

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Промышленные и гражданские сооружения»

А. А. ВАСИЛЬЕВ, О. Г. МАСЛОВА, Д. С. СТЕПАНЦОВ

РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

*Одобрено методическими комиссиями факультетов ПГС и заочного
в качестве учебно-методического пособия по дисциплине
«Архитектура» для студентов строительных специальностей*

Гомель 2015

УДК 628.921 (075.8)

ББК 38.113

В19

Рецензенты: директор ОДО «Принт» *В. М. Дмитриев*;
заведующий кафедрой «Архитектура» д-р архитектуры,
профессор *И. Г. Малков* (УО «БелГУТ»)

Васильев, А. А.

В19 Расчет естественной освещенности производственных зданий : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Архитектура» / А. А. Васильев, О. Г. Маслова, Д. С. Степанцов ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 60 с.

ISBN 978-985-554-387-0

Приведены основные принципы расчетов естественной освещенности производственных зданий. Даны примеры расчетов естественной освещенности для различных типов производственных зданий.

Предназначено для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 628.921 (075.8)

ББК 38.113

ISBN 978-985-554-387-0

© Васильев А. А., Маслова О. Г., Степанцов Д. С., 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Расчет естественной освещенности.....	5
1.1 Виды освещения.....	5
1.2 Проектирование естественной освещенности.....	7
1.2.1 Последовательность проектирования.....	7
1.2.2 Определение расчетных значений коэффициента естественной освещенности.....	10
1.2.3 Методика расчета геометрического коэффициента естественной освещенности.....	13
Список использованной литературы.....	20
Приложение А Справочные материалы.....	21
Приложение Б Примеры расчетов.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Правильное решение естественного освещения имеет большое технико-экономическое значение, поскольку заполнение световых проемов стен и конструкций фонарей имеют относительно высокую стоимость и во многом определяют архитектурный облик здания. Еще одной очень важной функцией естественного освещения является обеспечение требуемых (нормативных) защитных характеристик наружного ограждения от температуры, влаги, радиации и др. Кроме того, наибольшие потери тепла происходят именно через световые проемы. В настоящее время разработаны конструкции светопроемов, имеющие высокие тепло- и звукоизоляционные характеристики. Но, несмотря на это, их сопротивление теплопередаче (даже в случаях использования вакуумных многокамерных стеклопакетов, что в производственных зданиях можно встретить нечасто) значительно ниже, чем требуемое по нормам сопротивление теплопередаче глухих стен и покрытий. Поэтому применение сплошных остекленных поверхностей фасадов в качестве ограждающих конструкций, иногда используемые только по условиям архитектурной композиции, без учета требуемого светового и теплового режимов, приводит не только к увеличению стоимости здания (в том числе и эксплуатационных расходов), но может также ухудшить температурно-воздушную среду помещений за счет их перегрева в летний период.

По функциональному признаку естественное освещение должно обеспечивать нормируемые параметры световой среды помещения и требуемые защитные свойства наружного светопрозрачного ограждения

При проектировании световых проемов необходимо исходить из следующего положения: количество и характер световых проемов должны быть такими, чтобы обеспечить требуемую освещенность в здании при наименьших возможных размерах, чтобы максимально сократить тепловые потери.

В данном пособии приведены все необходимые данные для расчета освещенности производственных зданий и даны несколько примеров расчета для наиболее характерных типов производственных зданий.

Пособие предназначено для студентов факультетов ПГС и заочного, занимающихся расчетом естественной освещенности при разработке курсового проекта «Проектирование производственного здания».

1 РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

1.1 Виды освещения

Освещенность поверхности – величина, измеряемая световым потоком, падающим на единицу этой поверхности.

Выделяют **два типа освещения** – естественное и искусственное.

В данном методическом пособии в учебных целях рассматривается только естественное освещение.

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях.

Определение действительной освещенности в помещении при естественном освещении зависит от многих факторов переменного и случайного характера и представляет сложную задачу. К таким факторам относится, прежде всего, наружная освещенность, которая зависит от географической широты местности, времени года и дня и от метеорологических условий.

Освещенность в помещении зависит, кроме того, от условий проникания в помещение прямых солнечных лучей и от ориентации световых проемов по странам света; влияет на освещенность также свет, отраженный от земли, окружающих зданий и внутренних поверхностей помещения. Различают следующие виды естественного освещения (рисунок 1):

боковое – естественное освещение помещения через световые проемы в наружных стенах;

верхнее – естественное освещение помещения через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания;

комбинированное – сочетание верхнего и бокового естественного освещения.

При выборе вида естественного освещения учитывают специфику технологического процесса, условия зрительной работы (равномерность, контраст объекта различения с фоном, отсутствие слепимости и т.д.), объемно-планировочное и конструктивное решения здания, климатические и светоклиматические особенности места строительства и экономические факторы.

В настоящее время здания без естественного света не строятся, за исключением таких, где не должно быть естественного света по технологическим причинам.

Световые проемы – один из основных элементов, определяющих архитектурное решение здания и его интерьеров. От размеров, формы и размещения светопроемов зависит обеспечение оптимального светового режима в здании. Правильное решение естественного освещения имеет

большое технико-экономическое значение, поскольку заполнение светопроемов и конструкции фонарей имеют относительно высокую стоимость. Кроме того, с ними связаны более высокие эксплуатационные расходы на очистку светопроемов, восполнение теплотерь через светопроемы зимой и ликвидацию избыточных тепlopоступлений летом.

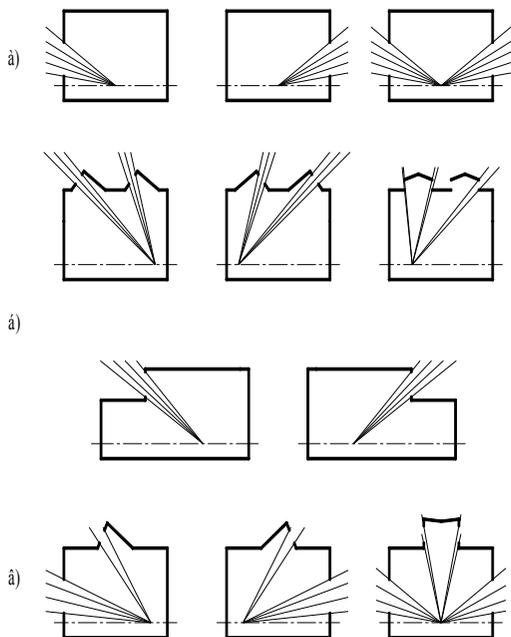


Рисунок 1 – Схемы естественного освещения:
а – бокового; *б* – верхнего; *в* – комбинированного

В настоящее время разработаны конструкции светопроемов, имеющие очень высокое сопротивление теплопередаче. Но, несмотря на это, их сопротивление теплопередаче (даже в случае вакуумных стеклопакетов) не менее чем в 3 раза ниже, чем требуемое по нормам сопротивление теплопередаче глухих стен и покрытий. Поэтому формальное применение сплошных остекленных поверхностей фасадов в качестве ограждающих конструкций, часто используемых только по условиям архитектурной композиции, без учета требуемого светового режима, дополнительных теплотерь и тепlopоступлений, приводит не только к увеличению стоимости здания и значительно увеличивает эксплуатационные расходы,

но и часто ухудшает температурно-воздушную среду помещений, в основном за счет их перегрева летом.

1.2 Проектирование естественной освещенности

1.2.1 Последовательность проектирования

При проектировании к естественному освещению помещений предъявляются следующие требования:

- равномерность;
- обеспечение требуемой освещенности рабочих поверхностей;
- устранение направленного прямого и отраженного солнечного света, слепящего работающих;
- обеспечение необходимой яркости окружающего пространства за счет достаточного уровня освещенности и цветовой отделки поверхностей интерьера.

Так как условия наружной освещенности характеризуются значительной изменчивостью, то освещенность помещений естественным светом регламентируется специальной единицей измерения – коэффициентом естественной освещенности.

Коэффициент естественной освещенности (КЕО, %) – отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным и после отражений от внутренних поверхностей помещения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода.

Освещенность помещения естественным светом характеризуется КЕО ряда точек, расположенных в пересечении двух плоскостей – вертикальной плоскости характерного разреза помещения, перпендикулярной плоскости остекления световых проемов при боковом освещении или продольной оси пролетов помещения при верхнем освещении, и горизонтальной плоскости, принимаемой за условную рабочую плоскость помещения.

Характерный разрез помещения – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или к продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

Рабочая поверхность – поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность.

При проектировании естественного освещения зданий должны быть обеспечены:

- нормированные значения коэффициента естественной освещенности и допустимая неравномерность естественного освещения в помещениях;

- защита работающих в помещении людей от слепящего действия прямых солнечных лучей, перегрева летом и охлаждения зимой;
- необходимая продолжительность использования естественного освещения помещений, определяемая назначением помещения, режимом труда и особенностями светового климата местности;
- удобство и безопасность эксплуатации остекления;
- экономичность сооружения и эксплуатации естественного освещения;
- пожаробезопасность.

Проектирование естественного освещения зданий целесообразно выполнять в следующей последовательности:

- 1-й этап:
 - определение требований к естественному освещению помещений;
 - выбор систем освещения;
 - выбор типа светового проема и светопропускающего материала;
 - выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света;
 - учет ориентации зданий и световых проемов по сторонам горизонта;
- 2-й этап:
 - выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений (определение необходимой площади световых проемов);
 - уточнение параметров световых проемов и помещений;
- 3-й этап:
 - выполнение проверочного расчета естественного освещения помещений;
 - определение помещений, зон и участков, имеющих недостаточное по нормам естественное освещение;
 - определение требований к дополнительному искусственному освещению помещений, зон и участков с недостаточным естественным освещением;
 - определение требований к эксплуатации световых проемов (необходимости устройства подходов к остеклению);
- 4-й этап:
 - внесение необходимых корректив в проект естественного освещения и повторный проверочный расчет.

Проектирование естественного освещения зданий должно базироваться на детальном изучении технологических, трудовых или иных функциональных процессов, протекающих в помещениях, а также светоклиматических особенностей места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие *характеристики зрительной работы, светового климата и требования к естественному освещению*:

- размеры объектов различия и разряд точности работ;
- требуемые значения КЕО в помещения в зависимости от назначения помещений и характеристик зрительной работы;

- местонахождение здания на карте светового климата Беларуси;
- нормированное значение КЕО с учетом характера зрительной работы и светоклиматических особенностей места расположения здания на территории Беларуси;
- требуемая равномерность естественного освещения;
- габариты и расположение оборудования, а также возможное затенение рабочих поверхностей;
- желательное направление падения светового потока на рабочую поверхность;
- продолжительность использования естественного освещения в течение суток разных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности;
- дополнительные требования к освещению, вытекающие из специфики технологического процесса и архитектурных требований к интерьеру (требования к спектральному составу света, постоянство освещения во времени, ощущение насыщенности светом помещения, распределение яркости в поле зрения, соотношение освещенности на вертикальной и горизонтальной поверхностях).

Систему естественного освещения зданий (боковое, верхнее или комбинированное) надо выбирать с учетом следующих факторов:

- назначения и принятого архитектурно-планировочного, объемно-пространственного и конструктивного решения зданий;
- требований к естественному освещению помещений, вытекающих из особенностей технологий и зрительной работы;
- климатических и светоклиматических особенностей места строительства;
- экономичности естественного освещения (по приведенным затратам).

Верхнее и комбинированное естественное освещение следует применять преимущественно в производственных одноэтажных многопролетных зданиях (3 пролета и более) промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также в одноэтажных общественных зданиях большой площади (крытые рынки, стадионы, выставочные павильоны).

Боковое естественное освещение следует применять в многоэтажных производственных, общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях.

В курсовом проекте расчет естественной освещенности выполняется исходя из условия, что *расчетный КЕО должен отличаться от нормированного значения в большую или меньшую сторону не более чем на 10 %.*

Нормированные значения КЕО e_N следует определять по формуле

$$e_N = e_n m;$$

(1)

где e_n – наименьшее нормированное значение КЕО, определяемое по таблице А.2;

m – коэффициент светового климата, определяемый по таблице А.1.

Полученные по формуле (1) значения e_n следует округлять до десятых долей.

В производственных помещениях глубиной до 6,0 м при одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,0 м от стены или линии заглубления зоны, наиболее удаленной от световых проемов.

В крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6,0 м при боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

– на 1,5 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ I–IV разрядов;

– на 2,0 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ V–VII разрядов;

– на 3,0 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ VIII разряда.

При верхнем или комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или плоскости пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1,0 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Допускается деление помещений на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производится независимо друг от друга.

Расчет КЕО естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и других затеняющих предметов, а также при 100 %-ном использовании светопрозрачных заполнений в световых проемах. Расчетные значения следует округлять до сотых долей.

1.2.2 Определение расчетных значений коэффициента естественной освещенности

Перед тем как приступить к расчету освещенности помещений, необходимо выполнить **предварительный расчет площади световых проемов:**

а) при боковом освещении помещений – по формуле

$$100 \frac{S_o}{S_i} = \frac{e_n K_3 \eta_i}{\tau_o r_o} K_{\text{за}};$$

(2)

б) при верхнем освещении – по формуле

$$100 \frac{S_o}{S_i} = \frac{e_i \hat{E}_3 \eta_o}{\tau_o r_1 K_o},$$

(3)

где S_o – площадь световых проемов (в свету) при боковом освещении;

S_n – площадь пола помещения;

e_n – нормированное значение КЕО;

K_3 – коэффициент запаса, принимаемый по таблице А.3;

η_o – световая характеристика окон, определяемая по таблице А.4;

$K_{\text{за}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, определяемый по таблице А.5;

τ_o – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5; \quad (4)$$

τ_1 – коэффициент светопропускания материала, определяемый по таблице А.6;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, определяемый по таблице А.7;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, определяемый по таблице А.8 (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, определяемый по таблице А.9;

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9;

r_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по таблицам А.10 либо А.11 в зависимости от вида освещения;

S_ϕ – площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении;

η_ϕ – световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия, определяемая по таблицам А.12 либо А.13 в зависимости от типа фонаря или светового проема;

r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем

освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей стен помещения, определяемый по таблице А.14;

K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий тип фонаря, определяемый по таблице А.15. Значения КЕО определяются:

а) при боковом освещении – по формуле

$$e_{\delta}^{\circ} = \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\hat{a}i} \cdot \beta_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{\hat{c}aj} \cdot b_{\delta j} \hat{E}_{\hat{c}aj} \right) \cdot \frac{r_i \tau_i}{K_3};$$

(5)

б) при верхнем освещении – по формуле

$$e_{\delta}^{\hat{a}} = \left[\sum_{i=1}^T \varepsilon_{\hat{a}i} + \varepsilon_{\hat{n}\delta} (r_1 \hat{E}_{\delta} - 1) \right] \cdot \frac{\tau_i}{K_3};$$

(6)

в) при комбинированном (верхнем и боковом) освещении – по формуле

$$e_p^k = e_p^{\circ} + e_p^b,$$

(7)

где L – количество участков небосвода, видимых через световые проемы из расчетной точки;

$\varepsilon_{\sigma i}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба, определяемый по графикам I и II А. М. Данилюка;

β_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i -го участка облачного неба, определяемый по таблице А.16;

M – количество участков фасадов зданий противостоящей застройки, видимых через световые проемы из расчетной точки;

$\varepsilon_{\text{зд}j}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, определяемый по графикам I и II А. М. Данилюка;

$b_{\phi j}$ – средняя относительная яркость j -го участка фасадов зданий противостоящей застройки, определяемая по таблице А.17. Она зависит от средневзвешенного коэффициента отражения фасада ρ_{δ} ;

$$\rho_{\delta} = \frac{\rho_i S_i + \rho_{i\hat{e}} S_{i\hat{e}}}{S_i + S_{i\hat{e}}},$$

(8)

$S_m, S_{\text{ок}}$ – соответственно площадь фасада без световых проемов и площадь

световых проемов;

ρ_m $\rho_{ок}$ – соответственно коэффициент отражения материала отделки фасада и коэффициент отражения остекленных проемов фасада с учетом переплетов. При расчете естественного освещения помещений в условиях застройки коэффициент отражения строительных и облицовочных материалов ρ_m для фасадов противостоящих зданий (без оконных проемов) следует принимать для строящихся зданий – по данным, приведенным в сертификате на отделочный материал фасада или по данным измерений, для существующей застройки – по таблице А.18. Средневзвешенный коэффициент отражения оконных проемов с учетом переплетов $\rho_{ок}$ в расчетах принимается равным 0,2;

$K_{зл}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий, определяемый по формуле

$$\hat{E}_{\check{\alpha}j} = 1 + (\hat{E}_{\check{\alpha}i} - 1) \frac{\sum_{j=1}^i \varepsilon_{зДj}}{\sum_{i=1}^N \varepsilon_{\sigma i} + \sum_{j=1}^i \varepsilon_{зДj}} ; ;$$

(10)

$K_{здо}$ – коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при полном закрытии небосвода зданиями, видимыми из расчетной точки, определяемый по таблице А.19;

T – количество световых проемов в покрытии;

$\varepsilon_{\sigma i}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении от i -го проема;

$\varepsilon_{ср}$ – среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения

$$\varepsilon_{\check{n}\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{\hat{\alpha}i} ;$$

(11)

N – количество расчетных точек.

Среднее значение КЕО $\varepsilon_{ср}$ при верхнем или комбинированном освещении определяется по формуле (7).

Графики I–III А. М. Данилюка приведены, соответственно, на рисунках

2–4.

1.2.3 Методика расчета геометрического коэффициента естественной освещенности

Световой поток, попадающий в ту или иную точку помещения, суммируется из прямого света небосвода (F_n), света, отраженного от внутренних поверхностей в помещении (F_o) и света, отраженного от земли, кровли и от противостоящих и прилегающих зданий (F_3):

$$F = F_n + F_o + F_3 .$$

(12)

Соответственно этому КЕО в каждой точке помещения находится из соотношения

$$e = e_n + e_o + e_3 .$$

(13)

Одним из наиболее распространенных методов расчета освещенности является графический метод, разработанный А. М. Данилюком и основанный на законе проекции телесного угла.

Согласно этому закону, КЕО определяется как отношение проекции на горизонтальную плоскость видимого из данной точки через светопроем телесного угла σ ко всей горизонтальной проекции небосвода, т.е. к площади круга при радиусе, равном единице.

Математическая интерпретация КЕО имеет вид

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

(14)

Пользуясь этим отношением, А.М. Данилюк разделил всю поверхность небосвода плоскостями, проходящими через горизонтальный диаметр небосвода параллельно осям светопроемов, на 100 таких участков, проекции которых равны между собой; каждый такой участок небосвода, видимый через светопроем бесконечной длины, соответствует значению КЕО, равному 1 %. Если провести через небосвод вертикальную плоскость перпендикулярно продольной оси светопроема, то эта плоскость даст при пересечении следы наклонных плоскостей.

Полученный таким образом график служит для расчета КЕО в тех случаях, когда длина светопроема является бесконечной. Практически за бесконечную можно принимать длину светопроема в случаях, когда длина

половины светопроема более утроенного расстояния от точки, в которой определяется КЕО, о середины светопроема.

В тех случаях, когда длина светопроема ограничена, к отсчетам по графику I (см. рисунок 2) необходимо вводить поправку, величина которой определяется по графику II Данилюка (см. рисунок 3).

Количество лучей, прошедших через светопроем и отсчитываемых по графику, соответствует значению КЕО в данной точке e_1 (рисунок 5).

График II накладывается на план помещения или, при освещении помещения фонарями верхнего света, на продольный разрез помещения. Нижняя линия графика располагается параллельно плоскости светопроема на расстоянии d , равном длине среднего луча CM , определенной по поперечному разрезу от светового центра светопроема C до точки, в которой определяется КЕО. Полюс графика при наложении его на план или разрез помещения совмещается с линией, соответствующей линии поперечного разреза помещения.

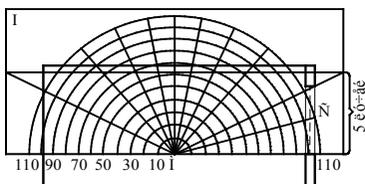


Рисунок 5 – Пример применения графика I А. М. Данилюка

Для удобства пользования на графике I Данилюка нанесена сетка концентрических полуокружностей с номерами от 0 до 120, а на графике II – соответственно сетка параллелей с теми же номерами. При наложении графика I на поперечный разрез одновременно с отсчетом e_1 находят номер полуокружности, которая проходит через световой центр светопроема C . Номер обозначает расстояние d , выраженное в условных единицах. На графике II находят параллель, соответствующую номеру полуокружности. Центральная линия светопроема в плане (или на продольном разрезе – при фонарях) совмещается с указанной параллелью, а центр графика 0 – с линией поперечного разреза и отсчитывается количество лучей e_2 , которое проходит через проекцию светопроема (рисунок 6).



Рисунок 6 – Пример использования графика II А. М. Данилюка

Расчет сводится к определению площади участка неба, видимого через световой проем из данной точки помещения. Площадь этого участка определяется произведением количества лучей, проходящих через вертикальный разрез светового проема, на количество лучей, проходящих через горизонтальный разрез светового проема.

При боковом освещении геометрический КЕО, учитывающий прямой свет, в какой-либо точке помещения определяют по формуле

$$e_6 = 0,01n_1n_2, \quad (15)$$

где n_1 – количество лучей по графику I, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения;

n_2 – количество лучей по графику II, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения (рисунок 7).

Геометрический КЕО, учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания при боковом освещении,

$$e_{зд} = 0,01 n'_1 n'_2, \quad (16)$$

где n'_1 – количество лучей по графику I, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на поперечном разрезе помещения;

n'_2 – количество лучей по графику II, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на плане помещения (рисунок 7).

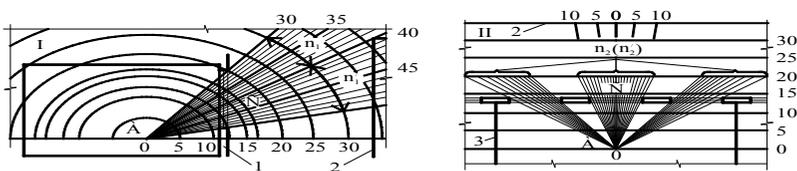


Рисунок 7 – К расчету геометрического КЕО при боковом освещении

При верхнем освещении геометрический КЕО в какой-либо точке помещения

$$e_в = 0,01n_3n_2, \quad (17)$$

где n_3 – количество лучей по графику III, проходящих от неба в расчетную точку через световые проемы на поперечном разрезе помещения;
 n_2 – количество лучей по графику II, проходящих от неба в расчетную точку через световые проемы на продольном разрезе помещения.
(рисунок 8).

При освещении через несколько световых проемов n_1 и n_2 определяют отдельно для каждого проема, а затем произведения $n_1 n_2$ суммируют.

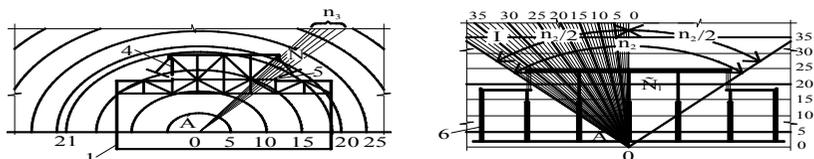


Рисунок 8 – К расчету геометрического КЕО при верхнем освещении

Большое достоинство метода А. М. Данилюка в том, что при пользовании его графиками масштаб чертежей не имеет значения; необходимо только, чтобы поперечный разрез и план (или продольный разрез) были выполнены в одном масштабе. При разном масштабе разреза (например, 1:100) и плана (например, 1:200) необходимо при применении графика II брать номер параллели вдвое меньшим.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Блази, В.** Справочник проектировщика. Строительная физика : учеб. пособие / В. Блази. – М. : Техносфера., 2005. – 536 с.
- 2 **Гусев, Н. М.** Естественное освещение зданий / Н. М. Гусев. – М. : Госстройиздат, 1961. – 171 с.
- 3 Руководство по проектированию естественного освещения зданий. – М. : Стройиздат, 1976. – 49 с.
- 4 **СНБ 2.04.05-98.** Естественное и искусственное освещение. – Введ 01.07.1998. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 23 с.
- 5 **СНП П-4-79.** Естественное и искусственное освещение. – Введ 27.06.1979. – М. : Стройиздат, 1980 – 29 с.
- 6 **Ташкинов, Г. А.** Расчеты естественной освещенности помещений : учеб.-метод. пособие / Г. А. Ташкинов. – Гомель : БелГУТ, 1975. – 31 с.
- 7 **ТКП 45-2.04-153-2009.** Естественное и искусственное освещение. – Введ 14.10.2009. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 48 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица А.1 – Значение коэффициентов светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата m	
		Брестская и Гомельская области	Остальная территория
В наружных стенах зданий	С	0,90	1,00
	СВ, СЗ	0,90	1,00
	З, В	0,90	1,00
	ЮВ, ЮЗ	0,85	1,00
	Ю	0,85	0,95
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	0,90	1,00
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	0,90	1,00
	В-З	0,85	1,00
В фонарях типа «Шед»	С	0,90	1,00
В зенитных фонарях	—	1,00	1,00

Таблица А.2 – Нормированные значения КЕО при естественном освещении

Характеристика зрительной работы	Разряд зрительных работ	Наименьшее нормированное значение КЕО e_n , %, при естественном освещении	
		верхнем или комбинированном	боковом
Наивысшей точности	I	—	—
Очень высокой точности	II	—	—
Высокой точности	III	—	—
Средней точности	IV	4,0	1,5
Малой точности	V	3,0	1,0
Грубая (очень малой точности)	VII	3,0	1,0
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	VI	3,0	1,0
Постоянное общее наблюдение за ходом производственного процесса	VIa	3,0	1,0
Периодическое общее наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном пребывании людей в помещении	VIб	1,0	0,3
Периодическое общее наблюдение за ходом производственного процесса при периодическом пребывании людей	VIв	0,7	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	VIг	0,3	0,1
<i>Примечание</i> – Для зрительных работ I, II и III разрядов не допускается проектирование только естественного освещения, необходимо предусматривать совмещенное.			

Таблица А.3 – Значения коэффициента запаса K_z для различных типов производственных помещений при естественном освещении

Типы производственных помещений	Примеры производственных помещений	Значения угла наклона светопропускающего материала к горизонту, град			
		0–15	16–45	46–75	75–90
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей свыше 5 мг/м ³ пыли, дыма и копоти в рабочей зоне	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	2,0	1,8	1,7	1,5
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма и копоти в рабочей зоне	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сборного железобетона	1,8	1,6	1,5	1,4
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей менее 1 мг/м ³ пыли, дыма и копоти в рабочей зоне	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	1,6	1,5	1,4	1,3
Производственные помещения со значительными концентрациями паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой корродирующей способностью	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	2,0	1,8	1,7	1,5
<p><i>Примечание</i> – Значения коэффициента запаса, указанные в таблице, следует умножать на коэффициент:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1,1 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; – 0,9 – при применении органического стекла. 					

Таблица А.4 – Значения световой характеристики η_0 окон при боковом освещении

Отношение длины помещения к его глубине	Значение световой характеристики η_0 при отношении глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1							
	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	7,50	10,0
4,0 и более	6,50	7,00	7,50	8,00	9,00	10,0	11,0	12,5
3,0	7,50	8,00	8,50	9,60	10,9	11,0	12,5	14,0
2,0	8,50	9,00	9,50	10,5	11,5	13,0	15,0	17,0
1,5	9,50	10,5	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0	23,0
1,0	11,0	15,0	16,0	18,0	21,0	23,0	26,5	29,0
0,5	18,0	23,0	31,0	37,0	45,0	54,0	66,0	–

Таблица А.5 – Значения коэффициента $K_{зд}$, учитывающего затенение окон противостоящего здания в зависимости от отношения расстояния между рассматриваемым и противостоящим зданиями P к высоте карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна $H_{зд}$

$P/H_{зд}$	K_3
0,5	1,7
1,0	1,4
1,5	1,2
2,0	1,1
3,0 и более	1,0

Таблица А.6 – Расчетные значения коэффициента светопропускания материала оконного заполнения τ_1

Вид светопропускающего материала	Значения τ_1
Стекло оконное листовое:	
одинарное	0,90
двойное	0,80
тройное	0,75
Стекло витринное толщиной 6–8 мм	0,80
Стекло листовое:	
армированное	0,60
узорчатое	0,65
солнцезащитное	0,65
контрастное	0,75
Прозрачное органическое стекло	0,90
Молочное органическое стекло	0,60
Пустотелые светорассеивающие стеклянные блоки	0,50

Пустотелые светопрозрачные стеклянные блоки	0,55
Стеклопакеты	0,80

Таблица А.7 – Расчетные значения коэффициента τ_2 , учитывающего потери света в переплетах светопроема

Вид переплета	Значения τ_2
Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий:	
а) деревянные:	
одинарные	0,75
спаренные	0,70
двойные раздельные	0,60
б) стальные:	
одинарные открывающиеся	0,75
одинарные глухие	0,90
двойные открывающиеся	0,60
двойные глухие	0,80
Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий:	
а) деревянные:	
одинарные	0,80
спаренные	0,75
двойные раздельные	0,65
с тройным остеклением	0,50
б) металлические:	
одинарные	0,90
спаренные	0,85
двойные раздельные	0,80
с тройным остеклением	0,70
Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва:	
20 мм и менее	0,90
более 20 мм	0,85

Таблица А.8 – Расчетные значения коэффициента τ_3 , учитывающего потери света в несущих конструкциях

Вид несущей конструкции покрытия	Значения τ_3
Стальные фермы	0,90
Железобетонные фермы	0,80
Деревянные фермы	0,80
Деревянные арки	0,80
Балки и рамы сплошные при высоте сечения:	
500 мм и более	0,80
менее 500 мм	0,90

Таблица А.14 – Расчетные значения коэффициента r_1 , учитывающего повышение КЕО при верхнем освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения

Отношение высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления, к ширине пролета	Средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка ρ_{cp}								
	0,5			0,4			0,3		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2,00	1,70	1,50	1,15	1,60	1,40	1,10	1,40	1,10	1,05
1,00	1,50	1,40	1,15	1,40	1,30	1,10	1,30	1,10	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,10	1,25	1,10	1,05
0,50	1,40	1,30	1,15	1,30	1,20	1,10	1,20	1,10	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,10	1,15	1,10	1,05

Примечание – При значениях отношения высоты помещения к ширине пролета, отличных от приведенных в таблице, значения коэффициента ρ_{cp} определяются интерполяцией.

Таблица А.15 – Расчетные значения коэффициента K_{ϕ} , учитывающего тип фонаря

Тип фонаря	Значения K_{ϕ}
Световые проемы в плоскости покрытия: ленточные	1,00
штучные	1,10
Фонари:	
с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,15
с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,20
с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,30
с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,40

Таблица А.16 – Значения коэффициента β_i , учитывающего неравномерную яркость i -го участка облачного неба

Угловая высота среднего луча участка небосвода, видимого из расчетной точки через световой проем, град	Значения коэффициента β_i	Угловая высота среднего луча участка небосвода, видимого из расчетной точки через световой проем, град	Значения коэффициента β_i
2	0,46	50	1,08
6	0,52	54	1,12
10	0,58	58	1,16
14	0,64	62	1,18
18	0,69	66	1,21
22	0,75	70	1,23
26	0,80	74	1,25
30	0,86	78	1,27
34	0,91	82	1,28
38	0,96	86	1,28

42	1,00	90	1,29
46	1,04		

Примечание – При значениях угловых высот среднего луча, отличных от приведенных в таблице, значения коэффициента β , определяются интерполяцией.

Таблица А.17 – Значения коэффициента $\beta_{\Phi j}$, учитывающего неравномерную яркость j -го участка облачного неба

Средневзвешенный коэффициент отражения фасада, ρ_m	Отношение расстояния между зданиями P к длине противостоящего здания L_n	Значения средней относительной яркости фасада противостоящего здания при отношении длины противостоящего здания L_n к его высоте H						
		0,25 и менее	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00 и более
0,6	2,00 и более	0,29	0,33	0,37	0,39	0,40	0,41	0,41
0,6	1,00	0,24	0,27	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36
0,6	0,50	0,20	0,21	0,25	0,28	0,30	0,32	0,33
0,6	0,25 и менее	0,17	0,17	0,18	0,21	0,23	0,27	0,29
0,4	2,00 и более	0,19	0,22	0,24	0,26	0,26	0,27	0,27
0,4	1,00	0,15	0,17	0,20	0,23	0,23	0,23	0,24
0,4	0,50	0,11	0,12	0,15	0,19	0,19	0,20	0,21
0,4	0,25 и менее	0,09	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
0,2	2,00 и более	0,09	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14
0,2	1,00	0,07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
0,2	0,50	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10
0,2	0,25 и менее	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08

Примечание – При значениях параметров ρ_m , P/L_n , L_n/H , отличных от приведенных в таблице, значения коэффициента $\beta_{\Phi j}$ определяются интерполяцией/

Таблица А.18 – Расчетные значения коэффициента отражения материалов отделки фасада для существующей застройки

Цвет и материал отделки фасада	Коэффициент отражения материала отделки фасада ρ_m *	Средневзвешенный коэффициент отражения фасада P_{Φ} (при площади окон, равной 30 % от общей площади фасада)**
БЕЛЫЙ: фасадные краски, мрамор, гипс, керамическая плитка	0,70	0,55
СВЕТЛЫЙ: очень светлые фасадные краски, бетон и декоративные штукатурки на белом цементе и светлых заполнителях, керамическая плитка, ракушечник	0,60	0,48
СВЕТЛО-СЕРЫЙ: светлые фасадные краски, светло-серый бетон, известняк, доломит, желтый песчаник, светлые породы мрамора, силикатный кирпич	0,50	0,41
СЕРЫЙ: офактуренный бетон, серая фасадная краска, светлое дерево, цветные штукатурки, керамический кирпич	0,40	0,34
ТЕМНО-СЕРЫЙ: темно-бежевая, коричневая фасадные краски, потемневшее дерево, красный кирпич	0,30	0,27

ЧЕРНЫЙ: мрамор, гранит, базальт	0,15	0,17
<p>* Коэффициенты отражения материалов отделки фасада даны с учетом коэффициента запаса. ** При иных отношениях площади окон к общей площади фасада средневзвешенный коэффициент отражения фасада рассчитывается по формуле (9).</p>		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример № 1

Необходимо спроектировать систему естественного освещения сборочно-сдаточного цеха (пролет Б). Длина пролета Б – 60 м, ширина – 24 м. Высота до низа конструкции покрытия – 13,2 м. Разряд зрительных работ – IV. Принимаем отметку уровня условной рабочей поверхности 0,8 м. Здание спроектировано в г. Минске. Продольные стены ориентированы на восток.

План и разрез здания представлены на рисунках Б.1 и Б.2.

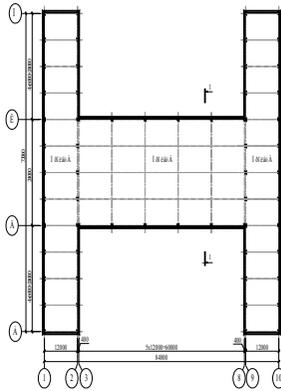


Рисунок Б.1 – План здания цеха

Расчет естественного освещения производим поэтапно, в соответствии с п. 1.2.1.

I этап. Для г. Минска при ориентации окон на восток по таблице А.1 принимаем $m = 1,0$.

По таблице А.2 для зрительных работ IV разряда при боковом освещении $e_n = 1,5\%$.

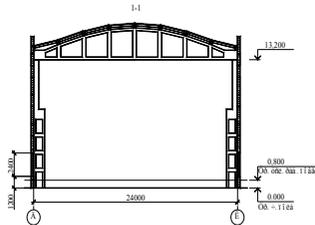


Рисунок Б.2 – Разрез 1–1

По формуле (1) определяем нормированное значение КЕО:

$$e_N = 1,5 \times 1,0 = 1,5\%.$$

Предварительно принимаем остекление – ленточное одноярусное. Отметка низа нижнего оконного проема расположена на высоте 1,2 м от уровня чистого пола цеха. Высота остекления равна 2,4 м. В качестве остекления принимаем стекло оконное листовое двойное. Переплеты – стальные двойные открывающиеся. Солнцезащитные устройства отсутствуют. Противостоящие здания отсутствуют.

II этап. Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6–А.9 находим: $\tau_1 = 0,8$ (стекло оконное листовое двойное); $\tau_2 = 0,6$ (переплеты стальные двойные открывающиеся); согласно п. 4.2 [1] при боковом освещении $\tau_3 = 1$, $\tau_5 = 1$; при отсутствии солнцезащитных устройств $\tau_4 = 1$.

$$\tau_0 = 0,8 \times 0,6 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,48.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту $90^\circ K_s = 1,3$ (таблица А.3).

Значение световой характеристики η_0 зависит:

- от отношения длины помещения (здания) l_n к его глубине B : $60 / 24 = 2,5$;
- отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $24 / (3,6 - 0,8) = 8,6$.

По таблице А.4 по интерполяции находим $\eta_0 = 14,52$.

Коэффициент светопропускания материала r_0 зависит:

- от отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $24 / (3,6 - 0,8) = 8,6$;

- отношения расстояния l от наружной стены до расчетной точки к глубине помещения B . Предварительно принимаем $12 / 24 = 0,5$;
 - отношения длины помещения (здания) l_n к его глубине B : $60/24 = 2,5$.
 - средневзвешенного коэффициента отражения $\rho = 0,4$ согласно п. 5.10 [1].
- По таблицам А.10, А.11 по интерполяции определяем $r_o = 1,45$.

Находим площадь пола:

$$S_{\text{пола}} = 60 \times 24 = 1440 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем площадь оконных проемов по формуле (2):

$$S_o = [(1440 \times 1,5 \times 14,52) / (100 \times 0,48 \times 1,45)] \times 1,3 = 585,8 \text{ м}^2.$$

Площадь назначенного остекления равна $2,4 \times 60 \times 2 = 288 \text{ м}^2$.

Определяем требуемую высоту остекления. Для этого расчетную площадь остекления разделим на два ленточных одноярусных остекления длиной 60 м, продольных стен здания цеха по осям Д и К $h = 585,6 / (2 \times 60) = 4,9$ м.

Принимаем высоту остекления 5,4 м.

III этап. При боковом освещении производственных помещений глубиной более 6,0 м нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов на 1,5 высоты от пола до верха светового проема (для зрительных работ I–IV разрядов).

Определяем расположение расчетной точки: $1,5 \times (5,4 + 1,2) = 9,9$ м.

На поперечном разрезе отмечаем условную плоскость рабочей поверхности на высоте 0,8 м от пола. На рабочей поверхности отмечаем расчетную точку на расстоянии 9,9 м от внутренней поверхности наружной стеновой панели. При помощи графика Данилюка I определяем количество лучей n_1 , проходящих через левый оконный проем в расчетную точку (рисунок Б.3).

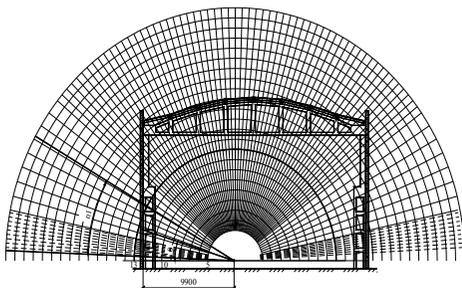


Рисунок Б.3 – Определение количества лучей n_1 с использованием графика Данилюка I

Аналогично определяем количество лучей n_1 , проходящих через правый оконный проем. Находим номер полуокружности проходящей через центр левого (правого) оконного проема.

На графике Данилюка II находим горизонталь с номером, соответствующим номеру полуокружности, проходящей через центр левого (правого) оконного проема. Совмещаем найденную горизонталь с серединой оконного проема расположенного на плане здания и определяем количество лучей n_2 (рисунок Б.4).

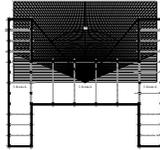


Рисунок Б.4 – Определение количества лучей n_2 с использованием II графика Данилюка.

Левый оконный проем.

По формуле (15) определяем геометрическое значение КЕО:

$$\varepsilon_{\text{г}} = 0,01 \times 7 \times 75 = 5,25.$$

Находим угловую высоту середины светового проема над рабочей поверхностью $\theta = 17^\circ$.

По таблице А.3 определяем значение $\beta = 0,678$.

При $B / h_1 = 24 / (6,6 - 0,8) = 4,14$ $L / B = 9,9 / 24 = 0,412$; $\rho_{\text{сп}} = 0,4$; $L_{\text{п}} / B = 60 / 24 = 2,5$.

По интерполяции находим (см. таблицы А.10, А.11) $r_0 = 1,318$.

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (см. таблицу А.3) $K_3 = 1,3$.

По формуле (5) КЕО для пролета А равно:

$$\alpha_{\text{а}}^{\text{г}} = 5,25 \times 0,678 \times 1,318 \times 0,48 / 1,3 = 1,73 \text{ \%}.$$

Правый оконный проем.

По формуле (15) определяем геометрическое значение КЕО:

$$\varepsilon_{\text{г}} = 0,01 \times 4 \times 70 = 2,8.$$

Находим угловую высоту середины светового проема над рабочей поверхностью $\theta = 12^\circ$.

По таблице А.3 определяем значение $\beta = 0,61$.

При $B / h_1 = 24 / (6,6 - 0,8) = 4,14$ $L / B = 14,1 / 24 = 0,59$; $\rho_{\text{сп}} = 0,4$; $L_{\text{п}} / B = 60 / 24 = 2,5$.

По интерполяции находим (см. таблицу А.10) $r_0 = 1,675$.

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (см. таблицу А.3) $K_3 = 1,3$.

По формуле (5) КЕО равно:

$$e_6^{\text{II}} = 2,8 \times 0,61 \times 1,675 \times 0,48 / 1,3 = 1,06 \%$$

Суммарное значение КЕО:

$$e = e_6^{\text{I}} + e_6^{\text{II}} = 1,73 + 1,06 = 2,79 \%$$

Полученное значение $e_6 = 2,79$ больше нормированного $e_N = 1,5$ на 86 %, что больше допустимого отклонения – 10 % (согласно 5.9 [1]).

IV этап. Для уменьшения значения КЕО принимаем высоту остекления равной 4,2 м.

Левый оконный проем.

По формуле (15) определяем геометрическое значение КЕО:

$$e_6 = 0,01 \times 5 \times 73 = 3,65.$$

Находим угловую высоту середины светового проема над рабочей поверхностью $\theta = 14^\circ$.

По таблице А.3 определяем значение $\beta = 0,64$.

При $B / h_1 = 24 / (5,4 - 0,8) = 5,22$ $L / B = 9,9 / 24 = 0,412$; $\rho_{\text{сп}} = 0,4$; $L_n / B = 60 / 24 = 2,5$.

По интерполяции находим (см. таблицу А.10) $r_0 = 1,318$.

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (см. таблицу А.3) $K_3 = 1,3$.

По формуле (5) КЕО для пролета А равно:

$$a_a^{\text{эс}} = 3,65 \times 0,64 \times 1,318 \times 0,48 / 1,3 = 1,14 \%$$

Правый оконный проем.

По формуле (15) находим геометрическое значение КЕО:

$$e_6 = 0,01 \times 2 \times 68 = 1,36.$$

Определяем угловую высоту середины светового проема над рабочей поверхностью $\theta = 10^\circ$.

По таблице А.3 находим значение $\beta = 0,58$.

При $B / h_1 = 24 / (5,4 - 0,8) = 5,22$ $L / B = 14,1 / 24 = 0,59$; $\rho_{\text{сп}} = 0,4$; $L_n / B = 60 / 24 = 2,5$.

По интерполяции находим (см. таблицу А.10) $r_0 = 1,675$.

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (см. таблицу А.3) $K_3 = 1,3$.

По формуле (5) КЕО равно:

$$e_6^{\text{II}} = 1,36 \times 0,58 \times 1,675 \times 0,48 / 1,3 = 0,49 \%$$

Суммарное значение КЕО:

$$e_6 = e_6^{\text{I}} + e_6^{\text{II}} = 1,14 + 0,49 = 1,63 \%$$

Полученное значение $e_6 = 1,63$ больше нормативного $e_N = 1,5$ на 8,7 %, что допустимо согласно п. 5.9 [1].

Пример № 2

Необходимо запроектировать систему естественного верхнего освещения в здании цеха электровозного депо (пролет Б).

Длина пролета Б – 72 м, ширина – 24 м. Высота до низа конструкция покрытия – 14,4 м. Разряд зрительных работ – IV. Принимаем отметку уровня условной рабочей

поверхности 0,8 м. Здание запроектировано в г. Минске. Продольные стены ориентированы на восток.

План и разрез здания представлены на рисунках Б.5 и Б.6.

1 этап. Для г. Минска при ориентации окон на В-3 по таблице А.1 принимаем $m = 1,0$.

Для зрительных работ разряда IV при верхнем освещении (таблица А.2) $e_n = 4,0 \%$.

Нормативное значение КЕО определяем по формуле (1):

$$e_N = 4,0 \times 1,0 = 4,0 \%$$



Рисунок Б.5 – План здания



Рисунок Б.6 – Разрез 1-1

Светоаэрационные фонари принимаем прямоугольные (вертикальные с двухсторонним остеклением). Предварительно принимаем остекление светоаэрационного фонаря – ленточное одноярусное. Граница верха оконного проема расположена на высоте 20,6 м от уровня чистого пола цеха. Отметка низа оконного проема – 17,6 м. В качестве остекления принимаем стекло листовое одинарное. Переплеты – стальные одинарные глухие. Солнцезащитные устройства отсутствуют.

II этап. Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6–А.9 находим составляющие: $\tau_1 = 0,9$ (стекло оконное листовое одинарное); $\tau_2 = 0,9$ (переплеты стальные одинарные открывающиеся); $\tau_3 = 0,9$ (несущие конструкции покрытия – железобетонные фермы); $\tau_5 = 0,9$ (согласно п.4.2 [1]).

Таким образом,

$$\tau_0 = 0,9 \times 0,9 \times 0,9 \times 1,0 \times 0,9 = 0,656.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° по таблице (А.3) $K_1 = 1,3$.

Значение световой характеристики η_ϕ зависит:

– от отношения длины помещения (здания) L_n к его ширине B : $72 / 48 = 1,5$;

– отношения высоты помещения H к ширине пролета L_n : $14,4 / 48 = 0,3$;

– типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;

– количества пролетов – два пролета.

По таблицам А.12 и А.13 находим $\eta_\phi = 5,2$.

Коэффициент светопропускания материала r_1 зависит:

– от отношения высоты помещения, принимаемая от уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_ϕ к ширине пролета L_n : $17,7 / 48 = 0,37$.

– количества пролетов – два пролета;

– средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{cp} = 0,4$.

По таблице А.14 находим $r_1 = 1,17$.

$$S_{\text{пола}} = 72 \times 48 = 3456 \text{ м}^2.$$

Значение коэффициента K_ϕ зависит от типа фонаря. Для фонаря с вертикальным двусторонним остеклением по таблице А.15 $K_\phi = 1,2$.

Определяем площадь световых проемов фонаря по формуле (3):

$$S_0 = [(3456 \times 4,0 \times 5,2) / (100 \times 0,656 \times 1,17 \times 1,2)] \times 1,3 = 1014,6 \text{ м}^2.$$

В месте перепада высот цеха установим ленточное остекление высотой 3,0 м, площадью $72 \times 3,0 \times 2 = 432 \text{ м}^2$.

Определяем высоту остекления светоаэрационного фонаря $(1014,6 - 345,6) / (48 \times 4,0) = 3,03 \text{ м}$.

Принимаем ленточное остекление фонаря с высотой, равной 3,0 м.

III этап. На поперечном разрезе цеха на условной плоскости рабочей поверхности наносим 5 расчетных точек.

Для определения количества лучей, проходящих в рассматриваемую точку от неба через световые проемы, используем поперечный разрез, продольный разрез здания и графики Данилюка II и III (рисунки Б.7 и Б.8).

Определяем КЕО при верхнем освещении в пролете с высотой до низа конструкций покрытия 14,4 м отдельно для фонаря и для остекления в месте перепада высот между пролетами.

Расчет освещенности ведем в табличной форме (таблицы Б.1 – Б.3).

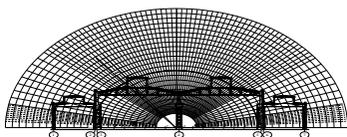


Рисунок Б.7 – Определение количества лучей n_3

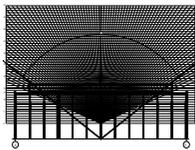


Рисунок Б.8 – Определение количества лучей n_2

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{\text{ср}} = (1,80 / 2 + 4,08 + 4,75 + 5,48 + 7,37 + 8,55 + 8,75 + 9,80 + 9,80 + 8,75 + 8,55 + 7,37 + 5,48 + 4,75 + 4,08 + 1,80 / 2) / 15 = 6,62 \%$, что превышает нормативное значение ($e_N = 4,0 \%$) более чем на 10 % (согласно выражению 5.9 [1] допустимое отклонение расчетного значения КЕО от нормативного – не более 10 %).

Исключаем верхнее освещение от оконных проемов в месте перепада высот и пересчитываем среднее значение КЕО:

$e_{\text{ср}} = (1,80 / 2 + 1,82 + 1,84 + 3,58 + 4,54 + 6,28 + 6,32 + 7,22 + 7,22 + 6,32 + 6,28 + 4,54 + 3,58 + 1,84 + 1,82 + 1,80 / 2) / 15 = 4,33 \%$. Расхождение находится в пределах 10 %.

Определяем неравномерность естественного освещения согласно п. 3.22 [1]: $4,33 : 1,8 = 2,4 : 1$ – неравномерность естественного освещения не превышает 3:1, условие выполняется (согласно условию 5.13 [1] неравномерность естественного освещения не должна превышать 3:1).

Пример № 3

Необходимо запроектировать систему естественного освещения сборочно-сдаточного цеха (пролет Б). Длина пролета Б – 84 м, ширина – 36 м. Высота до низа конструкции покрытия – 14,4 м. Разряд зрительных работ – IV. Принимаем отметку уровня условной рабочей поверхности 0,8 м. Здание запроектировано в г. Витебске. Продольные стены ориентированы на север. План и разрез здания представлены на рисунках Б.9, Б.10.

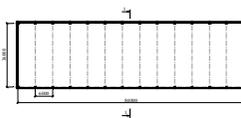


Рисунок Б.9 – План здания цеха



Рисунок Б.10 – Разрез 1–1

При расчете комбинированного освещения расчет площади остекления и поверочный расчет КЕО ведем отдельно для бокового и верхнего освещения, результаты расчетов суммируем.

I этап. Для г. Минска при ориентации окон на восток по таблице А.1 $m = 1,0$. Для зрительных работ разряда IV при комбинированном освещении по таблице А.2 $e_n = 4,0 \%$.

Нормативное значение КЕО определяем по формуле (1):

$$e_N = 4,0 \times 1,0 = 4,0 \%$$

Предварительно принимаем остекление – ленточное одноярусное. Отметка низа оконного проема расположена на высоте 1,2 м от уровня чистого пола цеха. В качестве остекления принимаем стекло оконное листовое двойное. Переплеты – стальные двойные открывающиеся. Солнцезащитные устройства отсутствуют. Противостоящие здания отсутствуют.

II этап. Требуемая площадь боковых световых проемов. Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6 – А.9 находим: $\tau_1 = 0,8$ (стекло оконное листовое двойное); $\tau_2 = 0,6$ (переплеты стальные двойные открывающиеся); согласно п. 4.2 [1] при боковом освещении $\tau_3 = 1$, $\tau_5 = 1$; при отсутствии солнцезащитных устройств $\tau_4 = 1$.

$$\tau_0 = 0,8 \times 0,6 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,48$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° по таблице А.3 $K_3 = 1,3$.

Значение световой характеристики η_0 зависит:

- от отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 36 = 2,3$;
- отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $36 / (4,0 - 0,8) = 11,2$.

По интерполяции по таблице А.4 находим $\eta_0 = 14,9$.

Коэффициент светопропускания материала r_0 зависит:

- от отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $36 / (4,0 - 0,8) = 11,25$;

- отношения расстояния L от наружной стены до расчетной точки к глубине помещения B . Предварительно принимаем $18 / 36 = 0,5$;
- отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 36 = 2,3$;
- средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{cp} = 0,4$.

По интерполяции по таблицам А.10, А.11 находим $r_0 = 1,45$.

Площадь пола

$$S_{\text{пола}} = 84 \times 36 = 3024 \text{ м}^2.$$

Условно принимаем, что две трети освещенности создается боковым светом и одна треть – верхним светом.

Определим площадь оконных проемов по формуле (2):

$$S_0 = [(2 \times 3024 \times 1,5 \times 14,9) / (3 \times 100 \times 0,48 \times 1,45)] \times 1,3 = 841,6 \text{ м}^2.$$

Требуемая площадь световых проемов фонаря.

Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6 – А.9 находим составляющие: $\tau_1 = 0,9$ (стекло оконное листовое одинарное); $\tau_2 = 0,9$ (переплеты стальные одинарные открывающиеся); $\tau_3 = 0,8$ (несущие конструкции покрытия – железобетонные фермы); $\tau_5 = 0,9$ (согласно п.4.2 [1]).

$$\tau_0 = 0,9 \times 0,9 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,9 = 0,583.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° по таблице А.3 $K_3 = 1,3$.

Значение световой характеристики η_ϕ зависит:

- от отношения длины помещения (здания) L_n к его ширине B : $84 / 36 = 2,3$;
- отношения высоты помещения H к ширине пролета L_n : $14,4 / 36 = 0,4$;
- типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;
- количества пролетов – один пролет.

По интерполяции по таблицам А.12, А.13 находим $\eta_\phi = 4,6$.

Коэффициент светопропускания материала r_1 зависит:

- от отношения высоты помещения, принимаемой от уровня условной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_ϕ к ширине пролета L_n : $18,36 / 36 = 0,51$;
- количества пролетов – один пролет;
- средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{cp} = 0,4$.

По интерполяции по таблице А.14 находим $r_1 = 1,302$.

$$S_{\text{пола}} = 84 \times 36 = 3024 \text{ м}^2.$$

Значение коэффициента K_ϕ зависит от типа фонаря.

Для фонаря с вертикальным двусторонним остеклением по таблице А.15 $K_\phi = 1,2$.

Определим площадь световых проемов фонаря по формуле (3):

$$S_0 = [(3024 \times 4,0 \times 4,6) / (3 \times 100 \times 0,583 \times 1,302 \times 1,2)] \times 1,3 = 264,7 \text{ м}^2.$$

Площадь принятого остекления $(3,6 \times (84 - 12) \times 2) + (1,7 \times 72 \times 2) = 762,8 \text{ м}^2$.

Суммарная расчетная площадь освещения $264,7 + 841,6 = 1106,3 \text{ м}^2$.

Принимаем в уровне низа фермы остекление высотой 2,4 м.

Общая площадь остекления $(3,6 \times (84 - 12) \times 2) + (1,7 \times 72 \times 2) + (2,4 \times 72 \times 2) = 1108,8 \text{ м}^2$.

III этап. Поверочный расчет КЕО от боковых световых проемов.

При боковом освещении производственных помещений глубиной более 6,0 м нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов на 1,5 высоты от пола до верха светового проема (для зрительных работ I–IV разрядов).

Для определения количества лучей, проходящих в рассматриваемую точку от неба через световые проемы, используем поперечный разрез, план здания и графики Данилюка I и II (рис. Б.11, Б.12).

Поверочный расчет верхнего и нижнего ряда остекления ведем отдельно.

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{\text{ср}} = (6,23 / 2 + 3,99 + 3,4 + 3,99 + 6,23 / 2) / 4 = 4,4 \%$, расхождение находится в пределах 10 %.

Определяем неравномерность естественного освещения согласно п. 3.22 [1]: $4,4/3,4 = 1,3$, неравномерность естественного освещения не превышает 3:1, условие выполняется (согласно 5.13 [1] неравномерность естественного освещения не должна превышать 3:1).

При нормировании КЕО при комбинированном освещении минимальное значение КЕО не должно быть меньше нормированного КЕО при боковом освещении. В нашем случае минимальное значение КЕО равно 3,4 %, что больше нормативного 1,5 %, условие выполняется (согласно 5.9 [1] допустимое отклонение расчетного значения КЕО от нормативного – не более 10 %).



Рисунок Б.11 – Определение количества лучей n

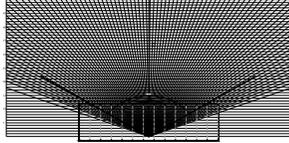


Рисунок Б.12 – Определение количества лучей n_2

Таблица Б.5 – Поверочный расчет КЕО нижнего яруса остекления

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
n_1	15	4	2	0,7	0,3
n_2	86	80	74	69	65
$\varepsilon_6 = 0,01n_1n_2$	12,90	3,20	1,48	0,48	0,20
θ	42	12	7	5	4
β	1	0,61	0,565	0,505	0,49

Окончание таблицы Б.5

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
B/h_1	9				
l/B	0,06	0,28	0,50	0,72	0,94
ρ_{cp}	0,4				
L_w/B	2,33				
r_0	1,05	1,18	1,45	1,87	2,34
τ_0	0,48				
K_3	1,3				
$\overset{\circ}{a}_{\overset{\circ}{a}}^{\varepsilon\hat{a}} = \varepsilon_6 \beta r_0 \tau_0 / K_3$	5,00	0,85	0,45	0,17	0,08
$\overset{\circ}{a}_{\overset{\circ}{a}}^{\overset{\circ}{i}\hat{d}} = \varepsilon_6 \beta r_0 \tau_0 / K_3$	0,08	0,17	0,45	0,85	5
$e_6 = \overset{\circ}{a}_{\overset{\circ}{a}}^{\varepsilon\hat{a}} + \overset{\circ}{a}_{\overset{\circ}{a}}^{\overset{\circ}{i}\hat{d}}$	5,08	1,02	0,90	1,02	5,08

Таблица Б.6 – Поверочный расчет КЕО верхнего остекления

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
n_1	0	4	2	2	1
n_2	86	80	76	71	69

$\varepsilon_6 = 0,01n_1n_2$	0,00	3,20	1,52	1,42	0,69
θ	78	49	33	24	19
β	0	1,07	0,898	0,775	0,705
B/h_1	2,8				
l/B	0,06	0,28	0,50	0,72	0,94
ρ_{cp}	0,4				
L_w/B	2,33				
r_0	1	1,09	1,15	1,26	1,54
τ_0	0,48				
K_3	1,3				
$\hat{a}_a^{\varepsilon\hat{a}} = \varepsilon_6 \beta r_0 \tau_0 / K_3$	0,00	1,38	0,58	0,51	0,28
$\hat{a}_a^{\varepsilon\hat{\delta}} = \varepsilon_6 \beta r_0 \tau_0 / K_3$	0,28	0,51	0,58	1,38	0
$e_6 = \hat{a}_a^{\varepsilon\hat{a}} + \hat{a}_a^{\varepsilon\hat{\delta}}$	0,28	1,89	1,16	1,89	0,28

Таблица Б.7 – Проверочный расчет КЕО от световых проемов фонаря

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
n_3	0	0	1	2	1
n_2			86	84	79
$\varepsilon_b = 0,01n_3n_2$	0	0	0,86	1,68	0,94
ε_{cp}	0,756				
ρ_{cp}	0,5				

Окончание таблицы Б.7

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
H_ϕ/l_n	0,51				
r_1	1,402				
K_ϕ	1,2				
K_3	1,3				
τ_0	0,648				
$\hat{a}_a^{\varepsilon\hat{\delta}} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp}(r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$	0,24	0,24	0,67	0,84	0,71
$\hat{a}_a^{\varepsilon\hat{a}} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp}(r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$	0,71	0,84	0,67	0,24	0,24
$e_b = \hat{a}_a^{\varepsilon\hat{a}} + \hat{a}_a^{\varepsilon\hat{\delta}}$	0,95	1,08	1,34	1,08	0,95

Таблица Б.8 – Суммарное значение КЕО от бокового и верхнего освещения

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских				
	1	2	3	4	5
$\tilde{a}_a^i = a_a^{e\hat{a}} + \tilde{a}_a^{i\hat{d}}$	5	1,02	0,9	1,02	5
$\tilde{a}_a^{\hat{a}} = a_a^{e\hat{a}} + \tilde{a}_a^{i\hat{d}}$	0,28	1,89	1,16	1,89	0,28
e_b	0,95	1,08	1,34	1,08	0,95
$\sum e$	6,23	3,99	3,4	3,99	6,23

Пример № 4

Необходимо запроектировать систему естественного освещения в здании цеха тепловозного депо (пролеты А и Б).

Длина цеха – 84 м. Ширина пролета А – 24 м. Ширина пролета Б – 18 м. Высота до низа конструкция покрытия пролета А – 15,6 м. Высота до низа конструкция покрытия пролета Б – 14,4 м. Разряд зрительных работ – II. Принимаем отметку уровня условной рабочей поверхности 0,8 м. Здание запроектировано в г. Гомеле. Продольные стены ориентированы на север.

План здания и разрез представлены на рисунках Б.13, Б.14.

Согласно п. 5.8 [1] допускается применение верхнего естественного освещения в большепролетных цехах со зрительными работами I–III разрядов, при этом нормированное значение КЕО принимается соответственно 10, 7, 5 %. Исходя из вышеприведенного пункта и исходных данных, расчет ведем верхнего естественного освещения для данного цеха.

Для обеспечения зрительного контакта с внешней средой и для освещения рабочих мест в непосредственной близости от наружной стены на высоте 1,2 м от пола размещаем ленточное остекление высотой 1,2 м.

Согласно п. 5.7 разделим площадь цеха на участки, освещаемые боковыми световыми проемами и светоаэрационными фонарями.

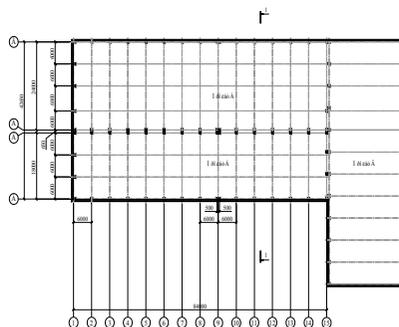


Рисунок Б.13 – План здания цеха.

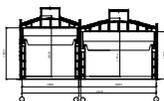


Рисунок Б.14 – Разрез 1-1

Расчет естественного освещения от бокового света.

I этап. Согласно п. 5.5 разрядов [1] в крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6,0 м при боковом одностороннем освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке на условной рабочей поверхности,

удаленной от световых проемов на 1,5 высоты от пола до верха световых проемов (для зрительных работ I–IV): $B = 1,5 \times 2,4 = 3,6$ м.

Для г. Гомеля при ориентации окон на север по таблице А.1 $m = 0,9$.

Для зрительных работ разряда II при боковом освещении (таблица А.2) $e_n = 1,5 \%$.

Тогда нормативное значение КЕО

$$e_N = 1,5 \times 0,9 = 1,35 \%$$

Предварительно принимаем остекление – ленточное одноярусное. Граница верха оконного проема расположена на высоте 2,4 м от уровня чистого пола цеха. Отметка низа оконного проема – 1,2 м. В качестве остекления принимаем стекло оконное листовое двойное. Переплеты – стальные двойные открывающиеся. Солнцезащитные устройства отсутствуют. Стены в осях А-1-2, А-Г-1, А-14-15, Г-1-2, Г-14-15 – глухие (без остекления). Противостоящие здания отсутствуют.

II этап. Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6 – А.9 находим: $\tau_1 = 0,8$ (стекло оконное листовое одинарное); $\tau_2 = 0,6$ (переплеты стальные одинарные открывающиеся); согласно п. 4.2 [1] при боковом освещении $\tau_3 = 1,0$, $\tau_5 = 1,0$; при отсутствии солнцезащитных устройств $\tau_4 = 1,0$.

$$\tau_0 = 0,8 \times 0,6 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,48.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° по таблице А.3 $K_3 = 1,3$.

Значение световой характеристики η_0 зависит:

пролет В:

– от отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 18 = 4,7$;

– отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $18 / (2,4 - 0,8) = 11,25$.

По интерполяции по таблице А.4 находим $\eta_0 = 12,5$;

пролет А:

– от отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 24 = 3,5$;

– отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $18 / (2,4 - 0,8) = 11,25$.

По интерполяции по таблице А.4 находим $\eta_0 = 13,25$.

Коэффициент светопропускания материала r_0 зависит:

пролет А

– от отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $24 / (2,4 - 0,8) = 15,0$;

– отношения расстояния L от наружной стены до расчетной точки к глубине помещения B . Предварительно принимаем $3,6 / 24 = 0,15$;

– отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 24 = 3,5$;

– средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{cp} = 0,4$.

По интерполяции по таблицам А.10, А.11 находим $r_0 = 1,075$;

пролет В:

– от отношения глубины помещения B к его высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 : $18 / (2,4 - 0,8) = 11,25$;

– отношения расстояния L от наружной стены до расчетной точки к глубине помещения B . Предварительно принимаем $3,6 / 18 = 0,2$;

– отношения длины помещения (здания) L_n к его глубине B : $84 / 18 = 4,7$;

– средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{\text{ср}} = 0,4$.
 По интерполяции по таблицам А.10, А.11 находим $r_o = 1,1$.

$$S_{\text{пола}} = 84 \times 3,6 = 302,4 \text{ м}^2.$$

Определим площадь оконных проемов по формуле (2):

$$S_i^{\Delta} = [(302,4 \times 1,35 \times 13,25) / (100 \times 0,48 \times 1,075)] \times 1,3 = 136,3 \text{ м}^2.$$

$$S_i^{\Delta} = [(302,4 \times 1,35 \times 12,5) / (100 \times 0,48 \times 1,1)] \times 1,3 = 125,6 \text{ м}^2.$$

Площадь принятого остекления $(84 - 6 - 6) \times 1,2 \times 2 = 172,8 \text{ м}^2$, площадь требуемого остекления $136,3 + 125,6 = 261,9 \text{ м}^2$. Принимаем ленточное остекление высотой 1,8 м.

III этап. В расчетной точке на расстоянии $L = 1,5 \times 3 = 4,5 \text{ м}$ от оконных проемов определяем расчетное значение КЕО.

Откладываем расчетную точку на условной рабочей поверхности и определяем количество лучей n_1 , проходящих в нее по графику Данилюка I.



Рисунок Б.15 – Определение количества лучей n_1

Определяем номер полуокружности, проходящей через центр оконного проема, и по графику Данилюка II определяем количество лучей n_2 .

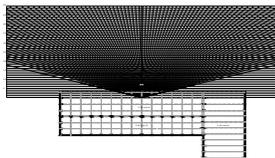


Рисунок Б.16 – Определение количества лучей n_2

По формуле (15) определяем геометрическое значение КЕО: $\varepsilon_6 = 0,01 \times 12 \times 81 = 9,72$.

Определяем угловую высоту середины светового проема над рабочей поверхностью $\theta = 15^\circ$.

По таблице А.3 определяем значение $\beta = 0,652$;

пролет А.

При $B / h_1 = 24 / (3 - 0,8) = 10,9$; $L / B = 4,5 / 24 = 0,19$; $\rho_{\text{эф}} = 0,4$; $L_n / B = 84 / 24 = 3,5$.

По интерполяции находим (таблицы А.10, А.11) $r_0 = 1,095$.

пролет Б.

При $B / h_1 = 18 / (3 - 0,8) = 8,18$; $L / B = 4,5 / 18 = 0,25$; $\rho_{\text{эф}} = 0,4$; $L_n / B = 84 / 18 = 5,25$.

По интерполяции находим (таблицы А.10, А.11) $r_0 = 1,15$.

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (таблица А.3) $K_3 = 1,3$.

По формуле (5) КЕО для пролета А $\bar{\alpha}_A^i = 9,72 \times 0,652 \times 1,095 \times 0,48 / 1,3 = 2,56$ %.

По формуле (5) КЕО для пролета Б $e_{\sigma}^H = 9,72 \times 0,652 \times 1,15 \times 0,48 / 1,3 = 2,69$ %.

Полученные значения больше нормативного на 30 %, что выше допустимого отклонения – 10 % (согласно 5.9 [1]).

IV этап. Принимаем окна с размерами $3,0 \times 1,2$ м с шагом, равным шагу колонн.

В расчетной точке на расстоянии $l = 1,5 \times 2,4 = 3,6$ м.

Делаем перерасчет: $\varepsilon_6 = 0,01 \times 11 \times 49 = 5,39$; $\theta = 14^\circ$; $\beta = 0,64$.

пролет А.

При $B / h_1 = 24 / (2,4 - 0,8) = 15$; $L / B = 3,6 / 24 = 0,15$; $\rho_{\text{эф}} = 0,4$; $L_n / B = 84 / 24 = 3,5$.

По интерполяции находим (таблицы А.10, А.11) $r_0 = 1,075$.

пролет Б.

При $B / h_1 = 18 / (2,4 - 0,8) = 11,25$; $L / B = 3,6 / 18 = 0,2$; $\rho_{\text{эф}} = 0,4$; $L_n / B = 84 / 18 = 5,25$.

По интерполяции находим (таблицы А.10, А.11) $r_0 = 1,1$.

По формуле (7) КЕО для пролета А $e_{\sigma}^H = 5,39 \times 0,64 \times 1,075 \times 0,48 / 1,3 = 1,37$ %.

По формуле (7) КЕО для пролета Б $e_{\sigma}^H = 5,39 \times 0,64 \times 1,1 \times 0,48 / 1,3 = 1,40$ %.

Полученное значение находится в допуске (согласно 5.9 [1] допустимое отклонение расчетного значения КЕО от нормативного не более 10 %).

Расчет естественного освещения от верхнего света.

I этап. Для г. Гомеля при ориентации окон на север (таблица А.1) $m = 0,9$.

Для зрительных работ разряда II при боковом освещении (таблица А.2) $e_n = 7,0$ %.

Тогда по формуле (1) нормированное значение КЕО:

$$e_N = 7,0 \times 0,9 = 6,3 \text{ \%}$$

Предварительно принимаем остекление фонаря – ленточное двухъярусное. Отметка низа оконного проема от уровня условной рабочей поверхности 18,45 м (пролет А) и 17,73 м (пролет Б).

В качестве остекления принимаем стекло оконное листовое одинарное. Переплеты – стальные одинарные открывающиеся. Солнцезащитные устройства отсутствуют. Торцевые стены фонаря – глухие (без остекления). Противостоящие здания отсутствуют.

II этап. Определяем общий коэффициент светопропускания τ_0 по формуле (4).

Для определения τ_0 по таблицам А.6 – А.9 находим составляющие: $\tau_1 = 0,9$ (стекло оконное листовое одинарное); $\tau_2 = 0,9$ (переплеты стальные одинарные открывающиеся); $\tau_3 = 0,8$ (несущие конструкции покрытия – железобетонные фермы); $\tau_5 = 0,9$ (согласно п.4.2 ТКП [1]).

$$\tau_0 = 0,9 \times 0,9 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,9 = 0,583.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 90° (таблица А.3) $K_3 = 1,3$.

Световую характеристику η_ϕ и коэффициент светопропускания материала r_1 определим отдельно для каждого пролета.

Пролет А:

значение световой характеристики η_ϕ зависит:

- от отношения длины помещения (здания) L_n к его ширине B : $84 / 24 = 3,5$;
- отношения высоты помещения H к ширине пролета B : $15,6 / 24 = 0,65$;
- типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;
- количества пролетов – один пролет.

По интерполяции находим (таблицы А.12, А.13) $\eta_\phi = 6,8$.

Коэффициент светопропускания материала r_1 зависит:

- от отношения высоты помещения, принимаемая от уровня словной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_ϕ к ширине пролета B : $18,45 / 24 = 0,77$;
- количества пролетов – один пролет;
- средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{ср} = 0,4$.

По интерполяции находим (таблица А.14) $r_1 = 1,354$.

$$S_{\text{пола}} = 72 \times 20,4 = 1468,8 \text{ м}^2.$$

Пролет Б:

значение световой характеристики η_ϕ зависит:

- от отношения длины помещения (здания) L_n к его ширине B : $84 / 18 = 4,7$;
- отношения высоты помещения H к ширине пролета B : $14,4 / 18 = 0,8$;
- типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;
- количества пролетов – один пролет.

По интерполяции находим (таблицы А.12, А.13) $\eta_\phi = 9,1$.

Коэффициент светопропускания материала r_1 зависит:

- от отношения высоты помещения, принимаемая от уровня словной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_ϕ к ширине пролета B : $17,73 / 18 = 0,98$;
- количества пролетов – один пролет;
- средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{ср} = 0,4$.

По интерполяции находим (таблица А.14) $r_1 = 1,396$.

$$S_{\text{пола}} = 72 \times 14,4 = 1036,8 \text{ м}^2.$$

Значение коэффициента K_ϕ зависит от типа фонаря.

Для фонаря с вертикальным двусторонним остеклением $K_\phi = 1,2$ (таблица А.15).

Определим площадь световых проемов фонаря для каждого пролета по формуле (3):

$$S_i^A = [(1468,8 \times 6,3 \times 6,8) / (100 \times 0,583 \times 1,354 \times 1,2)] \times 1,3 = 863,5 \text{ м}^2.$$

$$S_i^B = [(1036,8 \times 6,3 \times 9,1) / (100 \times 0,583 \times 1,396 \times 1,2)] \times 1,3 = 791,2 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь остекления фонаря $863,5 + 791,2 = 1654,7 \text{ м}^2$.

Назначенная площадь остекления $2,3 \times 4 \times 72 = 662,4 \text{ м}^2$.

Площадь принятого остекления намного меньше расчетной.

Принимаем светоаэрационные фонари с наклонным остеклением, угол наклона принимаем равным 80° .

Выполним перерасчет требуемой площади остекления:

$$\tau_0 = 0,9 \times 0,9 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,9 = 0,583.$$

Коэффициент запаса для электровозного депо при угле наклона окон к горизонту 80° (таблица А.3) $K_3 = 1,3$.

Пролет А:

значение световой характеристики η_ϕ зависит:

– от отношения длины помещения (здания) L_n к его ширине B : $84/24 = 3,5$;

– отношения высоты помещения H к ширине пролета B : $15,6/24 = 0,65$;

– типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;

– количества пролетов – один пролет.

По интерполяции находим (таблицы А.12, А.13) $\eta_\phi = 3,6$.

$H_\phi / L_n = 18,45/24 = 0,77$; $\rho_{cp} = 0,4$;

– средневзвешенного коэффициента отражения. По интерполяции находим (таблица А.14) $r_1 = 1,354$.

$$S_{\text{пола}} = 72 \times 20,4 = 1468,8 \text{ м}^2.$$

Пролет Б:

$L_n / B = 84/18 = 4,7$; $H / B = 14,4/18 = 0,8$;

– типа фонаря – с вертикальным двусторонним остеклением;

– количества пролетов – один пролет.

По интерполяции находим (таблицы А.12, А.13) $\eta_\phi = 4,1$.

$H_\phi / L_n = 17,73/18 = 0,98$; $\rho_{cp} = 0,4$;

– средневзвешенного коэффициента отражения. По интерполяции находим (таблица А.14) $r_1 = 1,396$.

$$S_{\text{пола}} = 72 \times 14,4 = 1036,8 \text{ м}^2.$$

Значение коэффициента K_ϕ зависит от типа фонаря. Для фонаря с наклонным двусторонним остеклением $K_\phi = 1,15$ (таблица А.15).

Определим площадь световых проемов фонаря для каждого пролета по формуле (3):

$$S_i^A = [(1468,8 \times 6,3 \times 3,6) / (100 \times 0,583 \times 1,354 \times 1,15)] \times 1,3 = 477,05 \text{ м}^2.$$

$$S_i^B = [(1036,8 \times 6,3 \times 4,1) / (100 \times 0,583 \times 1,396 \times 1,15)] \times 1,3 = 371,9 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь остекления фонаря $477,05 + 371,9 = 848,95 \text{ м}^2$.

Назначенная площадь остекления $3 \times 4 \times 72 = 864 \text{ м}^2$.

III этап. Определим КЕО при верхнем освещении для пролета А. Расчет ведем в табличной форме.

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{cp} = (2,77/2 + 3,20 + 3,233 + 3,66 + 3,23 + 3,20 + 2,77/2) / 6 = 3,21 \%$, что ниже нормативного значения ($e_N = 6,3 \%$) (согласно 5.9 [1] допустимое отклонение расчетного значения КЕО от нормативного – не более 10 %).

Принимаем угол наклона остекления 60° .

Выполним перерасчет.

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{cp} = (6,56 / 2 + 6,17 + 6,57 + 6,20 + 6,57 + 6,17 + 6,56 / 2) / 6 = 6,37 \%$, что превышает нормативное значение ($e_N = 6,3 \%$) на 2%. Условие выполняется.

Определяем неравномерность естественного освещения согласно п. 3.22 [1]:

$6,37 : 6,17 = 1,03 : 1$ – неравномерность естественного освещения не превышает 3:1, условие выполняется (согласно 5.13 [1] неравномерность естественного освещения не должна превышать 3:1).

Таблица Б.9 – Определения КЕО при верхнем освещении для пролета А

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских						
	1	2	3	4	5	6	7
n_3	0	1	2	3	3	4	4
n_2	0	95	94	94	93	92	92
$\varepsilon_b = 0,01n_3n_2$	0	0,95	1,88	2,82	2,79	3,68	3,68
ε_{cp}	2,26						
ρ_{cp}	0,4						
H_{ϕ}/l_n	0,77						
r_1	1,354						
K_{ϕ}	1,15						
K_3	1,3						
τ_0	0,583						
$a_a^{\varepsilon\delta} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp} \times (r_1 K_{\phi} - 1)] \tau_0 / K_3$	0,56	0,99	1,41	1,83	1,82	2,21	2,21
$e_B^{JIB} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp} \times (r_1 K_{\phi} - 1)] \tau_0 / K_3$	2,21	2,21	1,82	1,83	1,41	0,99	0,56
$e_b = e_B^{JIB} + a_a^{\varepsilon\delta}$	2,77	3,20	3,23	3,66	3,23	3,20	2,77

Таблица Б.10 – Перерасчет КЕО при верхнем освещении для пролета А

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских						
	1	2	3	4	5	6	7
n_3	4	4	5	5	6	6	7
n_2	95	95	94	94	93	92	92
$\varepsilon_b = 0,01n_3n_2$	4,75	4,75	5,64	5,64	6,51	6,44	7,36
ε_{cp}	5,87						
ρ_{cp}	0,4						
H_{ϕ}/l_n	0,77						
r_1	1,354						
K_{ϕ}	1,15						
K_3	1,4						
τ_0	0,583						
$a_a^{\varepsilon\delta} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp} \times$	2,73	2,73	3,10	3,10	3,47	3,44	3,83

$\times (r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$									
$e_B^{ЛВ} = [\epsilon_B + \epsilon_{cp} \times$ $\times (r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$	3,83	3,44	3,47	3,1	3,1	2,73	2,73		
$e_B = e_B^{ЛВ} +$ $a_a^{\text{сiд}}$	6,56	6,17	6,57	6,20	6,57	6,17	6,56		

Определим КЕО при верхнем освещении для пролета Б. Расчет представлен в таблице Б.11.

Таблица Б.11 – Определения КЕО при верхнем освещении для пролета Б

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_3	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2
n_2	0	0	0	0	0	95	95	94	94	93
$\epsilon_B = 0,01n_3n_2$	0	0	0	0	0	0,95	0,95	0,94	1,88	1,86
ϵ_{cp}	0,66									
ρ_{cp}	0,4									
H_ϕ/l_n	0,98									
r_1	1,396									
K_ϕ	1,15									
K_3	1,3									
τ_0	0,583									
$a_a^{\text{сiд}} = [\epsilon_B + \epsilon_{cp} \times$ $\times (r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,60	0,60	0,60	1,02	1,01
$e_B^{ЛВ} = [\epsilon_B + \epsilon_{cp} \times$ $\times (r_1 K_\phi - 1)] \tau_0 / K_3$	1,01	1,02	0,6	0,6	0,6	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
$e_B = e_B^{ЛВ} +$ $a_a^{\text{сiд}}$	1,19	1,20	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	1,20	1,19

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{cp} = (1,19 / 2 + 1,20 + 0,78 + 0,78 + 0,78 + 0,78 + 0,78 + 0,78 + 1,20 + 1,19 / 2) / 9 = 0,92 \%$, что ниже нормативного значения ($e_N = 6,3 \%$). Условие не выполняется.

Принимаем угол наклона остекления 60° .

Выполним перерасчет (см. таблицу Б.12).

Таблица Б.12 – Перерасчет КЕО при верхнем освещении для пролета Б

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
n_2	98	97	96	96	95	95	95	94	94	93
$\epsilon_B = 0,01n_3n_2$	2,9	3,88	3,84	4,8	4,7	5,7	5,7	6,58	6,58	7,44

	4				5					
ε_{cp}	5,22									
ρ_{cp}	0,4									
H_{ϕ}/l_n	0,98									
r_1	1,396									
K_{ϕ}	1,15									
K_3	1,4									
τ_0	0,583									

Окончание таблицы Б.12

Показатель	№ точки характерного разреза помещения мастерских									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{a}_a^{\varepsilon\delta} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp} \times (r_1 K_{\phi} - 1)] \tau_0 / K_3$	2,5 4	2,93	2,92	3,3 2	3,2 9	3,6 9	3,6 9	4,06	4,06	4,41
$e_B^{ЛВ} = [\varepsilon_b + \varepsilon_{cp} \times (r_1 K_{\phi} - 1)] \tau_0 / K_3$	4,4 1	4,06	4,06	3,6 9	3,6 9	3,2 9	3,3 2	2,92	2,93	2,54
$e_b = e_B^{ЛВ} + \bar{a}_a^{\varepsilon\delta}$	6,9 5	6,99	6,98	7,0 1	6,9 8	6,9 8	7,0 1	6,98	6,99	6,95

Определяем среднее значение КЕО:

$e_{cp} = (6,95 / 2 + 6,99 + 6,98 + 7,01 + 6,98 + 6,98 + 7,01 + 6,98 + 6,99 + 6,95 / 2) / 9 = 6,98 \%$, что превышает нормативное значение ($e_N = 6,3 \%$) на 10 %, условие выполняется (согласно 5.9 [1]).

Определяем неравномерность естественного освещения согласно п. 3.22 [1]:

$6,98 : 6,95 = 1:1$ неравномерность естественного освещения не превышает 3:1, условие выполняется (согласно 5.13 [1]).

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич
МАСЛОВА Ольга Геннадьевна
СТЕПАНЦОВ Дмитрий Сергеевич

**РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор И. И. Э в е н т о в
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 22.12.2014 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,6. Уч.-изд. л. 3,43. Тираж 200 экз.
Зак. № . Изд. № 116

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

