

ПОПРАВКА

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

а 6
40298

ИНЖ. Н. М. ГУСЕВ

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ



ГОССТРОЙИЗДАТ
1933

~~0-15258~~

Депозитарий

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

~~2-10298~~

Инж. Н. М. ГУСЕВ

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

1305542
0413 Е. 11924

ГОСУДАРСТВЕННАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

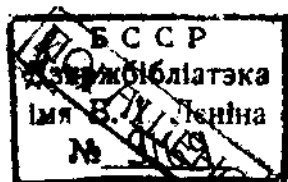
ПОЛУШЕНО



ВНТИ СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ

ГОССТРОЙИЗДАТ
МОСКВА 1988 ЛЕНИНГРАД



Настоящий труд представляет лишь первый этап проводимой автором работы по исследованию вопросов естественного освещения промышленных зданий, а именно этап, охватывающий в основном анализ и систематизацию имеющегося материала по указанному вопросу.

Проведенные автором за 1932—1933 год широкие фотометрические исследования естественного освещения в ряде литейных, кузнечных и механо-сборочных цехов—дали возможность не только оправдать, развить и углубить ряд высказанных в этой работе положений, но и создать, при участии ряда специалистов, прилагаемый ниже проект новых норм по естественному освещению.

Результаты исследований на предприятиях вместе с конкретными выводами применительно к каждому из вышеназванных цехов будут опубликованы в ближайшее время в периодической печати.

Автор.

1966 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Общее состояние проблемы естественного освещения	3
II. Световой климат	7
III. Биологическое значение света	9
IV. Экономика освещения	13
V. Расчет освещенности естественным светом	18
VI. Проектирование освещения	36
VII. Эксплуатация естественного освещения	59
VIII. Нормирование освещения	62
Приложение.	
Проект норм естественного освещения рабочих помещений промышленных зданий	70

I. ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В условиях нашего гигантского промышленного строительства проблема освещения имеет громадное теоретическое и практическое значение.

Однако до настоящего времени только отдельные стороны этой проблемы можно считать достаточно разработанными. И надо отметить, что световая техника часто не дает исчерпывающего ответа на многие поставленные практикой строительства вопросы.

Разнообразие производственных условий, обилие типов машин, различных характер построек, наличие своеобразных навыков и приемов работы — все это заставляет почти в каждом отдельном случае искать особых методов освещения, нередко весьма элементарных на первый взгляд.

Эта кажущаяся элементарность решения задачи освещения наряду с недоучетом экономики освещения привели к тому, что вопросы освещенности промазаний естественным светом решаются „на-глазок“, на основе неверных по существу мнемонических правил, а не на основе научного исследования и проектирования. Настоящая брошюра излагает ряд методов, позволяющих без особых затруднений проектировать освещенность естественным светом.

Для облегчения непосредственного доступа естественного света в помещение необходимо часть ограждающих стен и перекрытий оформлять в виде проемов (отверстий) или применять при оформлении здания прозрачные светопропускающие плоскости из различных видов стекла, а также из стеклянного кирпича (стеклобетона).

Можно установить следующие функции окна:

- а) светотехнические (источник освещения),
- б) естественной вентиляции,
- в) подсобно-обслуживающие (интерьер, связь с улицей и т. д.).

Удовлетворить этим трем основным требованиям — значит решить в основном вопрос о рациональных светопроемах в промазании.

Но проблема правильного решения светового проема в целом кроме указанных факторов подчинена еще одному — экономике. Последняя вносит значительные коррективы в методы решения светового проема. Экономика освещения помещений естественным светом заставляет архитектора подходить к выбору светового проема с точки зрения необходимости его проектирования.

Наша практическая задача — обеспечение помещений естественным светом — должна сводиться к снабжению помещений таким количеством света, которое, будучи оправдано с точки

зрения санитарно-гигиенической, не противоречило бы экономической целесообразности.

Существовавшие до настоящего времени нормы по искусственному освещению (в люксах) и по естественному освещению (в процентах остекленной поверхности к площади пола) чрезвычайно мало пригодны для решения задачи правильного естественного освещения. В самом деле, применяя для естественного освещения нормы искусственного освещения, увеличенные согласно „Американскому кодексу по освещению“ в три раза, мы наталкиваемся на крайнее их разнообразие (табл. 1).

Нормы осв

Виды работ	Американские		Немецкие		Сиротинский		Гальбер- там
	мин.	реком.	мин.	реком.	общее освещ.	рабочая поверхн.	
1. Особо тонкая работа, требующая рассмотрения мелких деталей . .	54	108—215	45	81—225	45—55	90—135	100—150
2. Тонкие работы	33	54—108	27	54— 81	36—45	55— 90	70—100
3. Средние работы	22	54—108	18	36— 54	25—35	45— 55	50— 60
4. Грубые работы	11	22— 54	9	14— 27	15—30	—	20— 40
5. Входы, выходы, лестницы .	3,4	22— 54	1,8	45— 14	—	—	—
6. Складские помещения . . .	2,7	11— 22	0,54	18— 45	—	—	10
7. Дороги, дворы	0,22	0,5— 2,5	0,18	0,45— 18	—	—	—

Геометрические же нормы (т. е. отношение площади стекла к площади пола) подходят исключительно для определенных условий, так как они совершенно не отражают ни места расположения здания, ни затемнения переплетами, ни расположения и формы проема.

Благодаря всему этому возникли тенденции, с одной стороны, к сплошным застеклениям, и с другой стороны, к зданиям без окон.

Грубые ошибки в проектировании верхнего освещения в Сельмашстрое, Дома печати в Сталинабаде—все это не единичные явления, а следствие нашей косности, нашего нежелания подойти к проектированию освещения так же, как мы подходим к проектированию конструкций и оболочки зданий.

Изучение естественного освещения заводов сельскохозяйственного машиностроения¹ показало, что благодаря неправильному использованию световых проемов (применение двускатных фонарей, пропускающих большое количество прямых лучей, применение прозрачных обыкновенных стекол) освещенность помещений до-

¹ Проведенное Северокавказским институтом труда и профзаболеваний.

стигала в отдельных местах несколько десятков тысяч лк, что в связи с наблюдавшейся резкой неравномерностью освещенности крайне вредно действовало на зрение рабочего и на производительность труда.

Это заставило управление Сельмашстроя окрасить все стекла световых фонарей матовой серой краской, что при периодическом подновлении (так как краска смывалась дождем) дало максимальную освещаемость 800 лк, а среднюю — 400 лк (средний коэффициент естественного освещения — около 2,5%). До окрашивания же коэффициент естественного освещения в самой темной точке был около 7%.

Таблица 1

щения

Влок		Ветцель		Ц. эл. совет		Научно-исслед. Гр. ЛГО реком.	Гофман		
до-пуск.	реком.	реком.	мин.	допуск.	реком.		мин.	Макс.	реком.
60	120—180	100—120	60—160	25—50	50—100	60—100	120	—	215
35	50—100	80	50—100	20—30	30—60	30—60	40	—	53—107
25	35—70	60	40—80	15—20	20—30	30	—	—	—
15	20—50	40	30—60	15	—	15	10—7	—	21—53
3	9—25	20	10—40	—	—	10	3	6	—
3	6—12	20	15—30	—	3	10	2,7	—	10—21
0,3	0,6—3	—	—	—	2	2	0,54	2,7	—

Переходя к вопросу об использовании искусственного освещения в вечернее время, мы должны констатировать, что освещенность, создаваемая источниками искусственного освещения, в помещениях с большими остеклениями, будет значительно меньше, чем при наличии стен, окрашенных в светлые тона, так как в первом случае пропадает та часть света, которая отражается от стек. Эта часть света идет на освещение улицы точно так же, как излишне затрачиваемое, при больших остеклениях, тепло идет на отопление улицы. Последнее обстоятельство дало повод называть здания с чрезмерными остеклениями железобетонными светильниками и печами улицы.

С этой точки зрения совершенно непонятными являются стремления некоторых архитекторов к окраске стен и потолков помещения в темные тона и даже в черный цвет. Рассуждения о создании „глубины пространства и настроения“ путем применения конгломерата темных тонов являются совершенно неоправданными. Наоборот, надо всячески использовать отражательные свойства стен, потолков и конечно полов, учитывая, что при этом можно добиться не только значительного увеличения освещенности, но и улучшения равномерности освещения.

Изложенного достаточно для характеристики важности поднятого здесь вопроса, если принять к тому же во внимание влияние хорошо организованного освещения на производительность труда, на количество несчастных случаев в производстве и на сроки изнашивания человеческого организма.

Таблица 2

Освещенность в лк	Производительность труда в %
1. Работа в мастерских шарикоподшипников	
60	100
72	104
156	108
240	112
2. Работа в мастерских железных шкивов	
24	100
58	120
3. Работа в мастерской вкладышей подшипников	
55	110
152	115

Практика многих опытов и наблюдений, произведенных на различных американских фабриках и заводах, дает следующую зависимость производительности труда от освещенности (табл. 2).

Таким образом был установлен факт значительного увеличения производительности труда при хорошей организации освещения производственных

помещений, причем следует отметить, что рост производительности труда был тем больше, чем мельче и тоньше была самая работа, т. е. чем большего напряжения зрения она требовала.

Эти наблюдения показали, что увеличение производительности по отдельным цехам рисуется так:

Полировка металла	24 %
Обрезка	27 %
Вальцовка	9 %
Сборка	8 %

С другой стороны неправильное или недостаточно организованное освещение часто является причиной многочисленных несчастных случаев на производстве. Так, расследование причин несчастных случаев в Америке показало, что из 90 000 случаев 24 000, т. е. 26,8%, произошли именно вследствие плохого освещения.

Архитектор должен быть достаточно широко образован технически, чтобы правильно использовать специалистов по санитарной гигиене. Именно ему надлежит решать указанные вопросы, все время имея в виду весь комплекс здания в целом. И здесь-то знание основ светотехники и преломление последней в строительной практике для него являются обязательными. Это тем более необходимо, что если отдельные работы по оформлению здания дают возможность в процессе эксплуатации корректировать и исправлять сделанные ошибки, то в отношении световых проемов, после окончания постройки, исправления возможны лишь при весьма крупных затратах.

Для полного научного разрешения поставленной проблемы надо изучить самый источник естественного освещения — световой климат. Последний по сравнению с источниками искусственного освещения имеет ту особенность, что мы не можем им управлять, а должны к нему приспособляться, максимально его используя.

Отсюда вытекает необходимость установления и фиксации светового климата как средства для правильных световых расчетов и проектирования.

Проделанная проф. Калитиним большая семилетняя работа по установлению светового климата Ленинграда (Слущка), зафиксированная в виде диаграмм, представленных ниже, дает указания об освещенности горизонтальной площадки на открытом месте. По этим диаграммам можно производить уже сравнительно точные световые расчеты.

Говоря о связи помещений с внешним пространством, необходимо сразу же установить разницу между значением этого фактора для производственных и общественно-гражданских помещений.

В производственных помещениях, фиксируемое окном, ощущение непосредственной связи с внешним пространством не является необходимым. Наоборот, в помещениях жилых (школах, больницах и т. п.) фактор психологической связи с внешним миром играет столь значительную роль, что вырастает необходимость его нормирования.

II. СВЕТОВОЙ КЛИМАТ

Мы уже упоминали о том, что для достижения достаточной правильности расчетов надо знать источник света, т. е. световой климат. Последний для разных областей Союза будет конечно различным и естественно, что использование нами немногих данных, которые пока имеются, может дать весьма приближенный ответ на вопрос о правильном и рациональном решении освещения.

Надо отметить, что построенные проф. Калитиним диаграммы касаются главным образом рассеянного (диффузного) света, т. е. того света, который мы и кладем в основу наших расчетов. Приводимые диаграммы указывают на то, что наибольшая яркость неба падает на июль и февраль; последнее обстоятельство объясняется исключительно большой отражательной способностью снега.

Освещенность рассеянным светом при безоблачном небе будет тем больше, чем выше солнце. Большое влияние на величину освещенности земной поверхности оказывает вид этой поверхности (трава, песок, вода, снежный покров), так как солнечная и рассеянная радиация, достигнув земной поверхности, отчасти отразится от нее вверх и, вторично рассеявшись атмосферой и достигнув земли, увеличат первоначальную освещенность.

Приводимая табл. 3 дает среднюю освещенность рассеянным светом для различных высот солнца, при наличии растительного и снегового покровов.

Из таблицы видно, как сильно увеличивает освещенность наличие снегового покрова, особенно при небольших высотах солнца.

Здесь имелась в виду средняя прозрачность атмосферы. Пределы колебания освещенности в зависимости от прозрачности атмосферы незначительны и поэтому практического интереса не представляют.

В случае облачного неба освещенность рассеянным светом атмосферы может меняться в больших пределах в зависимости от

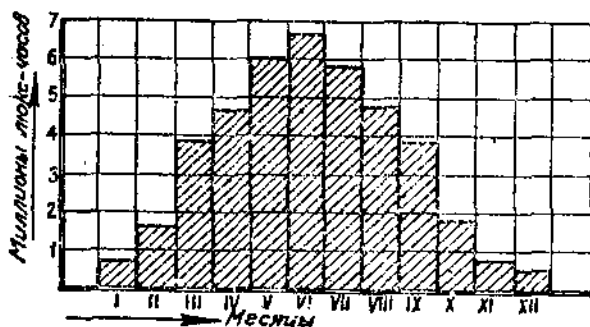
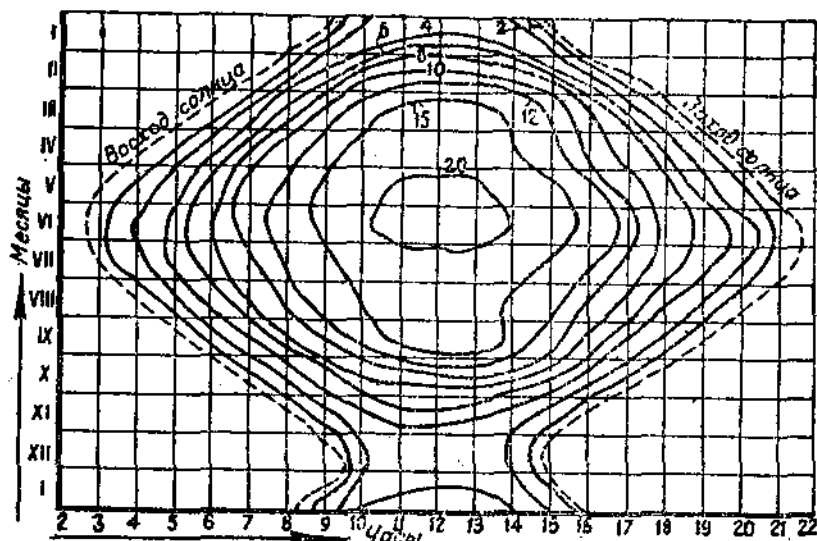
Освещенность в 1000 лм для безоблачного неба

Высота солнца	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
Без снега	0,5	2,7	4,6	6,1	7,9	8,4	9,5	10,6	11,6	12,6	13,6	14,5
Со снегом	1,6	4,6	5,8	7,2	8,5	9,6	10,8	11,9	12,9	14,0	14,9	15,9

количества облаков, их распределения на небосводе и высоты солнца.

Вследствие этого состояние небосвода по облачности было разбито на 3 группы:

- 1 группа { 1) безоблачно;
2) облака перистые и перисто-слоистые;
3) " " и кучевые;



Фиг. 1. Кривые горизонтальной освещенности (кривые в тыс. лм) и график светового климата Слудца.

- 2 группа { 4) облака высококучевые
5) " слоисто-кучевые
6) " кучево-дождевые
- 3 группа { 7) " высокослоистые
8) " кучевые
9) " слоистые
10) " дождевые

При некоторой облачности освещенность увеличивается против безоблачного неба от 14 до 60%.

Таблица 4

Горизонтальная освещенность рассеянным светом атмосферы (в тысячах люксов)

Месяцы Часы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0—1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1—2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2—3	—	—	—	—	—	0,2	0,1	—	—	—	—	—
3—4	—	—	—	—	0,4	1,3	0,8	0,1	—	—	—	—
4—5	—	—	—	0,3	1,9	3,5	2,8	0,8	0,1	—	—	—
5—6	—	—	0,15	1,9	4,5	6,7	5,7	2,9	0,7	—	—	—
6—7	—	0,03	1,3	4,8	7,9	9,9	8,4	6,1	2,7	0,3	—	—
7—8	—	0,6	4,3	8,1	11,5	12,3	10,6	9,6	5,4	1,6	0,2	—
8—9	0,4	2,8	8,1	11,8	14,4	14,4	13,2	11,9	9,1	3,8	1,0	0,1
9—10	1,7	6,0	11,9	14,9	16,8	17,2	14,4	13,7	12,9	6,3	2,7	1,0
10—11	3,2	9,4	15,3	17,6	19,7	21,0	17,1	16,3	15,6	8,3	4,5	2,4
11—12	4,6	11,7	17,2	19,2	21,9	21,1	17,5	18,5	17,3	9,1	5,4	3,4
12—13	4,7	11,0	17,4	18,0	20,9	22,3	17,5	18,2	16,7	8,5	5,2	3,4
13—14	3,6	9,3	16,0	16,3	19,9	20,9	16,4	15,6	15,8	7,7	3,8	2,4
14—15	1,9	6,5	13,4	13,6	16,6	18,3	15,6	14,1	13,1	5,9	2,1	1,0
15—16	0,3	3,3	9,4	10,8	14,4	15,2	13,2	11,5	9,8	3,4	0,7	0,1
16—17	0,02	0,8	4,9	7,7	10,3	11,8	10,8	8,6	6,3	1,3	0,1	—
17—18	—	0,04	1,7	4,6	6,9	8,9	8,5	5,9	3,1	0,2	—	—
18—19	—	—	0,2	1,9	4,2	6,5	5,8	3,2	0,8	—	—	—
19—20	—	—	—	0,3	1,6	3,9	3,2	1,1	0,1	—	—	—
20—21	—	—	—	—	0,5	1,6	1,1	0,1	—	—	—	—
21—22	—	—	—	—	0,03	0,3	0,1	—	—	—	—	—
22—23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23—24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Значительно большое влияние, как мы уже отметили, оказывает отражательная способность земной поверхности.

III. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СВЕТА

„Освещение естественным светом не оправдывает себя ни экономически, ввиду своей высокой стоимости, ни светотехнически, вследствие отсутствия достаточной равномерности, а иногда и интенсивности (в многоэтажных промышленных зданиях). К этому следует

прибавить еще и трудность регулирования естественной вентиляции при наличии открывающихся оконных переплетов ¹.

В самом деле, даже идеальное устройство световых проемов дает крайне непостоянную интенсивность освещения в течение дня, которая зависит не только от наружной освещенности, но и от вида остекления и условий его эксплуатации.

Указанные факторы (по американским данным) крайне вредно отражаются на зрении и нервной системе рабочего и ведут к уменьшению производительности труда. Опыты показали, что устранение упомянутых причин повышает производительность труда примерно до 25—30% (в текстильных фабриках).

Кроме того по мнению американцев высокая звукопроницаемость и вибрация остекленных поверхностей, а также „биологическая тьма“, которая создается благодаря непропусканию оконным стеклом ультрафиолетовых лучей солнечного спектра, подтверждают необходимость отказаться от естественного освещения в ряде помещений.

В СССР среди некоторых групп светотехников также получила довольно широкое распространение точка зрения, что в промышленных предприятиях можно обойтись без естественного освещения, заменив его искусственным. Так, инж. Розанов, утверждая, что современное стремление архитекторов дать максимум остекления основывается только на композиционных устремлениях современной архитектуры (совершенно не учитывающих потребностей эксплуатации), ставит вопрос о пересмотре подобного подхода к строительству ².

Эксплуатационные расходы по его мнению являются основным критерием при проектировании, так как экономические выгоды при минимальных эксплуатационных расходах являются настолько значительными, что в результате перекрывают экономию единовременных затрат при постройке зданий.

Он указывает, что неэкономичная ширина многоэтажных зданий (шах. 3-кратное заложение), вместе с необходимым увеличением высоты их, увеличивает теплопотери при больших остеклениях и расходы на обслуживание и ремонт остекленных поверхностей.

Все это ставит под сомнение вопрос о целесообразности применения остекления, тем более, что и биологическая ценность естественного освещения, по мнению инж. Розанова, весьма сомнительна.

Инж. Розанов считает, что в промышленных и гражданских зданиях, где двойное остекление задерживает ультрафиолетовые лучи, лишая таким образом находящихся в помещениях людей жизненной энергии солнца, создается „биологическая тьма“, которая впрочем имеет место и при обычном искусственном освещении (стекла лампочек и колпаков играют ту же роль, что и оконные стекла).

Так как окна в текстильной фабрике для вентиляции использованы быть не могут (вследствие необходимости иметь определенную влажность в помещении), то решение освещения в тек-

¹ Статья инж. Гурвича в журн. „Новая техника“, июнь, 1931 г.

² „Вестник инженеров и техников“ № 5, 1930 г.

стильных фабриках для инж. Розанова — вопрос чистой экономики.

Экономика инж. Розанова (опровергнутая на Всесоюзной конференции по естественному освещению)¹ привела его к предложению строить здания без окон.

Таким образом, естественно, возникает вопрос: в какой мере в обстановке заводского труда нужен дневной свет? В какой мере нужны оконные отверстия в заводских зданиях? „Ведь в наших северных широтах, — говорит светотехник Тоходеев, — в самом благоприятном случае выполнения естественного освещения, при самом близком расстоянии от окна, при введении 2-сменной работы приходится в течение 15% рабочего времени применять искусственный свет“.

Если, с другой стороны, учесть то обстоятельство, что современное искусственное освещение в отношении распределения света и постоянства его величины дает лучшую освещенность, чем освещенность естественным светом, то станет ясным, почему на Всесоюзной конференции встал вопрос о пересмотре установки на максимальную освещенность естественным светом атмосферы. В противоположность указанной точке зрения В. А. Левицкий в своей статье² утверждает, на основе ряда опытов и наблюдений над животным миром, что недостаток света — этого могучего биологического фактора — должен резко сказаться на жизни организма. Он утверждает, что наблюдения показывают понижение тонуса всех функций при недостаточном естественном освещении. Так например, производительность труда рабочих при переходе от дневного к искусственному вечернему освещению уменьшается на 10—12%.

Он ссылается на тот факт, что американцы-предприниматели смотрят на свет в промышленных условиях как на капитал, дающий большие проценты, благодаря увеличивающейся производительности труда рабочего.

Кроме того недостаток естественного света вызывает специфический дефект в питании всего организма (световой фактор является своеобразным источником питания). Если учесть далее, что биологически привычное количество световой энергии, потребной для организма, очень велико, то станет ясным, что существующие в настоящее время самые совершенные системы искусственного света не могут даже приблизиться к мощности солнечного света.

О том же говорил и проф. Койранский в своем докладе на Всесоюзной конференции по естественному освещению с той лишь разницей, что, говоря о биологическом значении естественного света, он обращал внимание на то, что рассеянный свет атмосферы, ввиду большого содержания лучей с короткими волнами, биологически лучше непосредственного солнечного света.

Отсюда проф. Койранский делает следующие выводы:

1. Строительство надо вести на основании принципа максимального непосредственного доступа естественного света в каждый угол рабочего помещения.

¹ Труды 1 Всесоюзной Конференции по ест. освещ., выпуск 2.

² Журн. „Профессиональная патология и гигиена“, книга 1, 1928 г.

2. Только максимальное естественное освещение может дать максимум активности и производительности труда.

Подобные крайние, исключаящие друг друга, установки были вынесены на I Всесоюзную конференцию по естественному освещению, где подверглись строгой критике, сущность которой в общем сводилась к следующему:

Ввиду того, что гигиенические превосходства естественного освещения (вследствие запыленности воздуха и биологической непроницаемости стекол) явно преувеличены и это преувеличение исходит в основном из механического перенесения результатов наблюдения над влиянием освещенности естественным светом на физиологию животных и растений, установки проф. Койранского и Левицкого следует считать недостаточно правильными. Не отрицая большого биологического значения естественного освещения, было бы неправильно слепо следовать выставляемому ими принципу максимального остекления. Мы уже видели, к чему это привело строителей Сельмашстроя. Такая же участь ожидает и все те новые постройки, в которых чрезмерные — исключительно фасадные — остекления оправдываются главным образом эстетическими соображениями. Характерные примеры подобных решений: постройка дома ВЭО в Лефортове (Москва) и постройка клуба в Алма-Ате¹.

Сплошное восьмэтажное остекление дома ВЭО является прототипом „железобетонных печей и светильников“. В самом деле, помимо единовременной экономической нецелесообразности, конторские помещения ВЭО будут в такой степени подвержены воздействию инсоляции летом и охлаждению зимой, что при наличии даже хороших вентиляционных и отопительных устройств, а также и штор — создадутся крайне неблагоприятные условия работы в течение дня (трудность регулирования инсоляции и охлаждения).

Клуб в Алма-Ате характерен тем, что автор проекта не учел при проектировании светового климата местности. В самом деле, при высокой яркости неба, учитывая чрезвычайно сильную инсоляцию, введение большего остекления никак не оправдывается.

В этом отношении строители Ферганской текстильной фабрики, взявшие курс на минимально возможное остекление и его правильную ориентацию, были на верном пути.

Указанный априоризм и механические установки в подходе к проблеме дневного света обусловили не только чрезвычайно повышенные требования к естественному освещению (даже в подсобных помещениях, как-то: склады, раздевальные, душевые, курительные, умывальные), но и создали незаслуженно отрицательное отношение к возможности использования смешанного и искусственного освещений.

Так как высокие санитарно-гигиенические условия в рабочем помещении зависят не только от количества доставляемого в помещение света, но и от его рационального распределения в помещении, то естественно, что лозунг проф. Койранского „только максимум естественного света даст максимум активности и производительности“ следует корректировать так: „только высоко организованное освещение даст максимум активности и производительности труда“.

Здесь мы нарочито не дифференцировали освещение на естествен-

¹ „Строительство Москвы“ № 6 1931 г.

ное и искусственное, так как практика работы вечерних смен¹ при хорошо организованном освещении, а также отсутствие каких-либо научных изысканий в области биологической и гигиенической оценки смешанного и искусственного освещения дают повод ставить вопрос о применении в отдельных случаях искусственного освещения в подсобных помещениях (склады, уборные, душевые, раздевальные, умывальные, курительные) и смешанного (искусственное плюс естественное) — в рабочих.

IV. ЭКОНОМИКА ОСВЕЩЕНИЯ

На первый взгляд экономика светового хозяйства резко подразделяется на экономику освещения искусственного и естественного, однако, как мы увидим далее, эта надуманная дифференциация при первом же анализе совершенно стирается.

Солнечная энергия бесплатна, но эксплуатация ее и доставка в помещение обходятся достаточно дорого. Расходы на естественное освещение могут быть разбиты на: а) единовременные (в виде стоимости оформления световых проемов) и б) эксплуатационные (уход за остекленными поверхностями, ремонт и отопление).

По существу единовременных расходов автором были произведены подсчеты. При этом в зависимости от формы окна были получены следующие цифры стоимости 1 м² остекления:

а) для горизонтальных (лежащих) окон — 44 р. 50 к.,

б) для квадратных окон — 33 р. 45 к.

Основной составляющей эксплуатационных расходов являются расходы, связанные с отоплением помещения зимой, ввиду значительного охлаждения его через остекленные поверхности².

Результаты расчетов, проведенных ЦНИПО, показывают, что в климатических условиях Московской области годовая затрата топлива на 1 м² стены составляет 1 р. 65 к., а на 1 м² остекления — 1 р. 07 к.

Далее из данных Stiegler, приведенных на фиг. 2, видно, насколько увеличивается охлаждение помещения через остекленные поверхности по сравнению со стеной, при отсутствии и при наличии среднего ветра. Потери тепла через окна (по Stiegler), принимаемая за 100%, теплопотери через кирпичную стену толщиной 38 см, составляют: фиг. А (для одинарного остекления): при отсутствии ветра 1 м² окна теряет 340%, при среднем ветре 1 м² окна теряет 830%, фиг. В (для двойного остекления): при отсутствии ветра 1 м² окна теряет 140%; при среднем ветре 590%.

Подобная же задача, определение стоимости освещения, была поставлена в свое время в Соединенных штатах Америки Luckisch и Halladay, которые дали экономику светового хозяйства помещений жилых, конторских и картинных галлерей³.

¹ Данные из доклада Института охраны труда на конференции по естественному освещению.

² Коэффициент теплопроводности: для двойного остекления — 2,3; для стен — 0,80; для теплых покрытий — 0,50—0,70.

³ M. Luckisch and L. L. Halladay, The cost of Daylight Illum. Eng. Soc. Transactions, vol. XVIII, № 2.

Относя все приведенные ниже величины к 1 м^2 площади помещения, Luskisch и Halladaу указывают, что суммарные расходы, складывающиеся из единовременных расходов по оформлению установок для естественного и искусственного освещения, колеблются в пределах 10—70 руб. (последняя цифра для картинной галлерей с верхним светом). При этом единовременные начальные расходы по оформлению светопроемов естественного освещения колеблются в пределах 7—45 руб., составляя таким образом 40—70% от общих расходов.

Ежегодные суммарные расходы по эксплуатации установок естественного и искусственного освещения составляют 2—10 руб. (последняя цифра для той же картинной галлерей). Ежегодные же расходы, связанные с одним естественным освещением, колеблются в пределах 1—5 руб., составляя следовательно 30—60% от общих ежегодных расходов¹.

Изложенного выше достаточно для того, чтобы понять, что пользование естественным освещением влечет за собой расходы, приблизительно равные по величине стоимости искусственного освещения.

Надо при этом отметить, что экономическая сторона искусственного освещения всегда учитывается при проектировании; экономика же освещения естественного находится еще под спудом.

Наша задача — подойти к экономике естественного освещения так, чтобы спроектированное качественно и количественно высокое освещение не противоречило ни требованиям рационального строительства, ни требованиям гигиены.

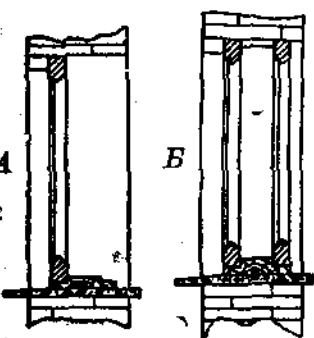
Естественно, что расходы по оформлению установки естественного освещения увеличиваются с увеличением степени остекления, и следовательно будут тем больше, чем больше относительная площадь застекления. А. А. Гершун¹ поставил задачу определения таких условий естественного освещения, при которых суммарные расходы, связанные с потребностью в освещении, являются минимальными.

Дифференцируя единовременные расходы по оборудованию освещения O_0 на:

- а) стоимость установки искусственного освещения — U_0 ,
- б) стоимость установки естественного освещения E_0 , имеем:

$$O_0 = U_0 + E_0.$$

При этом слагаемое U_0 определяется стоимостью осветительной сети со светильником, а также и начальными расходами по питающим устройствам (например собственная электростанция), а слагаемое E_0 суммируется из следующих расходных статей.



Фиг. 2. Потери тепла через окна.

¹ „Труды ГОИ“, т. VI, вып. LVIII.

1. Стоимость дополнительной земельной площади, необходимой для обеспечения достаточного проникновения света через световые отверстия (например стоимость участков земли, занимаемых световыми дворами). В наших условиях стоимость земельных участков может быть оценена по их экономическому значению (затраты, связанные с очисткой участка, коммунальными устройствами и т. п.).

2. Разница в стоимости остекленной поверхности и глухой стены (или кровли).

3. Стоимость штор, занавесей и тому подобных устройств, препятствующих проникновению прямых солнечных лучей в помещение.

При отсутствии же штор необходимо учесть расходы, вызываемые понижением коэффициента использования установки искусственного освещения при наличии световых отверстий.

4. Стоимость дополнительного отопительного устройства, необходимого вследствие повышенного коэффициента теплопроводности остекления (2,3) против глухой стены (0,80) или крыши (0,50—0,70).

5. Разница в стоимости вентиляционных устройств.

Переходя к ежегодным расходам на освещение, т. е. к затратам по эксплуатации и амортизации осветительной установки, мы по аналогии можем разбить их на расходы:

U — по искусственному освещению и

E — по естественному освещению.

Таким образом имеем, что суммарные годовые затраты по эксплуатации составят

$$O = U + E. \quad (1)$$

При этом величина E в свою очередь суммируется из следующих компонентов:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4,$$

где E_1 — проценты на дополнительно затраченные средства (на установку естественного освещения) и дополнительные ежегодные расходы по амортизации,

E_2 — стоимость топлива в год,

E_3 — стоимость ухода за световыми отверстиями (очистка, шторы, окраска),

E_4 — ежегодная стоимость замены разбитых стекол.

В свою очередь искусственное освещение по аналогии с естественным дифференцируется по тем же расходным статьям.

В начале этой главы мы уже приводили величины различных групп расходов, причем видели, что эти величины такого порядка, что проходить мимо них, особенно в наше время жесткой экономии, было бы грубой ошибкой.

И если некоторые проектировщики считают достижением применение на 8 этажах сплошного остекления¹, то происходит это в силу недоучета указанных выше обстоятельств. В самом деле, заменив остекленные поверхности в каждом этаже метровыми по высоте подоконниками, что не сказалось бы на освещении помещения, можно было бы не только снизить на 20—25% еди-

¹ „Строительство Москвы“ № 6, за 1931 г.

временные расходы (за счет разницы стоимости остекления и стены), но и значительно сократить эксплуатационные расходы¹.

Посмотрим теперь, как изменяются суммарные ежегодные осветительные расходы в зависимости от степени застекления помещения. Ясно, что годовое число часов горения электрических ламп зависит от степени застекления. В свою очередь увеличение площади застекления влечет за собой увеличение компонента E в уравнении (1). Поэтому трудно а priori предсказать, что же является более выгодным. А. А. Гершун наметил путь к определению экономически оптимальной площади застекления².

Им построены 4 кривые, соответствующие оптимальной в экономическом отношении относительной площади застекления (фиг. 3, 4, 5 и 6).

Кривые Гершуна относятся к фабрично-заводскому помещению, освещаемому боковыми окнами, выходящими на совершенно открытое место. Рассмотрены случаи односменного, двухсменного и трехсменного предприятий. Расчеты производились на основе данных проф. Н. Н. Калитина о световом климате. Величина требуемой освещенности была 50 и 100 лк. Расчет произведен для двух тарифов на электрическую энергию:

$$k_1 = 18 \text{ коп. (квт-ч)}$$

$$k_2 = 4 \text{ " " "}$$

Сумма ежегодных расходов, приходящихся на 1 м² площади светового отверстия, была принята равной 6 руб. Из графиков видно, что по мере увеличения

$$S_0 = \frac{f_0}{f_n},$$

где f_0 — площадь окна, f_n — площадь пола, ежегодные расходы на освещение быстро растут.

Так например, при двухсменной работе, при требуемой освещенности в 50 лк, при относительном остеклении в 15% (что применимо для большинства гражданских и даже производственных помещений) ежегодные расходы на освещение $O = U + E$ составляют при тарифе 4 коп. (киловатт-час) 2 р. 30 к. на 1 м² площади пола.

При увеличении остекления до 35%³, что в наших условиях встречается весьма часто, эти ежегодные расходы составляют уже 3 р. 40 к. (т. е. повышаются на 32%). Детальное рассмотрение приводимых здесь кривых дает возможность сделать следующие выводы.

1. Для каждого конкретного случая можно и следует находить экономически оптимальную площадь застекления.

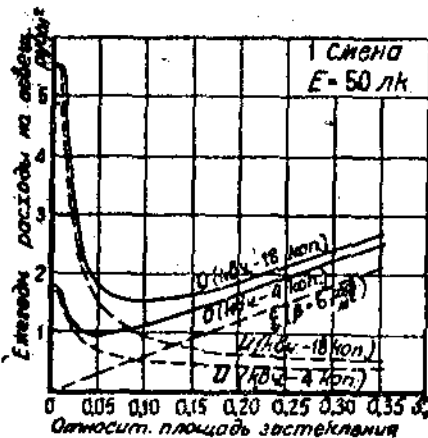
2. Требования экономического решения остекления не расходятся с санитарно-гигиеническими требованиями.

3. Уменьшение относительных площадей застекления ниже экономически целесообразных величин совершенно недопустимо.

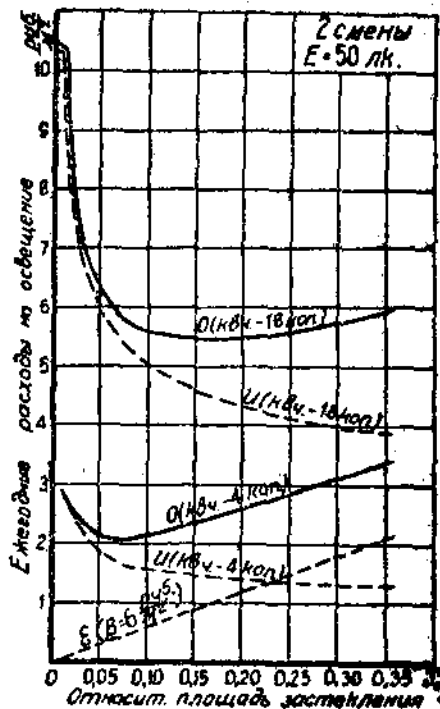
¹ См. график Гершуна в Трудах ГОИ.

² Труды ГОИ, т. вып. LVIII.

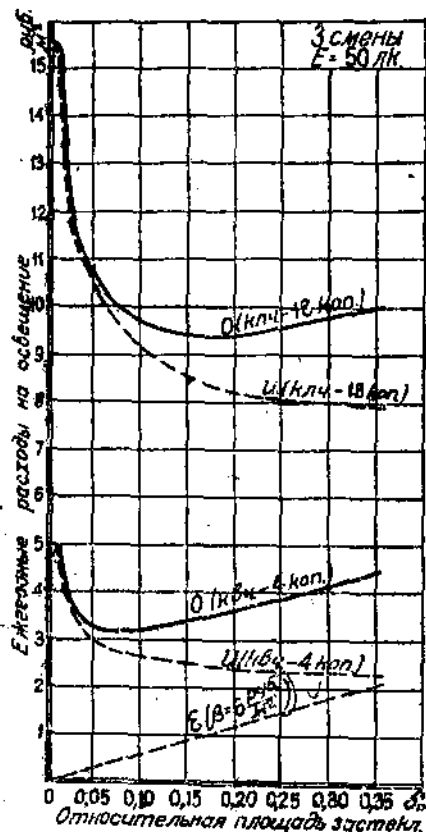
³ В доме ВЭО относительная площадь застекления около 40%.



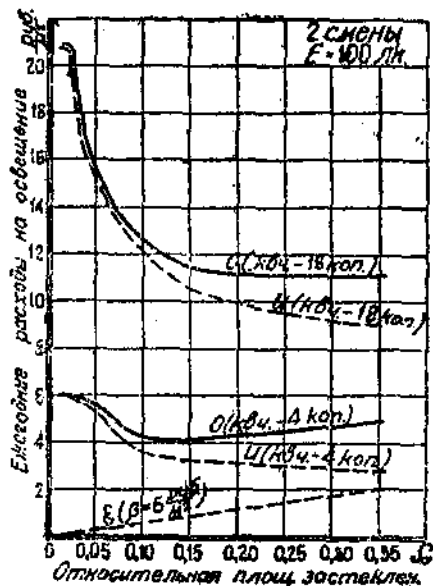
Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

4. Значительные превышения экономически оптимальных относительных площадей остекления крайне невыгодны.

5. Переход на многосменную работу, снижающую на первый взгляд значение естественного освещения, на самом деле требует повышения относительных площадей застекления.

V. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫМ СВЕТОМ

Для усвоения основных принципов световых расчетов познакомимся с рядом светотехнических понятий.

Международный конгресс по освещению установил нижеследующие фотометрические единицы.

Световой поток — мощность (сумма световой энергии), оцениваемая по производимому ею ощущению. Световой поток представляет собой количество света, даваемого источником в определенный промежуток времени. Единицей светового потока является люмен — поток света, который подается точечным источником света силой в 1 международную свечу, в телесном угле, равном единице. Величину светового потока обычно обозначают через F . Световая энергия представляет в общем случае интеграл по времени от светового потока. Световую энергию удобно измерять в люмен-часах, причем под этим термином мы понимаем световую энергию в 1 час, при неизменном световом потоке в 1 люмен.

Величину световой энергии обозначают обычно через L . Как мы видим, здесь может быть проведена аналогия с законами течения воды, причем количество расходуемой в течение некоторого времени воды соответствует световой энергии, а количество воды, протекающей через поперечное сечение трубопровода в единицу времени (секунду), соответствует единице светового потока (люмен-секунда).

Предположим теперь, что на малую площадку f падает световой поток F . Считая, что световой поток распределяется по площадке достаточно равномерно, мы имеем как бы „световую напряженность“ площадки

$$E = \frac{F}{f}. \quad (2)$$

Эта световая напряженность, характеризующая плотность падающего светового потока, называется освещенностью. И так, освещенность равна световому потоку, деленному на площадь, по которой поток распределяется.

И так как F выражается в люменах, а f в квадратных сантиметрах, то $E = \frac{\text{люмен}}{\text{см}^2}$.

Эта единица называется фот. Ввиду большой величины фота практической единицей служит $\frac{1}{10000}$ часть фота, называемая люксом.

Следовательно люкс есть освещенность площадки $f = 1 \text{ м}^2$ световым потоком, равным 1 люмену.

Величина, аналогичная освещенности, выражающаяся также

световым потоком, приходящимся только на единицу излучающей поверхности, называется светимостью (напряжение, плотность свечения).

Считая излучающийся световой поток равномерно распределенным по излучающей свет площадке, находим, что светимость измеряется в тех же единицах, что и освещенность, т. е. в фотах и люксах ¹.

Светимостью в 1 лк обладает равномерно светящаяся площадка (поверхность), которая излучает с одной стороны по всем направлениям световой поток в 1 люмен с площади 1 м².

Формула (2) дает также такое толкование: светимость есть отношение равномерно излучаемого какой-либо поверхностью светового потока к величине этой поверхности. Предполагая, что источник света находится на большом расстоянии, мы можем его принимать за точку и считать, что лучистая энергия распределяется вдоль лучей, исходящих из данной точки. Пусть источник света, находясь в вершине малого телесного угла ω , посылает световой поток F , так что в единицу времени через любое сечение угла проходит одна и та же световая энергия F . Беря угол ω весьма малым и считая распределение светового потока (его плотность) внутри данного телесного угла равномерным, можно считать, что:

$$F = I_{\omega},$$

где I_{ω} есть некоторый коэффициент, характеризующий угловую плотность светового потока и называемый силой света источника в данном направлении.

Итак, сила света точечного источника в данном направлении есть световой поток, излучаемый им внутри телесного угла в том же направлении.

Под телесным углом понимается угол (характеризующий величину пространства, заключенного внутри конической поверхности с вершиной в светящейся точке), измеряемый отношением площади участка, вырезаемого данной конической поверхностью из сферы, к квадрату радиуса этой сферы (фиг. 7), т. е. $\omega = \frac{S}{r^2}$. Полагаем те-

перь, что площадь вырезанного участка сферы S равна квадрату радиуса этой сферы, т. е. $S = r^2$, тогда телесный угол ω будет называться стерadianом.

Если телесный угол измеряется в стерadianах, а световой поток в люменах, то величина I (сила света) измеряется в свечах.

Таким образом силой света в 1 свечу обладает равномерно излучающий во все стороны источник света, посылающий в телесном угле в 1 стерadian световой поток в 1 люмен.

Сила света I , характеризующая угловую плотность светового потока, в случае значительных телесных углов представляет следовательно отношение светового потока к телесному углу ω ,

¹ Обозначение единиц светимости по Гершуку.

в котором он заключается и вершина которого опирается на точечный источник

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (3)$$

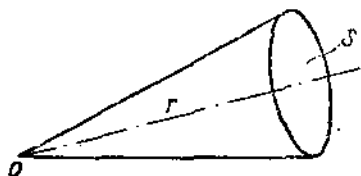
Излучение света источником или отражение лучистой энергии какого-либо другого источника света обычно принято относить к поверхности тела.

Взяв малую излучающую поверхность f (фиг. 8) и полагая излучение равномерным по всей поверхности, можно считать (при условии большого расстояния от поверхности) f точечным источником света. Но мы уже знаем, что световой поток F , излучаемый площадкой f внутри телесного угла ω , ось которого составляет с нормалью N к площадке f угол α , определяется формулой:

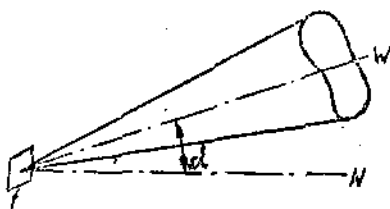
$$F = I_{\omega} \cdot \omega,$$

где I_{ω} есть сила света f в направлении, составляющем угол α с нормалью.

Разбиваем теперь величину силы света на два фактора: первый геометрический, характеризующий видимую в данном направлении



Фиг. 7. Телесный угол.



Фиг. 8. Падение лучей под углом α к освещаемой площадке.

величину поверхности $f \cos \alpha$, а второй физический, который будет характеризовать поверхностную плотность (напряжение) силы света в данном направлении B . Второй фактор, характеризующий поверхностную плотность силы света в данном направлении, называется яркостью поверхности B , в данном направлении. Следовательно:

$$I_{\alpha} = B \cdot f \cos \alpha \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что яркость светящейся поверхности в данном направлении есть отношение силы света в этом направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к рассматриваемому направлению.

Если I_{α} (сила света) измеряется в свечах, а площадь f — в см^2 , то яркость, равная $B = \frac{I_{\alpha}}{f \cos \alpha}$, измеряется в стильбах.

С точки зрения светового восприятия эта яркость излучателя является основной величиной в строительной светотехнике.

Отраженный свет относится всегда к поверхности тела, причем

отношение поверхностной плотности отраженного потока к поверхностной плотности создающего его падающего потока и называется коэффициентом отраженного света — применительно к выбранному участку поверхности.

Но плотность отраженного светового потока есть не что иное как светимость R_0 , а плотность потока падающего есть освещенность E . Следовательно

$$K_0 = \frac{R_0}{E} \quad (5)$$

Величина K_0 зависит как от спектрального состава падающей лучистой энергии (длины волн), так и от направления падения лучей.

Остается упомянуть еще о коэффициенте пропускания света при прохождении его через прозрачную среду.

Равномерно падающий на плоское оконное стекло световой поток частично поглощается. Отношение светового потока, прошедшего толщину стекла, к световому потоку, падающему на стекло, называется коэффициентом пропускания света $K_{пр}$. Величина $K_{пр}$ зависит от спектрального состава падающей лучистой энергии (длина волн), от направления падения ее лучей, цвета и толщины стекла. При решении задачи естественного освещения мы имеем дело с освещенностью, создаваемой большими излучающими поверхностями (окна, стены, кровля), отдельные части, которых видны под различными углами и обладают в зависимости от их расположения и ориентации различной яркостью. Для простоты светотехнических расчетов обычно исходят из закона Ламберта, утверждающего, что яркость излучающей или отражающей поверхности не зависит от направления, в котором мы на нее смотрим.

Благодаря этому, если при силе света I_f в направлении, составляющем угол α с нормалью, мы имеем:

$$I_\alpha = Bf \cos \alpha,$$

то при силе света I_0 в направлении нормали

$$I_0 = Bf \cdot 1.$$

Таким образом

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha \quad (6)$$

(закон косинуса)

Желая определить освещенность от точечного источника на малой площадке f , находящейся от источника на расстоянии r (фиг. 9), мы имеем условия падения света под углом α к нормали n освещаемой площадки.

Если положить далее, что: I — есть сила света источника p по направлению f , ω — телесный угол, под которым из точки p видна

площадка f , то участок, вырезаемый телесным углом ω на сфере радиуса r будет:

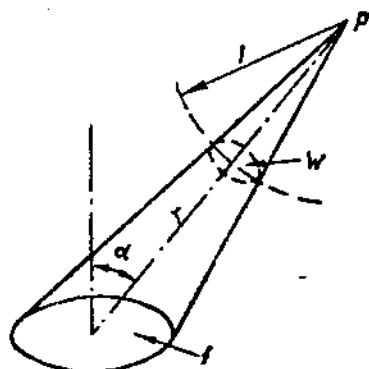
$$\omega \approx \frac{f \cos \alpha}{r^2}.$$

Падающий на площадку f поток

$$F = I = \frac{If \cos \alpha}{r^2}$$

и освещенность площадки f равна

$$E = \frac{F}{f} = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \quad (7)$$



Фиг. 9. Освещенность от точечного источника.

При этом при I в свечах, а r в сантиметрах

$$E = \frac{\text{св}}{\text{см}^2} \text{ будет, очевидно, в фотах.}$$

В люксах же

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2},$$

где r в метрах.

Все вышеизложенное резюмировано в нижеприводимой табл. 5

Таблица 5

№ п/п	Величина	Определяющее уравнение	
1	Световой поток	F	
2	Световая энергия	$L = F \cdot T$	$L = \int F dt$
3	Светимость	$R = \frac{F}{f}$	$R = \frac{dF}{df}$
4	Освещенность	$E = \frac{F}{f}$	$E = \frac{dF}{df}$
5	Сила света	$I = \frac{F}{\omega}$	$I = \frac{dF}{d\omega}$
6	Яркость	$B = \frac{I}{f \cdot \cos \alpha}$	$B = \frac{dI}{df \cdot \cos \alpha}$

где

T — время,

f — площадь,

ω — телесный угол,

α — угол между данным направлением и направлением, перпендикулярным к рассматриваемой поверхности.

(сила света равна яркости умноженной на излучающую площадь).

Обозначая через α угол, составляемый падающими лучами с нормалью к площадке f , освещенность этой площадки согласно ур-нию 7 будет:

$$\Delta E = \frac{\Delta I \cos \alpha}{r^2}. \quad (7)$$

Но при произвольном радиусе можно положить $r=1$; тогда

$$\Delta E = \Delta S \cos \alpha.$$

Угол α равен углу, который освещаемая площадка f составляет с излучающим участком небосвода¹, и, естественно, площадь проекции участка ΔS на горизонтальную плоскость будет:

$$\Delta \sigma = \Delta S \cdot \cos \alpha.$$

Интегрируя теперь малые участки ΔS , получим, что освещенность E , создаваемая участком неба f при яркости B , будет:

$$E = B \sigma \quad (8)$$

где σ — площадь проекции указанного участка на освещаемую горизонтальную плоскость.

При намерении площади надо обязательно учесть, что в выводе формулы (8) мы принимаем небосвод за полусферу с радиусом, равным единице.

Поставим теперь перед собой задачу нахождения освещенности на горизонтальной площадке, расположенной на совершенно открытом месте. Естественно, что на освещенность горизонтальной площадки f будет оказывать влияние весь небосвод, проекция которого на горизонтальную плоскость, очевидно, будет πr^2 . Но мы положили, что $r=1$; следовательно для этого случая

$$A = B\pi \quad (9)$$

Таким образом коэффициент дневной освещенности

$$e = \frac{E}{A} = \frac{B \cdot \sigma}{B\pi} = \frac{\sigma}{\pi}. \quad (10)$$

Принимая в расчет все световые отверстия, дающие дневной свет в помещение, мы должны будем в формуле (10) применить знак суммы Σ , т. е.

$$e = \frac{1}{\pi} \Sigma \sigma.$$

Введя же коэффициент полезного действия (к. п. д.) окна k , равный отношению входящего через окно в помещение светового потока к световому потоку, падающему на окно, имеем:

¹ Вследствие взаимной $\perp$ -ности сторон.

² Тот же результат получим, если умножим и числителя и знаменателя ур-ня (7 и 9) на величину „11“. Это говорит о том что при выводе формулы (10) — радиус не играет роли.

$$e = \frac{1}{\pi} \Sigma k \sigma$$

(11)

Следовательно коэффициент дневной освещенности определяется в такой последовательности:

1. Находим участок неба, действующий на данную точку помещения S .

Проектируем найденный активный участок небосвода на горизонтальную плоскость — σ .

Берем отношение величины этой проекции к проекции на горизонтальную плоскость всего небосвода — π .

2. Величина коэффициента k , зависит:

- а) от рода примененного стекла,
- б) от устройства переплетов,
- в) от толщины стены.

В условиях застекления нерассеивающими стеклами можно считать:

для одинарного остекления $k = 0,50 - 0,45$

„ двойного „ $k = 0,40 - 0,30$.

При применении светорассеивающих остеклений мы должны учитывать не только поглощение части падающего светового потока, но и перераспределение входящего в помещение потока.

Представление в величинах наружной горизонтальной освещенности дают диаграммы проф. Н. Н. Калитяна (фиг. 1).

Указанные графики дают средние величины освещенности. Коэффициент дневной освещенности e является наиболее удобным стимулом для нормирования вследствие известной постоянности своей величины. Зная величину e (коэффициента освещенности) и A (наружную освещенность), можно найти среднюю освещенность E в данное время в помещении.

В самом деле,

$$E = A \cdot e$$

(12)

Например мы желаем иметь в данном месте помещения коэффициент освещенности $e = 8\%$ (для грубых работ).

Взяв данные для наружной освещенности

$$A_{\max} = 27\,000 \text{ лк}$$

$$A_{\min} = 3\,500 \text{ „}$$

находим освещенность¹ данного места:

$$E_{\max} = 0,08 \cdot 27\,000 \approx 810 \text{ лк}$$

$$E_{\min} = 0,08 \cdot 3\,500 \approx 106 \text{ „}$$

Фактическая освещенность благодаря светопотерям будет ниже. Если требуемая освещенность равна 150 лк, то при $e = 3\%$ наруж-

ная освещенность, удовлетворяющая поставленному требованию, должна быть:

$$A = \frac{250}{0,03} = 5000 \text{ лк.}$$

По графику Калитина видно, что при этих условиях искусственный свет становится необходим в ноябре и январе до 10 час. утра и с двух час. дня.

Коэффициент освещенности e обычно вычисляется для горизонтальной плоскости на высоте 1 м от пола (рабочая плоскость).

Для грубого определения среднего по помещению коэффициента освещенности e , достаточного для данного вида производства, можно пользоваться способом коэффициента использования¹.

Если падающий на окно световой поток

$$F_0 = E_0 f_0,$$

где E_0 — наружная освещенность окна,

f_0 — площадь окна,

то падающий на рабочую плоскость полезный световой поток

$$F = F_0 \eta,$$

где η — коэффициент использования.

Таким образом

$$F_0 = E f_0 \eta.$$

Средняя же освещенность E_{cp} по всему помещению, очевидно, будет равна частному от деления $\frac{F}{f_{\pi}}$, где f_{π} — площадь пола. Следовательно

$$E_{cp} = \frac{F}{f_{\pi}} = \eta E_0 \frac{f_0}{f_{\pi}}.$$

Разделив E_{cp} на A (напомним, что A — соответствующая горизонтальная освещенность под открытым небосводом), получим средний коэффициент освещенности в помещении:

$$e_{cp} = \frac{E_{cp}}{A} = \eta \frac{E_0}{A} \frac{f_0}{f_{\pi}}.$$

Но величина $\frac{E_0}{A}$ есть коэффициент наружной освещенности световых отверстий (Fensterfactor). Теперь, вводя обозначения

$$e_0 = \frac{E_0}{A},$$

$$s_0 = \frac{f_0}{f_{\pi}},$$

можно написать, что

$$e_{cp} = \eta e_0 s_0 \quad (13)$$

¹ Гершун А. А., „Труды ГОИ“, т. VI, вып. LXVIII.

² H. Frühling, Die Beleuchtung durch Tageslicht, ihre Messung und ihre Berechnung nach der Wirkungsnetode.

Но для вертикальных отверстий с двойным остеклением можно считать $\eta = 0,40$. Коэффициент освещенности вертикальных отверстий, выходящих на открытое место, равен половине коэффициента освещенности горизонтальной площадки при условии открытого места когда $e = 1$, т. е. e для вертикальных отверстий равно 0,5. Таким образом средний коэффициент дневной освещенности в помещении будет

$$e_{cp} = 0,40 \cdot 0,50 \cdot s_0 = 0,20 s_0.$$

Пример. Требуется определить средний коэффициент освещенности e_{cp} комнаты размерами 8×5 м, освещаемой двумя окнами размерами 2×2 м.

Находим, что

$$b) \quad e_{cp} = 0,20 \cdot \frac{4}{40} \cdot 100 = 2\%.$$

Из наиболее удобных методов световых расчетов следует остановиться на двух ¹:

- 1) аналитический комбинированный метод Мормана-Хигби в интерпретации инж. Николаева И. С.,
 - 2) графический метод арх. Данилюка.
- Морман дает следующую формулу:

$$E = K A_0 \frac{dF}{a^2} \sin \alpha, \quad (14)$$

где: E — освещенность данной точки в люксах; A_0 — освещенность от участка полусферы небосвода в пределах елиничного телесного угла (стерадиана). При условии горизонтальной освещенности величина A_0 выразится через частное от деления освещенности горизонтальной площадки под открытым небом A на горизонтальную проекцию полусферы небосвода (при $r = 1$), равную π .

При выборе величины A_0 одни авторы считают, что обычно требуемые нормы естественного освещения в производственных помещениях могут быть обеспечены при наружной освещенности горизонтальной площадки под открытым небом $A = 10\,000$ лк = 1 футу.

Меньшая освещенность снаружи уже требует или более пониженных норм интенсивности освещения или же введения искусственного освещения.

В этом случае

$$A_0 = \frac{10\,000}{3,14} = 3180 \text{ лк.}$$

Другие же авторы (немецкие главным образом) исходят из $A_0 = 2650$ лк, что соответствует приблизительно средней наружной освещенности в декабрьский полдень при условии величины освещенности всего небосвода $A = 2650 \cdot 3,14 = 8320$ лк². Ясно, что обе величины A_0 условны, так как освещенность небосвода резко меняется даже в пределах дня. (Если исходить теперь из минимальной наружной освещенности (согласно кривых проф. Калитина), т. е. из $A = 3600$ лк (в декабре в полдень для Слуцка) и иметь в виду, что $E = A_0$, мы могли бы освещенность в люксах находить по формуле

$$E = K e A$$

¹ См. „Вопросы естественного освещения“, инж. Гусева и Джуса. Сообщения Всесоюзного института сооружений.

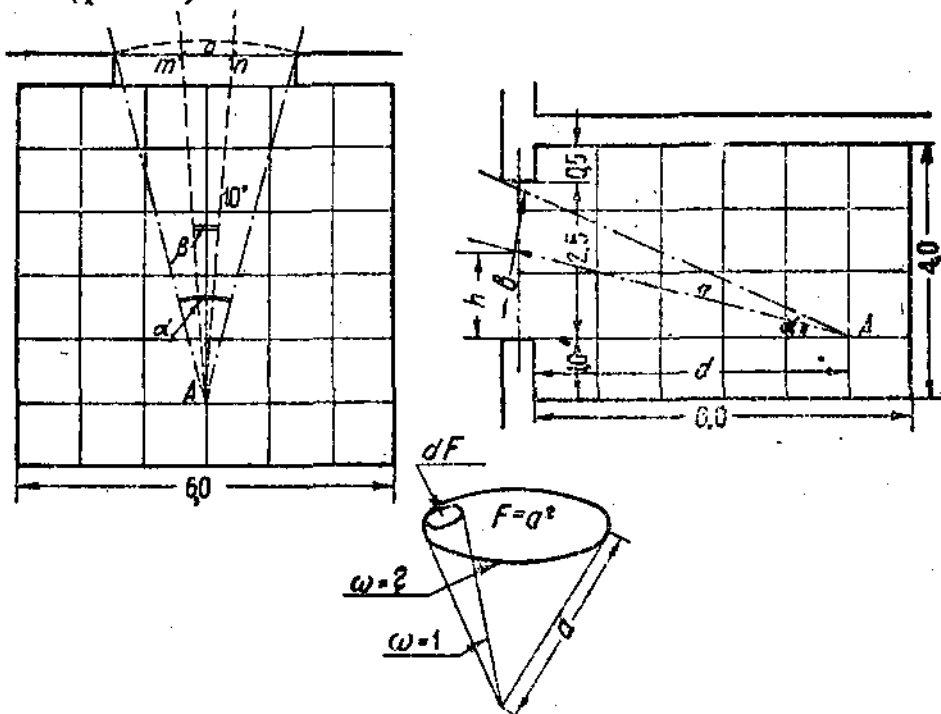
² Проф. Серк рекомендует брать $A_0 = 2500$ лк.

где (фиг. 11) k — в. п. д. окна, полученный суммированием коэффициентов отражения, затенения переплетами, загрязнения и поглощения, а e — коэффициент дневной освещенности.)

Далее, dF — активная площадь окна, получаемая путем проектирования площади окна на плоскость, перпендикулярную к среднему лучу a ;

a — средний луч, измеряемый расстоянием от центра окна до точки, в которой определяем освещенность,

α — угол, образуемый направлением среднего луча a с горизонтом (фиг. 11).



Фиг. 11. Аналитический расчет естественного освещения.

Из фигуры видно, что $\sin \alpha = \frac{h}{a}$. Если применительно к формуле (14) вести расчет, исходя не из постоянной длины окна, а из постоянного угла в плане $\beta = 10^\circ$ (фиг. 11), то дуга $mn = 0,175 a$, и формула (14) принимает вид:

$$E = K A_0 \frac{b \cdot 0,175 a}{a^2} \cdot \frac{h}{a};$$

так как полезная площадь светового отверстия

$$dF = 0,175 a \cdot b,$$

а величины k и A_0 являются для данного места и времени постоянными, то обозначая $k A_0 = N$, имеем:

$$E = 0,175 N \frac{bh}{a^2}.$$

Для определения освещенности мы рекомендуем брать величину A_0 равной 2500 лк, что соответствует наружной освещенности при влиянии всего небосвода $2500 \cdot 3,14 = 7850$ лк. Величину же k для вертикальных отверстий следует брать:

- а) для двойного остекления 0,30—0,40,
б) " одинарного " 0,50—0,45¹.

Таким образом для указанных условий формула (14) примет вид:

$$E = 0,175 \cdot 0,45 \cdot 2500 \cdot \frac{bh}{a^2}$$

или

$$E = 197 \frac{bh}{a^2}.$$

Переходя от угла $\beta = 10^\circ$ к действительному активному углу α_0 (фиг. 11), мы должны будем ввести в формулу (14) какой-то поправочный коэффициент m .

Эмпирические кривые, приведенные на фиг. 12, дают указание, что при активном угле $\alpha_0 \geq 55^\circ$ следует величину m брать равной 3,0—3,5. Для верхнего одинарного остекления коэффициент m достигает максимальной величины 3,5—4,0 при активном угле $\alpha_0 = 90^\circ$ — 100° .

Окончательно формула (10) принимает вид:

$$E = 600 \cdot \frac{bh}{a^2} \quad (15)$$

Эта формула применима для вертикальных остеклений с большим углом α_0 в горизонтальной плоскости.

Пример 1. Требуется определить минимальную освещенность точки А в помещении (фиг. 11), где $b = 2,4$ м, $a = 7,0$ м, $h = 1,25$ м. Таким образом

$$E = 600 \cdot \frac{2,4 \cdot 1,25}{7^2} = 36,8 \text{ лк.}$$

Пример 2. Требуется определить освещенность в точке А помещения от фонаря „Монитор“, расположенного по продольной оси здания (фиг. 13).

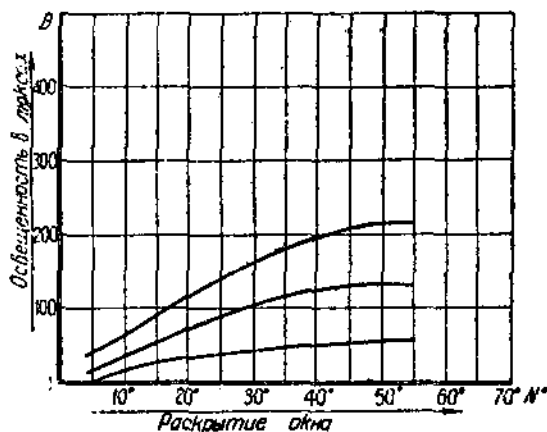
Учитывая влияние активного угла $\alpha_0 > 90^\circ$, вводим коэффициент $m = 3,5$, тогда освещенность в точке А будет:

$$E = 197 \cdot \frac{bh}{a^2} \cdot 3,5 = 690 \left(\frac{1,7 \cdot 4,5}{6,5^2} + \frac{1,0 \cdot 4,5}{4,5^2} \right) = \\ = 690(0,18 + 0,22) = 276 \text{ лк.}$$

Для определения достаточности освещенности в люксах следует

¹ См. гл. „Проектирование освещенности“.

² Этот коэффициент m будет зависеть от степени затемнения окна конструкцией и переплетами, см. статью Гусева Н. М. „Сообщения ГОИ“, вып. II.



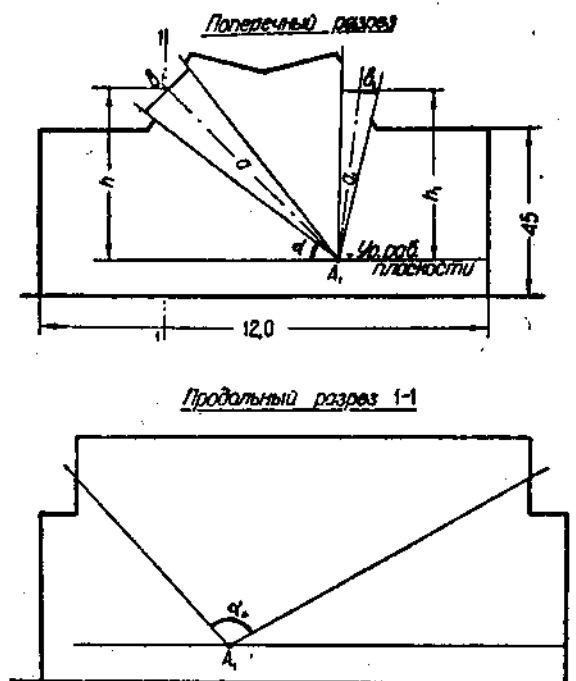
Фиг. 12. Кривые коэффициентов m .

пользоваться нормами, приведенными в главе „Нормирование освещения“¹.

Для характеристики освещенности в помещении, как мы уже упоминали, недостаточно определить освещенность одной-двух наиболее удаленных от светового отверстия точек, а требуется построить световые диаграммы по наиболее характерным разрезам помещения. Благодаря этому применение аналитических методов расчета, требующих продолжительных, хотя и простых арифметических вычислений, связано не только с необходимостью известной напряженности в работе, но и с большой потерей времени.

Появившиеся в последнее время в технической литературе графические методы световых расчетов лишены указанных недостатков и позволяют быстро, просто и с достаточной степенью точности решать даже сложные задачи расчета освещенности помещения.

Из графических методов наиболее удобными являются метод А. А. Гершуна и метод арх. Данилюка. Исходя из тех соображений, что метод Данилюка представляет собой более совершенную интерпретацию идеи Гершуна, мы остановимся на нем более подробно, отослав читателя, желающего познакомиться с методом Гершуна, к соответствующей литературе².



Фиг. 13. Пользование графиками Данилюка для расчета освещенности.

Метод Данилюка основан на следующих предположениях³:

- а) прямые солнечные лучи во внимание не принимаются;
- б) полусфера небесного свода принимается равной яркости во всех точках;
- в) отраженный свет внутри помещения, а также потеря света при прохождении через стекла во внимание не принимаются и учитываются специальными коэффициентами, приведенными в главе „Проектирования освещенности“;

¹ Кроме того приближенно можно считать, что коэффициент дневной освещенности e в 10% соответствует 80 лк.

² „Современная архитектура“ № 2 за 1929 г. и „Труды ГОИ“, вып. XLV „Расчеты естественного освещения“.

³ Труды II Всесоюзной конференции по естественному освещению.

г) данное место освещается только светом, идущим непосредственно от неба. Отраженный свет от стен противоположащих зданий учитывается также при помощи специальных коэффициентов.

Освещенность в данной точке помещения мы будем выражать при помощи коэффициента дневной освещенности:

Согласно формуле (11) имеем

$$e = \frac{1}{\pi} \Sigma k \cdot \sigma,$$

где e — коэффициент дневной освещенности, σ — площадь горизонтальной проекции видимого через светопроем участка небосвода (единичного радиуса), k — к. п. д. окна.

Величину k можно считать постоянной (для данных условий), и тогда задача о нахождении освещенности данной точки сведется к определению величины σ , т. е. к определению площадей проекций видимых из данной точки через светопроем участков небосвода на горизонтальную плоскость.

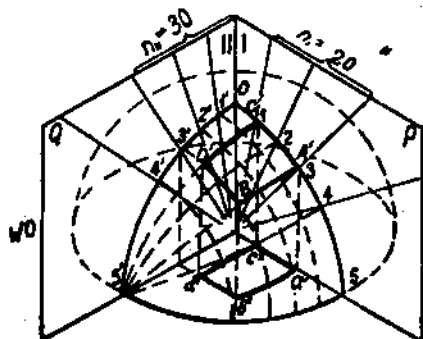
Арх. Данилюк разбивает полушар небосвода системой меридианов и параллелей на 10 000 участков, световое действие которых на горизонтальную и вертикальную плоскости одинаково. Меридианами полушар разбивается на 100 сферических элементов (в виде апельсиновых долек), у которых площади проекций на горизонтальную плоскость равны (фиг. 14). Ввиду того что площадь проекции каждого элемента на горизонтальную плоскость составляет $\frac{1}{100}$ часть площади проекции всего полушара, освещенность, создаваемая таким элементом, будет $e_1 = 0,01$ или 1%. Соединяя центры тяжести меридианов с центром полусферы в вертикальной плоскости P , получаем график I (фиг. 15). При этом цена каждого „луча“ $e_1 = 1\%$ или 0,01.

Далее располагаем параллели так, чтобы площади проекций участков небосвода на горизонтальную плоскость были бы между собой равны. Разбиваем полушар параллелями на 100 таких участков, дающих равную освещенность. По аналогии можно утверждать, что каждый из этих участков даст освещенность $e_2 = 0,01$, или 1%.

Соединяя теперь точки пересечения параллелей с плоскостью Q $\perp$ -ной плоскости P с центром полусферы O , получаем график II (фиг. 16).

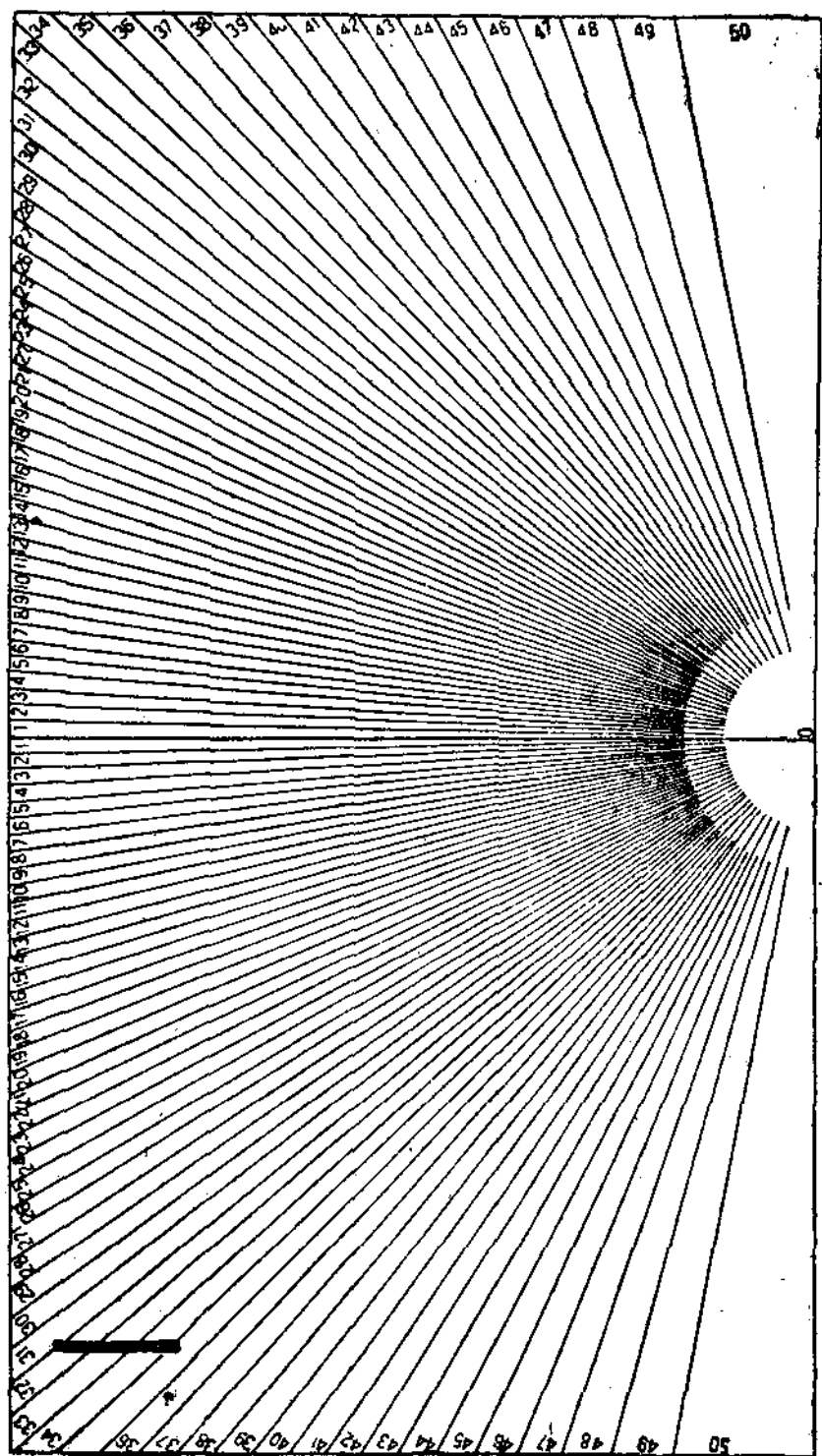
Если теперь совместить указанные две разбивки, то в горизонтальной проекции площадь круга будет разбита на $100 \times 100 = 10\,000$ элементарных участков, равных по своей светоактивности.

Цена каждого элементарного участка, очевидно, будет $e = e_1 \cdot e_2 = 0,01 \times 0,01 = 0,0001$, или 0,01%. Таким образом задача опреде-

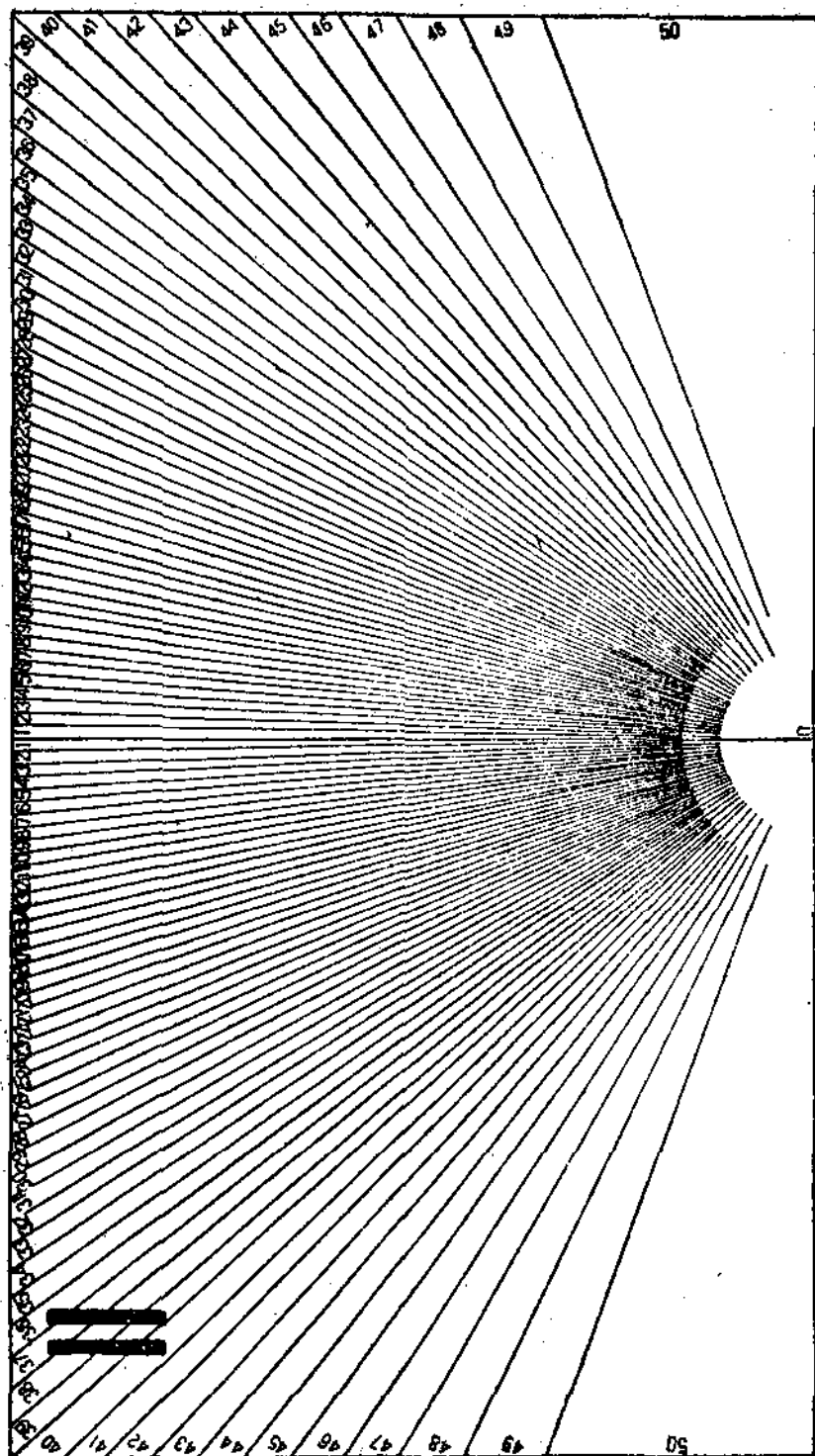


$$\sigma = \pi \cdot r^2 \cdot 0,0001 = 20 \times 30 \times 0,0001 = 0,06-6\%$$

Фиг. 14. Деление небосвода на участки с одинаковыми площадями проекций на гориз. плоскость.



Фиг. 15. График для определения диаметра освещенности помещения (учитывает форму и расположение светопроема).

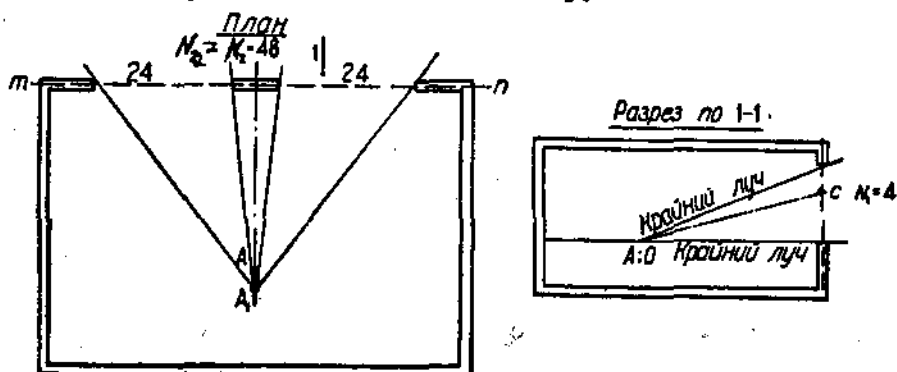


Фиг. 16. График для определения дневной освещенности помещений (учитывает длину светопроема).

ления коэффициента дневной освещенности сводится к определению числа элементарных участков небосвода, видимых из данной точки. Определение производится при помощи графиков I и II (фиг. 15 и 16).

Проследим теперь на примерах метод пользования графиками Данилюка.

Пусть требуется определить освещенность в точке A помещения с боковым остеклением (фиг. 17). Совмещаем на поперечном разрезе (фиг. 18), сделанном в любом масштабе, точку A с полюсом графика I— O и считаем количество лучей N графика, попадающее в светопроем. Для нашего случая $N_1 = 4$. Разделив теперь N пополам и найдя средний луч AC , отмечаем точку C , которая является результатом пересечения среднего луча с средней линией стены или перекрытия. Через эту среднюю линию проводим плоскость, перпендикулярную плоскости поперечного разреза (фиг. 19), в которой и располагаем график II. Так как практически подобную плоскость находить трудно (понадобилась бы



Накладывается график № 2.

Накладывается график № 1.

Фиг. 17. Определение освещенности при помощи графиков Данилюка.

аксонометрия помещения), то при пользовании графиком II можно располагать последний на плане помещения. Однако при этом полюс графика O надо будет совмещать уже не с точкой A , а с точкой A_1 , расстояние которой от средней линии в плане $mn = AC$ (по поперечному разрезу фиг. 17). Итак, совместив полюс O графика II с точкой A_1 в плане помещения, находим, что на световые проемы приходится $N_2 = 48$ лучам. Таким образом для отсчетов по графику II мы пользуемся при вертикальных светопроемах планами, а при горизонтальных проемах (фонарях) — продольными разрезами.

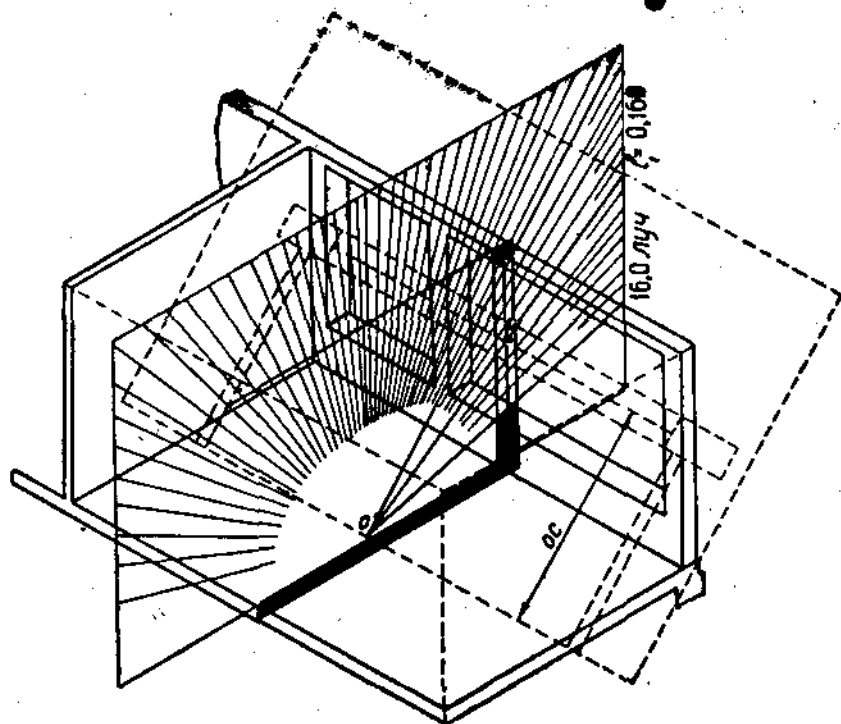
Общее число элементарных участков, действующих на точку A в помещении, определится произведением $N_1 \cdot N_2$, т. е. $N = 4 \cdot 48 = 192$ элементарным участкам.

Так как светоактивность каждого участка равна 0,0001, то коэффициент дневной освещенности

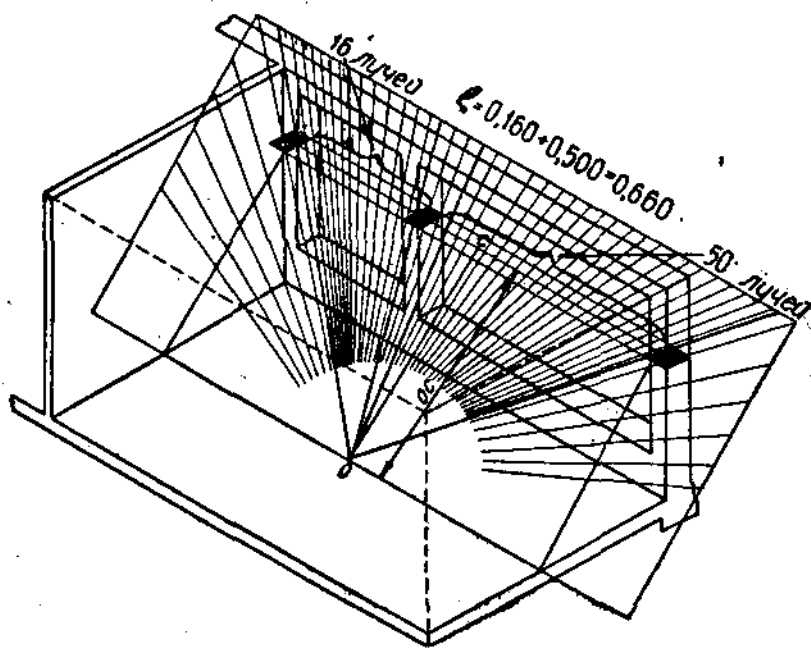
$$e = 0,0001 \cdot 192 = 0,019 = 1,9\%.$$

Действительный же коэффициент дневной освещенности получится, если ввести к. п. д. окна k ,

$$e_0 = 0,40 \cdot 1,9 = 0,76\%.$$



Фиг. 18. Пользование графиками Данилюка.

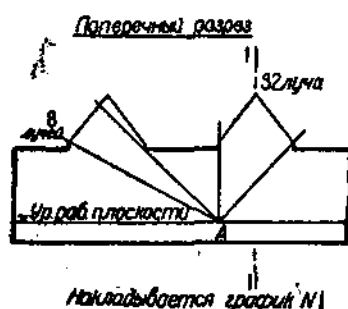


Фиг. 19. Пользование графиками Данилюка.

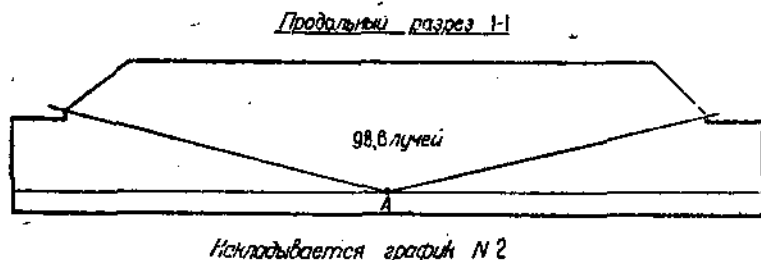
Пример 8. ● Определим коэффициент дневной освещенности для помещения с верхним фонарем. Берем поперечный разрез помещения в любом масштабе и накладываем на него график I так, чтобы полюс графика O совпал с точкой A , в которой мы ищем освещенность (фиг. 20). Отсчитываем количество лучей, попадающих в проемы фонаря. Очевидно, $N_1 = 8$; $N_1' = 32$ единицам. Затем берем продольный разрез помещения и накладываем на него график II. Полюс графика должен совместиться с проекцией A в продольном разрезе отдельно для каждого фонаря. Определяем количество попадающих в светопроеме лучей. В нашем случае, $N_2 = 98,6$; $N_2' = 98$ единицам.

Тогда, очевидно, действительный коэффициент освещения будет:

$$e_0 = 0,40 \cdot 0,0001 (98,6 \cdot 32 + 93,8) \cdot 100 = 15,6\%.$$



Исследования погрешностей подсчетов по графикам Данилюка показали, что величина этих погрешностей зависит от формы и величины светопроемов. Погрешность увеличивается по мере приближения горизонтально протяженного окна к квадратному. В последнем случае ошибка достигает максимума. Но увеличение погрешности происходит также по мере приближения точки к светопроему. В общем по сравнению



Фиг. 20. Расчет освещения при помощи графиков Данилюка.

с точными расчетами по Винеру точность графиков Данилюка составляет от 2 до 5%, что вполне достаточно для практических нужд строительства. Так как графики I и II (фиг. 15 и 16) очень схожи, то в тех случаях, когда большая точность результатов не требуется, можно пользоваться только графиком I, располагая его последовательно в поперечном и в продольном разрезах здания (для горизонтальных световых отверстий) и в плане (для вертикальных и наклонных световых отверстий).

VI. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Рассматривая вопрос о проектировании дневного освещения в историческом разрезе, мы должны будем начать анализ его с того дикаря, который выстроил свою хижину и использовал ее не только для жилья, но и для производства одежды. Эта пер-

вая „фабрика“ освещалась естественным светом через открытую дверь.

На следующем этапе появляются фабрики — срубы с грубо выполненными источниками освещения (окна, затянутые промасленной бумагой).

Сменившая средневековую эпоха бетона и стали сразу же провела резкую грань между производственными и жилыми помещениями.

Если в жилом помещении человек может выбрать место работы или отдыха в зависимости от необходимого ему освещения (приближаясь к окну или удаляясь от него), то в производственном рабочее место закреплялось, и здесь уже появляется необходимость приближать свет к месту работы. Отсюда естественное стремление расширить площадь световых отверстий, используя не только плоскости вертикальные, но и горизонтальные.

Рост промышленности, конкуренция, стимулирующая снижение себестоимости за счет повышения производительности труда, требования страховых и санитарно-гигиенических организаций — все это требовало лучшей организации рабочего места и заставило предпринимателей встать на путь рационализации естественного освещения.

В советских условиях к задаче повышения производительности труда присоединяется другая задача — сохранение здоровья рабочих. Поэтому-то наш путь в деле рационализации освещения не совпадает с путями капиталистических стран. Проведенные американцами практические и теоретические изыскания в области естественного освещения¹ доказали, что устройство дневного освещения внутри помещений подчинено вполне последовательным законам. Вот почему перед каждым проектировщиком встает задача выбора формы и типа освещения совершенно так же, как и задача выбора материала, конструкций и т. п.

Задача проектирования светлых помещений не может ограничиться определением освещенности одной-двух точек помещения, но требует обследования целого ряда их для суждения не только о величине, но и распределении освещенности в помещении.

Удовлетворительные результаты надо находить путем пробных решений при различных размерах и расположении световых отверстий.

При проектировании световых отверстий наиболее важным является создание:

- 1) требуемой интенсивности освещения и
- 2) достаточной равномерности его.

Общий порядок проектирования светлых помещений любого назначения состоит в изготовлении нескольких пробных решений, в расчете освещенности при различных размерах и расположении световых отверстий и в выборе наиболее благоприятных решений.

Основной принцип здесь: минимум затрат, максимум освещенности. Подразделяя проектирование естественного освещения на две существенно отличающихся друг от друга

¹ Transactions of the Illuminating „Engineering Society“ № 6.

области: а) на проектирование освещения промышленных зданий и б) проектирование освещения гражданских зданий, ознакомимся с первой более обстоятельно.

Проектирование освещенности промазаний имеет ряд особенностей:

а) отсутствие в большинстве случаев отраженности (ввиду темного цвета плоскостей стен, пола, потолка);

б) наличие высоких подоконников как следствие необходимости изолировать производство от внешнего пространства;

в) требования не только горизонтальной, но и вертикальной освещенностей;

г) требования в ряде производств только верхнего или только бокового освещения.

В отношении последнего требования мы считаем необходимым, для лучшей ориентации, привести следующие данные, характеризующие верхний свет.

К его достоинствам относятся:

а) значительно более высокая интенсивность освещения (коэффициент освещенности 4—15% против 1—2% для бокового остекления);

б) хорошая равномерность освещения, характеризующая отношением $\frac{\max}{\min}$. Так, если при боковом освещении $\frac{\max}{\min}$ достигает 30—50,

то при верхнем освещении $\frac{\max}{\min}$ может весьма близко подходить к единице.

Недостатки верхнего света сводятся к следующему:

а) незначительная вертикальная освещенность;

б) снег и вода уменьшают коэффициент освещенности;

в) большая возможность инсоляции;

г) " " загрязнения;

д) трудность эксплуатации по сравнению с вертикальным боковым остеклением.

На основе указанных характеристик можно сделать вывод, что, если со стороны светотехнический верхний свет является более приемлемым, то вопрос выбора пределов освещенности — вопрос экономики. Какова же экономика верхнего остекления? Эта экономика тесно связана с применением в строительстве одноэтажных зданий. Промышленное строительство СССР за последние годы определило свое отношение к типу фабричного здания. Это отношение характеризуется переходом строителей от многоэтажных зданий к одноэтажным зданиям везде, где это позволяет характер и размеры оборудования.

Происходит это в силу ряда производственно-технологических, экономических и санитарно-гигиенических соображений. Основными из них являются:

1. Ликвидация фактора стоимости земельного участка.

2. Введение конвейерной системы.

3. Лучшая освещенность и вентиляция.

4. Разница в стоимости оформления многоэтажных и одноэтажных зданий (25—30% в пользу одноэтажных зданий).

Таким образом мы видим, что одноэтажные здания с верхним

светом имеют явно выраженные светотехнические и экономические преимущества.

Рассмотрим теперь в качестве примера задачу решения освещения машинной мастерской шириной 24 м и длиной 60 м. Перед архитектором сразу же встает ряд вопросов:

1. Каково относительное значение различной высоты окон в боковой стене?

2. Какие выгоды дает устройство фонаря?

3. Каково относительное значение различной ширины фонаря?

4. Какое влияние на дневное освещение оказывает различная высота остекления фонаря?

5. Каково относительное значение наклонных и вертикальных окон в фонаре?

6. Каково относительное значение различных соотношений между застекленной площадью и площадью пола?

Постараемся в пределах настоящей главы ответить на эти вопросы, осветив тем самым методы проектирования освещения.

Задаваясь условиями, что здание расположено на открытом месте и производственные габариты требуют высоту помещения в 5 м, мы проанализируем освещение помещения при окнах высотой 1; 2,1; 2,3 и 3,6 м. Считаем, что простенки занимают не более 20% площади стен, подоконник в боковой стене находится на высоте 0,9 м и совпадает с рабочей плоскостью. Верхняя грань бортика фонаря находится на высоте 4,5 м над рабочей плоскостью.

При проектировании освещения предположим, что минимальное требуемое освещение должно составлять 100 лк, что является достаточно хорошей нормой (для средних работ). Учитывая годовое загрязнение стекла, мы должны, как показывает американский опыт, вводить коэффициент 0,50 для вертикальных окон и 0,25 для наклонных под углом 30° (к вертикали).

Берем прежде всего случай, когда окно высотой 2,1 м имеется только с одной стороны. Тогда, как показывает фиг. 21, мы имеем освещенность отдельных точек в пределах от 650 до 10,7 лк.

Ясно, что в помещении такого типа производственное пространство ограничивается расстоянием от окна 6,3 м (высота окна, помноженная на 3). Учитывая же загрязнение, мы должны будем считать рабочее пространство равным примерно двойной высоте окна, т. е. 4,5 м.

Увеличивая высоту окна до 3,6 м (фиг. 22), мы видим что рабочее пространство увеличилось уже до 11 м от окна без учета загрязнения и до 7,5 м с учетом последнего.

Таким образом при окнах, расположенных в глубоких помещениях с одной стороны, рабочее пространство в случае чистых остеклений равно тройной высоте окна (при нормальных подоконниках); в случае же прочистки стекол раз в полгода это рабочее пространство сокращается до двойной высоты окна.

Рассмотрим далее случай, когда окна высотой 2,1 м расположены с обеих сторон помещения (фиг. 23 — таблица).

Замечаем, что даже в условиях чистых окон все же средняя треть помещения будет недостаточно освещена. В случае же загрязнения этой участи подвергаются средние две четверти или половина помещения. Вводя далее с обеих сторон окна высотой

3,6 м (фиг. 24), имеем освещенность в отдельных точках от 880 до 192 лк.

В этом случае даже при условии очистки стекол раз в полгода мы имеем достаточные условия освещения, так как помимо хорошей интенсивности освещения мы имеем отношение $\frac{\max}{\min} = \frac{880}{192} = 4,6$ (что приближает нас к требуемой американцами величине не больше 3).

Кроме того увеличение высоты окна с 2,1 м до 3,6 м, т. е. приблизительно на 70%, улучшило условия освещенности:

а) для случая с односторонним остеклением:

На расстоянии	1,5 м	от окна на	350%
"	4,5	"	75%
"	9,0	"	100%
"	12,0	"	125%
"	24,0	"	150%

б) для случая с двухсторонним остеклением:

На расстоянии	1,5 м	от окна на	350%
"	4,5	"	75%
"	9,0	"	125%
"	12,0	"	125%

На основе этих показателей делаем следующие выводы:

1) верхняя часть окна отбрасывает свет в глубину комнаты; и поэтому, увеличивая высоту окна, мы значительно улучшаем условия минимального освещения в помещении;

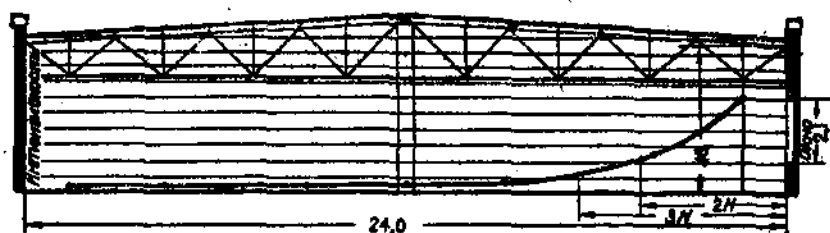
2) увеличение высоты окна создает условия более равномерного освещения, так как освещенность вблизи окна меняется в пределах 35%, а в глубине помещения в пределах 125%. Таким образом $\frac{\max}{\min}$ значительно снижается;

3) наиболее удовлетворяющим условиям производства будет проект с окнами высотой в 3,6 м, расположенными по обеим сторонам помещения.

Но и в этом случае освещенность середины помещения только приближалась к поставленному минимуму 100 лк (в случае загрязнения) и отношение $\frac{\max}{\min} = 4,6 > 3$.

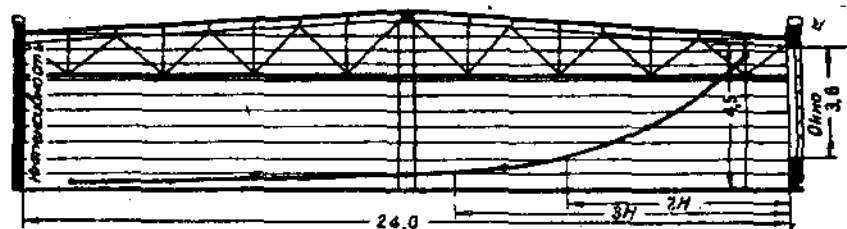
В силу этого, желая улучшить интенсивность освещения центральных точек и равномерность освещения, вводим фонарь типа Буало, который располагаем вдоль здания. Берем вначале высоту остекления фонаря 1,0 м (фиг. 25). Тогда освещенность в отдельных точках помещения будет в пределах от 700 до 170 лк.

Здесь $\frac{\max}{\min} = \frac{700}{225} = 3,1$, что очень близко к требуемым 3. Но и при внесении поправки с загрязнением окон у нас все же часть пола, составляющая около 25% всей площади, будет находиться



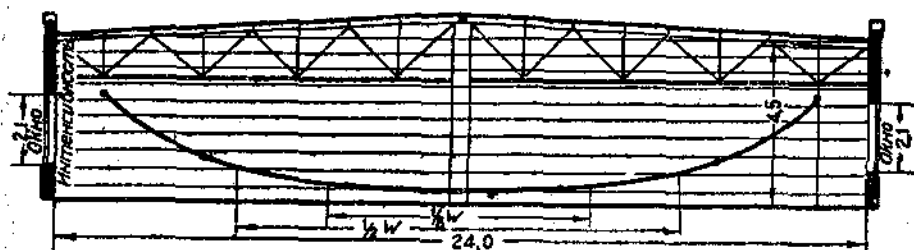
Расст. от окна	1,5	4,5	9,0	12,0	24
Освещ. в лк	650	235	75	45	10,7

Фиг. 21. Распределение дневного света при окнах высотой 2,1 м, расположенных только на одной боковой стене.



Расст. от окна	1,5	4,5	9,0	12,0	24,0
Освещ. в лк	890	410	150	95	27

Фиг. 22. Распределение дневного света при окнах высотой 3,6 м, расположенных только на одной боковой стене.



Расст. от окна	1,5	4,5	9,0	12,0
Освещ. в лк	665	254	97	85

Фиг. 23. Распределение дневного света при окнах высотой в 2,1 м, расположенных по обеим боковым стенам.

в условиях освещенности ниже рекомендуемого минимума в 100 лк.

Поэтому, увеличив высоту фонаря до 2,1 м (фиг. 26), получаем освещенность в пределах от 770 до 830 лк.

Здесь уже мы имеем высокую интенсивность (превышающую требуемые 100 лк даже в условиях загрязнения) и достаточно хорошую равномерность освещения внутренности здания, а именно:

$$\frac{\max}{\min} = \frac{770}{320} = 2,4 < 3.$$

Отсюда можно заключить, что при удовлетворении требований достаточно хорошего освещения площадь застекления (в боковых стенах и фонарях) должна составлять около 30%. Этот процент может быть снижен до 25, но при условии мытья стекол не реже трех раз в год.

Рассмотрим теперь случай комбинации рассмотренных фонарей с боковым остеклением при окнах высотой в 3,6 м.

Кривые на фиг. 27 показывают, что освещенность на расстоянии 1,5 м от окна составляет 940 лк а на расстоянии 0,0 м—290 лк.

Сравним полученные результаты с результатами при освещении только боковыми окнами высотой 3,6 м (фиг. 25). Мы видим, что при увеличении площади остекления на 35% (фонарь) максимальная освещенность увеличивается только на 7%, минимальная же возрастает на 50%. Комбинируя же боковые окна высотой 3,6 м с фонарным остеклением высотой 2,1 м (фиг. 28), т. е. имея площадь застекления, равную приблизительно 50% площади пола, получаем освещенность в пределах от 1020 до 440 лк.

Сравнивая результаты с фиг. 27, мы видим, что максимальная освещенность увеличилась на 8%, а минимальная на 50% (при увеличении площади застекления на 25%). Если же сравнить их с результатами по фиг. 24, то увеличение максимальной освещенности достигает 15%, а минимальной 125% (при увеличении площади остекления приблизительно на 60%).

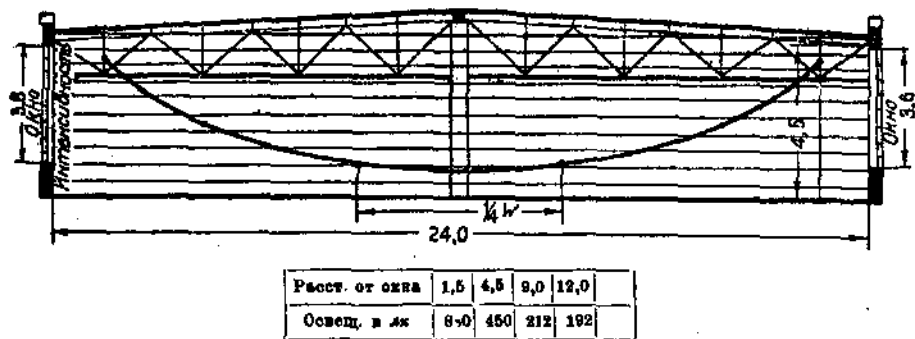
Итак, максимальное освещение в помещении увеличивается в значительно меньшей степени, чем площадь застекления. Минимальное же освещение дает обычно больший процент увеличения, чем площадь окон.

Переходя к определению влияния ширины фонаря на освещенность внутри помещения, надо отметить, что при изменении ширины фонаря особенно большой разницы в плотности светового потока не наблюдается.

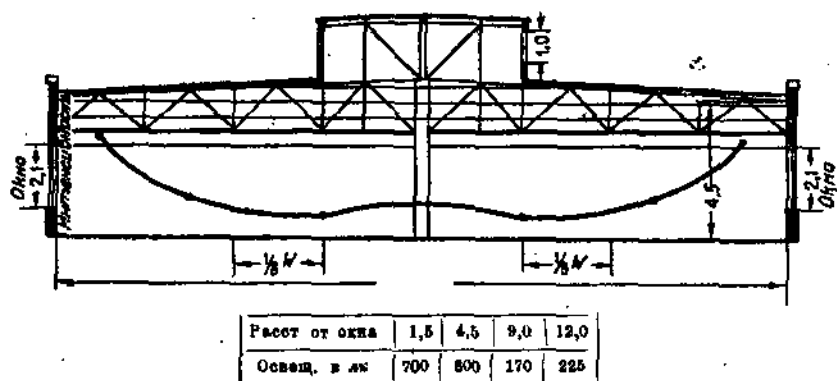
Кривые освещенности на фиг. 29, построенные для фонарей шириной 3,0 и 12,0 м, показывают, что минимальная освещенность для фонаря шириной 3,0 м равна 150 лк, а для фонаря шириной 12 м составляет 182 лк. Разница составляет всего лишь 20%. Все же ширину фонаря не следует делать меньше двойной его высоты, так как в этом случае освещенность делает резкий скачок.

Оставляя размеры фонаря теми же, что и на фиг. 29, мы заменяем вертикальные окна наклонными. Кривые, построенные для этого случая (фиг. 30), указывают, что применение узких фонарей дает сравнительно неравномерное освещение.

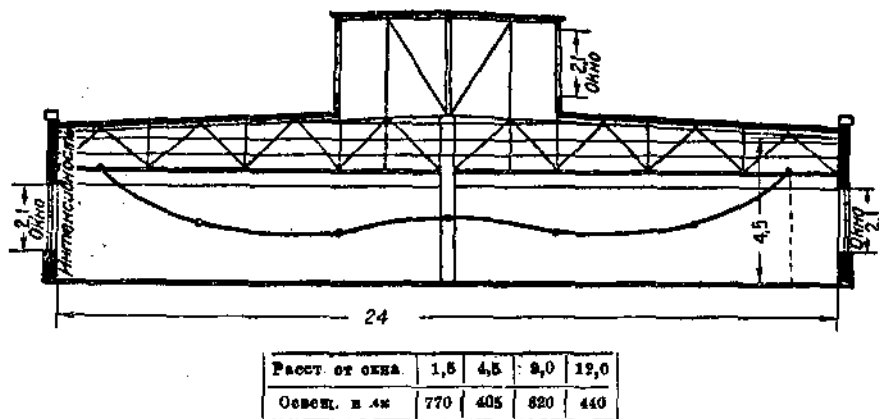
Непосредственно под фонарем образуется очень светлая полоса



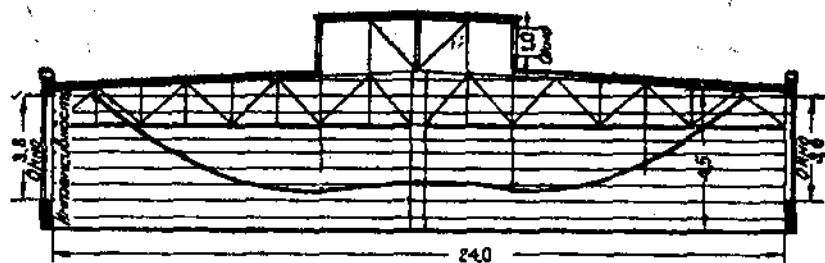
Фиг. 24. Распределение дневного света при окнах 3,6 м, расположенных по обеим боковым стенам.



Фиг. 25. Дневное освещение, получаемое одновременно от боковых окон высотой 2,1 м и от фонаря типа „Буало“ с высотой 1,0 м.

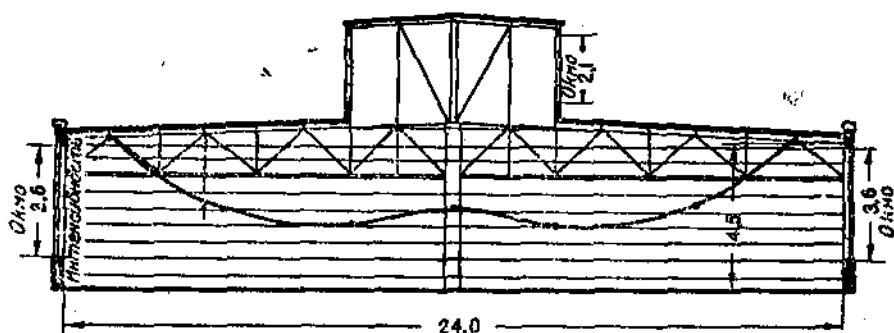


Фиг. 26. Дневное освещение, получаемое от боковых окон — в 2,1 м и фонаря „Буало“ высотой 2,1 м.



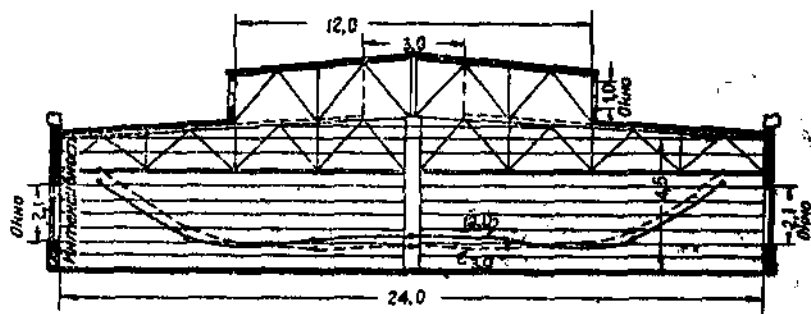
Расст. от окна	1,5	4,5	9,0	12,0
Освещ. в лк	940	450	290	580

Фиг. 27. Дневное освещение, получаемое одновременно от боковых окон высотой 3,6 м и от фонаря типа „Буало“ с высотой 1,0 м.



Расст. от окна	1,5	4,5	9,0	12,0
Освещ. в лк	1020	590	440	585

Фиг. 28. Дневное освещение, даваемое боковыми окнами в 3,6 м и фонарем „Буало“ высотой 2,1 м.



Пролет	12,0	8,0
max лк	700	720
min лк	182	350

Фиг. 29. Влияние пролета фонаря на распределение дневного освещения „при фонаре типа Буало“.

с максимальной интенсивностью освещения 720 лк и минимальной 270 лк ($\frac{\max}{\min} = \frac{720}{270} = 2,7$). В случае же более широкого фонаря (12,0 м) мы имеем спокойную кривую освещенности с максимумом 700 лк и минимумом 438 лк ($\frac{\max}{\min} = \frac{700}{438} = 1,75$).

Сравнивая полученные результаты с максимальной и минимальной освещенностями для тех же фонарей, но с вертикальными остеклениями, мы видим, что в результате одного наклона стекол минимальная освещенность увеличилась с 180 до 440 лк для узкого фонаря и с 150 до 270 лк для широкого фонаря. Обычно наилучший результат может быть получен при ширине фонаря, равной приблизительно половине ширины помещения. Вообще говоря, узких фонарей, особенно с наклонными стеклами, следует избегать. Хотя наклонное остекление дает значительно больше, чем вертикальное¹, все же к выбору наклона стекла следует подходить весьма осторожно, учитывая, что загрязнение наклонных стекол происходит значительно быстрее (глава „Эксплуатация света“), чем вертикальных. Поэтому для производственных условий, где выделение пыли велико и где мытье стекол производится не чаще двух раз в год, наиболее целесообразными являются фонари Буало.

В самом деле, взяв фонарь шириной в 6 м и построив кривые для вертикального и наклонного остеклений (фиг. 31), мы при чистых стеклах в первом случае получаем значительно меньшую освещенность, чем во втором. Однако спустя 6 месяцев загрязнение стекол вносит такие коррективы, что разница между минимальными освещенностями при вертикальном и наклонном окнах составляет всего лишь 9%. Нечто подобное происходит и с широкими фонарями (фиг. 32).

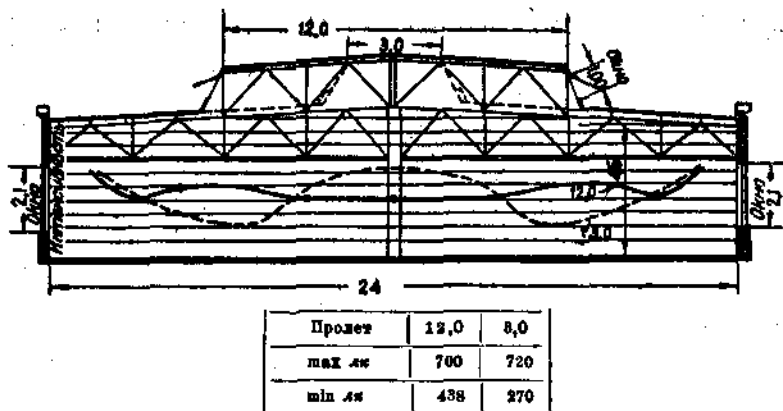
На этом основании можно заключить, что вертикальные окна (независимо от пролета) при редком мытье стекол обычно дают лучшие результаты.

Применение же наклонных остеклений ограничивается теми производственными помещениями, где помимо требований высокой интенсивности освещения достаточно высоки и санитарно-гигиенические условия работы. Кроме того наклонные окна требуют более частого мытья стекол.

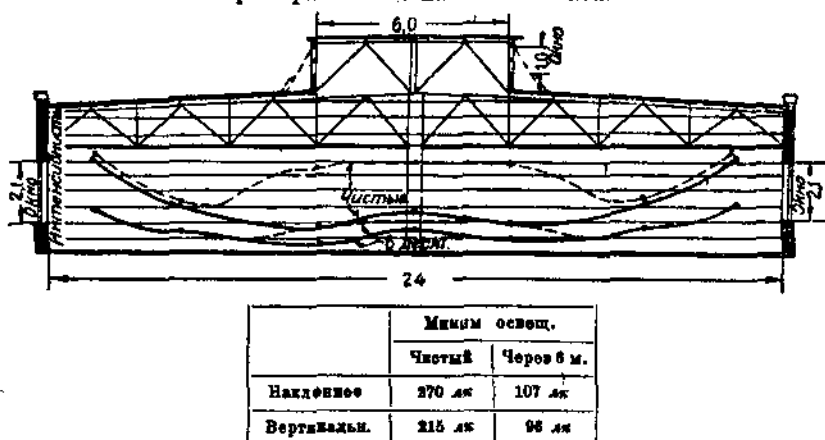
В качестве конкретного примера, характеризующего методы проектирования естественного освещения, рассмотрим световое решение для автобусного гаража, взятое из американской практики.

Разрез гаража представлен на фиг. 33. Кривые освещения построены для чистых окон и для окон с загрязнением в течение 6 месяцев. В указанном помещении в пасмурный день (подходящий по условиям к типичному дню, принятому в расчетах) была фотометрически проверена освещенность отдельных точек помещения. Проверочная кривая показана на фиг. 33 пунктиром. Как видно из фигуры, теоретическая и фактическая кривые весьма близко подходят друг к другу. Характер кривых показывает, что

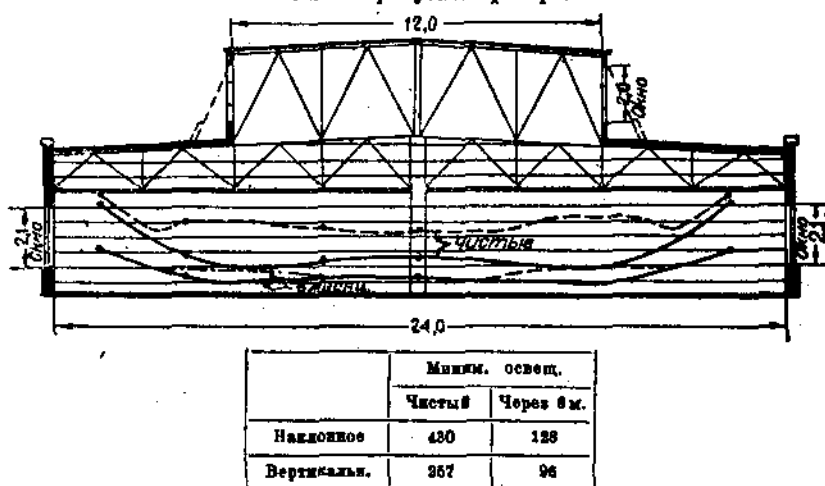
¹ Опытами установлено, что окно, наклоненное под 30° к вертикали, пропускает на 75% больше света, чем вертикальное окно той же высоты.



Фиг. 30. Влияние пролета фонаря на распределение дневного света при применении наклонных окон.



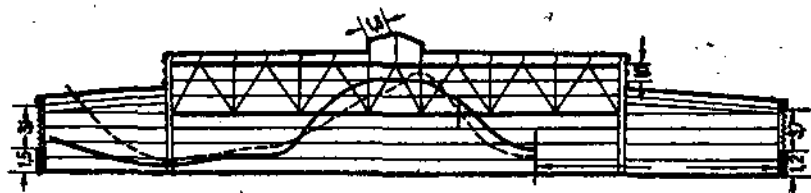
Фиг. 31. Сравнение дневного освещения при вертикальных и наклонных окнах при узком фонаре.



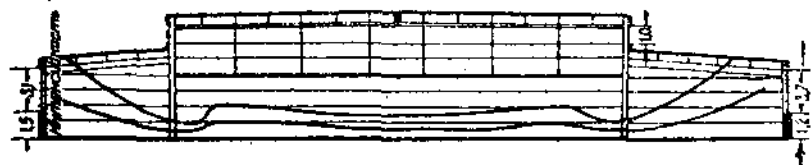
Фиг. 32. Сравнение дневного освещения при вертикальных и наклонных окнах в широком фонаре.

Наибольшей плотности световой поток достигает в центре помещения, а наименьшей — по линии стоек.

Проведем далее анализ характеристики освещения, получаемого от различного расположения световых отверстий.



Фиг. 33. Сравнение предполагаемой и действительной интенсивности освещения. Фактическая кривая показана пунктиром.



Фиг. 34. Кривые дневного освещения при исключении верхнего света.



Фиг. 35. Наклонное положение окон в фонаре увеличивает интенсивность освещения по линии стоек.

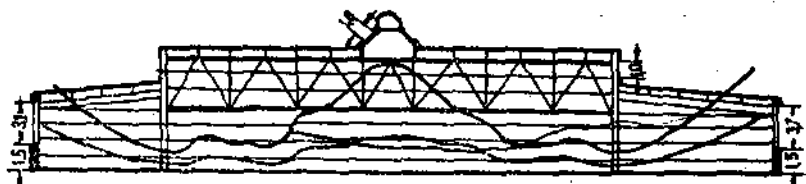


Фиг. 36. Кривые распределения дневного света в зависимости от увеличения площади окон в фонаре и применения комбинированных окон.

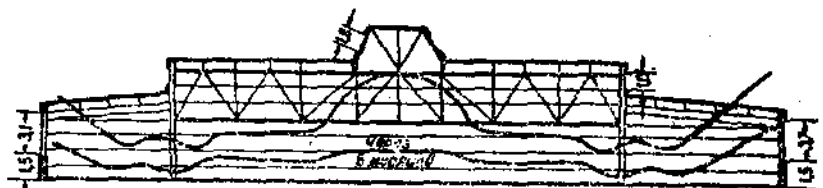
На фиг. 34 даны кривые дневного освещения при условии отсутствия фонаря. Как видим, минимальное освещение располагается по линии стоек. Желая увеличить интенсивность освеще-

ния. именно в этом месте, мы придаем боковым окнам возвышенной части наклонное положение (фиг. 35). Дальнейшее увеличение интенсивности освещения в середине помещения можно получить, увеличивая площади застекления и комбинируя наклонное остекление с вертикальным (фиг. 36).

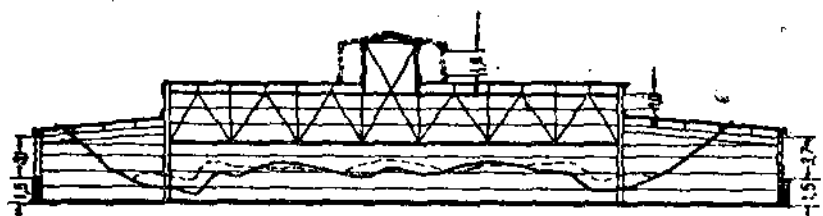
Вводя далее в середине высокой части помещения А-образный фонарь (фиг. 37), мы получаем кривые освещенности, ничем не отличающиеся от кривых, приведенных на фиг. 34. Расширение



Фиг. 37. А-образный фонарь дает такое же освещение, как и двускатный первоначальный фонарь.



Фиг. 38. Более широкий А-образный фонарь „Монитор“ дает более равномерное освещение, увеличивая минимальную интенсивность освещения.



Фиг. 39. Сравнение двух фонарей „Буало“ различной ширины показывает, какой должен быть пролет для создания однородного освещения.

А-образного фонаря, как видно из кривых освещенности, приведенных в фиг. 38, не только дает более равномерное освещение, но и улучшает минимальную освещенность в помещении.

Сравнивая затем кривые освещенности для двух фонарей типа Буало с различными ширинами (фиг. 39), мы видим, что увеличение ширины подобного типа фонаря создает хорошее равномерное освещение, мало влияя однако на интенсивность последнего.

Результаты упомянутых наблюдений систематизированы в табл. 6.

Сравнительные данные дневного освещения для проекта автобусного гаража

Виды окон	Максимальное освещение в люксах			Минимальное освещение в люксах			Равномерность освещения в люксах			Средняя освещенность в люксах		
	чистые окна	окна, немытые 3 мес.	окна, немытые 6 мес.	чистые окна	окна, немытые 3 мес.	окна, немытые 6 мес.	чистые окна	окна, немытые 3 мес.	окна, немытые 6 мес.	чистые окна	окна, немытые 3 мес.	окна, немытые 6 мес.
Первоначальный проект	1190	635	320	135	112	62	8,8	5,6	5,2	525	340	182
Вертикальные боковые окна	485	410	222	135	112	62	3,6	3,6	3,6	270	230	124
Наклонные боковые окна	485	410	225	233	186	87	2,1	2,2	2,6	372	255	127
Комбинированные окна	610	410	222	233	197	109	2,6	2,1	2,0	500	320	156
А-образный фонарь шир. 0,6 м	1125	730	345	135	112	62	8,4	6,5	5,6	480	357	182
Фонарь „Монитор“ шир. 4,5 м	1115	718	342	302	247	106	3,7	2,9	3,2	573	560	348
Фонарь „Буало“ шир. 3 м	485	410	225	135	112	62	3,6	3,6	3,6	350	356	160
Фонарь „Буало“ шир. 6 м	485	410	225	240	203	112	2,0	2,0	2,0	398	338	182

Анализ табл. 6 позволяет нам сделать следующие выводы:

1. Введение местного верхнего света в виде двускатного или А-образного фонаря, создавая „столб“ света непосредственно под фонарем, дает крайне неравномерное освещение. Так, случаи представленные на фиг. 33 и 37, дают $\frac{\max}{\min} = 8,4 - 8,8 > 3$ (для чистых стекол).

2. Введение фонаря типа „Монитор“ рационально, так как, увеличивая в два с лишком раза минимальное освещение, нивелирует последнее

$$\frac{\max}{\min} = 3,7.$$

3. Введение узкого фонаря типа „Буало“ способствует установлению достаточного минимума. Расширение пролета фонаря, улучшая минимальное (но отнюдь не максимальное) освещение, создает хорошее равномерное освещение

$$\frac{\max}{\min} = 2,0.$$

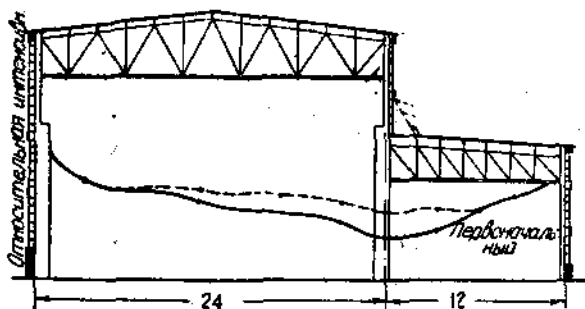
4. Для создания интенсивного местного освещения (например в нашем случае по линии стоек) достаточно ввести наклонные

остекления, резко увеличивающие минимум и выпрямляющие кривые освещенности (фиг. 35)

$$\frac{\max}{\min} = 2,1$$

(вместо 3,6 при вертикальном остеклении).

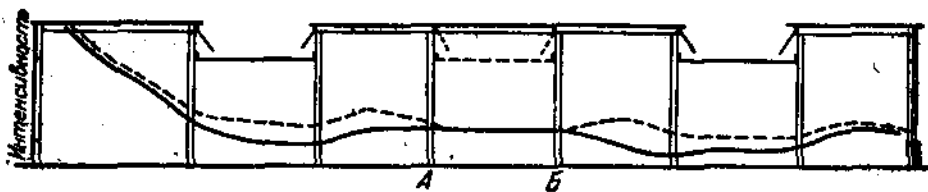
5. Разница в интенсивности освещения при условии достаточного загрязнения в значительной мере стирается.



чист.	только верт.	накл. и верт.
max лк	1800	1750
min лк	810	700

Фиг. 40. Улучшение освещения при помощи наклонного остекления.

и машинной мастерской. Благодаря большой площади остекления освещение хорошее. Однако по линии колонн, отделяющих высокую часть от низкой, освещение было улучшено применением наклонного остекления в месте примыкания низкой части здания к повышенной. На фиг. 41 представлен проект с широким фонарем посередине. Ввиду того что местами освещение было ниже



	1 шир. фонарь	2 узких фонаря
max лк	1180	1220
min лк	960	187

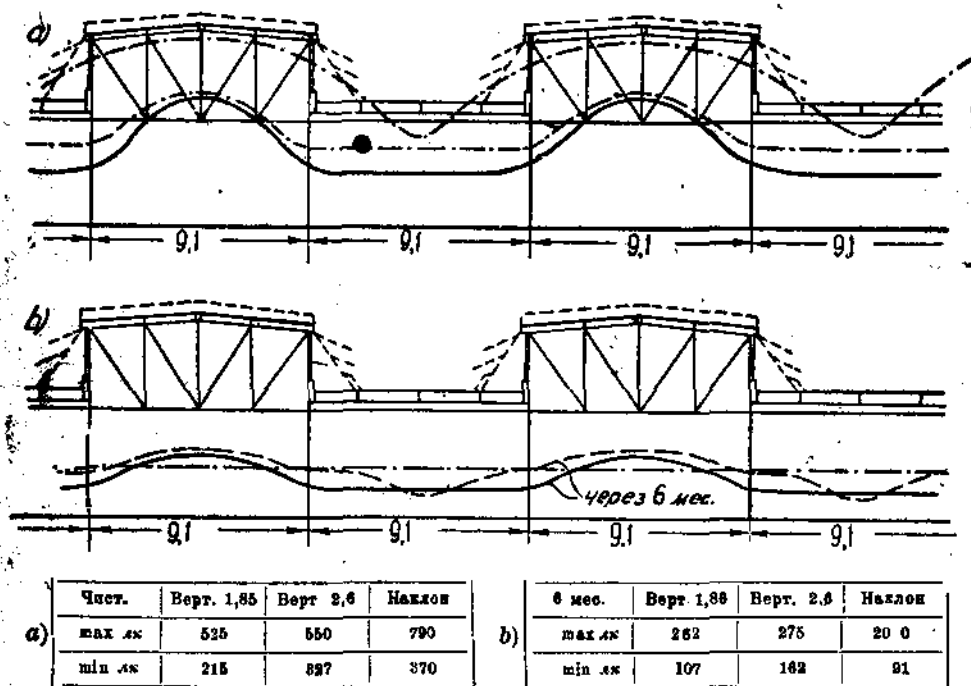
Фиг. 41. Проект с широким фонарем Буало посередине. Местами освещение было слабое < 100 лк. Устройство окон у ряда стоек в центре удвоило минимум.

требуемых 100 лк, были введены наклонные остекления у стоек А и В, что удвоило минимальную освещенность. На фиг. 42 изображена часть здания площадью около 80 м².

Применительно к этой площади построен ряд кривых освещенности для фонаря типа „Буало“ с переменной высотой его и для

фонаря типа „Монитор“. Кривые доказывают преимущества фонарей типа „Монитор“ для разбираемого случая. На этом типе фонарей проектировщик и остановился.

На фиг. 43 приводится проект машинной мастерской, освещаемой только через вертикальные окна в повышенной части помещения. В этом случае минимальная освещенность достигала всего лишь 22,5 лк. Введение А-образных фонарей в пониженной части увеличило максимальную и минимальную освещенности в 2 1/2 раза, сохранив примерно ту же равномерность освещения.



Высота — 1,85 при вертик. остекл.

„ 2,6 „

„ 2,6 при остекл. под 60° к гориз.

Фиг. 42. Исследование влияния фонарей, различных видов на освещенность в помещении.

Удовлетворительное освещение должно быть интенсивным и равномерным.

Интенсивность освещения достигается увеличением площади застекления, равномерность же определяется выбором типа размера и расположения остекления (фонарей) или же отражающих свет плоскостей.

Рациональная организация освещения, базирующаяся на правильном анализе, несмотря на большое разнообразие внешних условий освещенности (облачность, время дня, погода в течение дня), дает возможность добиться хороших условий освещенности в течение всего рабочего дня или большей его части.

Как мы уже говорили выше, проблема естественного освещения особенно остро встает сейчас в период широкого распространения одноэтажного строительства с верхним светом.

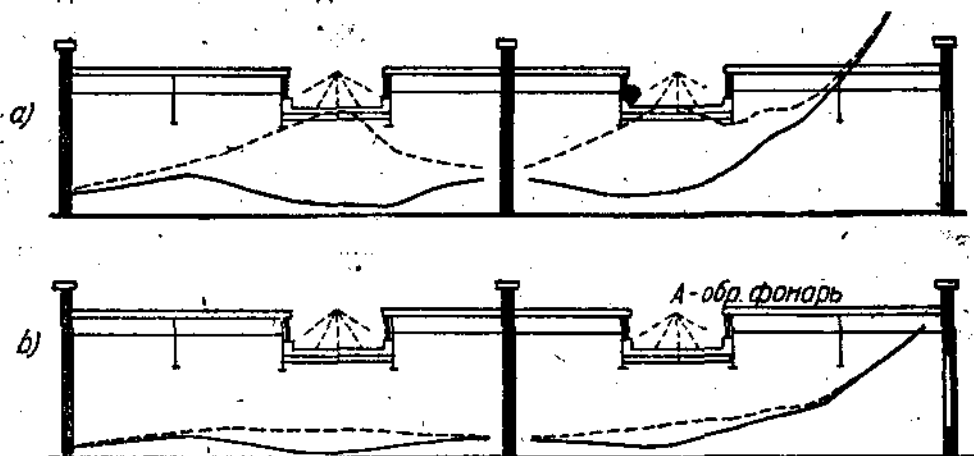
Здесь надо остановиться на работе Госпроекта¹ по установлению наиболее рационального типа фонаря. Исследованию были подвергнуты следующие типы фонарей (фиг. 44):

а) фонари шедовые с наклонным и вертикальным остеклениями;

б) фонари „Буало“;

в) „двускатные“.

Исследование показало, что по санитарно-гигиеническим условиям и стоимости наиболее целесообразным для текстильного производства является шед с наклонным остеклением.



а)	Чист.	Левая половина		Правая половина	
		без фонаря	с фонарем	без фонаря	с фонарем
	max лк	96	246	626	620
	min лк	22	68	51	107

б)	Через 6,0 мес.	Левая половина		Правая половина	
		без фонаря	с фонарем	без фонаря	с фонарем
	max лк	48	70,0	315,0	315,0
	min лк	11,8	21,0	25,6	53,6

Фиг. 43. Наклонные А-образные фонари у опущенных частей крыши увеличивают освещенность.

Если принять стоимость фонаря этого типа за 100%, то

стоимость шед с вертикальным остеклением составит 121%,

„Буало“ „ 133%,

двускатного фонаря „ 124%.

Следует отметить, что эти данные верны только применительно к прядильным фабрикам, для которых характерна небольшая высота помещения и повышенные санитарно-гигиенические условия. Было

¹ „Строительная промышленность“ № 4 за 1931 г.

бы неправильно всегда предпочитать какой-либо один тип фонаря всем другим.

Выше мы уже видели, что наилучшее решение дает обычно комбинация наклонных и вертикальных остеклений.

Кроме того при выборе типа фонаря надо обращать внима-

ние и на условия зрительной работы; в этом смысле важна не только достаточность освещения, но и ряд других факторов (например выбор направлений падения света), от которых зависят создаваемые светотени, играющие исключительную роль при распознавании деталей. Кроме того при организации освещения необходимо учитывать будущее расширение здания, возможность застройки соседних участков и местные затемнения от трансмиссий, ремней и шкивов, достигающие в отдельных случаях значительной величины.

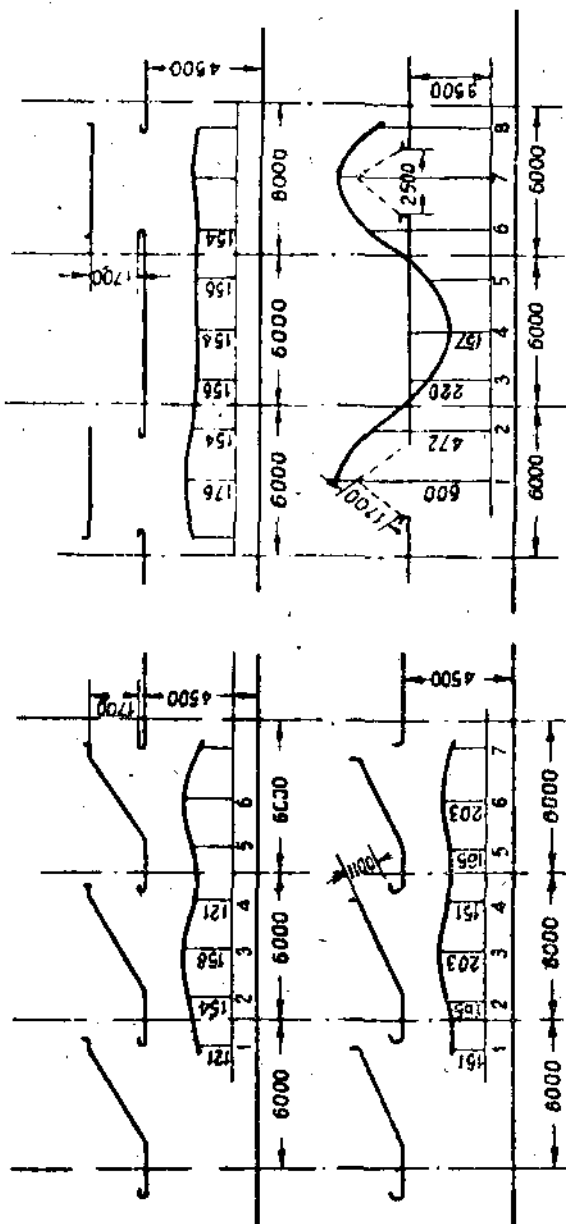
При проектировании вертикальных световых проемов мы должны исходить из следующих предпосылок:

1) необходимость выбора наиболее светоактивной и экономической формы окна;

2) необходимость повышения интенсивности освещения наиболее удаленных точек;

3) необходимость установления более равномерного режима освещения.

Приступая к выбору формы окна, надо прежде всего отнестись



Фиг. 44. Кривые освещенности помещений с верхним светом.

от мало обоснованных выводов арх. Барца и Владимирова¹, утверждающих, что лежащие окна при прочих главных условиях наиболее светоактивны и экономичны. Исследование, проведенное ЦНИПС, показало, что в несущих стенах наиболее выгодной формой окна является квадратная.

Квадратное окно, давая большую (почти на 15%) интенсивность освещения, дешевле горизонтального на 26%.

Для создания наилучшей интенсивности при вертикальном боковом остеклении, как мы уже видели, надо увеличивать площадь застекления, поднимая его возможно ближе к перекрытию.

Наконец создание хорошей равномерности освещения при боковом остеклении достигается соответствующим выбором фактуры и цвета рефлексирующих плоскостей стен, потолка и пола (табл. 7).

Таблица 7

Коэффициенты рассеивания		
№ п/п	Поверхность рассеивания	Коэффициент
1	Белая гладкая оштукатуренная поверхность	0,85
2	Желтая " "	0,40
3	Серая " "	0,35
4	Бледнозеленая " "	0,55
5	Темнозеленая " "	0,16
6	Только что выпавший снег	0,70
7	Бледноголубая поверхность	0,43
8	Темнокрасная " "	0,20
9	Дерево свежее	0,40
10	" загрязненное	0,20
11	Черный бархат	0,004
12	Черное сукно	0,012
13	Остекленная поверхность световых проемов	0,20

Примечание. Истинная величина рассеивания зависит не только от окраски, но и от шероховатости поверхности.

Ясно, что чем больше прямого света получают отдельные точки помещения, тем больше участие отраженного (от потолка, стен и пола) светового потока, сглаживающего противоречие между максимумом и минимумом. Влияние отраженного света при разной окраски плоскостей помещения может быть весьма значительным. Так, измерение освещения двух комнат одинаковых размеров с одинаковой площадью окон показало, что

а) при черной окраске потолка и стен $\frac{\max}{\min} = 336$,

б) при светлосерой окраске стен и при белом потолке $\frac{\max}{\min} = 71$.

Тем непонятнее становятся соображения, которыми руководствуются некоторые архитектора, применяя в общественно-гражданских зданиях темные (а иногда и черные) тона окраски для рефлексирующих плоскостей стен и потолка.

При естественном, как и при искусственном, освещении эти по-

¹ СА № 2—1929.

глющающие свет плоскости не приводят ни к чему, кроме разд-жения и быстрой утомляемости глаз. Правильным путем является использование рефлексирующих экранов, дающих при верных решениях значительное увеличение освещенности.

Для определения величины коэффициента отражения K_0 , всегда большего единицы, можно пользоваться формулой Рыннина

$$K_0 = \frac{1}{1 - \varphi},$$

где $\varphi = \frac{\Sigma S \alpha}{S}$; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — коэффициенты отражения плоскостей помещения.

Пример. Дана комната 4×6 м в плане, высотой 3,5 м (фиг. 45). В большой стене два окна размерами 2×2 м; потолок окрашен в белый цвет, стены в светлозеленый. Пол деревянный, крашеный в темнокрасный цвет. Определяем величины $S \alpha$:

- 1) для потолка $S \alpha = 6 \cdot 4 \cdot 0,85 = 20,4$;
- 2) „ стен $(6 + 2 \cdot 4) \cdot 3,5 \cdot 0,55 = 34,1$;
- 3) „ пола $6 \cdot 4 \cdot 0,20 = 4,8$.

$$\Sigma S \alpha = 52,2.$$

Таким образом

$$\varphi = \frac{\Sigma S \alpha}{\Sigma S} = \frac{52,2}{48 + 43 + 27} = \frac{52,2}{118} = 0,45.$$

Следовательно расчетный коэффициент отражения

$$K = \frac{1}{1 - 0,45} = \frac{1}{0,55} = 1,80.$$

При прохождении светового потока через оконное отверстие часть его расходуется на потери при поглощении и отражении света стеклами и переплетами окна. Пропускаемость различных стекол (если принять за 100% световой поток, поступающий в помещение через открытое окно) приведена в табл. 8.

Таблица 8

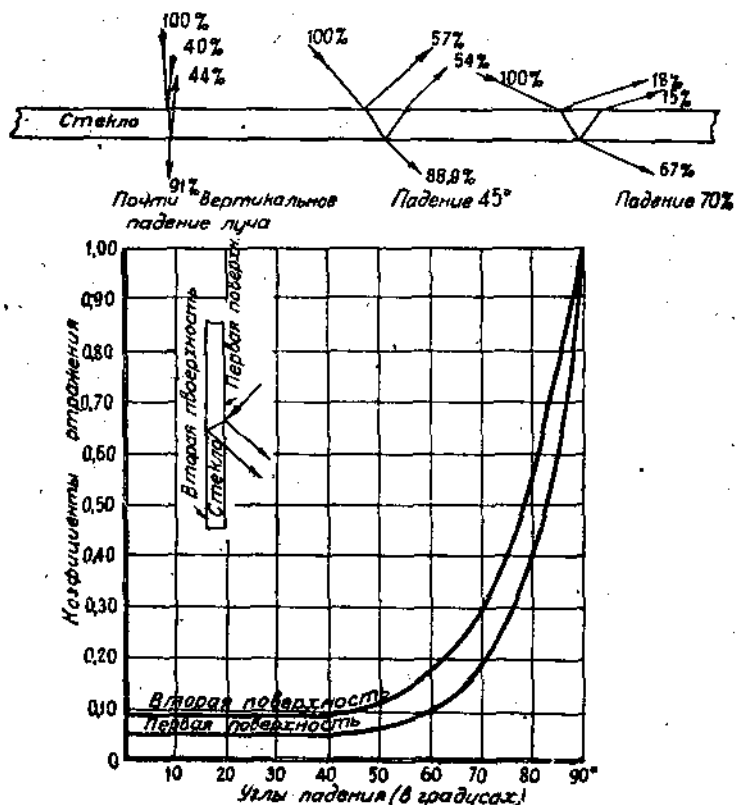
Коэффициенты поглощения света стеклом K_0 (по Рыннину) KC

№ п/п	Вид стекла	Коэффициенты
1	Простое оконное стекло	0,91
2	Двойное „	0,90
3	Литое и прессованное стекло	0,85
4	Рубчатое стекло	0,87
5	Матовое „	0,73
6	Молочное „	0,50—0,40
7	Стекло Мовье	0,85—0,80

¹ Стена, прилегающая к окну, и окна в величину $S \times \alpha$ не вводятся.

Отражающие свойства стекла зависят от угла наклона его к падающему лучу.

По мере уменьшения угла падения количество отраженного света увеличивается весьма интенсивно. При вертикально падающем на горизонтальное стекло луче гладкое стекло отражает около 4,5%. На фиг. 46 дана кривая коэффициентов K_o отражения при различных углах падения света на гладкую поверхность стекла для обеих поверхностей его.



Фиг. 46. Кривая коэффициентов отражения света от стекла.

Потери на затемнение от переплетов окна K_n по данным проф. Беляева¹ составляют обычно:

для металлических переплетов 5—10%
 „ деревянных и железобетонных до . . 35%

По американским данным коэффициент затемнения переплетами составляет:

1) для деревянных и железобетонных переплетов:

при свободной площади стекла . . . 0,20 м²—0,85
 „ „ „ „ . . . 0,15 „—0,82
 „ „ „ „ . . . 0,10 „—0,80

¹ Определение дневной освещенности помещений, Ленинград, Обл. упр. стр. контроля.

2) для железных переплетов при тех же площадях стекла соответственно 0,90; 0,85, 0,82;

8) для железных или деревянных переплетов при стекле „Монье“ — 0,90.

Зависимость пропускной способности стекла от продолжительности его эксплуатации и угла наклона его к горизонту (k_3) графически изображена на фиг. 47. При расчете и проектировании освещения следует учитывать все вышеупомянутые коэффициенты: K_0 , k_0 , k_1 , k_3 (k_3 — коэффициент, учитывающий загрязнение стекол), суммарное влияние которых K^1 дает в лучшем случае величину 0,67 (обычно же в расчетах принимают K равным от 0,30 до 0,50).

Величина этого суммарного коэффициента (0,30 — 0,50) говорит о больших потерях при прохождении света через световой проем; вот почему технической мыслью была остро поставлена задача рационализации светового проема. Одним из решений этой задачи является переход к одинарному остеклению². Анализ одинарного остекления фонарей „Монитор“ показал следующие выгоды такого решения:

1. Значительно увеличивается интенсивность освещения, а следовательно соответственно сокращается число часов горения электрического света.

Так, фотометрические измерения, проведенные автором, дали:

освещенность на подоконнике 10 000 лк или 100%;

освещенность между стеклами при двойном остеклении 5500 лк, или 55%;

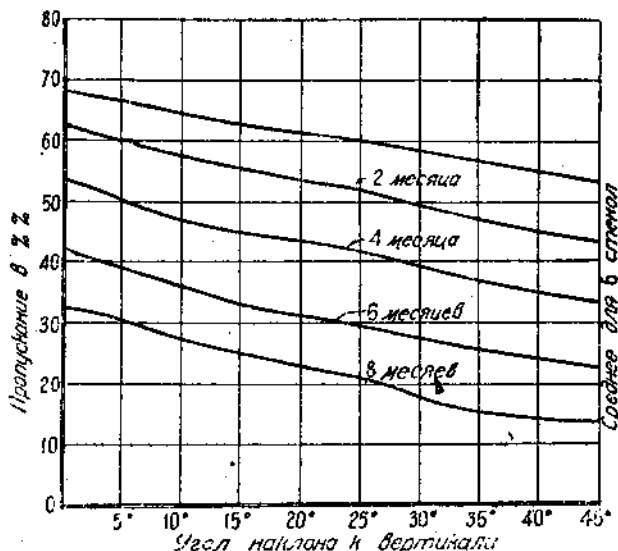
освещенность на подоконнике с внутренней стороны после прохождения света через два стекла 2600 лк, или 26%;

расчетные данные, зафиксированные кривыми (фиг. 48), дают примерно те же величины увеличения интенсивности освещения (54%).

2. Упрощается решение легкого и надежного открывания фонарей в целях естественной вентиляции: В свою очередь это уменьшает расходы на искусственную вентиляцию.

3. Ввиду повышенной температуры на внутренней поверхности стекла снег на внешней поверхности его быстро тает.

4. Введение одинарного остекления дает возможность получить ту же освещенность при значительно меньшей площади остекле-



Фиг. 47. Влияние наклона остекления на загрязнение.

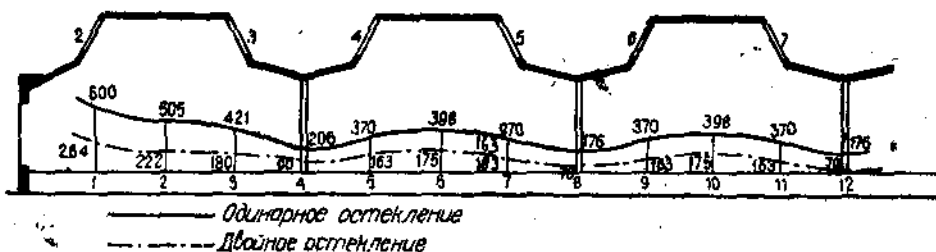
¹ Статья ниж. И. С. Николаева, „Современная архитектура“ № 2 за 1929 г.

² „Стройиндустрия“ №№ 5—6 за 1930 г.

ния. Следует заметить, что одновременные расходы по оформлению световых проемов в 3—4 раза превышают стоимость кровли.

Арх. Чериковер на основе предварительных расчетов пришел к выводу, что одинарное остекление фонаря „Монитор“ в условиях автосборочной не только дает 18 970 руб. ежегодной экономии на эксплуатации, но и уменьшает затраты на сооружение на 34 952 руб. (стоимость второго остекления и добавочных расходов на установку приборов отопления в пределах фонаря в целях устранения конденсата).

Переходя к ориентации остекления по странам света, надо сказать, что во всех производственных помещениях, где выделяется значительное количество производственного тепла, надо всячески избегать инсоляции. Требование возможно меньшей инсоляции предъявляется и к производствам, связанным с обработкой полированных, блестящих поверхностей или со сборкой мелких дета-



Фиг. 48. Анализ освещенности для автосборочной.

лей машин. Обычно в таких случаях помещение освещают диффузным северным светом с помощью шедов, препятствующих проникновению в помещение солнечных лучей. Ориентация остекления шедов принимается или на север или на северо-восток. Учитывая то обстоятельство, что наибольшую инсоляцию получают окна, ориентируемые на западную четверть горизонта, вертикальные остекления лучше ориентировать на северную или южную сторону, так как в этом случае вследствие высокого солнцестояния в помещение проникает сравнительно небольшой пучок лучей.

При наклонных остеклениях инсоляция значительно интенсивнее. При ориентации остекления на север и юг весьма интенсивная инсоляция наблюдается только в летние месяцы и то весьма короткий период; при этом непосредственной инсоляции подвергается только узкая полоса пола. Сравнивая эти данные с условиями весьма продолжительной, но, правда, менее интенсивной инсоляции, при ориентации остекления на запад и восток, мы приходим к выводу о необходимости отдать предпочтение северо-южной ориентации двустороннего остекления фонарей. Тем более, что для производства вредна как летняя инсоляция, дающая перегрев помещения и блескость, так и зимняя, создающая только блескость.

Итак, для полной защиты производственных помещений от инсоляции необходимо:

1. Вертикальные остекления (окна) ориентировать на север, северо-запад, северо-восток.

2. Наклонным остеклениям придавать угол наклона к горизонту не менее угла летнего солнцестояния в данной местности (чем южнее, тем круче). Ориентацию наклонных и вертикальных остеклений при двусторонних фонарях „Буало“ в случае жестких требований малой инсоляции рекомендуется производить на север и юг.

Мы рассматриваем световые проемы, оценивая только их светотехническую сущность. Но наличие световых проемов связано с проблемой естественной вентиляции. Надо отметить, что осуществление вентиляции помещения при помощи световых проемов в некоторых производствах играет исключительную роль (литейные, кузнечные и др.). В этих случаях самая форма фонаря уже функционально подчиняется требованиям естественной вентиляции (например фонари типа „Понд“).

Наша задача устроить световые фонари так, чтобы они одновременно отвечали естественной вентиляции и естественному освещению. Заканчивая настоящую главу, мы еще раз напомним те преимущества, которые дает применение изложенных положений при организации светового режима в помещении. В основном эти преимущества сводятся к следующему:

1. Широкая возможность нивелирования кривых освещенностей (равномерность).
2. Ликвидация в помещении затемненных мест.
3. Изменение высоты окон для получения желательной интенсивности светового потока.
4. Удовлетворение требованиям светотехническим и естественной вентиляции.
5. Экономическое проектирование освещения.
6. Правильная ориентация остекления по странам света.

VII. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Рассмотрим здесь вопрос о загрязнении стекол и о его значении для естественного освещения. Вопрос этот в наших условиях к сожалению совершенно не исследован, но экономическая сторона эксплуатации естественного освещения настолько серьезна, что неправильно было бы пренебрегать этой проблемой¹.

До сих пор строители анализировали вопросы верхнего освещения только с анатомической (конструктивной) точки зрения, почти совсем не интересуясь режимом и эксплуатацией этой важной части сооружения.

Лучи света прямого или диффузного, попадая в помещение, теряют большую часть своей интенсивности вследствие:

1. Отражения лучей. Количество отраженного света увеличивается с уменьшением угла падения лучей весьма интенсивно (фиг. 46). Обыкновенно стекло при самых благоприятных условиях пропускает не больше 91% света.

2. Загрязнения стекла. Последнее в свою очередь зависит от:
а) рода производства (например в кузнечной, литейной загрязнение стекол значительно больше, чем в других производствах;

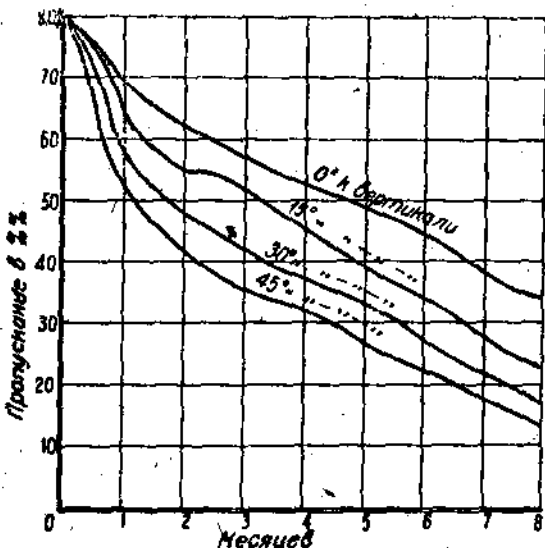
¹ Проведенные автором в 1932 и 1933 г. широкие фотометрические исследования на 11 предприятиях Москвы и г. Горького, показали чрезвычайно небрежную и безхозяйственную эксплуатацию естественного освещения в цехах.

б) от высоты помещений (в высоких помещениях загрязнение верхних стекол значительно больше чем нижних).

в) от продолжительности загрязнения (фиг. 49 показывает, что уже через 3 месяца загрязнение уменьшает освещенность почти на 50%);

г) от угла наклона остекления; как видно из фиг. 47 и 49, загрязненность и загрязнение стекол тем больше, чем меньше угол наклона к горизонту. С этой точки зрения фонари с вертикальными стеклами являются наиболее экономичными. Характерно, что загрязнение в основном (до 75%) происходит с внутренней стороны.

Поэтому при проектировании фонарей необходимо предусмотреть возможность легкого доступа для протирки внутренней стороны стекла;



Фиг. 49. Пропускание остекления в процентах в зависимости от времени загрязнения (среднее для 6 стекол).

д) от рода стекол. Из табл. 9 и 10 видно, как различные виды стекол пропускают свет и ведут себя в отношении загрязнения; наименее активным в смысле поглощения грязи является гладкое стекло.

Снижение интенсивности освещения через 6 месяцев достигает столь значительного процента, что заставило работников Гипромеза поставить на Всесоюзной конференции по естественному освещению вопрос о целесообразности вводить остекления в таких производствах, как кузнечное, цементное и т. п.

В условиях этих производств загрязнение стекол настолько интенсивно, что расходы на мытье стекол достигают весьма солидной цифры¹ (ежегодная очистка стекол Путиловского завода обходится в 108 000 руб.).

Предложение товарищей из Гипромеза следует рассматривать как путь наименьшего сопротивления в деле организации светового режима. Хорошая вентиляция, установка уловителей пыли в месте ее образования, регулярная, а иногда и непрерывная очистка стекол — вот единственно правильный и экономически оправданный выход. Из табл. 11 видно, что мытье стекол увеличивает освещенность помещения в 8,5 раза. Это улучшение освещенности дает воз-

¹ По Luckisch („Licht und Arbeit“) стоимость очистки 1 м² стекла составляет от 3,5 до 7 коп. По данным же ЦНИПСА стоимость очистки 1 м² остекления в кузницах стоит 25 коп.

Таблица 9

Пропускание стекол для направленного и диффузного света

№ п/п	Род стекла	Обращенная к свету сторона	Пропускание	
			для нормальных лучей	для рассеянного света
1	Гладкое		0,90	0,80
2	Негладкое	Негладкая	0,78	0,70
3		Гладкая	0,74	0,70
4	Зернистое	Негладкая	0,85	0,75
5		Гладкая	0,79	0,75
6	Крупнорифленое	Негладкая	0,77	0,62
7		Гладкая	0,52	0,62
8	Мелкорифленое	Негладкая	0,86	0,79
9		Гладкая	0,77	0,73
10	Волнистое	Негладкая	0,88	0,82
11		Гладкая	0,86	0,82

Таблица 10

Пропускание стекол в заводской обстановке

Толщины		Род стекла	Вид стекла	Расположе- ние	Загрязнение		Стекло чистое с обеих стор.
"	мм				с обеих сторон	с наруж- ной стор.	
1/4	8	Негладкое	Негладкое	Вертикальн.	0,522	0,728	0,832
		Рифленое	Рифленое		0,353	0,525	0,114
			Гладкое	Под 30°	0,367	0,568	0,645
1/8	3		Рифленое	Вертикал.	0,465	0,703	0,803
1/4	8		Гладкое	Под 30°	0,222	0,855	0,755
1/8	3	Негладкое		Вертикальн.	0,468	0,490	0,847

Примечание. Около 75% оседает на внутренней стороне.

Таблица 11

Влияние очистки на увеличение пропускания в условиях цехов с большими выделениями пыли.

№ п/п	Род стекла	Пропускание в процентах		Увеличение пропускания после очистки
		до очистки	после очистки	
1	Обыкновенное окон- ное стекло	12	88	7,3 раза
2		16	88	5,5 "
3	Мелкорифленое	14	80	5,7 "
4		17	76	4,5 "
5	Волокнистое	13	80	6,1 "
6		5	75	15,0 "

возможность более позднего включения электричества. Таким образом мытье стекол нисколько не является вынужденной необходимостью.

Вышеприведенные соображения дают возможность сделать следующие выводы:

1. Загрязнение остекления, уменьшая его пропускание, значительно снижает освещенность помещений.

2. Загрязнение остекления увеличивается с уменьшением угла наклона к горизонту.

3. Стекла с негладкой поверхностью скорее загрязняются и труднее поддаются чистке.

4. Наибольшее загрязнение стекол происходит с внутренней стороны, поэтому особенно важно мытье стекол с внутренней стороны.

5. Очистка остекления дает существенное улучшение естественного освещения.

6. Очистку стекол надо производить регулярно, из них один раз обязательно осенью для того, чтобы лучше использовать скудную освещенность зимой.

7. Необходимо разработать специальные правила ухода за остеклением фабрично-заводских зданий.

8. При проектировании остекления необходимо предусматривать легкий доступ для очистки и возможность легкого открывания стекол.

9. При наличии верхнего освещения (фонаря) целесообразны плоские крыши, удобные для очистки стекол с наружной стороны и создающие наименьшее количество непосредственных препятствий прониканию в помещение естественного света.

VIII. НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Нормирование естественного света связано с большими затруднениями в силу исключительных особенностей источника света, заключающихся в следующем:

- 1) невозможность регулирования естественного света,
- 2) непостоянство освещенности во времени,
- 3) большие различия в световом климате разных местностей,
- 4) отсутствие сколько-нибудь широких данных о световом климате СССР,
- 5) большая трудность, а подчас и невозможность корректирования естественного освещения после окончания постройки,
- 6) наличие внешнего и внутреннего светорассеяний.

Говоря об особенностях самого осветительного устройства (светового проема), мы уже отмечали характерные черты этого рода осветительных устройств:

- 1) световые проемы органически связаны с самим зданием,
- 2) эффективность световых проемов зависит не только от их размеров, формы и расположения, но и от размеров и окраски соседних зданий или иных световых экранов, окружающих данное здание,
- 3) световые отверстия, органически связанные со зданием, естественно не могут быть исправляемы по окончании его постройки.

Все это конечно затрудняет нормирование естественного освещения. Эмпирические же методы разрешают задачу освещенности естественным светом без учета приведенных особенностей. К та-

ним эмпирическим методам прежде всего следует отнести так называемое „геометрическое нормирование освещения“, т. е. правила, устанавливающие геометрические соотношения между отдельными элементами помещения. Так, в „Единых нормах проектирования промышленных зданий“ в главе „Освещение производаний“, § 7, находим следующие правила:

...п. 4. Отношение световой поверхности окна к площади пола, освещаемого боковыми окнами помещения, должно быть не менее:

а) в проходах между помещениями или в коридорах (если они имеют непосредственное дневное освещение), а равно и в лестничных клетках 0,075 или около $\frac{1}{14}$;

б) в рабочих помещениях, в коих производятся грубые работы, не требующие различения деталей, а также в уборных, умывальных, душевых и раздевальных, если они имеют непосредственное естественное освещение, 0,100 или $\frac{1}{10}$;

в) в рабочих помещениях, в коих производятся средние работы, требующие различения крупных и средних деталей, от 0,125 до 0,150 или от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{7}$;

г) в рабочих помещениях, в коих производятся мелкие и точные работы, требующие различения мелких деталей, от 0,175 до 0,200 или от $\frac{1}{7}$ до $\frac{1}{5}$.

Нормы эти применяются для бокового освещения при наличии обычных условий планировки и застройки.

Указанные нормы ничего не говорят о величине и распределении света, о влиянии переплетов, стекла и т. п. Ввиду их чисто эмпирического обоснования они пригодны только в условиях, проверенных практикой. Сюда относятся прежде всего жилые помещения, где имеющийся уже стандарт наибольшей глубины помещений (6—7,0 м) и вековой опыт дают возможность удовлетворительно решать задачу освещения.

Отношение площади окна к площади пола может быть заменено отношением площади светового проема к объему помещения¹. Baumeister предложил для жилых помещений брать 1 м² окна на 30 м³ объема помещения. Здесь мы уже видим учет высоты помещения.

Действующие нормы Наркомтруда предъявляют производственным помещениям следующие требования:

1) площадь светового проема должна быть не менее $\frac{1}{8}$ площади пола;

2) глубина помещения не должна превышать утроенного расстояния верхнего края окна от пола;

3) высота смежных зданий, имеющих окна, не должна превосходить расстояния между этими зданиями.

Результаты пользования этими нормами внушают большие сомнения. В самом деле, фиг. 50 указывает, что в данном случае внешние условия учитываются весьма приближенно. Так, мы видим, что при увеличении расстояния между зданиями и при различной высоте их область доступа прямых лучей в помещение уменьшается почти наполовину. Но несовершенство геометриче-

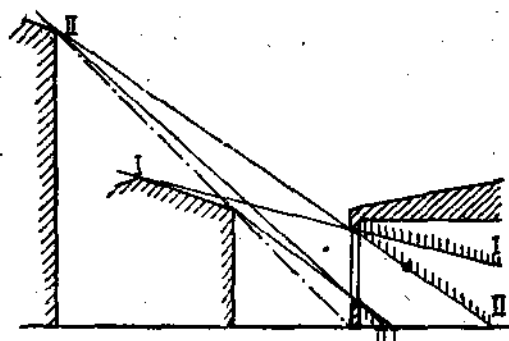
¹ Baumeister, Normale Bauordnung.

ского нормирования не только в этом. Его основными недостатками являются:

1) стеснение свободы архитектурной композиции, выражающееся в крайнем ограничении глубины помещения, формы и расположения окон, простенков и т. п.;

2) отсутствие стимулов для сравнительной оценки интенсивности и равномерности освещения;

3) невозможность проведения какого-либо анализа по существу влияния формы и расположения световых проемов на освещенность данного помещения. Все это особенно наглядно выступает при рассмотрении норм освещения для одноэтажных зданий с верхним светом¹.



Фиг. 53. Затемнение от соседних зданий.

Параграф 3 „Единых норм“ (стр. 107) в главе „Фабрики и заводы“ гласит:

Если помещения освещаются световыми фонарями, в коих остекленные поверхности наклонены под углом не более 60° к горизонту, отношение полезной горизонтальной проекции остекленных поверхностей к освещаемой площади пола должно быть в зависимости от требуемого для данной работы напряжения зрения не менее величин, указанных в табл. 12.

Таблица 12

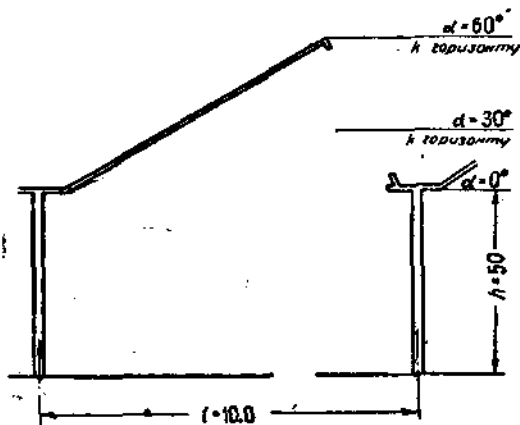
Расстояние от пола до нижней грани остекленных поверхностей в м	Отношение расстояния от пола до нижней грани остекленных поверхностей к величине пролета		
	0,50	1,00	1,50
Грубая работа			
5	0,125	0,100	0,075
10	0,150	0,125	0,100
15	0,175	0,150	0,125
Средняя работа			
5	0,200	0,175	0,150
10	0,225	0,200	0,175
15	0,250	0,225	0,200
Точная работа			
5	0,250	0,175	0,150
10	0,300	0,275	0,250
15	0,326	0,306	0,275

¹ Из доклада Л. А. Пашковой на I Всесоюзной конференции по естественному освещению.

Для проверки положения, действительно ли одно и то же отношение горизонтальной проекции площади пола в процентах характеризует освещенность, были проведены подсчеты коэффициентов дневной освещенности в следующих случаях:

1. Шедовые фонари с углом наклона 60° к горизонту. Принимая во внимание, что для одной и той же точности работы должны получиться более или менее близкие коэффициенты естественного освещения, сравним результаты подсчетов по горизонтали и вертикали, т. е. при одной и той же высоте здания h , но различных отношениях высоты здания к ширине пролета h/l или при постоянном h/l , но при различных h .

Для проверки таблицы по горизонтали рассмотрим данные для грубой работы. Взято многопролетное здание с расстоянием от пола до нижней грани остекленных поверхностей в 5 м (фиг. 51). Полученные расчетом минимальные коэффициенты естественного освещения показаны в табл. 13.



Фиг. 51.

Таблица 13 (к фиг. 51)

Остекление под углом 60° к горизонту

$h/l = 0,5$
 $e_{\min} = 9,2\%$

$h/l = 1,0$
 $e_{\min} = 9,4\%$

$h/l = 1,5$
 $e_{\min} = 5,73\%$

Проверяя табл. 12 по вертикали, т. е. при постоянном отношении высоты здания к ширине пролета h/l и переменных высотных здания h , получаем почти аналогичные данные.

Например для средней работы при отношении $h/l = 1,0$ получены минимальные коэффициенты дневного света, сведенные в табл. 14.

Таблица 14

Световой фонарь С углом наклона 60°	$h = 5 \text{ м}$ 15,2%	$h = 10 \text{ м}$ 13,5%	$h = 15 \text{ м}$ 10,7%
---	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

И здесь полученные коэффициенты дневного света отличаются друг от друга весьма значительно (до 30%).

Для того чтобы еще более убедиться в том, что нормирование, положенное в основу „Единых строительных норм“, построено на неправильных основаниях, приведем данные для ряда практических случаев.

а. Нормирование (табл. 1) грубой работы в многопролетном здании при $h = 5$ м; $l = 10$ м, следовательно при $h/l = 0,5$ указывает, что горизонтальная проекция остекления фонарей должна быть равна $12/5\%$ от площади пола или в нашем случае $1,25$ м. Минимальный коэффициент естественного освещения будет:

для угла 60° к горизонту фонаря . . . $9,2\%$.

б) Для средней работы $h = 10$ м и $l = 10$ м, т. е. при $h/l = 1,0$, горизонтальная проекция должна быть 20% от площади пола, следовательно в нашем случае горизонтальная проекция равна $2,0$ м.

Полученный коэффициент естественного освещения:

для угла 60° к горизонту . . . $13,5\%$.

в) Для точной работы взято здание многопролетное высотой $h = 15$ м и шириной пролета $l = 10$ м, т. е. $l/h = 1,5$. Как видно по табл. 1 „Норм“, горизонтальная проекция остекления фонарей должна быть $27,5\%$ от площади пола, в нашем случае $2,75$ м.

Полученный коэффициент естественного освещения:

для угла 60° к горизонту фонаря . . . $16,5\%$.

Из приведенных примеров можно вывести следующее.

Полученные значения минимальных коэффициентов дневной освещенности совершенно не увязываются с требованиями § 7 „Норм“ сер. VIII, № 1). Так, из вышеприведенных данных вытекает, что коэффициенты естественной освещенности для грубой работы составляют $9,2\%$; для средней работы $13,5\%$, для точной работы минимальный коэффициент освещенности составляет $16,5\%$.

Таким образом, пользуясь геометрическими соотношениями частей здания, указанными в табл. 1 для данной точности работы, мы получаем численные значения минимальных коэффициентов дневной освещенности, значительно превышающие предложенные в § 7 „Норм“ (грубая работа — $2,50\%$, средняя работа — $3,75\%$ и точная работа — $5,0\%$).

Далее таблица составлена неправильно, так как, проверив таблицу по вертикали и горизонтали для данной точности работы, получаем совершенно разные значения коэффициента естественного освещения.

И наконец, „Нормы“ (стр. 107, табл. 9), дифференцируя производственные условия на работу грубую, среднюю и мелкую, предлагают проектировщику широкое поле для приложения индивидуальной фантазии при выборе степени освещения.

Перейдем теперь к § 4 „Норм“, в котором рекомендуется следующее: если помещение освещается естественным светом через вертикальные или наклонные к горизонту под углом более 60° остекленные поверхности, то отношение световой поверхности фонарей к площади освещаемого пола должно быть не менее величин, указанных в табл. 15.

Следовательно за основу расчетов по табл. 15 берется отношение площади остекления к площади пола.

Таблица 15

Расстояние от пола до нижней грани остекленных поверхностей в м	Отношение расстояния от пола до нижней грани остекленных поверхностей к величине пролета		
	0,50	1,00	1,50
Грубая работа			
5	0,175	0,200	0,225
10	0,200	0,225	0,250
15	0,250	0,275	0,300
Средняя работа			
5	0,250	0,275	0,300
10	0,275	0,300	0,350
15	0,300	0,350	0,400
Точная работа			
5	0,350	0,375	0,400
10	0,375	0,400	0,425
15	0,425	0,450	0,475

Рассмотрим следующие типы фонарей:

2. Шедовые фонари с вертикальным остеклением.

Для проверки установленных норм исследовались три случая:

а) Грубая работа — взято многопролетное здание высотой $h=5$ м и шириной пролета $l=10$ м. Как видно из табл. 15, остекление должно составить 17,5% от площади пола. При высоте окна 1,75 м подсчитываем коэффициент дневной освещенности в наиболее плохо освещенной точке (3,35%).

б) Средняя работа — рассматривалось здание высотой 10 м и шириной пролета $l=10$ м. Согласно требованиям табл. 10 площадь остекления должна быть равна 30% площади пола. При высоте окна, равной 3,0 м, минимальный коэффициент дневной освещенности получается 5,36%.

в) Точная работа — взято здание высотой 15 м и шириной пролета 10 м. Отношение остекления к площади пола должно быть 47,5%. При высоте остекления $h=4,75$ м минимальный коэффициент дневной освещенности получился равным 8%.

При более детальном анализе табл. 11 "Норм" выяснилось, что для одной и той же точности работы получаются совершенно различные коэффициенты дневного света. Например для грубой работы, проверяя табл. 15 по вертикали, получаем следующие значения минимальных коэффициентов дневной освещенности (табл. 16).

Таблица 16

Высота здания в м	Отношение высоты здания к ширине пролета	
	$h/l = 0,5$	$h/l = 1,0$
5	$e_{\min} = 3,35\%$	$e_{\min} = 4,35\%$
10	$e_{\min} = 4,3\%$	$e_{\min} = 5,55\%$
15	$e_{\min} = 4,9\%$	$e_{\min} = 7,4\%$

Отсюда следуют те же выводы, что и по 3 пункту:

а) внутренняя неувязка таблицы;

б) несоответствие предлагаемых таблицей норм § 7 „Единых норм“.

3. „Фонари типа Буало“.

Проверка произведена для трех случаев:

а) Грубые работы — исследовалось многопролетное здание высотой $h = 5$ м и длиной каждого пролета $l = 10$ м.

Из табл. 4 $\frac{\text{остекление}}{\text{площ. пола}} = 17,5\%$. Ширина фонаря бралась 1,25 м для всех трех случаев.

Полученный при этих условиях минимальный коэффициент дневной освещенности был 2,50%.

б) Средние работы — взято здание высотой $h = 10$ м и длиной пролета $l = 10$ м. По табл. 4 $\frac{\text{остекление}}{\text{площ. пола}} = 30,0\%$. Полученный вычислением минимальный коэффициент дневной освещенности был 3,90%.

в) Точные работы — рассматривалось здание высотой $h = 15$ м и длиной пролета $l = 10$ м. По табл. 4 $\frac{\text{остекление}}{\text{площ. пола}} = 47,5\%$. Полученный при этих условиях минимальный коэффициент естественной освещенности составляет 5,00%.

В § 4 „Норм“ ничего не говорится о ширине фонаря „Буало“, а между тем ширина фонаря играет серьезную роль в распределении освещенности по помещению. Для выяснения этого вопроса был произведен учет изменения коэффициента дневного света в многопролетном здании высотой $h = 5$ м с перекрываемым пролетом $l = 10$ м при разных площадях остекления в 20, 30, 40% от площади пола и при различных ширинах фонарей. Оказалось, что при небольшой ширине фонаря — в 1—2 м — минимальная освещенность находится в точке под фонарем. При увеличении же ширины фонаря она переходит от точки под фонарем к точке в середине пролета. На фиг. 52 нанесены кривые зависимости коэффициента естественного освещения от ширины фонаря для средней точки под фонарем при различной степени остекления; из фигуры видно, как меняется освещенность: вначале при небольшой ширине фонаря кривая поднимается очень резко, но с некоторого момента коэффициент дневной освещенности остается постоянным.

Освещенность же точки в середине пролета при увеличении ширины фонаря изменяется очень незначительно, да и то в пределах увеличения ширины с 1 до 2 м. При дальнейшем же увеличении ширины фонаря она остается постоянной табл. 17.

Эти данные сведены в табл. 17 (стр. 69).

Существенным недостатком геометрического нормирования является также неувязка норм освещенностей для бокового и верхнего освещений. При рассмотрении этих норм для работ различной точности получены следующие показатели (табл. 18 на стр. 69).

Несовершенство норм влечет за собой экономический ущерб (излишние единовременные и эксплуатационные расходы или же плохой световой режим). Поэтому в последнее время геометри-

ческое нормирование стали заменять нормированием „прямым“, требующим на рабочей плоскости определенного количества люкс.

Таблица 17

Ширина фонаря в м	Остекление 20% от пло- щади пола	Остекление 30% от пло- щади пола	Остекление 40% от пло- щади пола
1	$e_{\min} = 4,9$	$l_{\min} = 5,5$	$e_{\min} = 5,6$
2	$e_{\min} = 4,9$	$l_{\min} = 6,5$	$e_{\min} = 7,0$
3	$e_{\min} = 5$	$l_{\min} = 6,5$	$e_{\min} = 8,2$
4	$e_{\min} = 4,9$	$l_{\min} = 6,5$	$e_{\min} = 8,4$
5	$e_{\min} = 4,8$	$l_{\min} = 6,6$	$e_{\min} = 8,5$
6	$e_{\min} = 4,8$	$l_{\min} = 6,6$	$e_{\min} = 8,5$
7	$e_{\min} = 5,0$	$l_{\min} = 6,5$	$e_{\min} = 8,5$

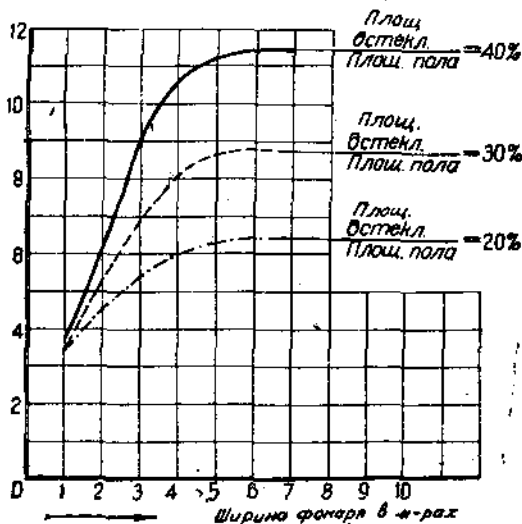
Таблица 18

Виды работ	Боковое освещение		Верхнее освещение	
	площ. окон	площ. пола	гориз. проекция	площ. пола
		в %		в %
Грубая работа	10	0,18	12,5	6
Средняя „	12,5	0,24	20	10
Точная „	17,5—20	0,33	27,5	14,5

Здесь при расчетах исхо-дили из норм искусствен-ного освещения, но вводили коэффициент, равный 3, со-гласно американскому ко-дексу по освещению.

Но из приведенной та-блицы рекомендуемых осве-щенностей видно, что при „прямом“ нормировании нет единого, жесткого прин-ципа, устанавливающего рациональные величины ос-вещенностей (колебания до 300—500%).

Кроме того особенности естественного освещения де-лают почти невозможным применение этого „прямо-го“ метода нормирования, в силу чего явилась потре-бность в нормировании не только приспособленном к



Фиг. 52. Кривые зависимости коэффициента дневной освещенности от ширины фонаря „Буало“ (для средней точки под фонарями).

этим особенностям, но и полученном на основе светотехнических расчетов.

Указанным требованиям вполне удовлетворяет нормирование так называемого „расчетного минимального коэффициента“ дневной освещенности.

Этот коэффициент дневной освещенности, фиксирующий отношение освещенности в данной точке к одновременной наружной освещенности горизонтальной площадки на открытом месте, характеризует относительную освещенность помещения и является сравнительно постоянной величиной. С этой точки зрения прилагаемый ниже разработанный ЦНИПС-ом проект новых норм по естественному освещению, основанный на нормировании величины $k. е. о.$, представляет уже большой шаг вперед, так как основывается не на субъективных соображениях, а опирается на ряд экспериментальных работ проведенных ЦНИПС-ом на ряде предприятий.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРОЕКТ НОРМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Настоящим правилам должно удовлетворять естественное (дневное) освещение всех рабочих помещений проектируемых промышленных зданий.

§ 1. Производственные помещения, предназначенные для постоянного пребывания в дневное время рабочих, должны иметь светопроемы, дающие прямое естественное освещение от небосвода.

Примечание. Отступления от этого правила допускаются в том случае, если по роду производственного процесса работа при естественном освещении недопустима.

§ 2. Вспомогательные помещения, предназначенные для временного пребывания рабочих, могут быть с согласия органов надзора допущены без светопроемов (освещение только искусственным светом) в тех случаях, когда это диктуется строительными особенностями или экономической необходимостью.

§ 3. Проектирование светопроемов должно производиться на основании светотехнического расчета и обоснованного выбора системы естественного освещения.

Примечание. Основные предпосылки для светотехнического расчета, а также указания для выбора типа и конструкции окон и световых фонарей даны в инструкции.

§ 4. Все рабочие помещения промышленных зданий разбивают согласно производимой в них основной работы на три разряда:

I. Особо точная работа, требующая различения мельчайших деталей (точная механика и т. п.).

II. Работа, не требующая различения мельчайших деталей (основная масса производственных помещений).

III. Работа, не требующая различения деталей вообще (складские помещения и т. п.).

§ 5. В тех случаях, когда по всему помещению должны идти работы, соответствующие разряду I и II, и когда производственный процесс и экономическая целесообразность позволяют пользоваться одноэтажным строительством, следует применять верхний свет (светопроемы в крыше), так как боковой свет несравненно менее благоприятен с точки зрения достаточности освещенности по всему помещению и равномерности в ее распределении.

§ 6. Нормируется расчетная величина коэффициента естественной освещенности (в дальнейшем обозначаемая $k. е. о.$), под которым понимается отношение освещенности на данном месте к одновременному значению горизонтальной освещенности, создаваемого всем небосводом. Величина $k. е. о.$ дается в процентах.

§ 7. При расчете величины к. е. о. должны быть учтены потери света на отражение и поглощение света остеклением и оседавших на нем пылью и грязью, на затемнение переплетом и элементами конструкции. Коэффициент пропускания света светопрозрачным, на который нужно множить величины к. е. о., найденные без учета указанных светопотерь, следует принимать равным:

	Одноразное остекление	Двойное остекление
Фонарь верхнего света	0,45	0,30
Окно бокового	0,50	0,40

§ 8. Нормируются как условия освещения всего помещения в целом, так и условия освещения отдельных рабочих мест.

В качестве характеристики равномерности и достаточности освещения всего помещения в целом принимаются значения к. е. о. "условной" рабочей плоскости, под которой понимается горизонтальная плоскость, проходящая на высоте 1 м от пола.

В качестве характеристики достаточности освещения отдельных рабочих мест принимаются значения к. е. о. рабочих поверхностей с учетом их расположения в пространстве.

§ 9. В помещениях, освещаемых верхним светом или комбинированным (верхний и боковой), среднее значение к. е. о. в точках условной рабочей плоскости, расположенных по наиболее характерному продольному и поперечному разрезам, должно лежать в пределах:

Разряд	Средний к. е. о.
I	6—8%
II	4—6%
III	2—4%

Примечания 1. В случае представления обоснованных данных о целесообразности повышения среднего значения к. е. о. по сравнению с соответствующим верхним пределом, указанным в настоящем параграфе, это может быть разрешено утверждающей окончательный проект инстанцией.

2. В крайних южных местностях Союза (широта меньше 44°) для величины среднего значения к. е. о. могут быть с разрешения утверждающей окончательный проект инстанции даны пониженные по сравнению с нормами настоящего параграфа значения, если будет обосновано доказана невозможность решения строительной задачи без опасности вызвать чрезмерный перегрев здания.

§ 10. В помещениях, освещаемых верхним или комбинированным светом, значения к. е. о. в точках условной рабочей плоскости не должны в одном пролете данного разреза отличаться друг от друга более, чем в три раза.

Примечание. Отдельные точки, в которых имеется пониженная освещенность, вследствие затемнения какой-либо частью конструкции или оборудования при определении равномерности освещения во внимание не принимаются.

§ 11. В помещениях, освещаемых одним боковым светом в качестве характеристики равномерности и достаточности освещения всего помещения в целом принимаются следующие величины: относительная площадь остекления — отношение площади всех светопрозрачных (приходящейся выше условной рабочей плоскости) к площади пола — и глубина заложения — отношение расстояния от застекленной стены до противоположной стены к высоте верхнего края окна над полом — в случае одностороннего света — и отношение половины ширины помещения к высоте верхнего края окна над полом — в случае двухстороннего света.

Величины относительной площади остекления должны быть не менее:

	I	II	III
Меньше 1,5	0,20	0,15	0,10
от 1,5 до 2	0,25	0,20	0,15
2	0,30		
2,5	недопуст.	0,25	0,20
3	недопуст.	недопуст.	0,20
более 3,5	недопуст.	недопуст.	недопуст.

Примечания: 1. По производственным соображениям или с точки зрения экономической целесообразности в виде исключения, требующего особого разрешения, может быть допущена большая глубина заложения, чем указанная в таблице настоящего параграфа. В этих случаях окна должны доходить до потолка и должен быть дан строительно-возможный максимум застекления выше условной рабочей плоскости.

2. Если выходящие из рабочих помещений окна обращены в сторону какого-либо другого сооружения или части того же самого здания, затемняющего данное помещение, то требуемые минимальные относительные площади остекления увеличиваются по сравнению с указанными в настоящем параграфе путем умножения последних на коэффициент затемненности, равный отношению к. е. о. с наружной стороны светопроема в случае отсутствия затемняющих преград (который равен 0,5) к к. е. о. с наружной стороны светопроема, вычисленному с учетом затемнения противлежащим сооружением. Если получаемые при этом нормы для относительной площади остекления невозможны или не могут быть выдержаны, то следовательно взятый коэффициент затемненности при данном разряде точности работы и данной глубины заложения недопустим.

Такое затемнение, при котором из некоторых точек условной рабочей плоскости, приходящихся в рабочей части помещения, совершенно не видно небо, недопустимо.

§ 12. Коэффициенты с естественной освещенностью отдельных рабочих поверхностей во всех производственных помещениях должны быть во всяком случае выше чем:

Разряд	Минимальный к. е. о.
I	1,50%
II	0,80%
III	0,50%

Примечания: 1. В случаях, предусмотренных примечанием 2 к § 9 и примечанием 1 к § 11, нормы для минимальной величины к. е. о. могут быть соответственно снижены.

2. Отдельные рабочие места, в которых имеется пониженная освещенность вследствие затемнения какой-либо части конструкции или оборудования, при этом во внимание не принимаются.

3. В тех случаях, когда рабочие поверхности отчетливо не выявлены, рассчитываются к. е. о. условной рабочей плоскости в точках, соответствующих данному рабочему месту.

§ 13. Глаза рабочих должны быть защищены соответствующими мероприятиями или приспособлениями (выбор ориентации здания и системы естественного освещения, устройство штор, побелка, остекление и т. п.) от блескости, создаваемой прямыми солнечными лучами.

§ 14. Доступные части бокового застекления должны не реже одного раза в месяц подвергаться очищению от накапливающейся на них грязи.

Все части боковых и верхнего застеклений должны периодически и по возможности часто очищаться от грязи и зимой от снега.

§ 15. При проектировании естественного освещения и наблюдении за ним следует руководствоваться инструкцией по применению правил.



Отв. редактор Н. П. Заплетин.

Техн. редактор В. Симасова.

Госстройиздат № 450. Индекс С-41-5-3. Тираж 5000. Сдано в набор 1/III 1933 г. Подп. в печ. 4/IV 1933 г. Формат бумаги 62 × 94. Печать. 41/2. Колл. бум. л. 21/4. Колл. печ. экз. в бум. л. 103456 б. Заказ № 308. Ленгорлит № 12065. Выход в свет июнь 1933 г.