. Испытуемый должен был отмечать, когда он видит точку и когда ее нет. Время экспонирования в каждой группе экспериментов постепенно укорачивалось, пока в опыте не доходили до столь краткого предъявления, при котором уже терялась уверенность в том, что точка действительно была видна. Рис. 40 говорит о том, что скорость

зрительного восприятия продолжает нарастать (для белого фона) даже и при освещенности, большей чем 1300 люксов; при обычных же освещенностях внутри помещения — освещенностях порядка 100 люксов — скорость зрительного различения черной точки гораздо ниже, чем, например, при освещенности в 500 люксов.

Поскольку в экспериментах испытательным объектом служила черная точка на белом фоне, представляет интерес задаться вопросом, какие же интенсивности освещения потребуются для достижения тех же скоростей зрительного восприятия в случае, если та же черная точка дается на фоне с меньшим коэффициентом отражения. В качестве примера подобного темного фона возьмем темносерую поверхность, коэффициент отражения коей равняется 8%. В таком случае соответствующие освещенности будут иметь значения, показанные на горизонтали рис. 40 сверху. Как можно видеть, заметное замедление роста скорости зрительного восприятия приходится здесь приблизительно на 5000 люксов; впрочем, Кобб отмечает, что положение места перегиба кривой может зависеть и от масштаба откладываемых по осям координат величин. Об этом у нас еще будет речь в главе XIII. Скорость различения нарастает даже при 10 000 люксов. В описанных опытах черная точка была действительно вполне черной. Обычно же «черное» все же отражает известное количество света, вследствие чего контрастность объекта с фоном оказывается меньшей. Поэтому значения освещенностей, отложенные по шкале абсцисс, для повседневных условий являются даже преуменьшенными.

СКОРОСТЬ ЧТЕНИЯ.

Выбор испытательного объекта в опытах с испытанием зрения представляет всегда задачу, требующую серьезного обсуждения. Он должен быть легко описываемым и воспроизводимым; он должен быть таким, чтобы полученные с ним результаты эксперимента могли быть перевесены и на повседневные зрительные операции глаза; вместе со всем этим выбранный объект должен быть таким, чтобы эксперимент достаточно чувствительно отражал на себе влияния исследуемых факторов. Чтение есть одно из очень обычных проявлений работы нашего зрения; читаемый текст может быть точно описан и воспроизведен. Желая найти некоторую меру влияния интенсивности освещения на скорость чтения, автор совместно с некоторыми другими исследователями и взял

в качестве испытательного объекта в одном из своих первоначальных исследований печатный текст.

В противовес тому, что часто об этом думают, обычное чтение не есть дело только остроты зрения или нашей способности видеть мелкие детали. Острота зрения характеризуется теми мельчайшими деталями, которые мы оказываемся в состоянии видеть. Печатные же буквы текста редко бывают столь малыми, чтобы едва различаться при обычных условиях освещения. Они, как правило, во много раз превышают по своим размерам такие предельно малые величины. Далее, известно, что в процессе чтения глаза не движутся по строкам все время с равномерной скоростью. Взор скользит по тексту скачками, прерываемыми моментами неподвижной фиксации. Число таких остановок-фиксаций при обычной длине строки равняется 2—5 на одной строке. В периоды же передвижек взора глаза не могут видеть буквы вполне ясно. Они видят их так же, как если бы сам печатный текст быстро двигался перед неподвижным взором. Отчетливое видение возможно лишь в моменты неподвижности глаз и при условии попадания изображения на центральную часть сетчатки. Иными словами, обычное чтение предполагает узнавание групп букв или даже слов, составленных из знаков, по своей величине превосходящих предельно малые объекты, видимые при данном же среднем освещении. В силу подобных различий результаты испытаний остроты зрения могут быть не вполне тождественными с результатами испытания успешности чтения, хотя, конечно, известное сходство между обоими процессами имеется.

Другим основанием для того, чтобы поставить опыты над чтением, было желание испытать новый, «прямо регистрирующий результаты» аппарат для исследования скорости зрительного восприятия. В качестве испытательных объектов применялись линии, значки и буквы разного рода: Контрастность их с фоном соответствовала обычно контрастности «черных» чернил на «белом», но в иных случаях была и меньшей благодаря более темному фону. Число испытуемых лиц колебалось от 37 до 49. Все они были молодого возраста.

После предварительных проб был принят следующий метод испытания. Испытуемый должен был читать вслух то, что было напечатано на ленте, перекинутой через вращающийся барабан (см. рис. 41). Скорость вращения барабана соответствовала максимальной скорости чтения при данной интенсивности освещения.

Экран *D* с горизонтальной прорезью *E* в середине позволяет испытуемому видеть сразу лишь три-четыре строчки читаемого текста. Яркость экрана всегда соответствовала яркости светлого фона, на котором был напечатан текст. Скорость вращения барабана могла меняться самим испытуемым и устанавливалась им соответственно максимальной скорости чтения при данных условиях освещения. Найденная таким образом скорость измерялась тахометром, соединенным с моторчиком, вращающим барабан. Скорость же моторчика регулировалась реостатом. Испытуемый опирался лбом на подставку *K* и смотрел сквозь отверстие *H*. Источник света был

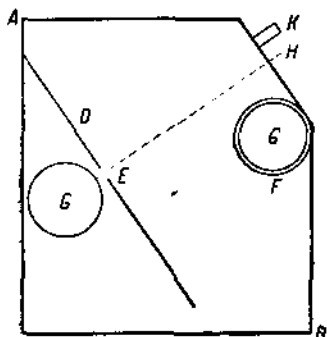


Рис. 41. — Разрез прибора для изучения зависимости скорости чтения от освещенности.

заключен в светорассеивающий цилиндр *G* и освещал испытательный текст через прорезь в непрозрачном цилиндре *F*. Чтобы не менять цвета освещения при изменении его интенсивности, цилиндр *G* был окружен станиолом с вырезанными в нем зубцами. Этот станиоловый кожух мог вращаться за отверстием в *F* так, что отверстие это в свою очередь могло пропускать больше или меньше света. Опыты производились с чтением староанглийского шрифта, поскольку скорость чтения в этом случае была наиболее равномерной вследствие того,

что испытуемому приходилось все время фиксировать внимание на мало привычных очертаниях букв этого шрифта. Чтения вслух мы требовали от наших испытуемых в целях контроля за тем, что каждое слово ими действительно прочитывается. Шрифт был достаточно четкий и однообразный, в два столбца, без красных строк. Незнакомых слов в нем не содержалось и содержание напечатанного было таково, что не требовало какого-либо особого напряжения мысли со стороны читателя. В некоторых сериях опытов мы вводили еще одно условие, которое в экспериментах не применяется, хотя и соответствует вполне естественной обстановке, именно: перед экспонированием испытательного текста мы показывали испытуемому некоторые другие знаки, последовательные образы которых и оставались у него в глазах во время чтения.

Результаты всех подобных опытов над скоростью чтения приведены на рис. 42. Кривая *B* соответствует чтению чер-

ного на белом; кривая *A* соответствует чтению черного на сером. Коэффициент отражения белой бумаги был равен 80%, коэффициент отражения серой бумаги был около 23%. При усилении освещенности от 0,4 до 4 фута-свечей скорость чтения возросла на 54% для случая наиболее контрастного объекта. При увеличении интенсивности освещения от 4 до 16 фута-свечей скорость чтения для тех же объектов возросла на 15%, для объектов же меньшей контрастности — на 50%. Таким образом можно видеть, что увеличение освещения действует ускоряющим образом в обоих случаях, но при малой контрастности объекта это влияние гораздо заметнее. Следует заметить, что приведенные кривые рис. 42 произвольно сделаны совпадающими при 4 фута-свечах; на самом же деле по абсолютной своей величине скорость чтения, соответствующая кривой *A*, была много меньше скорости чтения, соответствующей кривой *B*. Как видно из рис. 42, скорость чтения имеет тенденцию расти даже при наибольших значениях освещенности (около 30 фута-свечей). Это говорит, что выгодность увеличения освещения простирается и за эти освещенности, особенно, когда объекты не слишком контрастируют с фоном.

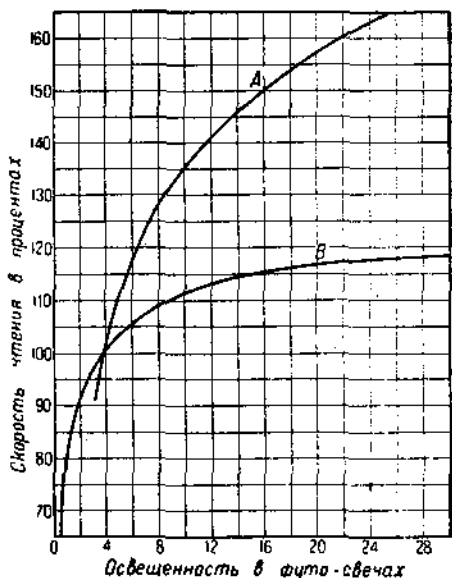


Рис. 42. Скорость чтения в зависимости от освещенности.

СКОРОСТЬ РАЗЛИЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЭКПОЗИЦИЙ «ОВИ-ВАЮЩИХ ОБРАЗОВ»;

Обратимся вновь к работе Кобба, в которой он при исследовании скорости зрительного восприятия показывал испытуемым особые «путаящие изображения» перед и после предъявления испытательного материала. В качестве же по-

следнего служили две черные полосы, изображенные на рис. 43, *б*. Они могли вращаться и быть показаны испытуемому направленными в ту или иную сторону. Изображения же *а* и *с* рис. 43 суть те «сбивающие образы», которые показывались испытуемому соответственно до и после экспонирования фигуры *б*. На рис. 44 кривая *А* показывает зависимость скорости зрительного восприятия испытательного объекта *б* от освещенности, имевшейся в том случае, когда до и после экспонирования его глаз смотрел на белое поле той же яркости, что и яркость фона, на котором были изображены полосы *б*. Кривая *В* показывает ту же зависимость для случая, когда

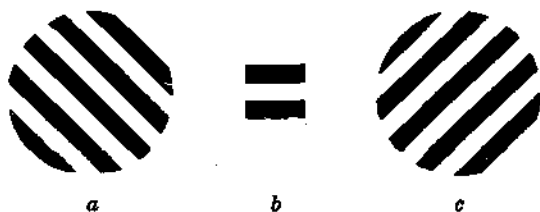


Рис. 43. Испытательный объект и «сбивающие» раздражители, применявшиеся в опытах Кобба.

перед и после предъявления испытательных полосок *б* показывались упомянутые сбивающие фигуры (*а* и *с* рис. 43).

Толщина испытательных полосок *б* была видна испытуемым под углом зрения в $1,82'$. Коэффициент отражения черных полей равнялся приблизительно 4%, белых 80%. Кривые *А* и *В* построены на основании данных, полученных в многочисленных экспериментах на четырех испытуемых. Дополнительные опыты с другими лицами дали аналогичные же результаты.

Из сравнения обеих кривых видно, что введение «сбивающих образов» существенно снижает скорость различения. Остающиеся от них последовательные образы влияют, вероятно, не только как чисто зрительные впечатления, но и как известные умственные образы. Последовательные образы, как известно, длятся наиболее долго в случае ярких объектов. Опыты Кобба действительно и подтверждают, что вред от «сбивающих изображений» был особенно замечен при относительно больших яркостях.

Коббом производились также опыты с различением объектов и большего размера. При этом соответственным образом

большого размера были и «сбивающие изображения». Ширина испытательной полоски b была видна здесь под углом в $3,63'$. Скорость зрительного различения для таких объектов оказалась при тех же уровнях освещенности соответственно большей. Будучи изображена графически, эта скорость дала бы кривую, лежащую приблизительно на 50% выше кривой B рис. 44.

Во всех экспериментах выясняется, что увеличение освещенности является неизменно выгодным в смысле увеличения скорости зрительного восприятия. Нарастание этой скорости наблюдается даже и при освещенностях, больших чем 1000 люксов (в случае различения черных объектов на белом фоне), и при освещенностях, больших чем 10 000 люксов (в случае различения черных объектов на темносером фоне).

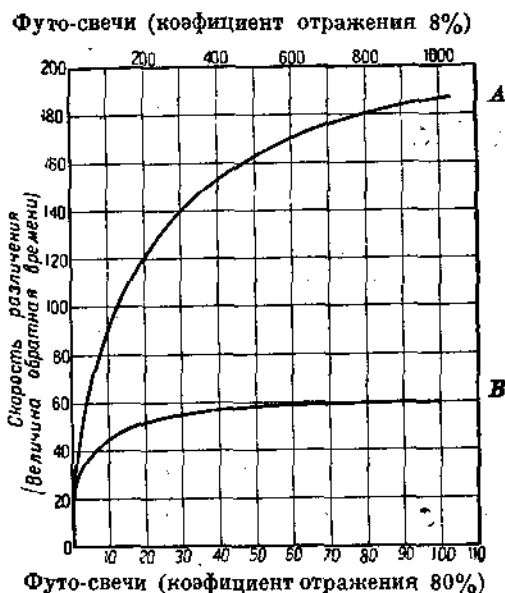


Рис. 44. Скорость зрительного различения в зависимости от освещенности и наличия «сбивающих образов».

ПРОСТЫЕ ОПЫТЫ НАД СКОРОСТЬЮ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ.

Зависимость скорости зрительного восприятия от интенсивности освещения может быть продемонстрирована различным образом. Можно просить испытуемого возможно быстрее читать вслух какой-нибудь печатный текст при данном низком уровне освещения и отмечать при этом время, ушедшее на чтение, затем тому же лицу можно предложить читать подобный же печатный текст при освещении, уже более значительном. Время, потребовавшееся для чтения в последнем случае, окажется более коротким.

Можно также для демонстрации того же явления экспонировать при разных освещенностях на короткое время какую-нибудь букву, например букву *Е*. Для этого можно, изобразив эту букву на белом картоне, давать этому картону падать сзади другого белого же картона, на котором вырезано окошечко, сквозь которое испытываемому на короткое время и показывается падающая буква *Е*. Варьируя скорость падения экрана с буквой, мы можем варьировать продолжительность экспозиции. Еще лучше можно пользоваться также простым

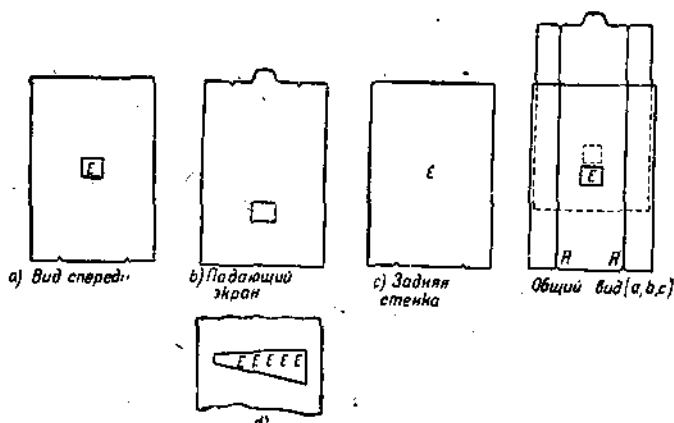


Рис. 45. Прибор для демонстрации скорости зрительного восприятия.

прибором, в котором само рассматриваемое изображение *Е* является неподвижным. Прибор этот очень прост и состоит из ширмы с вырезанным в ней окошечком, экрана с нарисованной на нем буквой *Е* (см. с рис. 45) и падающей ширмы, также имеющей отверстие (см. *б* рис. 45). Все эти три предмета составляют вместе (ширма впереди падающей ширмы, за которой помещается экран с буквой *Е*) и скрепляются двумя резиновыми шнурками, перекинутыми через них всех (см. *В* на рис. 45). Вытягивая ширму *б* на большее или меньшее расстояние вверх и затем отпуская ее, мы заставляем имеющееся в ней окошечко быстро проскочить перед буквой *Е*, каковая на короткий момент и будет видна в отверстии в ширме *а*. В зависимости от натяжения резинок проскакивание окошечка может быть более или менее продолжительным. Схема *а* на рис. 45 показывает, что бывает видно в случае, если падающая ширма вовсе вынута.

Можно с наименьшим успехом давать на экране не одну, а целый ряд букв Е, делая окошечко в падающей ширме соответственно длинным и расширяющимся от одного конца к другому (см. *d* на рис. 45). При таком устройстве его время экспозиции для отдельных букв будет различным. Влияние продолжительности экспозиции здесь может быть наглядно показано и без вариации интенсивности освещения.

Стикней монтировал картонный цилиндр на вращающийся диск фонографа. На цилиндр прикреплялась лента с написанными или напечатанными буквами различного размера. Освещение цилиндра, а также и скорость вращения его можно было варьировать. При этом ясно можно видеть, что при увеличении освещения становятся различными все более мелкие буквы, до того остававшиеся не ясно воспринимаемыми.

Для демонстрирования скорости зрительного восприятия можно воспользоваться, конечно, и фотографическим затвором. Задняя стенка камеры, а также объектив должны для этого быть вынуты. Испытуемый смотрит из камеры прямо через отверстие, в котором находился объектив. Продолжительность экспозиции варьируется затвором, как обычно. Иногда удобно бывает, не вынимая из камеры объектива, просто смотреть на кратковременные экспонирования тех или иных изображений на матовом стекле задней стенки камеры, варьируя время экспозиции затвором.

ГЛАВА X.

ОСВЕЩЕНИЕ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА.

Всякий фактор окружающей среды, влияющий на человеческую активность, должен заметным образом влиять и на производительность труда работающего. Применительно к зрению это верно как для условий домашней работы, так и для работы в конторах и на производстве. Оттого, насколько хорошо мы видим объект нашей работы и окружающее, зависит уверенность, с какой мы выполняем работу. Скорость нашего зрительного различения в большой мере определяет и общую скорость выполнения отдельных рабочих операций. Ясное и скорое видение является и гарантией безопасности. Достаточный световой поток, рациональным образом направленный, действует стимулирующе, оживляюще. Хорошая освещенность заставляет нас выглядеть более радостно и способствует

общему подъему самочувствия работающего. Самым хорошим искусственным освещением является, как мы уже говорили выше, такое, которое воспроизводит собою существенные характеристики естественного наружного освещения.

При этом здесь следует подчеркнуть, что повышение производительности, вызываемое улучшением условий освещения, идет не за счет повышения трат энергии рабочего. Хорошее освещение *не понуждает* рабочего делать больше в некоторый определенный период времени. Делая рассматривание объекта более легким и уверенным, оно просто *делает самую работу более легкой*. Оно устраняет те непроизводительные траты времени, которые имеют место при освещении недостаточном и нерационально устроенном. Рабочий в плохих условиях освещения старается больше, а достигает меньше.

ЧЕГО МОЖНО ОЖИДАТЬ ОТ УЛУЧШЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ?

Желая учесть также и экономическую сторону вопроса — стоимость добавочных расходов, — мы должны бываем порою несколько снижать наши требования, предъявляемые к идеальному освещению. В общем не подлежит сомнению, что усиление освещенности и улучшение осветительных условий в большинстве случаев оказываются экономически вполне выгодными. Часто значительное улучшение освещения может быть достигнуто простым переоборудованием нерациональной осветительной установки, не требующим вовсе каких-либо существенных дополнительных затрат. Ведь очень многие предприятия оборудованы с осветительной точки зрения еще совсем нецелесообразно. Задачей светотехника-эксперта и является нахождение для каждого случая наиболее подходящей осветительной установки, с учетом как ее психофизиологической эффективности, так и экономической окупаемости и выгоды. Иными словами, наилучшие условия освещения должны быть сопоставлены с тем, что они экономически дают производству. Все исследования по этому вопросу говорят за то, что мы еще далеко не достигли таких осветительных условий, дальнейшее улучшение коих становилось бы уже невыгодным.

Следующие примерные расчеты, приводимые проф. С. О. Майзель, показывают, что даже сравнительно незначительный прирост производительности, вызванный улучшением осветительных условий, всего, например, в 3%, все же будет безусловно выгодным, если мы сопоставим его с увеличением эк-

эксплуатационных расходов на освещение. Так, предположим, что общая стоимость продукции равняется W , стоимость освещения есть kW , где k есть некоторая правильная дробь. Стоимость улучшенного освещения положим равной $n \times k \cdot W$, где n есть некоторый коэффициент, очевидно больший, чем единица; возрастание стоимости освещения будет в таком случае

$$n \cdot k \cdot W - k \cdot W = k(n - 1)W.$$

Назовем вызванный улучшенным освещением прирост стоимости продукции через $p \cdot W$. Улучшение освещения будет, очевидно, безубыточным, если

$$p \cdot W = k(n - 1)W,$$

откуда

$$p = k(n - 1) \quad \text{и} \quad n = \frac{p + k}{k} = 1 + \frac{p}{k}.$$

Величина k для ряда производств близка, как показывает опыт, к 0,4—0,7%, т. е. равна 0,004—0,007. Если теперь допустить, что прирост продукции p равняется всего 3%, т. е. 0,03, то даже пяти-, восьмикратное увеличение расходов на освещение (n) по вышеприведенному уравнению было бы безубыточным; на самом же деле эксплуатационные расходы при улучшении осветительных установок никогда столь значительно не возрастут. Поэтому выгодность затрат на улучшение освещения экономически несомненна уже при весьма малом увеличении продукции.

УЛУЧШЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРУДА.

Влияние улучшения освещения на увеличение остроты зрения и скорости зрительного восприятия стоит в настоящее время вне сомнения. Несмотря на это, в области изучения освещения многое еще предстоит сделать. Исследования ставились как в лабораториях, так и параллельно им на производствах. Влияние улучшенного освещения специально на производительность труда также может быть исследовано и количественно определено. Необходимо, однако, иметь здесь в виду, что выводы такого исследования будут убедительны лишь тогда, когда проводятся более или менее систематические серии опытов с учетом и контролем всех прочих факторов, могущих оказывать здесь влияние на результаты.

В качестве интересного примера одного такого исследования упоминаем здесь сперва работу Джона Мэджи, проведенную на одном из отделений фабрики, выделяющей поршневые кольца. Исследование продолжалось 15 месяцев. При первоначально имевшейся осветительной установке средняя освещенность была около 13 люксов. Были испробованы три более высоких уровня освещенности. При этом опыт с каждым из этих новых уровней продолжался приблизительно 4 месяца. Полученные результаты оказались такими:

Освещенность в люксах	Процент увели- чения продук- тивности работы
13	0
70	13
96	17,9
150	25,8

Максимальное увеличение расходов на освещение составляло при этом 48% первоначальных расходов на освещение, что равнялось всего 2% заработной платы. Уменьшение брака и числа несчастных случаев еще больше снижало истинную величину добавочных расходов, вызванных увеличением освещения. Вопрос о влиянии условий освещения на продуктивность работы исследовался недавно Гессом и Гариссоном, поставившими в браковочном цехе одного металлообрабатывающего завода систематические наблюдения, длившиеся 10 недель. Общее число рабочих, бывших под наблюдением, колебалось от 38 до 48. Сама работа состояла в контроле и браковке различных деталей шарикового подшипника. За все время опыта было проконтролировано более 7 млн. таких отдельных деталей. Работа распадалась на три стадии. Первая группа браковщиков измеряла размеры деталей; вторая группа — контролировала отсутствие каких-либо царапин, шероховатостей и иных наружных дефектов подобного рода; наконец, третья группа браковщиков следила за дефектами внутренних сторон деталей (плохая нарезка, неудовлетворительная полировка и т. п.). В некоторых своих моментах работа браковщика требует, как видим, достаточно напряженного рассматривания. Оплата рабочих была почасовой. Относительная влажность и температура в рабочем помещении были практически все время одинаковы.

Первоначально имевшаяся система искусственного освещения создавала среднюю освещенность в 2 фута-свечи, при-

чем освещенность эта была достаточно неравномерна и обуславливала заметные тени. Дневной свет проникал в рабочее помещение через отделанные окна и через остекленный потолок.

В течение первых пяти недель опыта применялся дневной свет вместе с первоначально имевшимся искусственным освещением. Средняя освещенность была около 53 люксов. Затем была применена новая система искусственного освещения, верхний же дневной свет был устранен. При этом новом освещении применены были стеклянные светорассеивающие ар-

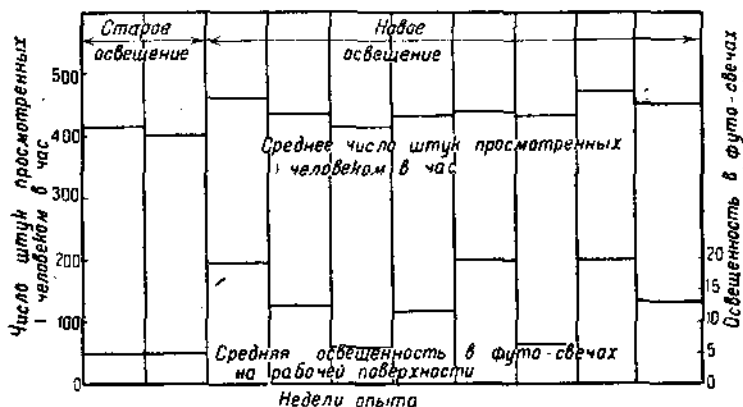


Рис. 46. Зависимость производительности труда от освещенности.

матуры, причем над серединой каждой площади пола размером в $2,4 \times 3$ м приходилось по одной лампе; высота подвеса ламп равнялась 3,6 м над уровнем пола. Освещенность, создаваемая новой системой освещения, поддерживалась неизменной в течение недели, после чего менялась. В течение первых двух недель функционировало старое освещение, дававшее освещенность в 54 люкса. Затем шли недели с новой системой освещения. При этом уровне, освещенности здесь равнялись 64, 140 и 215 люксам. Чередование этих уровней каждую неделю происходило без какого-либо порядка. Производительность работы браковщиков учитывалась для каждой недели опыта отдельно и характеризовалась средним количеством штук, просмотренных работающим в течение часа. На рис. 46 верхними линиями и показана средняя производительность работы по отдельным неделям опыта; нижние линии показывают соответствующие уровни освещенности. Из рассмотрения

этого рисунка сразу видно, что чем больше освещенность, тем больше оказывается и продуктивность работы, и наоборот. Эта связь выражена здесь весьма ясно и очень убедительно.

Средний прирост продукции при различных уровнях освещения параллельно с ростом расходов на освещение, выраженных в процентах к заработной плате, приведен в табл. XIII и на рис. 47. Из сопоставления этих данных можно видеть, насколько улучшенное освещение является выгодным. Это особенно ясно при сравнении старой системы освещения, дававшей освещенность в 54 люкса, с новой более рационально

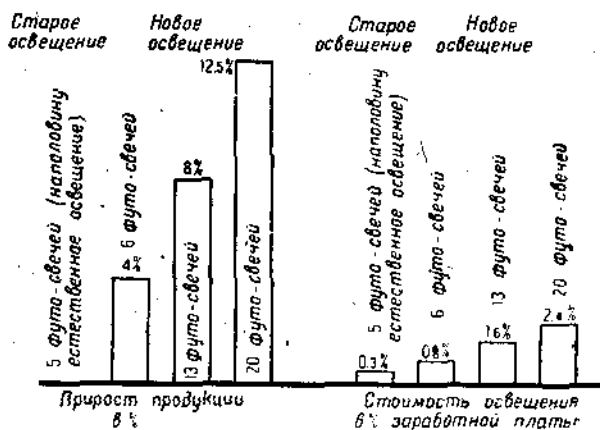


Рис. 47. Рост продуктивности труда и рост расходов на освещение.

устроенной системой, дававшей среднюю освещенность в 64 люкса. Подсчетом можно установить, что новое освещение исключительно в силу своего более рационального устройства, даже при той же средней освещенности в 54 люкса, обуславливает уже увеличение продукции на 3,4%.

Для большей наглядности рост продуктивности по мере увеличения освещения при новой системе освещения и некоторые другие данные табл. XIII и рис. 47 изображены на рис. 48 графически.

Интересно отметить, что ход нарастания продуктивности работы не обнаруживает замедления вплоть до 215 люксов. Надо думать, что такое замедление должно наступить лишь тогда, когда будет достигнут предел двигательной скорости

или же предел скорости зрительного различения (или узнавания). В различных работах соотношение мускульно-двигательного и чисто зрительного моментов бывает различно. От этого зависит и предел увеличения продуктивности, вызываемого улучшением освещения. Если продуктивность работы зависит главным образом от протекания процессов чисто зрительного характера, то общая производительность будет расти вплоть до достижения весьма высоких уровней освещенности, хотя бы максимальная скорость мускульно-двигательных операций и была уже достигнута при более слабом освещении.

ТАБЛИЦА XIII.

Связь интенсивности освещения с продуктивностью работы.

	Старая система освещения	Новая система освещения			
	54 люкса	64 люкса	140 люкс	215 люкс	
Средняя производительность (количество просмотренных штук, приходящееся на 1 рабочего в час)	408	424	440	458	
Увеличение производительности (в %)	0	4	8	12,5	
Стоимость освещения в % заработной платы	0,3	0,8	1,6	2,4	
Процентное увеличение продукции, являющееся чистой прибылью	0	3,2	6,4	10,1	
Отношение прироста продукции к стоимости освещения, выраженной в % заработной платы	0	5	5	5,2	

Лабораторные тесты касательно скорости чтения черного шрифта на белой бумаге показали, что в среднем для большого числа испытуемых скорость чтения возрастает на 15% при переходе от освещенности в 42 люкса к освещенности в 171 люкс. Скорость же чтения того же шрифта, напечатанного на сером фоне (с коэффициентом отражения в 23%), возрастает при том же изменении освещенности уже на 50%. Хотя этот опыт был произведен в лаборатории, однако результаты его являются вполне применимыми и к подлинным условиям работы ряда конторских служащих и т. п.

Вестон и Тейлером производились опыты с учетом производительности труда типографских наборщиков при различ-

ных освещенностях. Оказалось, что производительность при естественном дневном освещении самая большая. Если принять ее за 100%, то производительность при искусственной освещенности в 17 люксов равняется всего 77%, при 100 люксах 90% и при 300 люксах достигает 100%. Таким образом по мере увеличения освещенности производительность явно растет.

Недавно опубликована работа Керффера, установившего с несомненностью, что скорость и качество работы горнорабочих

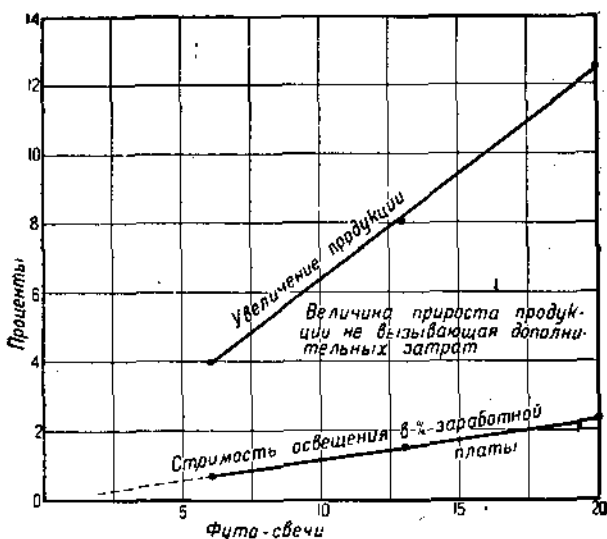


Рис. 48. Связь усиления освещения с ростом производительности и увеличением затрат на освещение (в процентах к заработной плате).

значительно улучшаются при увеличении освещенности, особенно в пределах от 0,06 до 7—8 люксов. Об этом можно судить по следующим, полученным Керффером цифрам:

Освещенность в люксах	0,06	0,27	0,55	1,37	3,37	7,05	28,7	71,7	175
Время, потребовавшееся на выборку 25 кг горной породы из смеси (в сек.)	1067	876	810	651	568	488	481	436	412

Все эти данные подкрепляют наши окончательные выводы относительно влияния увеличения освещенности на производительность труда. Строгие лабораторные эксперименты,

описанные выше, в главах VIII и IX, дают нам общую картину того, что мы можем ожидать здесь от отдельных функций зрения. На основании всего этого мы не сочли бы чрезмерно смелым утверждение, что одним лишь улучшением условий освещения производительность многих предприятий могла бы быть повышена процентов на 10. Там же, где в настоящее время освещение устроено особенно нерационально, эта выгода от улучшения освещения может быть еще большей. Не надо забывать здесь и того, что благотворительные последствия хорошего освещения сказываются ведь не только в увеличении продуктивности работы. Уменьшение брака, большая безопасность работающего, лучшая трудовая дисциплина и меньшее субъективное напряжение суть также немаловажные следствия рационально устроенного освещения.

Приведенные в начале подсчеты показывают, что даже сравнительно незначительный прирост производительности — всего в несколько (2—3) процентов — безусловно превышает добавочные расходы, потребовавшиеся улучшением освещения, и дает поэтому производству уже чистую прибыль. В отдельных видах производств экономическая выгодность улучшенного освещения может быть, конечно, довольно различной. Здесь важное значение имеет то обстоятельство, в какой мере работа является чисто двигательной и механизированной и в какой мере она требует специально зрительного напряжения. Ряд работ, посвященных выяснению вопроса о связи производительности труда с освещенностью, был проверен и у нас в СССР. Мы остановимся вкратце на их результатах.

Смелянским и Розенбаумом изучалось влияние улучшенного освещения на производительность труда ткачих на ткацкой фабрике Трехгорной мануфактуры в Москве. Сравнивались старые условия освещения с новыми. При старом освещении на каждые 4 станка имелись голые лампы в 40—50 ватт, снабженные плоским рефлектором и подвешенные на высоте 1 м над рабочей поверхностью. Получающееся в результате освещение характеризовалось наличием явной блескости, весьма большой неравномерностью (наличием теней) и весьма недостаточной освещенностью. Важная для ткача освещенность на вертикальной поверхности не поднималась выше 9—10 люксов. Улучшенное освещение создавалось арматурой «Универсаль» с полуматовым затенителем, с лампами мощностью в 200 люксов; высота подвеса 3 м над рабочей поверхностью. Это создало большую равномерность, отсут-

ствие блескости и подняло вертикальную освещенность в среднем до 28—30 люксов. В результате такого улучшения освещения все операции ткача, связанные с участием зрения, стали совершаться быстрее, что обусловило меньшие простои станка и увеличило выработку в среднем на 1,5%. Интересно и важно отметить здесь то, что по данным указанных авторов увеличение продуктивности работы было особенно заметным (до 4,7%) у работниц с малым стажем (от 2 до 5 лет).

Увеличение выработки в результате улучшения осветительных условий в ткацком производстве наблюдалось в Труновском. Согласно его данным процент этого увеличения колебался от 2 до 4. Трухановым изучалось влияние различных уровней освещенности на производительность труда проробщика ткацких фабрик. Оказалось, что повышение освещенности неизменно влекло за собою укорочение времени, уходящего у рабочего на пророб одного барабана. Так, например:

ТАБЛИЦА XIV

При освещенности в люксах	45	75	100	500	1000
Продолжительность пророба одного барабана в мин.	52,3	47,3	45,7	44,7	43,6

Особенно значителен прирост производительности при повышении освещенности с 45 до 150 люксов. По данным экспериментов Труханова увеличение производительности в результате усиления освещения в испытанных им условиях может достигать даже 20%.

Наряду с увеличением продукции улучшение осветительных условий сказалось и на уменьшении брака. Данные, полученные на этот счет им же в специальных экспериментах с браковкой тестовых карт, таковы:

ТАБЛИЦА XV

Освещенность в люксах	20	50	100	200	500
Процент брака продукции	1,2	0,25	0,10	0,09	0,06

В заключение следует заметить, что вопросы поднятия производительности труда мы должны всегда рассматривать вместе с вопросами гигиены, вопросами охраны труда работающего. И в этом отношении то увеличение продуктивности работы, которое следует за рационализацией осветительных

условий, является особенно положительным явлением, поскольку дается не за счет увеличения напряжения сил работника, но как раз за счет облегчения работы.

Не следует забывать и того, что помимо низкой производительности труда плохое освещение влечет за собою нередко и стойкие расстройства зрения: близорукость, при специальных условиях работы углекопов — дрожание глазного яблока (так называемый нистагм).

ГЛАВА XI.

ЗНАЧЕНИЕ УХОДА ЗА ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ.

Особенно ярким показателем того, как еще недостаточно понимают у нас все значение хорошей освещенности, служат загрязненные стекла окон и лампы в рабочих помещениях. Производственники, тщательно заботящиеся о том, чтобы избежать непроизводительных трат, здесь спокойно смотрят на то, как из месяца в месяц, благодаря накоплению пыли и грязи на стеклах, освещение становится все более слабым.

В квартирах и в конторах окна прочищаются из эстетических соображений, еще до того, как потеря света в них станет ощутимой. В производственных же помещениях фабрик эстетический мотив, к сожалению, отсутствует, и окна становятся все менее прозрачными. «День» благодаря этому внутри помещения искусственно сокращается. То же самое пренебрежение к соответствующему уходу наблюдается часто и по отношению к приборам искусственного освещения: лампам и к окружающей обстановке, влияющей на освещенность (потолок, стены и пр.). Неподходящие старые лампы и несоответственное напряжение в сети также значительно понижают коэффициент полезного действия всех затрат, идущих на освещение.

Влияние чистки стекол на естественное освещение внутренних помещений.

Результаты опытов, поставленных на этот счет в Америке двумя предприятиями, нами ниже вкратце и приводятся.

Пример 1-й. В гальванизационном цехе одного большого завода дневное освещение резко ослабело вследствие осадков на оконных стеклах. Обыкновенным промыванием эти осадки не отчищались. Пришлось применять специальное

средство для очистки стекол. Ниже и показана стоимость подобного промывания окон и ее положительных экономических последствий.

Стоимость чистки стекол (в долларах)

Стоимость материала, применявшегося при промывании	30
Стоимость работы (11 дней)	66
Общая стоимость на 6000 кв. футов площади	96
На 1 кв. фут	0,016

Положительные следствия чистки (в долларах)

Ежедневная экономия на искусственном освещении	0,60
Повышение (на 5%) производительности труда рабочих	13,75
Экономия в течение 1 дня	14,35
» » » 1 мес.	358,75

5%-ное увеличение производительности труда в течение недели покрывает расходы, потребовавшиеся чисткой стекол, не считая выгод от увеличения продукции и уменьшения брака. Интересно добавить к этому слова администрации: «Одним из мотивов для прочистки окон было желание придать всему помещению более приятный вид. Уже одно это окупает расходы».

Пример 2-й. Было прочищено 16 000 квадратных футов оконных стекол, через которые освещалось складочное помещение одного очень большого мануфактурного завода. Стекла были загрязнены от соседства с другим химическим заводом и также требовали для своего очищения применения некоторых специальных средств. Подсчет дал следующее:

Стоимость чистки стекол (в долларах)

Материал, применявшийся при промывании окон	250
Рабочее время (448 часов)	246,40
Общая стоимость для 16 000 кв. футов	496,40
Стоимость на 1 кв. фут	0,031
Выгодность (в расчете на год):	
Экономия в искусственном освещении	150
5%-ное повышение продукции	7500

Итого за год 7650
Чистая доходность в год 7153,60

Уменьшение ошибок 5%
Уменьшение числа несчастных случаев 10%

По мнению администрации предприятия вместе с увеличением света внутри помещения улучшился и общий дух и настроение в предприятии. Условия работы для рабочих были более приятны. Зрительное напряжение уменьшилось. Ежегодная чистка окон окупалась в 28-кратном размере, если даже не считать 5%-ного уменьшения числа ошибок и 10%-ного снижения числа несчастных случаев.

Дневное освещение, как мы уже видели выше, не является даровым. Поэтому там, где им пользуются, необходимо заботиться о поддержании его в должном виде.

ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА ЗАГРЯЗНЕННЫМИ СТЕКЛАМИ ПРИ ДНЕВНОМ ОСВЕЩЕНИИ.

Выше, в главе III, уже было сказано, что обычные чистые стекла пропускают от 75 до 90% падающего на них света. В фабричных районах — почти всюду в наших городах — на стеклах быстро образуются наслоения пыли и копоти. В табл. XVI приведены коэффициенты пропускания семи различных стекол, взятых из застекления верхнего света в потолке и из окон до и после их прочищения специальным порошком. Из последнего столбца таблицы ясно видно, как значительно выросла пропускная способность стекол после чистки. В одном случае стекло было настолько грязно, что было вовсе непрозрачно. В иных случаях загрязнение практически снижало

ТАБЛИЦА XVI.

Результат чистки стекол в рабочем помещении с системой естественного освещения.

Тип стекла	Коэффициент пропускания (%)		Отношение пропускания света после чистки к его пропусканию до чистки
	до чистки	после чистки	
Обыкновенное гладкое	12	88	7,3
»	16	88	5,5
Мелкошерстистое	14	80	5,7
»	17	76	4,5
»	0,3	75	250,0
Волнистое стекло	13	80	6,1
»	5	75	15,0

прозрачность стекол приблизительно раз в шесть. Будучи выражено в величинах соответствующего снижения продуктивности работы, это означает для всей страны в год миллионные убытки.

Весьма поучительные результаты дало и измерение освещенности внутри помещения до и после чистки стекол. Во многих случаях освещенность возросла в 5—10 раз, в отдельных же местах она поднялась даже с 11 до 160 люксов.

ОСЛАБЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ.

Искусственное освещение также страдает от загрязнения. Степень подобного ущерба зависит в большой мере от условий данной осветительной установки. Установки типа прямого освещения, в коих используются светорассеивающие затенители, непрозрачные рефлекторы или неventилируемые баллоны, теряют от запыления света относительно меньше по сравнению с другими системами искусственного освещения при тех же

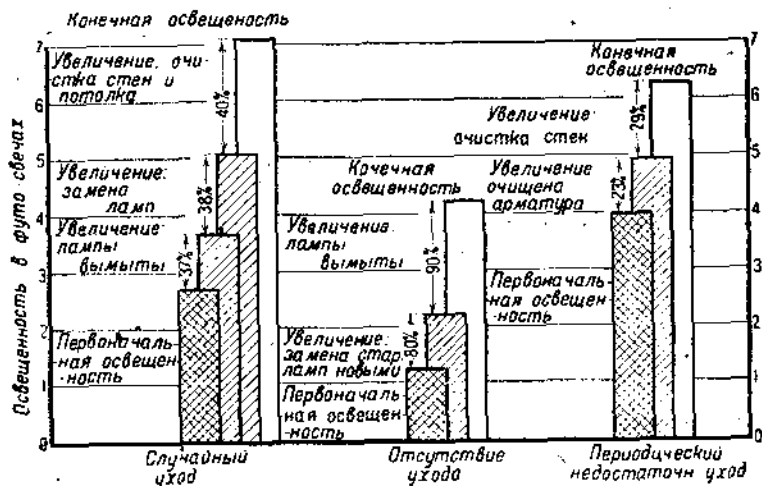


Рис. 49. Влияние ухода за лампами на создаваемую ими освещенность.

условиях. Ранее считали необходимым, чтобы светорассеивающий баллон вентилировался. При современных вольфрамовых лампах накаливания вентиляция баллона уже не является необходимой, поскольку он обычно является достаточно большим. Вентиляционные отверстия вместе с воздухом засасывают внутрь баллона пыль и тем способствуют понижению световой отдачи лампы. Это снижение световой отдачи может уже через 3 мес. запыления достигнуть 10—15% в зависимости, как уже было сказано, от характера осветительной установки

и типа armатуры. Регулярный уход за armатурой (в смысле ее чистки) является совершенно необходимым, тем более, что при искусственном освещении ослабление света вследствие запыления не так бросается в глаза, как в случае освещения естественного. Значение чистки armатуры и ламп для световой отдачи и освещения для трех типичных случаев полутраженного и прямого освещения, по данным Гаррисона, показано на рис. 49.

	Люксы	Увеличение в %
Первоначальная освещенность	29	—
Промывка ламп и рефлекторов	39	37
Замена старых ламп новыми	54	38
Прочистка стен и потолка	76	40
Общее увеличение освещенности	47	163

Пример 1-й. После продолжительного пренебрежения чисткой armатуры интенсивность освещения опустилась до 29 люксов. Увеличение освещенности, обусловленное уходом за осветительной установкой, показано ниже:

	Люксы	Увеличение в %
Первоначальная освещенность	13	—
Замена старых ламп новыми	23	80
Прочистка armатуры и ламп	50	90
Общее увеличение освещения	32	260

Пример 2-й. Здесь также первоначально за осветительной установкой никакого специального ухода не было.

	Люксы	Увеличение в %
Первоначальная освещенность	43	—
Прочистка armатуры и ламп	53	23
Прочистка стен	67	29
Общее увеличение освещенности	25	58

Пример 3-й. В этом случае чистка armатуры и ламп производилась и раньше, но нерегулярно.

В системах прямого освещения роль стен и потолка бывает, правда, уже меньшей по сравнению с установками полуотраженного и отраженного света, о которых была речь выше.

Андерсон и Кеч в течение семи недель наблюдали, как уменьшается световой поток, даваемый некоторой осветительной установкой в том случае, когда эта установка подвергается запылению маслянистой копотью. При сухой мелкой пыли запыление было вдвое меньшим. Потеря света за время опыта соответствовала 11—30%. Принимая во внимание то, что осветительные приборы на фабриках очень часто не подвергаются регулярной чистке, что коэффициент отражения потолка не остается безразличным для общей освещенности, что старые, уже потемневшие лампы своевременно не сменяются, приходится думать, что цифры снижения освещения, найденные Андерсоном и Кечем, в условиях фабричной действительности могут быть даже большими.

По измерениям В. В. Мешкова, произведенным на одной из фабрик в Москве, оказалось, что снижение освещенности от запыления доходило до 6—7% в месяц. При этом надо заметить, что применявшаяся арматура была арматурой прямого света, типа «Универсаль» с матовым затенителем. Сопоставление потерь светового потока со стоимостью чисток позволило подсчитать ту частоту чисток, которая требуется экономическими соображениями. Для рабочих помещений, не обладающих большой запыленностью, число нужных чисток в месяц оказалось, таким образом, в среднем равным 1,5—1,8.

УБЫТКИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ОТСУТСТВИЕМ УХОДА ЗА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ.

В вышеописанных трех примерах общее увеличение освещения от осветительных установок доходило до 58—260%. Трудно поверить, что мы можем непроизводительно тратить такое количество столь важной ценности, как освещение. Однако многочисленные примеры могут показать, что дело часто обстоит именно так печально. Свет является чем-то столь обычным, что специальное внимание к себе привлекает лишь тогда, когда снижается до явно заметного для нас неудобства. Между тем и ранее достижения столь низкого уровня снижение освещения уже влечет за собою ряд вредных последствий: уменьшение производительности труда, увеличение брака, увеличение числа несчастных случаев и др. Как это ни покажется изумительным, но приходится при-

вать, что пренебрежение к уходу за осветительными установками обходится Соединенным штатам в миллиард долларов в год, если только допустить, что благодаря ухудшению освещения продуктивность работы снижается на 4%.

При пользовании электрическими лампами (а также ртутными дугами) уменьшение их светового потока наблюдается со временем и независимо от влияний запыления. Для нормального срока службы лампы эти потери светового потока остаются достаточно незначительными; часто, однако, лампы продолжают гореть и сверх положенного им нормального срока службы. Как это можно видеть из данных вышеприведенных примеров 1 и 2-го (см. рис. 49), пользование старыми лампами оказывается явно невыгодным.

Итак, уход за арматурой — как в смысле ее чистки, так и в смысле замены старых ламп новыми — должен войти в постоянную программу деятельности администрации всех производственных (и вообще рабочих) предприятий.

ГЛАВА XII.

ОСВЕЩЕНИЕ И ОКРАСКА.

Когда требуется рассмотреть что-либо, находящееся в глубокой тени, мы делаем из бумаги или рукой отражающий экран, позволяющий нам отбросить свет вглубь этой тени. Здесь перед нами пример использования поверхностей с большим коэффициентом отражения для увеличения освещенности. Всякая покраска уменьшает коэффициент отражения белой поверхности и тем ослабляет ее осветительные свойства. Измерение коэффициентов отражения различных поверхностей является в настоящее время для налаженных лабораторий делом довольно простым. Вне же лабораторных условий оценка коэффициентов отражения носит всегда приблизительный характер, поскольку оцениваемые поверхности бывают обычно разноцветны. Коэффициент отражения поверхности, если только она не является идеально рассеивающей, зависит и от того, под каким углом падает на нее освещающий световой поток и под каким углом наблюдается отражение.

Освещение рабочего места зависит от стен и потолка; при этом большое значение имеет то, какая система освещения в данном случае применяется. Окраска в светлые цвета машин и прочих находящихся в помещении вещей также может заметным образом увеличивать освещенность на рабочем месте.

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТА СТЕН И ПОТОЛКА.

Отношение количества света, падающего на горизонтальную поверхность, находящуюся на 75 см над уровнем пола, ко всему световому потоку, излучаемому источником, носит название коэффициента использования. Часть излучаемого источником света поглощается отражающими частями armатуры в стекле. Эта потеря при рациональном устройстве и хорошем уходе за осветительной установкой составляет около 30%. В дальнейшем значение имеют не только цвет стен и потолка, но и применяемая система освещения и пространственные соотношения частей помещения.

Представим себе, что в центре некоторого сферического пространства, стенки которого окрашены в один цвет, находится источник света, создающий сам по себе прямую освещенность на внутренней стенке шара, равную, например 1 футо-свече. Если внутренняя стена шара, в котором находится наш источник света, не совершенно черная, то в силу многократного отражения освещенность, получающаяся на стене, будет уже большей. В табл. XVII показано, как освещенность меняется по мере изменения коэффициента отражения внутренней поверхности шара.

ТАБЛИЦА XVII.

Цвет внутренней стенки	Коэффициент отражения	Освещенность на внутренней стенке в футо-свечах
Абсолютно черный	0	1,00
Обычный черный	4	1,04
Темносерый	10	1,11
Средний серый	50	2,00
Обычный белый	80	5,00
Белый порошок	90	10,00
Еще более белый порошок	98	50,00
Абсолютно белый	100	Бесконечно большая

В случае абсолютно черного цвета этой поверхности освещенность на внутренней стенке будет равна 1 футо-свече; при абсолютно же белом цвете ее она будет уже бесконечно большой, поскольку многократно отражаемый свет вовсе не будет при этом поглощаться.

Табл. XVII показывает влияние коэффициента отражения внутренней стороны сферического пространства на ее освещенность. В центре такого сферического пространства помещен источник света такой силы, что создаваемая им одним прямая освещенность на стенке равняется 1 футо-свече.

Подобные теоретические соображения являются весьма интересной иллюстрацией того, какое значение имеет коэффициент отражения окружающих поверхностей на результирующую освещенность. Обычно все предметы, находящиеся в помещениях, в значительной мере поглощают свет. Белые стены и потолок обычно не отражают более 80% падающего на них света. Было бы, однако, непрактичным добиваться того, чтобы и пол отражал возможно более; белые фоны и окружение вообще совсем не являются сами по себе условиями, создающими приятные и выгодные условия для работы нашего зрения. Наиболее светлым должен быть потолок, особенно, если применяется система отраженного или полусоотраженного освещения. Стены же едва ли рационально делать более светлыми, чем это соответствует коэффициенту отражения, равному 50%. В случае прямого освещения посредством применения непрозрачных эмалированных или же посеребренных стеклянных предметов на потолок падает света мало; поэтому, с точки зрения искусственного освещения, коэффициент отражения потолка здесь неважен. Не то, конечно, имеет место с точки зрения наилучшего использования естественного дневного освещения, идущего через окна. При освещении же отраженным или полусоотраженным светом значительная доля его падает именно на потолок, почему отражательная способность последнего приобретает здесь большое значение. Роль стен как отражающих экранов, очевидно, тем больше, чем меньше помещение. При дневном освещении из окон стены играют в этом отношении большую роль.

Табл. XVIII иллюстрирует влияние коэффициентов отражения потолка и стен при трех различных способах освещения и при различном размере освещаемых помещений. Источник света находится на 2,5 м над уровнем рабочей поверхности, приведенные цифры взяты из прекрасной работы Андерсона; посвященной выяснению факторов, влияющих на коэффициент полезного действия осветительных установок. Цифры в скобках показывают коэффициенты отражения потолков и стен. В качестве арматуры прямого света применялась арматура с белыми эмалированными или стеклянными посеребренными рефлекторами. При системе полусоотраженного света исполь-

зовались закрытые светорассеивающие баллоны. Наконец, при освещении отраженным светом применялись чаши опаловые, непрозрачные или стеклянные посеребренные.

Таблица весьма поучительна. Из нее можно видеть, что в больших помещениях стены оказывают на освещенность мало влияния, по мере же уменьшения размеров помещения значение их все возрастает. Из сопоставления *b* и *d* для случая прямого освещения нетрудно видеть, какую малую роль играет здесь цвет потолка.

ТАБЛИЦА XVIII.

Способ освещения и коэффициенты отражения потолка и стен	Относительная освещенность (в футах-свечах) на рабочей поверхности		
	размер помещения 10 × 30 футов	размер помещения 20 × 50 футов	размер помещения 100 × 100 футов
Освещение прямым светом			
a) Потолок (70), стены (50)	50	90	100
b) » (70), » (30)	42	86	97
c) » (70), » (10)	35	81	94
d) » (30), » (30)	40	84	94
e) » (30), » (10)	35	81	91
Освещение полуотраженным светом			
f) Потолок (70), стены (50)	32	67	80
g) » (70), » (30)	25	59	74
h) » (70), » (10)	20	54	68
i) » (30), » (30)	20	49	58
j) » (30), » (10)	17	45	54
Освещение отраженным светом			
k) Потолок (70), стены (50)	23	52	65
l) » (70), » (30)	19	46	60
m) » (70), » (10)	16	42	55
n) » (30), » (30)	10	25	32
o) » (30), » (10)	9	23	29

При способе освещения полуотраженным светом значительная доля светового потока направляется на потолок и стены; вследствие этого общая освещенность на рабочем месте оказывается уже более низкой. *f*, *g* и *h* показывают, как влияет здесь коэффициент отражения стен; *g*, *i* или *h* и *j* иллюстрируют влияние цвета потолка.

На основании данных табл. XVIII мы можем сделать следующие выводы:

1) При системе освещения прямым светом в помещениях малого размера существенное влияние на освещенность рабочего места оказывает цвет стен.

2) При освещении полутраженным светом, особенно в помещениях не очень больших, заметное влияние на освещенность оказывает не только цвет стен, но и цвет потолка.

3) При освещении же отраженным светом цвет стен и потолка приобретает особенно большое значение.

ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ.

На рис. 50 I обозначает луч, падающий на какую-нибудь поверхность, а R — луч, ею отражаемый; α показывает нам случай зеркального отражения, при котором угол падения равен углу отражения. Зеркальным отражением обладают все гладкие, полированные или покрытые лаком поверхности.

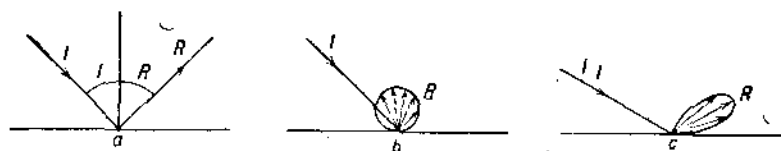


Рис. 50. Отражательные свойства поверхностей.

Хорошо лакированная гладкая черная поверхность является прекрасным зеркалом. С точки зрения рационального устройства освещения наличие вокруг нас подобных зеркально отражающих поверхностей является нежелательным, поскольку они отбрасывают нам в глаза изображения самих светящихся источников и тем влекут за собою все вредные влияния блескости: неприятное ощущение, утомление глаз и снижение зрительных функций.

Идеально матовая, диффузно отражающая поверхность равномерно отбрасывает падающий на нее свет по всем направлениям (см. b рис. 50). Обычные матовые покраски лишь приближаются к подобному идеально диффузному отражению, отражая свет во все стороны, но все же по преимуществу в направлении, соответствующем отражению зеркальному (см. c рис. 50). Обычные полированные и лакированные поверхности дают отражение, носящее характер в большей или меньшей мере зеркального и диффузного в зависимости

от свойств поверхности и ее полировки. Диаграмма на рис. 51 дает интересную иллюстрацию случаев подобного смешанного отражения. Величины, характеризующие зеркальное отражение, относятся к лучам, падающим перпендикулярно к поверхности (как мы видели на рис. 10, отражение увеличивается

с увеличением угла падения). Свет, отражаемый какой-либо хорошо полированной поверхностью, не зависит от диффузного отражения цвета, просвечивающего через полировку от матовой поверхности, под ней находящейся. По оси абсциссы на диаграмме рис. 51

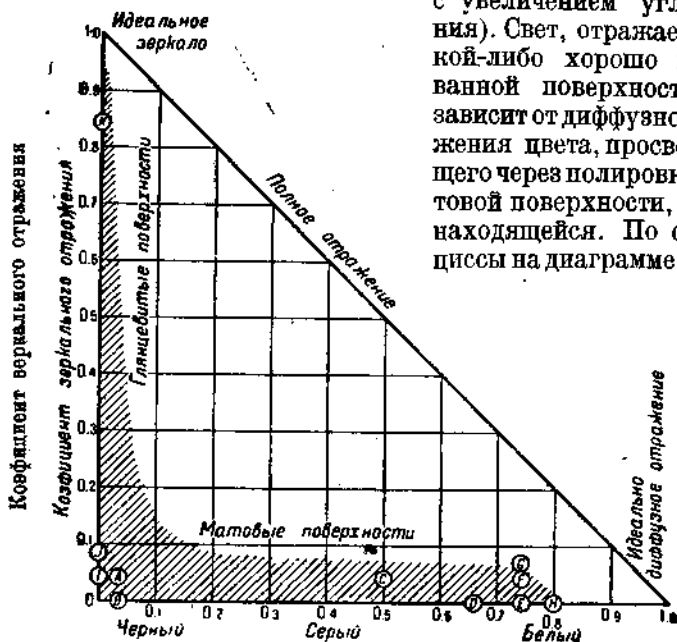


Рис. 51. Доли зеркального и диффузного отражения в отражении света различными поверхностями. А — глянцевитая черная, В — матовая черная, С — глянцевитая серая, D — белая фильтровальная бумага, E — наилучшая матовая белая краска, F — наилучшая глянцевитая белая краска, G — глянцевитый белый фарфор, H — порошок окиси цинка, I — поверхность стекла или воды, J — обе поверхности тонкого стекла, K — полированное серебро.

отложены величины, характеризующие диффузное отражение, причем идеально черный цвет помещается в начале абсциссы, а идеально белый в ее конце. Фактически имеющийся черный лежит в В, фактически имеющийся матовый белый в D, E и H; А есть глянцевитая черная краска, зеркально отражающая около 4% и диффузно

также около 4% падающего на нее света; *C* обозначает место глянцевого серого цвета с диффузным отражением около 50%. Хорошо отполированные металлы лежат на оси ординат там же, где и обычное зеркало в *K*. Идеальное зеркало должно было бы помещаться в вершине оси ординат. Поверхности, полностью отражающие падающий на них свет, в зависимости от доли зеркального и диффузного отражения расположатся на диаграмме по гипотенузе. Обычно в практике встречающиеся виды отражения лежат на диаграмме в ее заштрихованной части.

Цвета металлов, например алюминия, обладают отражением, соответствующим примеру с (см. рис. 50).

К О Э Ф Ф И Ц И Е Н Т Ы О Т Р А Ж Е Н И Я.

Совершенно точное измерение коэффициента отражения есть задача достаточно трудная, поскольку здесь приходится пользоваться каким-либо интегрирующим методом, чтобы учесть весь падающий и весь отраженный данной поверхностью свет. В частном случае вполне рассеивающей ахроматической поверхности ее светлота может быть определена посредством сравнения с другой ахроматической же матовой поверхностью, коэффициент отражения коей известен. В качестве такой нормальной белой поверхности можно принимать поверхность, покрытую окисью магния; коэффициент отражения такой поверхности в случае достаточно чистых материалов близок к 98%. Наиболее белые из «белых» красок, имеющихся в продаже, имеют коэффициент отражения в 75—80%, чаще всего от 70 до 75%; коэффициенты же отражения в 80 и 85% среди них уже редкость. Следует при этом заметить, что обычные «белые» краски отличаются друг от друга по своему коэффициенту отражения гораздо больше, чем думают. Между тем для тех случаев, когда покрашенные светлые поверхности играют видную роль в освещении, различие в коэффициентах отражения на 10% имеет уже значение.

Коэффициент отражения покрашенных поверхностей с течением времени меняется, даже если они находятся в чистом и темном месте. Белые свежепокрашенные цвета по истечении года снижают свой коэффициент отражения приблизительно на 10%. Выцветание красок может, правда, и увеличивать их отражательную способность; практически, однако, это имеет мало значения, так как перекрывается влиянием пыли и грязи, существенно понижающим коэффициент отражения. Как уже сказано выше, точное определение коэффициента

отражения цветных поверхностей есть задача достаточно трудная, поскольку сюда приходится все трудности гетерохромной фотометрии. Кроме того, порошки красок одного и того же названия и одной и той же фирмы не всегда имеют один и тот же коэффициент отражения; от красок же того же названия, но другой фирмы, они обычно отличаются весьма значительно. Ниже, в табл. XIX, приведены приблизительные коэффициенты суммарного отражения разных пигментов, взятых в виде порошков; при этом коэффициенты отражения показаны для различных освещающих источников, так как для них они, понятным образом, не одинаковы.

ТАБЛИЦА XIX.

Коэффициент отражения некоторых обычных красок, данных в виде сухого порошка.

	Голубое небо	Полуденное солнце	Вольфрамовая лампа дневного света	Газонаполненная вольфрамовая лампа	Пустотная вольфрамовая лампа	Оранжевый свет
Америк. цинковая	11,7	13,7	14,8	16,9	17,7	20,1
Венецианск. красная	9,5	10,6	11,3	12,5	13,1	14,2
Тосканская красная	10,1	10,7	11,1	11,8	12,0	12,8
Индийская красная	9,2	9,9	10,3	1,0	11,2	12,0
Желтая сiena	9,3	10,6	11,2	12,2	12,7	13,5
Сиена	30,2	32,6	34,0	35,7	36,6	38,0
Золотистая охра	54,8	58,1	60,0	62,3	63,4	65,2
Хромо-желтая охра	28,9	33,0	35,2	38,7	40,4	43,5
Желтая охра	46,0	48,8	50,5	52,5	53,4	55,0
Хром желтый (светл. средний)	49,6	54,5	57,7	61,3	63,0	66,0
Хром желтый (светлый)	70,0	76,5	78,8	81,1	82,0	83,9
Хром зеленый (светлый)	19,0	19,4	18,5	17,8	17,5	17,3
Хром зеленый (средний)	14,2	13,6	13,2	12,5	12,0	11,6
Кобальт синий	18,3	16,2	15,2	14,1	13,0	12,9
Ультрамарин синий	9,5	7,4	6,9	6,1	5,7	5,2

Свет неба и солнечный свет красными, коричневыми и желтыми цветами отражается в меньшей степени, чем обычный искусственный свет. Напротив, этот последний зелеными и синими поверхностями отражается хуже, чем белое и голубое освещение от Солнца и неба. Обозначенная ниже нормальная вольфрамовая газонаполненная лампа дает приблизительно 15 люменов с ватта и имеет температуру нитей, равную приблизительно 2780°K . Пустотная вольфрамовая лампа дает

8 люменов с ватта и имеет соответственно температуру в 2375°K . Оранжеватый свет (соответствующий пламени) давался вольфрамовой лампой, светящей при малом вольтаже, с температурой около 2000°K . Свет, диффузно отражаемый какой-либо цветной поверхностью, сам приобретает в известной мере цветной характер. В иных случаях эта цветность освещения может быть желательной, в других же производит неприятное впечатление, например при заметном окрашивании дневного света благодаря отражению от цветных стен.

ЦВЕТ СТЕН И ПОТОЛКА.

Для рабочих помещений на фабриках, в конторах и т. п. в общем нетрудно указать наиболее благоприятные с светотехнической точки зрения расцветки. Для потолков и верхних частей стен рекомендуется брать белый цвет, для нижних частей стен — серовато-зеленый, оливковый или темножелтоватый. В подобные же тона, но более светлого оттенка, рекомендуется окрашивать отдельные декоративные части, а также предметы оборудования, что оживляет общее впечатление. Отдельные предметы специального характера, как то: трубы, вентили, отметки углов и т. п., рационально красить уже в другие, более отличные цвета, но не в черный, который и поглощает много света и субъективно влияет угнетающе. Автор избегает в окраске также и чисто белых цветов, производящих часто субъективно жесткое и холодное впечатление. Небольшая подмесь кремового тона заметно смягчает подобное впечатление. В больницах, банях и тому подобных помещениях вместо несколько навязчивого белого лучше применять именно слегка кремовую покраску.

Слегка желтоватый белый цвет подходит достаточно хорошо и для потолка в конторских помещениях. Мы можем считать, что коэффициент отражения стен, чтобы не производить резкого впечатления на глаза, не должен быть более 50%; наиболее благоприятными здесь являются покраски с коэффициентами отражения от 35 до 50%. Песочные и зеленоватые оттенки представляются автору весьма благоприятными. В больших помещениях хорошо бывает верхнюю часть стен окрашивать в тот же цвет, что и потолок; тем самым к потолку прибавляется соответствующий фриз. В помещениях с окнами на север вместо зеленоватых предпочтительнее употреблять желтоватые или какие-либо другие теплые оттенки. Песочные и желтоватые оттенки вообще благоприятнее зеленоватых.

Для выбора подходящей окраски рабочего помещения необходимо учитывать и психологическую сторону влияния цвета. В хмурую холодную зиму более приятны оттенки теплых цветов (оранжеватые, желтоватые); в летние же месяцы, несомненно, предпочтительнее холодные оттенки (зеленоватые, синеватые). Очевидно, что иметь одновременно и то и другое мы не можем, и приходится обычно останавливаться на выборе оттенков зеленоватых.

Необходимо здесь в заключение заметить, что все вышесказанное носит на себе пока все же значительную печать субъективности и личных воззрений и вкусов отдельных лиц. Между тем, как показывают некоторые опыты, цветное окружение, несомненно, влияет не только на настроение работающего, но и на характер, силу и темп многих его реакций. В общем можно считать установленным, что цвета красно-оранжевой части спектра действуют на нас возбуждающе, цвета же зелено-синие, напротив, успокаивают. Будущим исследованиям надлежит со всей полнотой и тщательностью выяснить все встающие здесь вопросы и тем самым дать уже более объективное обоснование тем или иным предписаниям, касающимся наилучшей окраски рабочих помещений.

О К Р А С К А м а ш и н .

Издавна принято было окрашивать машины, их части и всякого рода рабочие инструменты или в черный или вообще в какой-нибудь темный цвет. В недостаточно освещенных и плохо содержимых помещениях подобная окраска еще больше увеличивает впечатление неуютности. Но даже в современных, хорошо освещаемых зданиях темные фигуры машин производят все же несколько угнетающее впечатление. Безусловно можно окрашивать машины и инструменты в более светлые цвета и при этом так, что они не будут еще чрезмерно пачкаться от всякого к ним прикосновения. Конечно, мы не имеем в виду окраску их в белый цвет, но в какой-нибудь цвет с коэффициентом отражения в 20—25%. Это заметно увеличило бы и общую освещенность в окружающем их пространстве. Особенно важен вопрос об окраске частей машины, непосредственно близких к самим производственным операциям. Так, некоторые лицевые части токарного станка и прессовальной машины хорошо покрывать, например, моющей, белой или светло-серой краской. Благодаря отражению свет будет отбрасываться здесь на самое рабочее место и в имеющиеся на нем затенен-

ные участки. Общих правил здесь дать конечно, не можем, однако обращаем внимание на возможность раскраской частей машин подобным путем облегчать условия видения, — то создавая выгодные фоны, то увеличивая освещенность.

Блескость, возникающая благодаря отраженному изображению светового источника, в известной мере коренится в чрезмерном контрасте. Блик на поверхности слепит нас больше тогда, когда коэффициент отражения этой поверхности низок, чем когда он сравнительно высок. Яркость же самого блика, возникающего вследствие зеркального отражения от поверхностного слоя окрашенной поверхности, не зависит от ее диффузного отражения. В силу сказанного и с точки зрения слепящего действия отраженной блескости светлораскрашенные поверхности являются более благоприятными.

О Т Р А Ж Е Н И Е Н Е В И Д И М Ы Х Л У Ч Е Й .

Хотя отражение ультрафиолетовых и инфракрасных лучей с чисто световой точки зрения и не имеет значения, однако в иных случаях оно все же представляет интерес. Известно, что окись цинка на фотографии выходит более темной, чем другие белые краски. Это объясняется тем, что окись цинка поглощает ультрафиолетовые лучи с длиной волны короче 366 μ . Окись магнезии, напротив, отражает практически все лучи с длиной волны большей, чем 250 μ .

По своей способности отражать инфракрасные лучи отдельные краски также весьма отличаются друг от друга; впрочем, вопрос этот изучен еще не достаточно полно. С точки зрения окраски внутренности помещений в жарких местностях отражение инфракрасных лучей имеет практическое значение. В общем белые и вообще светлые наружные стены, отражающие вообще больше, оказываются и здесь более благоприятными, чем стены, окрашенные в темные цвета, поглощающие больше лучистой энергии. Нетрудно сравнить общее количество энергии, поглощенной в зависимости от их окраски в тот или иной цвет. Для этого надо лишь подвергнуть их одинаковому освещению и измерить нарастание их температуры; последняя и будет говорить об относительной величине поглощения. Можно также, например, окрасить одинаковые металлические пластинки в разные цвета и положить их на солнце на снег; в зависимости от различного поглощения лучистой энергии они в различной мере нагреются и не с одинаковой скоростью погрузятся в снег.

ГЛАВА XIII.

НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ
ОСВЕЩЕНИЯ.

Зависимость нашего зрения от условий освещения рассматривалась нами уже выше. Сейчас мы хотим остановиться специально на выяснении того, какая интенсивность освещения обеспечивает наиболее высокий уровень функционирования глаза. Для этого мы используем данные, приведенные в предыдущих главах. При этом мы будем обращать внимание именно на интенсивность освещения, полагая, что освещение, вообще говоря, устроено рационально и не дает блескости. Что последнее возможно даже при очень высоких интенсивностях освещения, доказывается наружным дневным освещением. При низких уровнях освещения блескость устранима даже с большим трудом, чем при освещенностях сильных. В предыдущих главах мы видели уже немало примеров того, как интенсивности освещения, значительно большие, чем те, с которыми мы имеем дело обычно при освещении внутренности помещений, оказываются все же весьма выгодными для зрения. Из опыта мы знаем, с другой стороны, что в прямом солнечном освещении трудно бывает читать черный шрифт, напечатанный на белом фоне, в то время как детали на каком-нибудь более темном фоне различаются нами без какого-либо неудобства. Мы видим, таким образом, что наиболее хороший для глаза уровень яркости лежит где-то между обычно имеющимися теперь при искусственном освещении десятками люксов и ста тысячами люксов, соответствующими освещенности, даваемой прямыми солнечными лучами летом.

ОСВЕЩЕННОСТЬ, КОЭФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ
И ЯРКОСТЬ.

В качестве меры освещенности служат люксы и футо-свечи (в Америке и Англии); для зрения, однако, значение имеет не столько освещенность, сколько яркость. Ведь для глаза прямым раздражителем служит именно яркость, а не освещенность и не коэффициент отражения освещаемой поверхности. Необходимо, однако, для всякого, кто имеет дело с освещением и зрением, уметь переходить от характеристик по освещенности к характеристикам по яркости, и обратно. Стоит только задуматься, чтобы понять, что интенсивность

освещения есть причина, яркость же — следствие. Связующим звеном одного с другим является коэффициент диффузного отражения света освещаемой поверхностью. Обычно слово «диффузного» опускается, поскольку отражение от гляцевитых полированных поверхностей, обладающих зеркальным отражением, зависит в своей яркости лишь от яркости самого отражаемого источника света, а не от интенсивности освещения.

Учитывая то обстоятельство, что светотехника все же чаще оперирует с освещенностями, данные, собранные в предшествующих главах книги, автор ниже и выражает в величинах освещенности (фут-свечи¹) с указанием коэффициентов диффузного отражения освещаемой поверхности. В повседневной жизни «белой» считается поверхность с коэффициентом отражения в 80%. Во многих из приведенных в главах VIII и IX кривых мы и относили цифры нижней шкалы к такой белой поверхности, цифры верхней же шкалы обозначали у нас соответственные освещенности, которые надо дать темносерой поверхности, имеющей коэффициент отражения, равный 8%.

На рис. 52 показано подобное соотношение, имеющееся между яркостью, коэффициентом отражения и освещенностью. По вертикальной шкале слева приведена величина освещенности (в фут-свечах), которую для получения яркости в 1 миллиламберт² необходимо дать поверхности, имеющей коэффициент отражения, показанный на нижней горизонтальной шкале. Так, например, если мы хотим знать, при каком освещении серая поверхность с коэффициентом отражения в 20% будет иметь яркость в 1 миллиламберт, то, находя положение кривой над значением нижней шкалы «20», мы сразу находим, что такой освещенностью будет освещенность в 4,64 фут-свечи. Для поверхности более светлой (с коэффициентом отражения в 80%) соответствующая нужная освещенность будет в 4 раза меньшей, т. е. 1,16 фут-свечи. Для темной же серой поверхности (с коэффициентом отражения в 10%) она будет в 8 раз больше: 9,28 фут-свечи. Верхняя горизонтальная шкала отдельно обозначает коэффициенты диффузного отражения темных поверхностей (с коэффициентами отражения до 10%). Применительно к ним можно пользоваться

¹ Напомним читателю еще раз, что для того, чтобы перевести яркостные в Америке единицы освещенности — фут-свечи — на более общепринятые — люксы, надо домножить число фут-свечей на 10,7.

² 1 миллиламберт = $0,00082 \frac{\text{свечи}}{\text{см}^2}$ = приблизительно яркости, даваемой 10 люксами перпендикулярно к белой поверхности.

тою же кривой, причем в этом случае необходимо брать значения освещенности по вертикальной шкале, приведенной на рисунке справа.

Из рис. 52 ясно видно, сколь значительно должны варьировать освещенности, чтобы поверхности с разными коэффициентами отражения имели для нас одинаковую яркость. Очень часто именно это обстоятельство упускается из вида.



Рис. 52. Связь яркости с коэффициентом отражения и освещенностью.

Например, опыты с испытанием зрительных функций проводятся со всякого рода испытательными знаками, напечатанными обычно на белом фоне. Результаты же опытов приводятся просто путем указания освещенностей, между тем необходима всегда специальная оговорка о том, что освещенности эти давались на поверхности с высокими коэффициентами отражения. Выше мы уже неоднократно обращали внимание на то, что интенсивность освещения приходится увеличивать в прямой зависимости от снижения коэффициента отражения освещаемой поверхности. В обычной жизни и в условиях производства окружающее имеет чаще всего коэффициенты отражения, значительно более низкие по сравнению с так называемым белым;

с другой стороны, сами рассматриваемые объекты и детали отражают обычно свет в значительно большей мере, чем так называемое черное. Нередко нам приходится смотреть и в затененное пространство, где рассматриваемые детали и фон освещены совсем недостаточно. В силу всего этого все найденные в лабораторных опытах (при различении черного на белом) величины требующихся освещенностей мы должны помножить на известный поправочный коэффициент, прежде чем переносить их в условия обычной работы нашего зрения.

Соотношение, существующее между яркостью, коэффициентом отражения и освещенностью, может быть выражено следующим образом:

$$B = c \cdot E \cdot r,$$

где B есть яркость, E — освещенность, r — коэффициент отражения освещаемой поверхности и c — некоторая постоянная. Если E выражается в фута-свечах, то B , выраженное в миллиламбертах, будет равняться $1,076 \cdot E \cdot r$. Если E выражается в люксах, то B , выраженное в свечах с квадратного сантиметра (в стильбах), будет равняться $\frac{E \cdot r}{\pi \cdot 10^4}$.

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ.

Из рассмотрения ряда кривых, приведенных в предшествующих главах (см. рис. 23, 27, 28, 40, 42 и 44) и выражающих зависимость различных функций зрения (как то: остроты зрения, разностной чувствительности глаза, скорости зрительного восприятия) от яркости (интенсивности освещения, коэффициента отражения), нетрудно заметить, что все они по своей форме очень похожи друг на друга. Изображаемые ими закономерности могут быть выражены довольно хорошо уравнением: $y = \lg x$. С научной точки зрения удобнее и показательнее было бы поэтому брать в качестве абсциссы логарифмическую шкалу. Выше мы этого, однако, не делали, чтобы не затруднить понимание тех читателей, которые не привыкли к подобному способу изображения.

На рис. 53 $y = \lg x$ изображено одной кривой, относящейся к двум уровням x , показанным на горизонтальных шкалах вверх и вниз. Левая вертикальная шкала относится к нижней горизонтальной (x от 0 до 100) и правая вертикальная — к верхней горизонтальной (x от 0 до 0,1). Допустим;

что по ординате у нас откладывается продуктивность какой-нибудь зрительной функции, а по горизонтали — освещенность. Пользуясь левой и нижней шкалами, мы находим, что своего приблизительного максимума продуктивность нашей зрительной функции достигает примерно при освещенности, обозначаемой цифрой 20 (это могут быть фута-свечи или люксы). Если же мы принимаем во внимание правую и верхнюю шкалы, то это соответствующее «перелому» кривой значение абсциссы упадет на 0,2 (фута-свечей или люксов, смотря по тому, что у нас отложено по абсциссе). В зависимости от разных величин, отложенных нами по ординате

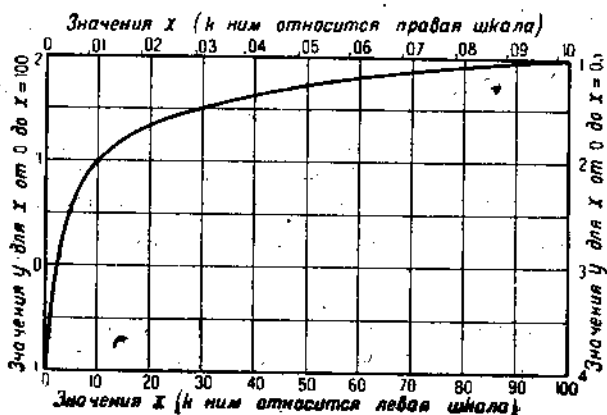


Рис. 53. Кривая уравнения $y = \lg x$.

и абсциссе, графический «перелом» кривой будет приходиться на разные места абсциссы. Ошибочным может быть поэтому общий вывод, сделанный относительно наилучших значений x на основании рассмотрения графика, построенного лишь для специальных масштабов, отложенных по ординате и абсциссе.

Не упуская из вида подобного рода оговорки, мы все же считаем форму кривой и специфические значения абсциссы, соответствующие месту «перелома» кривой, представляющими для нас большой интерес. Форма кривой говорит прежде всего о том, что прирост y , приходящийся на каждый прирост x , становится все меньшим по мере увеличения x . Иначе говоря, для того чтобы вызвать то же самое нарастание y , величина x по мере своего возрастания должна нарастать все больше и больше. Если наша кривая изображает, например, раз-

ностную чувствительность глаза в зависимости от яркости сравниваемых полей (или от их освещенности), то можно видеть, что скорость увеличения разностной чувствительности по мере увеличения яркости становится все меньшей. Выводы же относительно той величины яркости, при которой разностная чувствительность практически уже перестает больше возрастать, будут вполне правомерны, если на кривой представлены все те значения x , которые нас интересуют.

В кривых, выражающих связь между интенсивностью искусственного освещения и продуктивностью работы, для нас представляют интерес освещенности главным образом в пределах от 1 до 1000 фута-свечей.

Действительно, с точки зрения обычно употребляющегося внутри помещений освещения, включая сюда даже наиболее интенсивные освещенности, шкала, доходящая до 100 фута-свечей, будет достаточной. Поэтому на основании кривых рис. 23, 24, 27, 28, 36, 37, 38, 40, 42, 44 и др. мы и имеем возможность сделать выводы относительно наиболее желательных интенсивностей освещения.

Выводы из данных, касающихся зависимости функций зрения от интенсивности освещения.

Здесь мы хотим окинуть взором все те данные, которые у нас имеются для установления наилучших для зрения интенсивностей освещения. Не будем забывать, однако, того, что все эти данные получены в условиях лабораторных экспериментов, когда испытуемый проявлял наибольшее напряжение внимания и вообще все условия были особенно благоприятствующими. Во всех опытах, кроме опытов со скоростью зрительного восприятия, испытуемый имел возможность смотреть не торопясь. Обычные условия повседневной жизни менее благоприятны. Поэтому к экспериментальным данным надо делать известную поправку, о чем у нас еще будет речь ниже.

Ниже, в табл. XX, приводятся частью взятые из вышеприведенных уже кривых экспериментальные данные, касающиеся наилучших для зрения величин освещенности. При этом мы старались указать минимальные величины, при которых глаз уже близок к своей наивысшей продуктивности. Для удобства понимания нами указываются ниже как приближительные величины освещенности (в люксах) для поверхностей с коэффициентами отражения в 80 и 8%, так и величины соответствующей яркости в стильбах (т. е. свечах с 1 см²).

ТАБЛИЦА XX.

	Статьбы	Длины	
	a	На поверхность с коэффициентом отражения в 80% b	На поверхность с коэффициентом отражения в 8% c
Ср. рис. 23. Область наилучшей разностной чувствительности лежит выше чем	0,0027	107	1070
Ср. рис. 27. Область наилучшего различения мелких черных деталей на ярком фоне лежит выше чем	0,0027	107	1070
Ср. рис. 38. Область наиболее быстрого различения «черного» кольца Ланцольта на светлом фоне лежит выше чем	0,0032	128	1280
Ср. рис. 40. Область наиболее быстрого восприятия маленькой «черной» точки на более светлом фоне лежит выше чем	0,0269	1070	10700
Ср. рис. 42. Область наиболее быстрого чтения «черного» шрифта на более светлом фоне лежит выше чем	0,0053	214	2140
Ср. рис. 44. Область наиболее быстрого различения «черных» полосок на более светлом фоне лежит выше чем	0,0279	1070	10700
Ср. рис. 44. Область наиболее быстрого различения «черных» полосок на светлом фоне (в случае наличия «обнающих» изображений в моменты, предшествующие заслонению и следующие за ней) лежит выше чем	0,0108	428	4280
Ср. рис. 54. То же, но с меньшим контрастом, лежит выше чем	0,0558	2140	21400
Ср. рис. 22. Область наилучшего различения наим яркостей лежит выше чем	0,0077	300	3000
Ср. рис. 22. Границы всей области наилучшего различения яркостей	0,0028 0,8060	107— —32100	1070— —321000

В качестве освещающего света всюду имеется в виду обычный желтоватый свет ламп накаливания.

Во многих случаях, в силу недостаточности экспериментальных данных, мы имеем возможность указать лишь нижнюю границу области наилучшей интенсивности освещения.

Приводимые ниже данные касательно порога различения яркости при мгновенном предъявлении раздражения взяты из сводки Неттинга, в коей даны результаты опытов Блэнчарда, Ривса и самого Неттинга. Испытуемому с расстояния в 35 см предъявлялся квадратный экран (60×60 см), имеющий определенную яркость. По прошествии некоторого времени яркость экрана сразу гасилась; оставалось светлым лишь маленькое поле ($0,3$ см в квадрате) в середине его. Яркость этого маленького поля подбиралась такою, чтобы испытуемый мог едва замечать ее тотчас после потушения большого экрана. Подобного рода опыт был проведен с очень большими вариациями яркости адаптирующего (большого) экрана (от $0,000001$ до $10\ 000$ миллиламбертов), и для всех них определялась величина «мгновенного» порога (как минимальная яркость маленького поля, едва заметная в момент потушения большого экрана). В области яркостей от 100 до 1000 миллиламбертов величина мгновенного порога была порядка $0,2\%$ яркости адаптирующего (большого) поля. Эта величина, однако, быстро возрастала как при переходе к меньшим, так и к большим яркостям. Результаты данного исследования представляют интерес и для условий зрения в повседневной обычной обстановке, поскольку нам всегда приходится переводить взор с поверхности одной яркости на поверхность другой яркости. Что касается скорости различения, то она оказывается наибольшей в той области яркостей, в коей глаз имеет и наименьшую величину «мгновенного» порога, т. е. замечает наиболее малую долю яркости, только что на него действовавшей. Этому соответствуют, по данным излагаемой работы, освещенности от 115 до 1150 фута-свечей на поверхность с коэффициентом отражения в 80% и от 1150 до $11\ 500$ фута-свечей для темных поверхностей с коэффициентом отражения в 8% .

Неттинг определял также и обычную разностную чувствительность. Для этого он находил едва заметную разницу в яркости ΔB при разных исходных яркостях поля B . Величина этой разности зависит от величины исходной яркости. Разностная же чувствительность будет характеризоваться отношением $\frac{B}{\Delta B}$. Наибольшим это отношение оказывается для

яркостей В, лежащих в пределах между 10 и 100 милли-ламбертами, чему соответствует освещенность от 12 до 115 футо-свечей (на «белую» поверхность с коэффициентом отражения в 80%) и от 115 до 1150 футо-свечей (на темную

ТАБЛИЦА XXI.

Яркость адаптирующего поля в милли-ламбертах	Яркость «мгнновенного» порога, т. е. яркость, впервые замечаемая после того, как адаптирующая яркость погасла	Яркость «мгнновенного» порога в % яркости адаптирующего поля	Разностный порог	Разностная чувствительность
0,000001	0,00000093	93,0	(1,00)	1,0
0,00001	0,0000042	42,0	(0,66)	1,5
0,0001	0,000019	19,0	0,395	2,5
0,001	0,000087	8,7	0,204	4,5
0,01	0,00039	3,9	0,078	12,8
0,1	0,00175	1,75	0,037	27,0
1,0	0,0082	0,82	0,021	48,2
10,0	0,036	0,36	0,018	55,5
100,0	0,191	0,19	0,017	58,1
1000,0	2,14	0,21	0,024	41,7
10000,0	(232,0)	(2,32)	(0,048)	(20,9)

поверхность с коэффициентом отражения в 8%). Выше, в табл. XXI, и воспроизводятся данные, приводимые Неттингом.

НАИЛУЧШАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСВЕЩЕНИЯ ВНЕ УЧЕТА ЕГО СТОИМОСТИ.

Эксперименты позволяют нам установить нижнюю границу области наиболее благоприятной интенсивности освещения, верхнюю же границу мы спокойно можем положить лежащей выше, чем самые интенсивные освещенности, даваемые искусственным светом в обиходной практике в настоящее время. Можно доказать и экономическую выгодность освещенностей порядка 1000 и более люксов; однако преодолеть инертный консерватизм потребителей, опасующихся «слишком» большого освещения, бывает не легко. Здесь мы хотим остановиться на вопросе об интенсивности освещения, совершенно оставляя в стороне вопрос о его стоимости.

Почти во всех видах человеческой деятельности мы должны бываем различать яркости; необходима бывает, кроме того, и известная острота зрения или способность различать воз-

можно мелкие детали. Различение цветов также требуется от нас при очень многих работах, впрочем, не в такой мере, как различение яркостей или мелких деталей. Ведь нередко мы имеем дело с ахроматическими поверхностями, да и самые цветовые различия оцениваем порою прежде всего как различия по яркости. Цветной фон и цветное освещение в зависимости от обстоятельств могут быть и благоприятны и вредны. Сейчас, однако, мы на этом останавливаться не будем. Наши рассуждения будут относиться к белому или, лучше сказать, к так называемому белому свету со сплошным спектром. Таким именно светом пользуемся мы чаще всего в качестве источников искусственного освещения, пока не изобретено что-либо лучшее.

В начале главы мы указывали на логарифмический характер многих кривых, характеризующих изменение зрительных функций в зависимости от освещения. Вместе с тем предостерегали и от возможных ошибочных выводов, делаемых только на основании внешнего вида кривой. Правомерные выводы, учитывающие все те значения величин, с которыми мы практически имеем дело, приведены в табл. XX. Столбец *a* этой таблицы и показывает те минимальные яркости, начиная с которых продуктивность работы глаза становится наилучшей. В столбцах *b* и *c* приведены соответствующие величины освещенностей нужных в предположении светлой и темной поверхностей (с коэффициентами отражения в 80 и 8%). Как можно видеть, для поверхностей светлых нижней границей оптимальной зоны является освещенность, близкая к 100 люксам. Зрительные функции продолжают возрастать в своей продуктивности, однако, и при дальнейшем усилении ее за этот «нижний предел». Такие освещенности, как 1000 люксов для поверхностей светлых и 10 000 люксов для поверхностей темных, лежат еще вполне в границах оптимальной зоны.

В тех случаях, где исследовались влияния освещенностей, варьируемых в достаточно широких пределах, мы находим, что оптимальная для зрения область лежит в общем между 100 и 30 000 люксов (для поверхностей светлых с коэффициентом отражения в 80%) и между 1000 и 300 000 люксов (для поверхностей темных с коэффициентом отражения в 8%).

МАЛЫЙ КОНТРАСТ ТРЕБУЕТ БОЛЬШЕГО ОСВЕЩЕНИЯ.

Выше мы уже отмечали, что большая часть лабораторных экспериментов проводится обычно с «черными» объектами на «белом» фоне, т. е. в условиях наибольшей контрастности.

На основании этих случаев полезность высоких интенсивностей освещения недооценивается. Как это можно видеть из многих рисунков глав VIII и IX, в которых по абсциссе откладываются освещенности как для светлых (80% отражения), так и для темных (8% отражения) поверхностей, требуемая освещен-

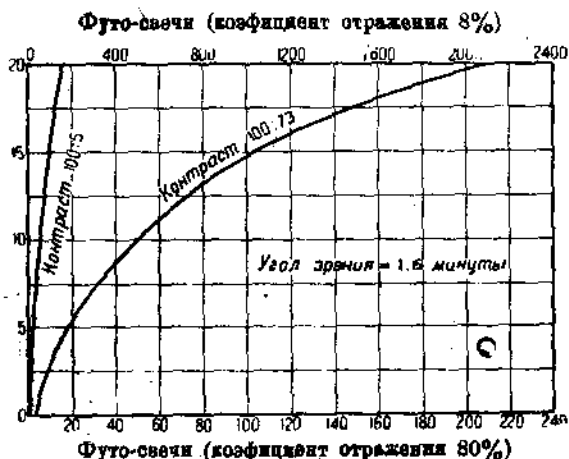


Рис. 54. Скорость зрительного различения в зависимости от освещенности и контраста при угле зрения 1,15'.

ность возрастает по мере уменьшения коэффициента отражения освещаемой поверхности.

На рис. 54 и 55 приведены данные опытов Кобба, касающиеся скорости зрительного восприятия при более низких уровнях контраста. И из этих кривых можно видеть, что высокие интенсивности освещения относительно важнее для объектов, малоконтрастирующих с фоном.

Опыты Кобба произведены над 21 субъектом. Испытательным объектом служили в одной серии «черные» полосы на «белом» фоне (контраст 100 : 5, см. в рис. 43), в другом же случае контрастность между полосками и фоном была значительно меньшей (100 : 73). Перед предъявлением испытательного объекта и после его экспозиции испытуемому показывались «сбивающие изображения» (см. а и с рис. 43). Кривые рис. 54 относятся к различению полосок, отстоящих друг от друга на угол в 1,15'. Кривые рис. 55 изображают данные, полученные в опытах, когда расстояние между полосками было равно

1,73 угловых минуты. Таким образом из сопоставления обоих этих рисунков (специально величин, отложенных по абсциссам) можно видеть, что уменьшение размера испытательного объекта с 1,73 до 1,15 мин. потребовало почти 20-кратного

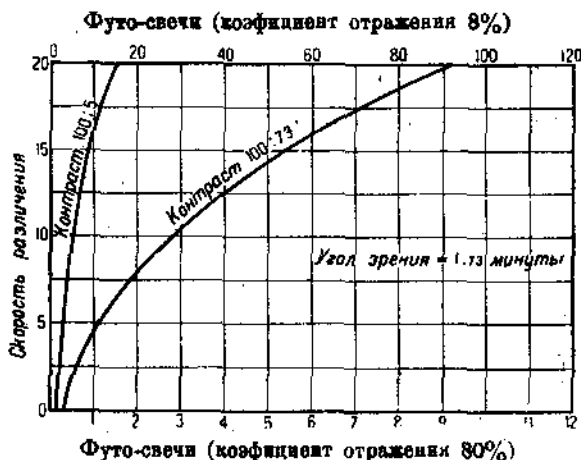


Рис. 55. Скорость зрительного различения в зависимости от освещенности и контраста при угле зрения 1,73'.

увеличения освещенности для сохранения скорости зрительного восприятия той же.

СРЕДНИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ.

Освещенность в 30 000 люксов, требующаяся для наилучшего зрения при рассматривании темных поверхностей, будет, очевидно, слишком большой в случае поверхностей светлых. И, наоборот, освещенности, достаточные для этих последних, окажутся слишком низкими для поверхностей с малыми коэффициентами отражения или же для поверхностей, находящихся в тени.

Кроме того, области наиболее хороших для зрения освещенностей охватывают обычно целый ряд интенсивностей освещения. Принимая во внимание все эти обстоятельства, можно думать, что наши выводы относительно наилучшей освещенности следует строить, имея в виду поверхность со средним коэффициентом отражения в 40%. На основании данных, приведенных в табл. XX, можно считать, что хорошей

яркостью для зрения является яркость, создаваемая освещенностью, близкой к 3500 люксов на поверхности с коэффициентом отражения в 80%. Следовательно, для поверхностей с коэффициентом отражения в 40% средней хорошей освещенностью приходится признать освещенность, близкую к 7000 люксов. При этом предполагается, что освещение во всех прочих отношениях устроено рационально. Для затененных пространств, получающих только 10% общей освещенности, в качестве таковой, очевидно, будет требоваться уже очень высокая освещенность, близкая 70 000 люксов. Подобная освещенность лежит уже выше области наилучшего освещения для бедных и светлых поверхностей. Поэтому не приходится заботиться о максимальной продуктивности работы зрения и по отношению к затененным местам. Здесь мы подходим к вопросу о гарантии безопасности посредством достаточного освещения.

Коэффициент безопасности в освещении.

Обсуждая вопросы освещения, целесообразно иметь в виду и известную поправку, вносимую в нормы ради гарантирования безопасности всех рабочих процессов, протекающих при данном освещении—то, что можно назвать коэффициентом безопасности. Условия работы глаза на производстве не столь идеальны, как в лаборатории. Необходимость производить движения руками и туловищем, изменяющаяся адаптация при переводе взгляда с поверхности одной яркости на поверхность другой яркости и разные отвлекающие впечатления, — все это стремится снизить производительность работы зрения. Поправки на безопасность в механических конструкциях не имеют прямой связи с коэффициентом безопасности в освещении, однако не лишено все же интереса вспомнить здесь, что первые достигают иногда 5- и 10-кратного размера.

В зрении мы имеем несколько особые условия. Хотя по мере повышения яркости (или освещенности) продуктивность его растет, в конце концов достигается все же предел, за которым наша способность различать детали и различия по яркости начинает уже падать. Поэтому в заботах о создании оптимальных условий видения на темных и затененных поверхностях, мы все же не должны давать освещенностей чрезмерных, вредных для зрения. Из вышеприведенных таблиц можно видеть, что таким верхним пределом наилучших освещенностей для так называемых белых поверхностей является освещенность около 30 000 люксов. Для поверхности с коэф-

коэффициентом отражения в 40% наиболее хорошая освещенность близка к 7000 люксов. Для затененных мест, получающих всего 10% общей освещенности, это будет означать необходимость общего освещения, близкого к 70 000 люксов. Такое освещение не оставляет уже возможности дальнейшего усиления его на коэффициент безопасности, учитывающий различие между условиями работы глаза в обыденной жизни и в лаборатории. Если мы будем стремиться к достижению оптимальных условий видения в затененных местах, коэффициент безопасности может быть взят не большим единицы, чтобы не нарушить работоспособности глаза и по отношению к так называемым белым поверхностям. Не ставя же непременно условием обеспечить оптимальное видение и в местах наиболее затененных, мы можем положить этот коэффициент равным приблизительно 4, поскольку верхний предел наилучших яркостей соответствует примерно 30 000 люксов на поверхность с коэффициентом отражения в 80%, наилучшая же освещенность для поверхности с коэффициентом отражения в 40% близка к 7000 люксов. Учитывая все обстоятельства, вышеупомянутый коэффициент безопасности можно, пожалуй, признать несколько преувеличенным; в нем слишком принимаются во внимание условия видения в затененных местах. Желательная величина коэффициента безопасности зависит от того, с какими интенсивностями мы фактически имеем дело. Если мы имеем освещенности порядка 100 люксов и хотим обеспечить наилучшее видение, мы можем принять этот коэффициент равным 10 и даже 30.

ТАБЛИЦА XXII.

Для чтения черных букв на белом фоне, без необходимости вполне хорошо видеть и в затененных местах	3 500 люксов
Для различия очень темных деталей на фоне с коэффициентом отражения в 20%	14 000 "
Для различных зрительных работ при поверхностях с коэффициентом отражения в 40% и без необходимости вполне хорошо видеть в затененных местах	7 000 "
То же при необходимости хорошо видеть и в затененных местах не менее	10 000 "
Максимальная желательная интенсивность освещения близка к	30 000 "

Все рассуждения, сейчас нами излагаемые, имеют своей целью не фиксировать точно величину этого коэффициента,

во стремятся лишь обратить внимание на необходимость установления подобного коэффициента вообще. Несомненно, однако, что при господствующих теперь освещенностях коэффициент этот должен быть значительно больше единицы.

Приведем, наконец, еще раз приблизительные значения наилучших освещенностей, установленные экспериментально, в наилучших условиях для зрения. Понятно, что наши обычные условия работы требуют освещенностей не меньших.

ГЛАВА XIV.

ЭКОНОМИЧЕСКИ НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСВЕЩЕНИЯ.

Если бы свет ничего не стоил, то наиболее хозяйственно рациональной интенсивностью освещения была бы та, которая обеспечивает наибольшую продуктивность работы глаза. Как мы видели выше, эта освещенность близка к 3500 люксов для чтения и освещенность от 3500 до 30 000 люксов для различных прочих зрительных работ вообще. Оптимальная интенсивность, требуемая обычной работой с точки зрения наибольшей продуктивности специально зрительных функций, лежит где-то в пределах от 7000 до 10 000 люксов. Средняя обычная искусственная освещенность внутри помещения составляет не более 1% этой величины и немногим больше 1% в случае естественного освещения помещений дневным светом.

В предыдущей главе, говоря о наилучших освещенностях, мы сознательно не касались вопроса о стоимости освещения. В практике экономические расчеты являются естественным ограничением в установлении освещенностей, являющихся идеальными с точки зрения чисто зрительной. Если разн-
тие и дальше пойдет так же, как по сие время, то стоимость искусственного света будет все уменьшаться. Если в настоящее столетие цена света упадет на столько же, насколько она упала в течение прошлого века, то в 2000 г. искусственный свет будет стоить лишь тысячную долю того, что он стоил в 1800 г. Но нет надобности говорить о столь отдаленном будущем. Уже и сейчас искусственный свет настолько дешев, что дает основания требовать освещенностей значительно больших, чем самые большие из ныне применяющихся в обычных рабочих условиях.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА ПОКРЫВАЕТ РАСХОДЫ ПО УСИЛЕНИЮ ОСВЕЩЕНИЯ.

Выше, в гл. X, мы уже видели, в какой мере производительность труда может повышаться в зависимости от улучшения условий освещения. Скорость зрительного восприятия, как это уже было изложено в главе XI, продолжает возрастать и за пределами исследованных интенсивностей освещения (100 футо-свечей для светлых поверхностей и 1000 футо-свечей для поверхностей темных). Конечно, обычная производственная работа не складывается только из зрительных процессов; однако, поскольку зрение все же всегда играет известную роль, ускорение его должно повлечь за собою и общий при-

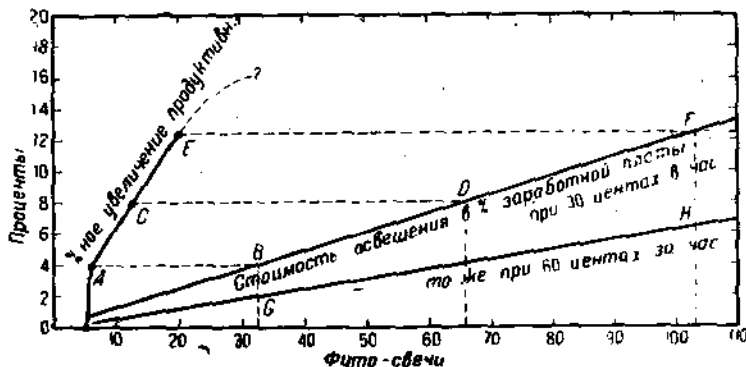


Рис. 56. Связь стоимости дополнительного освещения с увеличением продукции.

рост производительности труда. Подобное влияние улучшенного освещения будет, таким образом, тем большим, чем большее значение в работе имеют специально зрительные процессы.

Из рис. 48 мы могли видеть, что производительность возросла на 12,5% при интенсивности освещения в 20 футо-свечей, причем усиление освещения составляло всего 2,4% заработной платы, так что стоимость освещения находится приблизительно в линейной зависимости от интенсивности освещения. Имея это в виду, обратимся к результатам, приведенным на рис. 48 и изображенным на рис. 56. Точки А, С и Е обозначают приросты производительности при новых уровнях освещения в 6, 13 и 20 футо-свечей. За отправной пункт была принята производительность труда, имевшаяся при старой системе освещения (около 5 футо-свечей, смешанный искусственный и дневной свет, слабо рассеянный). Кривая

нарастания производительности продолжается и дальше за *E*. Интересно остановиться на вопросе, какие же затраты на освещение может покрыть подобное увеличение производительности. Линия *BDF* изображает стоимость освещения в процентах современной заработной платы. Если от точки *E* провести горизонтальную линию вправо, то она пересечет линию *BDF* в *F*. Это значит, что увеличение продукции, достигнутое при 20 футо-свечах, стоит столько же, сколько стоило бы улучшение освещения до уровня 103 футо-свечей. Подобный подсчет, в сущности, поразителен по своим выводам, говорящим нам, что экономически вполне целесообразно увеличивать освещенности значительно дальше тех уровней, с которыми мы обычно имеем дело при общем искусственном освещении. Проводя аналогичным вышесказанному способом горизонтальные линии из точек *C* и *A*, мы можем видеть, что прирост производительности при 13 футо-свечах покрывает расход по освещению, интенсивность коего равна 66 футо-свечам; равным образом прирост продукции при 6 футо-свечах эквивалентен затратам на освещение, дающее освещенность в 33 футо-свечи.

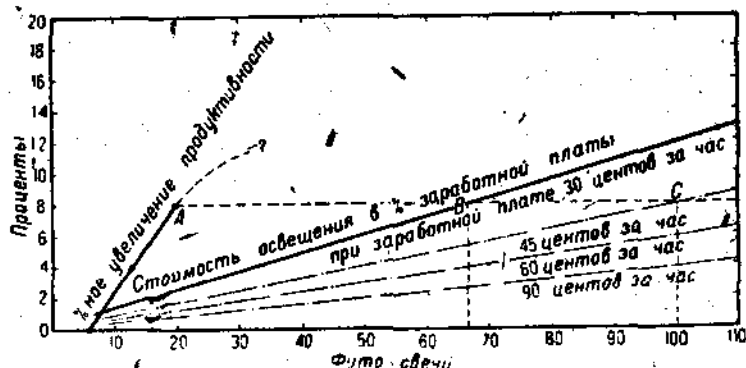


Рис. 57. Связь стоимости добавочного освещения с увеличением продукции. Случай новой осветительной системы.

Все только что сказанное относится к прямой *BDF*, изображающей стоимость света в процентах заработной платы, исчисляемой здесь из расчета 30 центов за час. В случае же более высокой расценки (60 центов за час) стоимость освещения составит, понятным образом, еще меньшую долю заработной платы. Это и изображено прямой *GH*. Пользуясь этой прямой, мы найдем, что увеличение продукции, наблюдаемое

при 20 футо-свечах, оказывается равноценным с увеличением освещения уже до уровня 206 футо-свечей.

Оставим теперь вне нашего учета начальную нерациональную систему освещения и положим в основу нашей диаграммы рис. 57 продуктивность работы при рационально устроенном освещении, дающем 6 футо-свечей. В этом случае прирост производительности при 13 футо-свечах составляет 38% и при 20 футо-свечах 8%. Горизонтальная линия, проведенная, например, из точки А, дает в В величину стоимости освещения в процентах заработной платы при оплате в 30 центов за час. Этому соответствует освещенность в 67 футо-свечей; таким образом увеличение продукции на 8% покрывает добавочные расходы на увеличение освещения с 20 до 67 футо-свечей. Подобное увеличение освещенности влечет за собою и дальнейший прирост продукции, о чем еще у нас будет сказано ниже.

Не лишено интереса посмотреть, как все эти соотношения меняются при изменении ставок заработной платы, например при 45, 60 и 90 центах за час. Относящиеся сюда цифры, взятые из рис. 57, приведены ниже, в табл. XXIII.

ТАБЛИЦА XXIII.

Таблица показывает, какое освещение может быть оплачено за счет того увеличения продуктивности работы, которое достигается тем или иным усилением освещенности. Расчеты, сделаны для различных уровней заработной платы (почасовой)

Увеличение продуктивности в %	Наличная освещенность в футо-свечах	Освещенность, окупаемая приростом производительности при различной почасовой оплате рабочих			
		30 центов	45 центов	60 центов	90 центов
0	6,0	—	—	—	—
2	9,4	17	25	33	50
4	13,0	33	50	67	100
6	16,6	50	75	100	150
8	20,0	67	100	130	200

Хотя некоторые и находят вышеприведенные данные Гесса и Гаррисона несколько преувеличенными, опыты названных авторов, проведенные на производстве, приходится считать все же достаточно достоверными. Опыты продолжались в течение 10 недель; результаты их во многом подтверждаются и экспериментально-лабораторными данными, например опы-

тами над скоростью чтения. Различные испытания, ставившиеся и на других фабриках, также дали сходные с итогами Гесса и Гаррисона результаты. Согласно их данным выходит, что усиление обычного освещения рабочих помещений до уровня 20 футо-свечей влечет за собою увеличение продукции от 10 до 15%, в то время как удорожание освещения составляет всего 1—3% заработной платы. Если этому верить, то приходится признать, что увеличение общих освещенностей до 100 футо-свечей будет экономически все еще выгодно.

В главе XIII в качестве наилучших указаны освещенности от 3500 до 10 000 люксов (т. е. приблизительно от 350 до 1000 футо-свечей). Мы не располагаем еще все же достаточным опытом материалом, чтобы утверждать, что такие освещенности будут и экономически рациональны. Относительно же освещенностей, близких к 1000 люксов, мы уже можем защищать это утверждение с достаточной уверенностью.

ФОРМА КРИВЫХ, ИЗОБРАЖАЮЩИХ РОСТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА.

Выше мы отмечали, что изменение многих зрительных функций в зависимости от освещенности рассматриваемого объекта может быть достаточно хорошо изображено посредством логарифмической шкалы. Это очень удобный способ изображения, и если в этой книге мы не всегда им пользовались, то это только потому, что и не логарифмическая шкала позволяла уместить на чертеже все нужные для нас значения освещенностей и яркостей.

Для разрешения вопросов экономической целесообразности усиления освещения необходимо учитывать данные о зависимости продуктивности работы от интенсивности освещения. Для получения достаточного количества обоснованных данных, касающихся этой связи, необходимо ставить специальные исследования на интересующем нас виде производства. Постановка подобного рода исследований требует немалых затрат как труда, так и средств. Лабораторные эксперименты и проще осуществимы и дают более точно контролируемые результаты. Поэтому следует думать, что и впредь обоснование требований улучшенного освещения будет в значительной мере даваться все же экспериментами лабораторного характера. Между тем приходится нередко сталкиваться с необоснованной неприязнью к лабораторным работам. Лабораторные выводы, по словам «людей практики», имеют мало значения для естественных производственных условий.

В действительности это, однако, совсем не так: надо лишь уметь правильно истолковывать данные эксперимента.

Автор специально занимался вопросом о математическом выражении кривых, показывающих связь скорости зрительного восприятия с интенсивностью освещения. При этом им найдено, что большинство этих кривых хорошо может быть уложено в простые логарифмические уравнения. Результаты подобных подсчетов были проверены Холледэем. Можно подобрать уравнения, точно выражающие опытные данные.

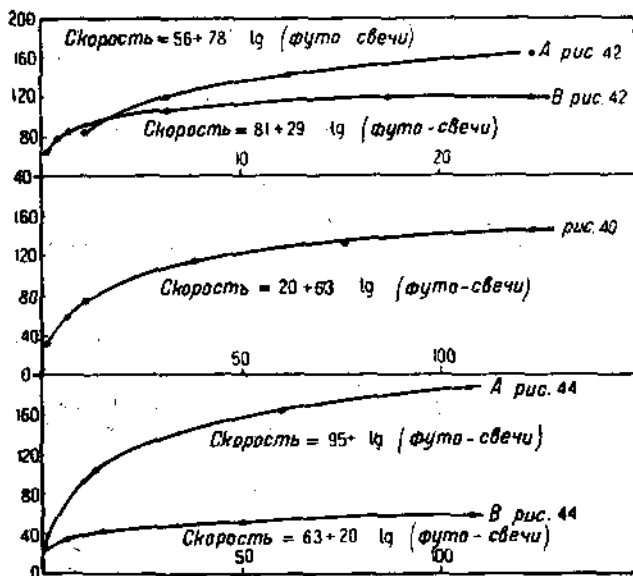


Рис. 58. Простые уравнения, выражающие опытные данные, приведенные в главе IX.

На рис. 58 приведены простейшие логарифмические уравнения, относящиеся к кривым, изображающим скорость чтения и различения различных испытательных объектов. Из рисунка можно видеть, как хорошо наблюдаемые в опыте значения укладываются на вычисленные кривые. Справа от каждой кривой указан номер того вышеприведенного рисунка, из которого взяты опытные точки. Для каждой кривой имеется своя абсцисса, по которой отложены освещенности в фута-свечах; при этом коэффициент отражения освещаемой поверхности равняется 80%. Слева по ординатам отложены соответствующие значения скорости зрительного восприятия.

Содержание рис. 58 вкратце сводится к следующему:

Кривая *A* (см. рис. 42) — относительная скорость чтения черной печати на сером фоне — довольно хорошо выражается уравнением:

$$S = 56 + 78 \lg I,$$

где *S* обозначает относительную скорость чтения, а *I* — интенсивность освещения, выраженную в футо-свечах. Еще лучше подходит уравнение:

$$S = 66 + 71 \lg (I - 0,8).$$

Кривая *B* (см. рис. 42) — относительная скорость чтения черной печати на белом фоне — удовлетворительно выражается уравнением:

$$S = 81 + 29 \lg I$$

и еще лучше уравнением:

$$S = 84 + 24 \lg (I - 0,23).$$

Кривая (см. рис. 40) — скорость различения черной точки на белом фоне — хорошо выражается уравнением:

$$S = 20 + 63 \lg I.$$

Кривая *A* (см. рис. 44) — скорость различения черной точки на белом фоне (при освещенностях больших, чем 5 футо-свечей) — хорошо выражается уравнением:

$$S = 95 \lg I.$$

При этом при величинах до $I = 50$ еще лучше подходит уравнение:

$$\lg S = 1,57 + 0,38 \lg (I - 0,5).$$

Кривая *B* (см. рис. 44) — скорость различения черных полосок на белом фоне — при предваряющих и следующих сбивающих изображениях может быть выражена уравнением:

$$S = 63 + 20 \lg I$$

или уравнением:

$$\lg S = 1,43 + 0,21 \lg (I - 0,5).$$

Скорость восприятия разрыва в кольце Ландольта при различных угловых размерах его (1,15; 1,73; 2,49 и 3,45 угловой минуты) довольно хорошо выражается уравнением:

$$\lg S = 1,13 + 1,5 \lg (V - 0,5) + 0,5 \lg I,$$

где *V* обозначает угловую величину разрыва в кольце.

ТАБЛИЦА XXIV.

Для угловой величины разрыва в кольце,
равной 1,15 угловой минуты

$$S = 2,7 + 14,2 \lg I$$

Для угловой величины разрыва в кольце,
равной 1,73 угловой минуты

$$S = 12,5 + 79 \lg I$$

Для угловой величины разрыва в кольце,
равной 2,49 угловой минуты

$$S = 42 + 77 \lg I$$

Для угловой величины разрыва в кольце,
равной 3,45 угловой минуты

$$S = 59 + 150 \lg I$$

Можно было бы привести и еще много примеров, показывающих, что нарастание продуктивности зрительных функций с освещением может быть хорошо выражено уравнением логарифмической зависимости. Этой закономерностью мы можем воспользоваться для подсчета ожидаемого увеличения продукции труда при усилении освещения и для случаев больших освещенностей, чем те, которые фактически применялись в опытах. Подобная экстраполяция будет здесь в известной степени оправдана.

Вернемся поэтому опять к рис. 48, 56 и 57. Отношение продуктивности работы к интенсивности освещения может быть здесь удовлетворительно выражено двумя уравнениями:

$$P = 371,0 + 65 \lg I$$

и

$$\lg P = 2,577 + 0,064 \lg I,$$

где P обозначает среднее число штук изделия, просмотренных контролером в час, а I — интенсивность освещения в фута-свечах. Нас интересует при этом именно прирост продуктивности, выражаемый в процентах. Производительность, имевшаяся при исходном освещении в 6 фута-свечей, принята нами за отправной пункт сравнения. В таком случае прирост продукции G оказывается связанным с интенсивностью освещения I следующим равенством:

$$G = 15,17 \lg I - 11,8.$$

Эта кривая и показана на рис. 59. В верхней части рисунка показан метод нахождения логарифмических уравнений по данным в опыте точкам. По шкале ординат показан в процентах прирост продукции по сравнению с продуктивностью, имевшейся при 6 фута-свечах. Часть кривой, идущая вправо за точкой A , получена путем экстраполяции по найденной логарифмической формуле, прямых же наблюдений в этой области произведено не было.

Связь интенсивности освещения с его стоимостью, выраженной в процентах зарплат (при предположении, что она равняется 30 центам за час работы), представлена на том же рис. 59 линией BD . Как можно видеть, эта линия пересекает кривую AD в точке D , чему соответствует освещенность в 160 фута-свечей. Иными словами, если найденное уравнение верно выражает связь продуктивности работы с интенсивностью освещения, прирост продуктивности (сверх имевшейся при 6 фута-свечах) стоит столько, сколько стоит освещение,

дающее 160 футо-свечей. Таким образом, если бы на производствах, где сейчас имеется освещение в 6 футо-свечей, последнее было усилено до уровня 160 футо-свечей, то предприятию это ничего не стоило бы, так как прирост производительности как раз покрыл бы расходы по освещению. Кроме того, имелись бы выгоды, проистекающие от уменьшения брака и увеличения безопасности. При более высокой заработной плате

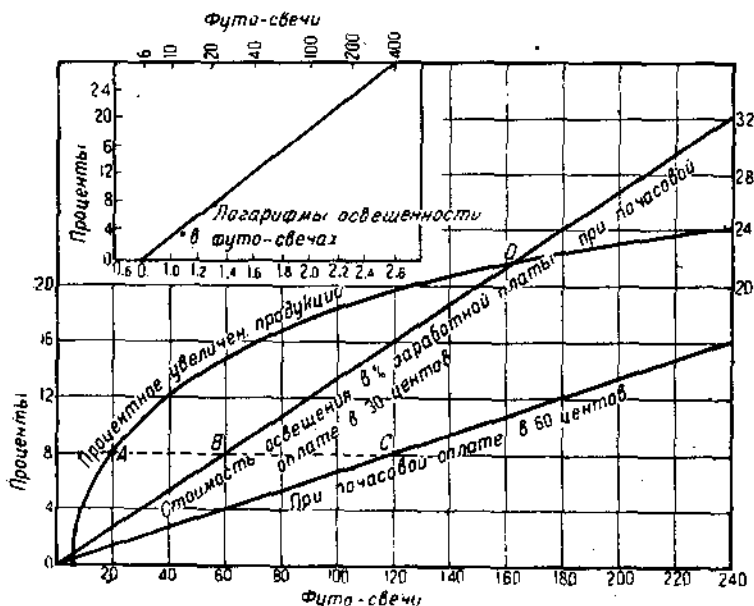


Рис. 59. Увеличение продуктивности и рост стоимости в зависимости от условия освещения.

(60 центов в час) рост стоимости освещения в процентах заработной платы изобразится прямой OC , которая пересечет кривую AD в точке, соответствующей примерно освещенности в 400 футо-свечей.

В заключение следует заметить, что увеличение продукции, о котором шла речь при толковании рис. 59, обуславливается исключительно лишь увеличением интенсивности освещения; предполагается, что во всех случаях освещение устроено вполне рационально. Между тем сплошь и рядом простая рационализация осветительных установок, даже и не связанная с увеличением освещенности на рабочем месте, может обусловить достаточно заметный прирост производительности.

ГЛАВА XV.

ВИДИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ.

Выше мы доказали, что для хорошего зрения и, следовательно, для высокой производительности труда необходима известная интенсивность освещения. Достаточная интенсивность освещения уменьшает брак, повышает безопасность труда, снижает зрительное утомление и создает общее, более благоприятное впечатление от работы. Однако освещение может быть неудовлетворительным и при достаточной своей интенсивности. Источники света, находящиеся в помещении, могут оказывать слепящее действие благодаря своей блескости, тени могут быть чрезмерно резкими, направление светового потока может быть неудобным. Все это снижает продуктивность работы глаза, вызывает ощущение неудобства во всяческих его проявлениях и следствиях. До сих пор о подобных, нерационально устроенных осветительных установках и об их улучшении мы не говорили, поскольку многие сюда относящиеся вопросы выходят за рамки настоящей книги. Тем не менее, хотя бы кратко, мы должны коснуться здесь и их; ведь и достаточное в смысле своей интенсивности освещение очень проигрывает, когда оно нерационально устроено в прочих отношениях.

Качество же осветительной установки измеряется не только коэффициентом полезного действия применяемых осветительных приборов, коэффициентами отражения потолка, стен и пр., равным образом оно измеряется не только экономической стороной дела — стоимостью люкса освещенности на метр площади в год. В конечном итоге качество осветительной установки характеризуется ее влиянием на продуктивность работы глаза и на его утомляемость; иными словами, удовлетворительность освещения есть отношение его положительных влияний на зрение к его денежной стоимости. При этом мы всегда должны помнить, что соблюдение известного минимума гигиенических условий для зрения работающего является совершенно необходимым и не должно приноситься в жертву никаким чисто экономическим расчетам и выводам.

Недостаточное и плохо устроенное освещение способствует расстройствам зрения. На некоторых производствах оказывается, что до 50% всех работающих имеют ненормальное зрение. По мере увеличения возраста и рабочего стажа процент лиц с расстройствами зрения возрастает. В значительной

мере подобное увеличение аномалий зрения может быть отнесено за счет плохого освещения. Вполне хорошо устроенное освещение, напротив, может замедлить процесс ухудшения зрения по мере старения человека.

Освещение, наконец, не должно ограничивать свои заботы только хорошим обслуживанием лиц со вполне нормальным зрением. Всегда следует иметь некоторый «запас» в интересах работников, обладающих пониженным зрением; процент таких всюду довольно значителен.

Блескость.

Обычно это понятие употребляется в слишком широком смысле. Будет целесообразно поэтому условиться прилагать его лишь к таким осветительным условиям, которые вызывают неудобство для зрения. Блескость может быть обусловлена:

а) Чрезмерной яркостью светящегося источника или его зеркально отраженного изображения. Величина такой «слепящей» яркости зависит от адаптации глаза, фона, на котором светящийся источник виден, а также и от углового размера этого последнего. В общем можно сказать, что в условиях искусственного освещения внутри помещений яркости, превышающие 3 свечи с 1 см^2 , производят обычно уже впечатление слепящих и потому должны устраняться из поля зрения. Последнее достигается применением соответствующих рассеивателей и регулированием высоты подвеса ламп.

б) Может быть, наиболее частым источником блескости является чрезмерный контраст. Снаружи ночью, среди полной темноты вокруг уже вспышка спички может производить слепящее впечатление. Небо, когда мы на него смотрим, сами находясь снаружи, не кажется нам чрезмерно ярким. Небольшой же кусок его, видимый через окно в комнате с темными стенами, уже производит на глаз несколько резкое впечатление. Устройством рассеивающих затенителей в armature мы обычно бываем в состоянии избежать неприятного впечатления блескости от применяемого источника света.

с) Яркая поверхность, видимая под достаточно малым углом зрения, не кажется слепящей, в то время как поверхность той же яркости, но большего размера уже может казаться очень блеской. Иными словами, количество света, прямо падающее на глаз, может являться источником блескости.

д) Источники света, лежащие близко к линии взора, являются более блестя-

м и, чем более удаленные от нее яркие поля. Кроме того, яркие источники больше слепят в том случае, когда они находятся в крайней части нижней половины поля нашего зрения, чем когда они лежат в крайней части верхней половины ее.

е) В том случае, когда сами источники света заслонены от глаза, они все же могут вызывать блеское, слепящее действие путем своего отражения от зеркально отражающих полированных поверхностей. Поэтому следует избегать применения в окружающей обстановке подобных поверхностей, могущих существенно ухудшить условия освещения даже и тогда, когда оно устроено в общем вполне рационально.

г) Блеское влияние зависит также и от продолжительности воздействия ярких полей на глаз. При мгновенном взгляде яркий световой источник может еще не слепить; при смотре же на него в течение нескольких секунд он оказывает уже явно неприятное действие. С другой стороны, правда, если раздражитель не слишком ярк, то при более длительном воздействии на глаз он в силу адаптации глаза может перестать быть неприятно слепящим.

Таковы главнейшие факторы блескости. Можно все виды блескости разбить на три группы. Блескость, застилающая поле зрения как бы пеленой, распространяющейся от источника света, находящегося вблизи линии взора. Обычно это действие блеского источника имеет причины, коренящиеся в устройстве нашего зрительного аппарата. Иногда, однако, подобный же эффект пелены, застилающей поле зрения и мешающей видеть детали, обуславливается и объективно рассеянием света в дымном, туманном или пыльном воздухе.

«Режущая глаз» блескость вызывает неприятное ощущение, отвлекает и вредит зрению. Это наиболее частый вид блескости. Вызывается он обычно источниками света, не прикрытыми от взора, или же их зеркальными отражениями от тех или иных глянцевиных поверхностей.

Ослепляющая блескость вызывается чрезвычайно большой яркостью поля зрения; она способна на время значительно снизить световую чувствительность сетчатки. Постоянным следствием ее, кроме того, бывают последовательные образы, остающиеся у субъекта в течение нескольких секунд, а иногда и нескольких минут — в зависимости от яркости блеского поля.

Все эти виды блескости снижают нашу способность зрительно ориентироваться в окружающем. Тем самым они не

только ухудшают производительность труда, но и увеличивают вероятность всякого рода несчастных случаев.

Под влиянием блеских источников, находящихся в поле зрения, терпят ущерб в большей или меньшей степени все функции зрения. Опыты показывают, однако, что особенно страдает здесь разностная чувствительность глаза. Блеский источник, находящийся в поле зрения, накладывает на все рассматриваемое как бы некоторую световую пленку. В настоящее время мы уже имеем попытки (опыты инж. В. В. Мешкова) путем вычисления величины подобного «эквивалентного засвета» ближе подойти и к измерению блескости.

Яркости источников света и арматур.

Представление о яркостях различных источников освещения может дать табл. XXV.

ТАБЛИЦА XXV.

	Приближительная яркость в стильбах ($\frac{\text{св.}}{\text{см}^2}$)
Полуденное солнечное освещение	150 000
Кратер обыкновенной угольной дуги	15 000
Нить вольфрамовой пустотной лампы накаливания ($8 \frac{\text{люмен}}{\text{ватт}}$)	160
Нить вольфрамовых газонакаливаемых ламп	370—770
Рассеивающая колба с 50-ваттной вольфрамовой лампой	1,2
Ртутная трубка	2,5
Самые яркие облака, освещенные солнечным светом	3,2
Небо	0—0,8

Светорассеивающие колбы разного диаметра с 100-ваттной лампой внутри имеют яркости приблизительно следующие:

Диаметр в см	12,5	15,0	17,5	20,0	25,0
	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
	$\frac{\text{св.}}{\text{см}^2}$	»	»	»	»

НАПРЯЖЕНИЕ ГЛАЗ.

Недостаточное и нерационально устроенное освещение вызывает напряжение зрения. При слишком слабой освещенности мы вынуждены бываем подносить рассматриваемые

объекты очень близко к глазам, благодаря чему напрягаются глазные мышцы. Блеские поля, имеющиеся перед взором, отклоняют наше внимание; мышцы глаза опять-таки должны больше напрягаться, чтобы удержать глаз на рассматривании того, что нужно. Слишком большая яркость рабочей поверхности влечет за собой сощуривание глаз и нахмуривание бровей, т. е. опять-таки определенное мышечное напряжение. При больших различиях в яркости зрачок вынужден бывает все время менять свой размер сообразно той яркости, на которую устал взор.

З Р И Т Е Л Ь Н О Е У Т О М Л Е Н И Е .

В случае достаточного и рационально устроенного освещения глаза утомляются не более чем весь прочий организм работающего вообще. Для лиц с нормальным зрением условия высоких освещенностей, создаваемых дневным светом, являются вполне благоприятными для работы зрения. Лишь в редких случаях, летом, дневной свет становится для нас слишком резким, несмотря на то, что мы и имеем привычку несколько затенять наши глаза шляпой. Мы можем поэтому утверждать, что большие освещенности все же более благоприятны для зрения, чем малые, хотя бы также рационально устроенные во всех прочих отношениях. Как мы уже видели выше, в настоящее время имеются некоторые данные, говорящие за то, что для длительной зрительной работы особенно благоприятным является свет, по своему качеству приближающийся к дневному. Всякий же менее естественный желтоватый свет оказывается уже худшим.

Факторами, способствующими зрительному утомлению, являются все же условия, при которых глаз вынужден бывает напрягать свой мышечно-двигательный аппарат. Это же имеется при необходимости длительно фиксировать какие-нибудь детали, рассматривать что-нибудь лежащее на слишком близком расстоянии от глаз, переводить взор с близкого на далекое или, наоборот, смотреть на что-нибудь, скосив глаза, все время передвигать взор, смотреть попеременно на поверхности, очень различные по своей яркости, и в ряде других случаев. Как уже сказано выше, условия освещения в очень большой степени могут или затруднять или облегчать работу глаза и тем вызывать большую или меньшую утомляемость зрения. Представляет поэтому большой интерес иметь возможность как-либо количественно характеризовать степень утомляемости глаза. В этих целях испытано уже несколько мето-

дов, посредством коих стремились найти наиболее чувствительный индикатор зрительного утомления. В итоге всех этих попыток в настоящее время приходится признать, что наиболее показательным является метод «определения устойчивости ясного видения» по Ферри и Ренд. Метод этот состоит, как известно, в том, что испытуемому лицу предлагается в течение 3 мин. смотреть на какую-нибудь лишь с трудом различимую деталь. В течение этого времени она видится им то ясно, то неясно. Периоды ясного и периоды неясного ви-

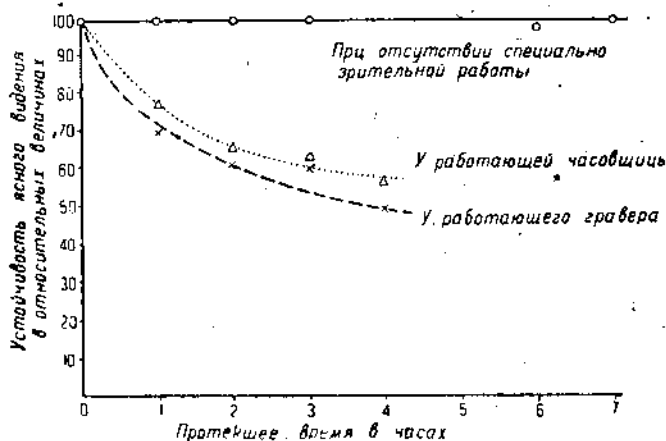


Рис. 60. Устойчивость ясного видения и зрительное утомление.

дения регистрируются экспериментатором. Отношение продолжительности всех периодов ясного видения к общей продолжительности опыта и берется как показатель «устойчивости ясного видения». Опыты Семеновской показали, что при отсутствии какой-либо специально зрительной работы устойчивость ясного видения в течение дня остается одной и той же. Напротив, при наличии такой работы устойчивость на протяжении всего рабочего дня от часа к часу снижается.

Выше, на рис. 60, приведены кривые, показывающие величины устойчивости ясного видения, найденные при отсутствии специальной зрительной работы (по опытам Семеновской), и величины устойчивости, найденные в течение 4 часов работы у гравера и часовщицы (по опытам Шубовой). Устойчивость ясного видения в начале дня во всех случаях принята за 100.

В то время как устойчивость ясного зрения достаточно чувствительно реагирует на зрительное утомление и различные условия освещения, разностная чувствительность глаза, согласно результатам опытов Шубовой, от зрительного утомления сколько-нибудь заметно не меняется.

Видимость.

Снижение видимости есть одно из проявлений вредного влияния блескости. Поэтому плохо устроенное освещение неминуемо должно повлечь за собою уменьшение продуктивности труда. Снижение видимости может быть весьма значительным, если сам блестящий источник или его зеркальное отражение находится вблизи линии зрения. Здесь играет роль и светорассеяние в глазных средах. Яркие источники света могут оставлять после себя очень долго длящиеся последовательные образы, также вредящие зрению.

Безопасность и несчастные случаи.

Около 20% всех несчастных случаев в промышленности и на транспорте обуславливаются дефектами освещения. По утверждению Симпсона плохое освещение в Америке вызывает ежегодно несчастных случаев больше, чем приходилось в среднем в год жертв на долю Америки в мировую войну. Согласно недавней статистике более 100 000 человек становятся неработоспособными вследствие несчастных случаев, вызванных плохим освещением. Эти рабочие силы могли бы добыть за год 100 млн. тонн угля, в то время как для создания вполне хороших условий освещения потребовалось бы всего 10 000 т угля. По Симпсону, несчастные случаи, порождаемые на производстве плохим освещением, обходятся стране ежегодно приблизительно в 2 млрд. долларов. 20% этой суммы было бы достаточно для того, чтобы осветительные условия стали вполне рациональными. Освещение должно быть в силу всего строго нормировано наряду с другими необходимыми условиями безопасности труда.

Пути сообщения.

Скорость и безопасность нашего передвижения в очень большой мере зависит от условий освещения. В ходьбе и всякого рода перевозках зрение играет существенную роль, и оно должно быть уверенным и быстрым. С передвижением мы имеем

дело почти всюду, где только проявляется человеческая активность: и на фабриках, и в конторах, и на улицах. По данным Крема, автомобильные катастрофы обходятся Америке около миллиарда долларов в год, и можно утверждать, что около 20% всех несчастных случаев здесь есть следствие именно плохого уличного освещения. С улучшением последнего уменьшается также и число всякого рода уличных преступлений.

Недостаточно внимания до сих пор привлекала к себе еще и другая сторона вопроса, а именно: зависимость скорости движения по всякого рода путям сообщения от свойств освещения. В темноте всякий передвигается с осторожностью и нерешительностью. Сигналы и указатели могут направлять идущего, например, к лестнице, но скорость, с какой он будет по ней спускаться, определяется в большой степени интенсивностью освещения, положением ламп, отсутствием блескости и т. п. Спрашивается здесь, при каком усилении освещения достигается, вообще говоря, такая скорость передвижения, выше которой уже заметных ускорений не наступает. Вне всякого сомнения, эта освещенность лежит выше тех низких освещенностей, с которыми мы имеем дело на наших улицах и прочих местах общественного движения. Для того чтобы движение шло с наибольшей естественной скоростью, надо, чтобы освещение создавало у движущихся чувство полной уверенности и безопасности. Освещенность должна быть достаточной. Для лучшего восприятия рельефа окружающих предметов полезны бывают некоторые тени, создаваемые направлением освещающего света. Видимость не должна снижаться блескими источниками, остающимися в поле зрения.

В связи с последним следует указать на необходимость особенной осторожности при решении вопроса о применении прожекторов для освещения улиц и городских площадей, что получает у нас в СССР довольно широкое распространение. Прожекторы в этих случаях почти всегда являются блескими пятнами в поле зрения как пешеходов, так и водителей транспорта. В качестве «блеских» они влекут за собою все те вредные для зрения последствия, которые описаны выше. В дополнение к ним здесь не следует забывать еще и о том, что блеские поля могут влиять и на психику субъекта, способствуя его рассеянности и «растерянности» среди окружающего. Подобное «дезорганизирующее» влияние блеских полей на психику особенно вероятно при наличии нескольких блеских полей и при блеских полях, изображение коих смещается по сетчатке.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИГНАЛЫ.

Применение световых сигналов для регулирования всякого рода транспорта становится все более широким, в связи с чем встают вопросы стандартизации транспортных сигналов. Нет ничего удивительного в том, что предпочтительными здесь стали самосветящиеся сигналы. Они ведь могут действовать в течение круглых суток как днем, так и ночью. Радиус их действия может быть сколь угодно велик, поскольку мы в состоянии взять светящийся источник соответствующей интенсивности.

Существенными чертами, сигнальных знаков на транспорте являются их форма и цвет. При этом цвет является здесь все же более решающим моментом, если мы хотим, чтобы сигнал был понят с возможно большого расстояния. Весьма у многих людей зрение не настолько хорошее, чтобы издали хорошо различать форму.

В сущности главнейшими сигналами служат лишь два: один для обозначения «стой», другой для обозначения «путь свободен». Красный и голубовато-зеленый цвет являются вполне пригодными, чтобы быть такими двумя сигналами. Лица с нормальным цветоощущением или с цветоощущением, не слишком уклоняющимся от нормы, всегда легко различат эти два цвета. Страдающие цветной слепотой, конечно, должны предварительно отбираться и не допускаться на службу по транспорту. Очертание же различных форм с большого расстояния бывает трудно рассмотреть для очень многих в силу гораздо более часто встречающихся недостатков в рефракции глаз. Кроме того, туман, дождь, дым и пыль в воздухе могут еще больше ухудшать видимость формы, между тем как цвета светящихся сигналов все еще будут отчетливо различимы. Избирательное поглощение света туманом, дымом и т. п. не может все же изменять голубовато-зеленый цвет настолько, чтобы его можно было спутать с красным. В практике применяется еще третий сигнал, обозначающий «внимание». В качестве такового берут желтый цвет. При этом следует лишь заботиться о том, чтобы применяемые желтые и красные стекла были всегда действительно достаточно различны друг от друга.

Хотя и на втором месте, однако все же внимание должно быть уделено и форме сигналов. Здесь еще много остается обсудить, выбрать, затем и стандартизировать.

Действенность сигналов зависит от их «бросаемости» в глаза, от степени привлечения ими нашего внимания. Интенсивность раздражителя есть, конечно, один из факторов, от

которого зависит степень нашего внимания к данному сигналу. Ошибочно, однако, отождествлять здесь эту интенсивность с фотометрической силой источника света. Применительно к сигналам мы должны под интенсивностью понимать нечто подобное их блескому, слепящему действию: последнее же, конечно, измеряется не фотометрически, а субъективно, тем впечатлением, которое испытывает глаз. Возьмем, например, так называемые «тормозные огни», обычно применяющиеся на автомобилях. Допустим, что у нас имеются здесь две фары одинакового диаметра и одинаковой силы света (одинакового числа свечей) при данных лампах; линза одной из них сделана из шлифованного стекла, линза же другой из стекла с достаточно большими неровностями. Оказывается, что эта последняя обладает большей «бросаемостью в глаза», несмотря на одинаковость ее с другой линзой по цвету, размеру и силе проходящего сквозь нее света. Подобное преимущество ее, конечно, исчезает, если мы рассматриваем сигналы с достаточно большого расстояния, когда сигналы кажутся нам просто световыми точками.

Тем из читателей, которые желали бы подробнее и глубже ознакомиться с вопросами, затронутыми в данной книге, рекомендуем обратиться к следующим книгам:

М. L u c k i e s h, Color and its applications; New York 1921.

М. L u c k i e s h and F. M o s s, Seeing, Baltimore 1931.

«Освещение промышленных предприятий». Труды Ленинградского института гигиены труда и техники безопасности, под ред. проф. С. О. Майзель, Л. 1930.

В. В. М е ш к о в, Что дает хорошее освещение, М.-Л. 1932.

Кроме того, этим вопросам посвящаются многочисленные специальные статьи и работы, печатаемые в журналах: «Transactions Illuminating Engineering Society», «Licht und Lampe», «Светотехника» и др.

Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
46	4 снизу	лучей и „средней“	лучей „средней“
51	2 „	Выше	Ниже
5	16 сверху	Фаренгейта	Цельсия

М. Кожин. Свет и работа.