

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Т.В. Гречкина, В.Д. Никитин

**РАСЧЕТНЫЙ ПРАКТИКУМ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ
УСТАНОВОК**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 628.93(076.5)

ББК 31.294я73

Г81

Гречкина Т.В.

Г81

Расчетный практикум для проектирования осветительных установок: учебное пособие / Т.В. Гречкина, В.Д. Никитин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 153 с.

ISBN 978-5-98298-608-5

В пособии изложены расчетные основы методов коэффициента использования, удельной мощности, расчета сечения проводов и кабелей по току нагрева, предназначенных для проектирования и расчета осветительных установок. Рассмотрены возможности компьютерного проектирования (программный комплекс DIALux) для целей внутреннего освещения.

Разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Неразрушающий контроль» и предназначено для студентов, обучающихся по магистерской программе 200207 «Светотехника и источники света» направления 200200 «Оптотехника». Может быть полезно инженерам, выполняющим реальное проектирование различных осветительных систем.

УДК 628.93(076.5)

ББК 31.294я73

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор ТГАСУ

Л.А. Лисицына

Главный инженер УМП «Томскгорсвет»

Г.Ф. Рыбалов

ISBN 978-5-98298- 608–5

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2009

© Гречкина Т.В., Никитин В.Д., 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

Оглавление

Введение.....	5
ЧАСТЬ 1. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК (ОУ).....	7
Курсовое проектирование ОУ	7
Глава 1. Программный комплекс DIALux	12
Особенности, назначение программного комплекса DIALux	12
Основные возможности DIALux	12
Интерфейс пользователя. Основные инструменты	13
Порядок работы над проектом в программном комплексе DIALux	16
Глава 2. Методические указания к выполнению отдельных разделов работы	19
2.1. Этапы построения помещения в DIALux.....	19
2.2. Светотехническая часть проекта.....	26
2.3. Электротехническая часть проекта.....	34
Глава 3. Построение сцен освещения в DIALux	45
3.1. Сцены освещения с элементами управления.....	46
3.2. Этапы построения сцен освещения с элементами управления в DIALux	47
3.3. Примеры сцен освещения с элементами управления в программном комплексе DIALux	50
Круговое расположение светильников	50
Поле светильников.....	51
Комбинированное расположение светильников.....	52
3.4. Дневной свет. Расчет дневного света в DIALux.....	54
Расчет освещения с учетом дневного света	55
Визуализация солнечного света и тени	57
3.5. Планирование цветного освещения в DIALux	58
3.6. Энергетическая оценка	67
Проектирование офиса – требования к освещению с учетом критериев энергетической оценки.....	69
Приложение 1	75
Приложение 2	76
Приложение 3	77
Список литературы.....	81
ЧАСТЬ 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СВЕТО- И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТЕЙ ОУ	83
Глава 1. Метод коэффициента использования	83
1.1. Значение метода	83
1.2. Светильники с лампами накаливания и дуговыми ртутными лампами	86
1.3. Светильники с люминесцентными лампами	93
Приложение 1.1	102
Список литературы.....	109
Глава 2. Метод удельной мощности и другие упрощенные способы расчета освещения.....	110
2.1. Характеристика метода удельной мощности	110

2.2. Расчет при светильниках с лампами накаливания и ДРЛ	111
2.3. Расчет при светильниках с люминесцентными лампами	116
Приложение 2.1	120
2.4. Другие упрощенные способы расчета освещения	122
2.5. Метод условной площади.....	123
Список литературы.....	128
Глава 3. Расчет сечения проводников по току нагрева.....	129
3.1. Расчет осветительных сетей	129
3.2 Общие положения по расчету сечения проводов и кабелей	131
3.3. Расчет по току нагрева	133
3.4. Факторы, влияющие на значение длительно допустимого тока для проводов и кабелей.....	136
3.5. Методика комплексного решения задач по выбору сечения осветительной сети	140
3.6. Задачи	142
Приложение 3.1	148
Приложение 3.2	149
Список литературы.....	151

Введение

Возможности компьютерного проектирования в области светодизайна достаточно широки и постоянно расширяются. В последние годы на рынке программного обеспечения появились десятки светотехнических программ разного уровня и специализации, в том числе DIALux.

DIALux идеально подходит для проектирования осветительных установок (ОУ) в помещениях промышленных и общественных зданий. Возможности выбора показателей технического содержания помещения позволяют рассчитать более реалистичную ситуацию эксплуатации осветительной установки и качества освещения.

Среди возможностей программы при разработке светотехнического проекта также следует отметить работу с трехмерным видом, различные способы визуализации объекта, вариативность решений при выборе и установке светильников, обработке светотехнических данных, корректировке цветопередачи источников света, построение сцен освещения с элементами управления.

В целях проектирования ОУ в DIALux предусмотрено построение и расчет сцен освещения, в том числе с учетом дневного света. Различные параметры и стандарты, интегрированные в программу DIALux, легко могут быть выбраны пользователем. Информация, введенная в процессе планирования освещения, например геометрия комнаты, естественное освещение, источники света, адаптируются программой DIALux для энергетической оценки проекта и автоматически используются при расчете.

Однако при всех неоспоримых достоинствах DIALux одной этой программы для проектирования ОУ явно недостаточно. Необходимы такие дополнительные возможности, как сквозная подготовка документации по электрооборудованию, расчет и построение принципиальной схемы осветительной установки.

Во второй части учебного пособия даются в систематизированном виде основные методы расчета свето- и электротехнической частей осветительных установок. Приводятся в ручном варианте решения многих, характерных для практики, задач по проектированию освещения. Ручной вариант расчета может потребоваться, например, в случаях, когда выбранный проектировщиком прибор отсутствует в базе данных расчетной программы, а также при анализе различных параметров осветительных, облучательных, растениеводческих, для животноводства и иных светотехнических установок.

Ручные расчеты отличает:

- замечательная гибкость, вариабельность, способность учесть тончайшие «нюансы» светотехнических (не только осветительных) установок;
- возможность получения на их основе новых теоретических результатов и различных методических материалов, в частности, графоаналитических.

Отметим ряд особенностей части второй учебного пособия.

1. Усилено внимание к различным упрощенным методам расчета – их использование во многих случаях позволяет сразу выбрать оптимальные характеристики установки, к расчету сетей по току нагрева (по термической стойкости изоляции) – ввиду его роли в создании надежных и экономических сетей.
2. В пособии отсутствует точечный метод расчета освещенности, так как по нему имеются учебные пособия «Расчет освещения точечным методом» (1985 г.) и «Расчет прямой составляющей освещенности» (1992 г.), а также подробные методические указания (1990 г.).
3. В тексте отсутствуют экономические расчеты, так как имеется учебное пособие Никитина В.Д., Сериковой Г.Н. «Экономика осветительных установок» (1988г.), и лишь в некоторых задачах «пунктиром» проходят вопросы оптимизации и экономики.
4. К сожалению, из-за ограничений по объему в пособие не включены задачи по подбору аппаратов защиты и расчету сечений проводников по потере напряжения.
5. Списки литературы для удобства пользования и в связи со значительным объемом во второй части оригинальных материалов даются в каждой главе.

Автор второй части пособия благодарит за помощь в работе студентов-светотехников ТПИ-ТПУ 70-х,80-х и 90-х годов Сыроватко Е.В., Давиденко В.И., Сахарову Г.Н., Еремину С.Л., Юдину Е.Ю., Савченко И.П., Беряльцеву Н.П., Полисадову Е.Ф.; студентов и магистрантов ТПУ-НИ ТПУ 2000-х годов Степанову Е.В., Трубач А.В., Дорофееву Д.Ю., Козыреву И.Н. Особая признательность – аспиранту кафедрой лазерной и световой техники Толкачевой К.П. Автор благодарит за полезные обсуждения зав.кафедры системознергетики КрасГАУ профессора Кунгса Я.А.

ЧАСТЬ 1. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК (ОУ)

Курсовое проектирование ОУ

Завершающий этап изучения дисциплины «Проектирование осветительных установок» – курсовой проект, цель которого систематизировать, расширить, углубить теоретические знания студентов. В процессе этой работы обучающийся приобретает навыки самостоятельного проектирования осветительных установок. Каждый студент получает от преподавателя индивидуальное задание и в соответствии с приведенными здесь методическими указаниями разрабатывает дизайн-проект *интерьера* и выполняет расчет его осветительной установки.

Индивидуальное задание на проектирование включает объект (помещение заданного назначения), для которого должны быть разработаны дизайн-проект и осветительная установка (*Приложения 1–3*).

При проектировании студенту следует, кроме рекомендуемой здесь литературы, использовать справочные, нормативные, специальные периодические материалы и документы.

Курсовой проект состоит из следующих основных частей: пояснительная записка, создание дизайн-проекта, разработка и расчет светотехнической и электротехнической части, представление сводных данных по результатам проектирования, составление документации проекта, анализа полученных результатов расчета. Работа выполняется с привлечением компьютерных программ 3D-проектирования (DIALux, WinELSO, 1-2-3 Schema (Hager)).

Курсовое проектирование ОУ неотъемлемо связано с разработкой проектной документации, что в свою очередь упорядочивает последовательность действий работы над проектом и формирует содержание и полноту представляемых результатов.

Проектная документация может быть разработана в любом объеме для наружного освещения всех видов, внутреннего освещения промышленных, складских, торговых, а также спортивных сооружений и др.

Состав проектной документации

Дизайн-проект или архитектурная часть проекта освещения:

- двухмерный дизайн-проект (2D);
- трехмерный дизайн-проект (3D).

Светотехническая часть проекта:

- пояснительная записка;
- результаты светотехнических расчетов;
- чертежи ОУ с указанием мест размещения и координат/углов нацеливания световых приборов;
- расчет установленной мощности в различных режимах включения.

Электротехническая часть проекта:

- пояснительная записка;
- рабочие чертежи расположения электрооборудования и прокладки групповых сетей;
- принципиальные схемы питающей сети и управления режимами включения осветительной установки;
- кабельный журнал;
- планирование и расчет электрооборудования;
- трехмерное проектирование электрооборудования.

Спецификация электроосветительного оборудования.

Дополнительные документы (при необходимости):

- разработка рабочей конструкторской документации на дополнительные узлы крепления;
- разработка сметной документации.

ДВУХМЕРНЫЙ ДИЗАЙН-ПРОЕКТ (2D)

В основном используется для архитектурно-художественной подсветки. Как правило, применяется, когда здание построено и его можно сфотографировать либо если здание еще находится в процессе проектирования, но уже есть его компьютерная модель. На сегодняшний день это наиболее быстрая и экономичная технология в мире. На основе современных средств компьютерной графики предоставляется возможность еще на предпроектной стадии увидеть будущую осветительную установку и получить полное представление о выбранном варианте освещения, обсудить его с проектировщиками и архитекторами и при необходимости оперативно внести требуемые изменения. Расчет освещения по данной технологии не предусматривается, поэтому реальная картина может несколько отличаться от дизайн-проекта.

Результатами выполнения 2D-дизайн-проекта являются:

- визуализация архитектурно-художественного освещения объекта, представляемая в виде полноцветных фотореалистичных изображений (рис. 1);
- типы, количество световых приборов;
- установленная мощность;
- предварительная спецификация осветительного оборудования.



Рис. 1. Примеры 2D-дизайн-проектов, «СветоДизайнПроект» г. Москва [1]

2D-дизайн-проект может быть представлен в виде распечатки либо в графическом файле в формате PDF и включать несколько различных вариантов подсветки.

ТРЕХМЕРНЫЙ ДИЗАЙН-ПРОЕКТ (3D)

В основном используется для архитектурно-художественной подсветки. Как правило, применяется, когда здание еще не возведено. Трехмерная технология обеспечивает большую точность, чем двухмерная, позволяет выбрать ракурс, однако метод более трудоемкий и дорогостоящий. На основе современных средств компьютерной графики и численных расчетов сцен освещения предоставляется возможность еще на предпроектной стадии увидеть будущую осветительную установку и получить полное представление о выбранном варианте освещения, при необходимости оперативно внести изменения. Метод позволяет также контролировать распределение освещенности и яркости.

Результатом выполнения 3D-дизайн-проекта является:

- визуализация освещения объекта, представляемая в виде полноцветных фотореалистичных изображений (рис. 2, 3);
- распределение освещенности и яркости;
- типы, количество и места размещения / нацеливания световых приборов;
- установленная мощность;
- предварительная спецификация осветительного оборудования.

3D-дизайн-проект может быть представлен в виде распечатки либо в графическом файле в формате PDF и включать несколько различных вариантов подсветки, а также распределение освещенности и яркости.

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Используются для определения оптимального типа, способа, расстановки и количества светильников, а также типа и мощности источника света для наружного освещения всех видов, а также внутреннего освещения промышленных, складских, торговых и спортивных сооружений. Расчет выполняется в компьютерной программе (например, DIALux, Relux, WinELSO).

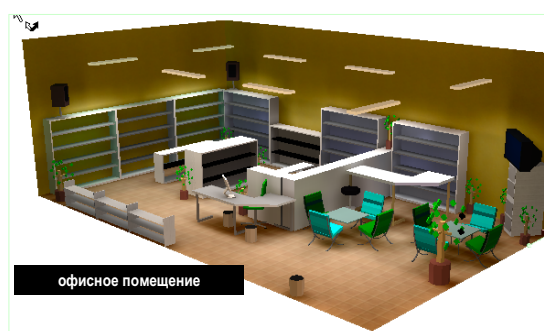


*Губернаторский квартал, г. Томск
(3D-дизайн-проект)*



*Богоявленский собор, г. Томск
(3D-дизайн-проект)*

Рис. 2. Примеры 3D-дизайн-проектов, «Электрум», г. Томск



*Рис. 3. Примеры 3D-дизайн-проектов, курсовые работы
студентов кафедры ЛИСТ, ТПУ, г. Томск*

Результатами компьютерных фотометрических расчетов являются:

- типы, количество и места размещения/нацеливания световых приборов;
- установленная мощность;
- распределение нормируемых светотехнических величин (освещенность, яркость и др.);
- спецификация осветительного оборудования.

ПЛАНИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Специализированное программное обеспечение, предназначенное для проектирования систем силового электрооборудования и электроосвещения по российским стандартам и методикам. Трехмерное проектирование электрооборудования, составление документации и спецификации.

Результатами автоматизации электротехнической части проекта являются:

- разработка рабочих чертежей;
- формирование расчетной модели и выполнения электротехнических расчетов;

- выполнение светотехнических расчетов;
- разработка проектных документов;
- сервисные функции (например, оцифровка времятоковых кривых автоматических выключателей, предохранителей и реле; кривых силы света светильников, формирование базы данных, итоговое представление результатов по компонентам).

ТРЕХМЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Используется для разработки электрооборудования различных изделий, для которых требуется выполнение электрической схемы и трехмерной модели электрооборудования с получением всего комплекса проектной документации, в соответствии с ЕСКД. Специализированные программные продукты (например, CADElectro, ElectriCS, WinELSO).

Результатами трехмерного проектирования электрооборудования являются:

- разработка принципиальной схемы;
- трехмерное проектирование;
- оформление чертежей и дополнительной проектной документации;
- составление спецификации;
- представление сметной документации.

В условиях компьютерного проектирования ОУ раскрываются дополнительные возможности работы над светотехническим проектом:

1. Визуализация проекта. Использование в совокупности 2D- и 3D-графики позволяет получить фотореалистичское изображение.
2. В светотехническом расчете и визуализации учитывается распределение света от приборов на основе заданных КСС.
3. Построение и расчет сцен освещения в различных вариантах исполнения. Вариативность, выбор оптимального варианта, с учетом требований к ОУ.
4. Возможность создавать анимационные и видео ролики будущей ОУ. Это особенно важно при проектировании динамического цветного освещения и/или архитектурного освещения с применением спецэффектов.

Далее предлагается рассмотреть возможности и основные этапы компьютерного проектирования ОУ с использованием программного комплекса DIALux.

ГЛАВА 1. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС DIALUX

- Особенности, назначение программного комплекса DIALux.
- Основные возможности программы.
- Интерфейс пользователя. Основные инструменты.

Особенности, назначение программного комплекса DIALux

DIALux – программа для планирования и дизайна освещения, разрабатываемая с 1994 года DIAL GmbH (Deutsche Institut für Angewandte Lichttechnik) – Немецким институтом прикладной светотехники.

DIALux поддерживает международные и национальные стандарты европейских стран.

DIALux многоязычен. Он поддерживает более 15 языков интерфейса, в том числе русский язык.

DIALux запускается на всех текущих платформах Windows и непрерывно улучшается квалифицированной группой разработчиков. Актуальная версия программы и обновления DIALux могут быть загружены с сайта <http://www.dialux.com>.

Расчет в программном комплексе DIALux отличается простотой и наглядностью, так как программа при расчете позволяет во всех тонкостях учитывать не только световой поток, приходящийся на рабочую поверхность от источника света, но и световой поток, преломляющийся и отражающийся и попадающий на рабочую поверхность от стен, потолка, расстановки мебели в помещении, а также от отражающих свойств всех этих поверхностей [2, 3].

Благодаря программе DIALux появляется возможность, кроме непосредственно расчета освещенности на любой поверхности, контролировать показатели качества освещения: горизонтальную освещенность, насыщенность помещения светом, равномерность освещения.

Основные возможности DIALux

К основным возможностям компьютерного проектирования ОУ в программном комплексе DIALux относятся (рис. 4):

- освещение внутри помещений и дизайн интерьера;
- наружное освещение;
- уличное освещение;
- аварийное освещение;
- дневной свет;
- сцены освещения;
- энергетическая оценка.

Программа позволяет рассчитывать внутреннее и наружное освещение, при этом расчет осуществляется при заданном типе и количестве светильников и их расположении.

При расчете учитывается геометрия помещений, цвет и текстура поверхностей, а также расставленная в помещении мебель.

Самыми востребованными результатами расчета являются графическое изображение распределения освещенности по рабочей поверхности и общий трехмерный вид освещенного помещения. Кроме того, можно получить изолинии постоянной освещенности, таблицу и график освещенностей, ведомость светильников и их паспортные данные.

Уникальная возможность планирования и построения сцен освещения с элементами управления раскрывает дополнительные возможности проектировщика. В частности, учет зонирования пространства в помещении, расчет и анализ ОУ для каждой из сцен освещения и всего проекта в целом.

Отдельное внимание отводится проектированию и анализу сцен освещения с учетом дневного света, планирование и расчет аварийного освещения. Данные сцены освещения могут быть сформированы отдельно или являться составной частью единого проекта освещения.

Наиболее важным новшеством программы DIALux является возможность провести энергетическую оценку проекта. Информация, введенная в процессе планирования освещения, например, геометрия комнаты, естественное освещение, источники света, адаптируются программой DIALux для энергетической оценки проекта и автоматически используются при расчете.

Интерфейс пользователя. Основные инструменты

Интерфейс пользователя DIALux выполнен в стиле Windows XP. Работа в программе начинается с *Диалогового окна* (рис. 4).

Работа над помещением (построение, наполнение, планирование и расчет освещения внутри помещения) через *Диалоговое окно* может быть начата любым из предложенных ниже вариантов:

1. Новый проект интерьера. Открывается интерфейс пользователя в режиме работы внутри помещения.
2. DIALux-ассистенты. Если вы впервые работаете с DIALux и не имеете опыта работы с программами автоматизированного проектирования, возможно создавать ваши первые проекты с помощью *Ассистентов*.
3. Открыть последний проект.
4. Открыть проект. Программа предлагает вам осуществить поиск и открытие документа в формате *.dlx.

Интерфейс пользователя DIALux разделен на три главных рабочих области (рис. 5):

- Окно CAD.
- Менеджер проекта с Инспектором.
- Проводник.

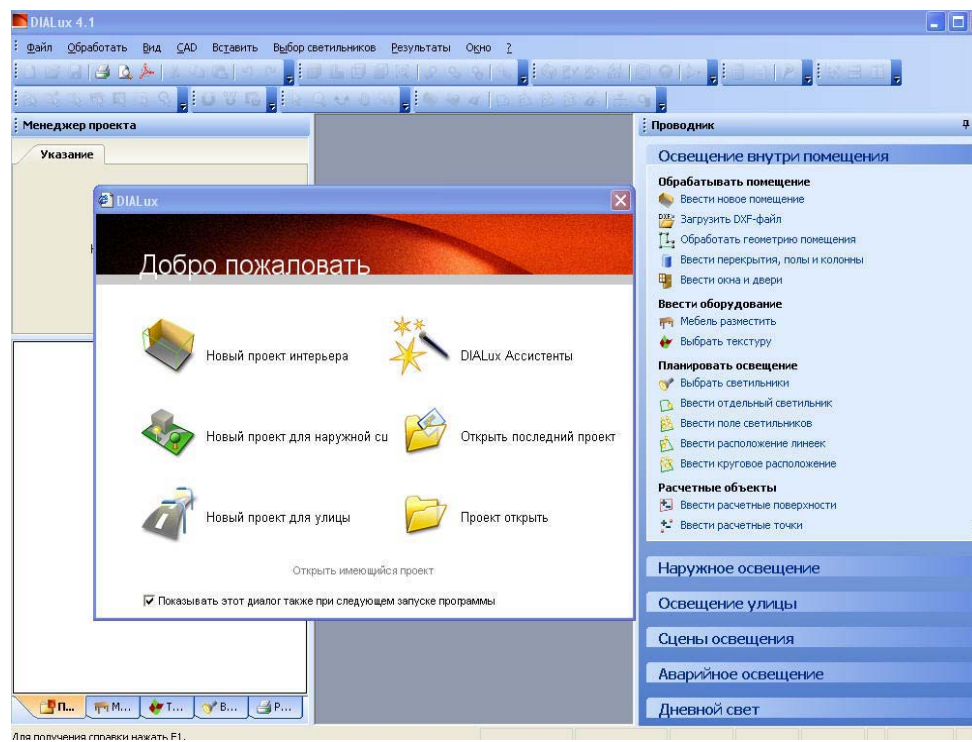


Рис. 4. Начало работы в программе DIALux. Диалоговое окно «Добро пожаловать»

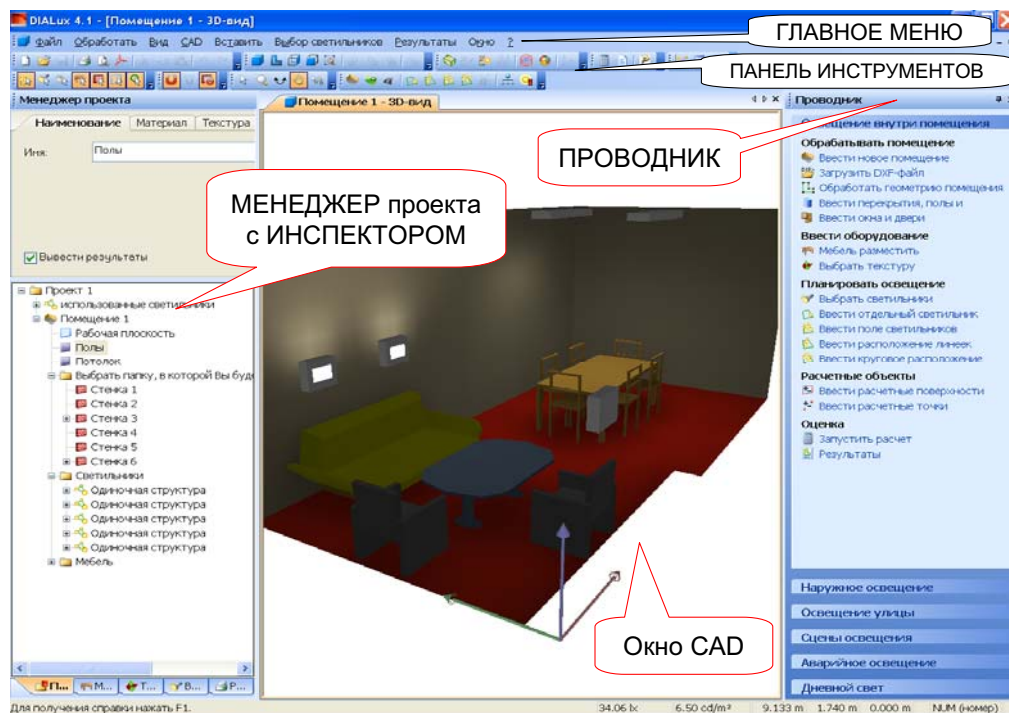


Рис. 5. Интерфейс пользователя DIALux

В каждой из этих областей имеется доступ к некоторым программным функциям или операциям редактирования объектов.

Интерфейс пользователя DIALux отличается простыми и доступными диалогами, включает в себя динамические параметры настройки инструментальной панели и всесторонний *Проводник*, в котором отражаются основные разделы проектирования.

Полная инструкция о работе с программой представлена в [2], обновления и новшества программного продукта представлены на сайте компании <http://www.dialux.com>.

В работе с DIALux для интерактивного планирования освещения и построения возможно использовать четыре основных вида изображения объекта (рис. 6): *трехмерный вид*, *вид в плане*, *вид сбоку*, *вид спереди*, которые снабжены дополнительными операциями перемещения, масштабирования, вращения или выбора объекта(ов) внутри или снаружи помещения. Возможна одновременная работа в нескольких окнах (или видах). Если объект был вставлен в помещение, к его контекстному меню можно также обратиться с помощью щелчка правой кнопкой мыши. С помощью мыши можно графически вращать, изменять масштаб изображения, сдвигать изображение и передвигаться по помещению, улице или наружной сцене. К опции панорамирования или опции передвижения всегда можно обратиться через среднюю кнопку мыши. При работе

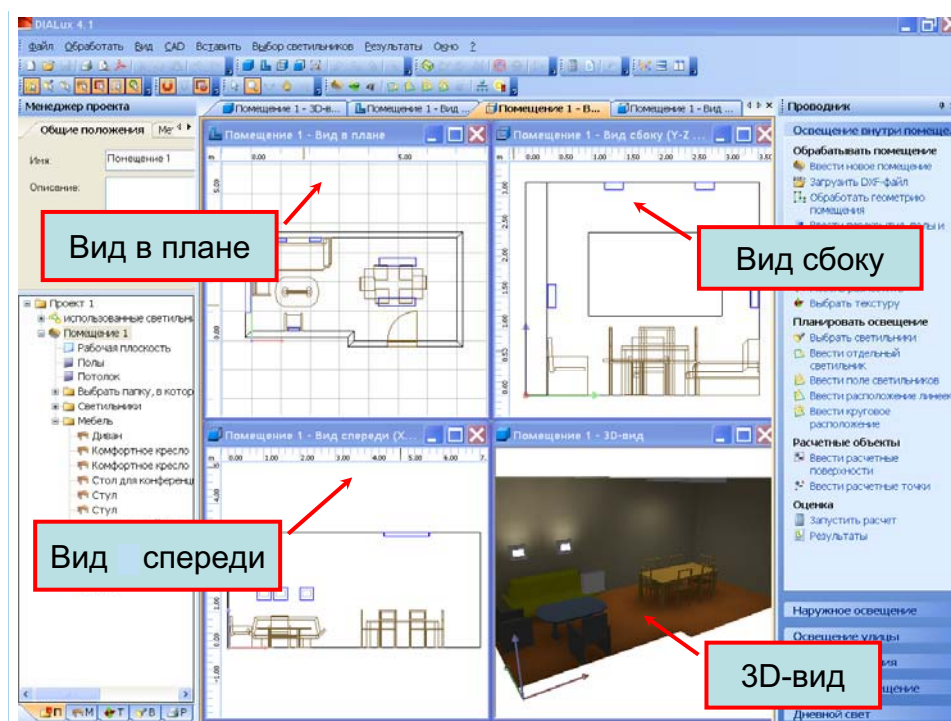


Рис. 6. Работа в видах

с DIALux очень важна правая кнопка мыши. В зависимости от выбранного объекта, режима программы и рабочей области с ее помощью можно обратиться к различным важным опциям. Щелчок правой кнопкой открывает доступ к контекстному меню, с помощью которого окно CAD может быть переключено в желательный режим. Если открыто более одного окна CAD, можно расположить их по желанию с помощью меню *Окно*. Если окно полноэкранное, вы можете изменить вид с помощью вкладок сверху экрана.

В DIALux есть возможность переключиться в каркасный режим, чтобы можно было работать не дробя при перемещении трехмерный вид. Найти эту функцию можно в меню **Вид > Представление через каркасную сетку**. Быстрее этого можно добиться с помощью клавиш **Ctrl + W**.

Менеджер проекта

Менеджер проекта открывает быстрый доступ к элементам, использованным в вашем проекте освещения. Каждый отдельный элемент может быть выбран, и его свойства могут быть просмотрены и изменены в окне Инспектора.

Менеджер проекта включает в себя окно Инспектора и соответствующую древовидную структуру (*проект, мебель, текстура, выбор светильника, результат*).

Проект организует общую проектную информацию, а также данные всех помещений, наружных сцен, улиц и светильников.

Проводник

Проводник – связующий элемент, который непосредственно обеспечивает доступ ко всем этапам проектирования, в том числе необходимым для размещения светильников (вкладка *Планирование освещения*). Если указатель задержать на вкладке **Освещение внутри помещений**, будут доступны все опции для проектирования внутреннего освещения. Если Проводник скрыт, доступ к нему осуществляется с помощью выбора меню **Окно** → функция **Показать окно Проводника** (рис. 5).

Порядок работы над проектом в программном комплексе DIALux

- I. Построение геометрии помещения. Задание размеров и геометрии помещения, работа в видах (в плане, сбоку, спереди, 3D-визуализация (окно CAD)), каскадный режим.
- II. Выбор и вставка элементов помещения (коэффициенты отражения поверхностей, текстура (рисунки для покрытия поверхностей), цвет

и материал поверхностей, мебель, светильники, расчетные поверхности и точки, коэффициенты технического содержания).

III. Операции построения и редактирования:

- помещений (геометрия помещений, инструменты выравнивания);
- объектов или *элементов помещения* (задание коэффициентов отражения поверхностей, текстуры, цвета и материала поверхностей, мебели, светильников, расчетных поверхностей и точек);
- светильников и осветительных установок (работа с отдельным светильником, построение ОУ (выбор расположения СП), редактирование групп), коэффициенты техсодержания или обслуживания).

IV. Сцены освещения и элементы управления.

1. Моделирование систем(ы) управления светом:

- подбор элементов управления;
- формирование сцен освещения.

2. Построение и расчет ОУ:

- сцена(ы) искусственного освещения;
- сцена *Дневное освещение*;
- сцена *Аварийное освещение*.

V. Расчет освещения внутри помещения.

1. Расчет светового потока, уровней освещенности, потребляемой мощности источников (общая мощность).

Ведомость DIALux «Светотехнические результаты».

2. Расчетные поверхности для различных типов освещенности. Расчет:

- нормальной (плоской) освещенности (*вертикальные, горизонтальные, освещенность по направлению камеры*);
- перпендикулярной освещенности к освещаемой поверхности (*освещенность по вертикали*);
- полуцилиндрической и цилиндрической освещенности.

3. Расчет рабочего места.

Рабочие места – расчетные поверхности, состоящие из двух частей (внутренняя *Рабочая зона* и внешняя *Окружающая зона*)

4. Расчет UGR (Unified Glare Rating) (показателей слепящего действия: *показатель ослепленности или показатель дискомфорта, коэффициент ослепленности*).

5. Расчет сцен освещения с элементами управления.

6. Расчет дневного освещения.

7. Расчет аварийного освещения.

VI. Визуализация проекта в CAD.

1. Результат освещения помещения.

2. Просмотр изолиний рабочей плоскости.
 3. Отображение фиктивных цветов (яркость, освещенность).
 4. 3D-представление распределения света (КСС) (от одного и группы светильников).
 5. Вспомогательные лучи у светильников.
 6. Световой эффект заданного светильника (или ОУ).
 7. Распределение дневного света в помещении.
 8. *Значение* уровня освещенности (яркости) в заданных точках (Люксметр).
 9. Расчетные объекты
 - а) *Расчетные поверхности*:
 - расчетная поверхность (РП);
 - рабочее место;
 - UGR расчетная поверхность;
 - коэффициент естественной освещенности;
 - путь эвакуации.
 - б) *Расчетные точки (РТ)*:
 - горизонтальная РТ;
 - вертикальная РТ;
 - произвольная РТ;
 - UGR РТ;
 - коэффициент естественной освещенности.
- VII. Энергетическая оценка.
- VIII. Вывод результатов и формирование отчета в DIALux.
Создание видеодокументов.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ РАБОТЫ

Началом работы над проектом является задание форм и размеров объекта (помещения, наружной сцены). Средствами компьютерного проектирования ведется построение объекта по выбранному плану или чертежу в необходимом масштабе. При проектировании реального объекта размеры определяют непосредственными измерениями, данные вносят в расчетную программу.

2.1. Этапы построения помещения в DIALux

Создание интерьера в DIALux состоит из следующих основных этапов построения:

I. Построение геометрии помещения. Задание размеров и геометрии помещения, работа в видах (в плане, сбоку, спереди, 3D-визуализация (окно CAD)), каскадный режим.

Существуют следующие способы задания геометрии помещения:

- 1) с помощью Ассистентов помещений;
- 2) при создании нового проекта внутреннего освещения.

Чтобы создать новое помещение, щелкните в *Проводнике* (слева) кнопку *Ввести новое помещение*. После этого справа в окне CAD появится вид в плане, а координаты помещения отображаются в *Инспек-*

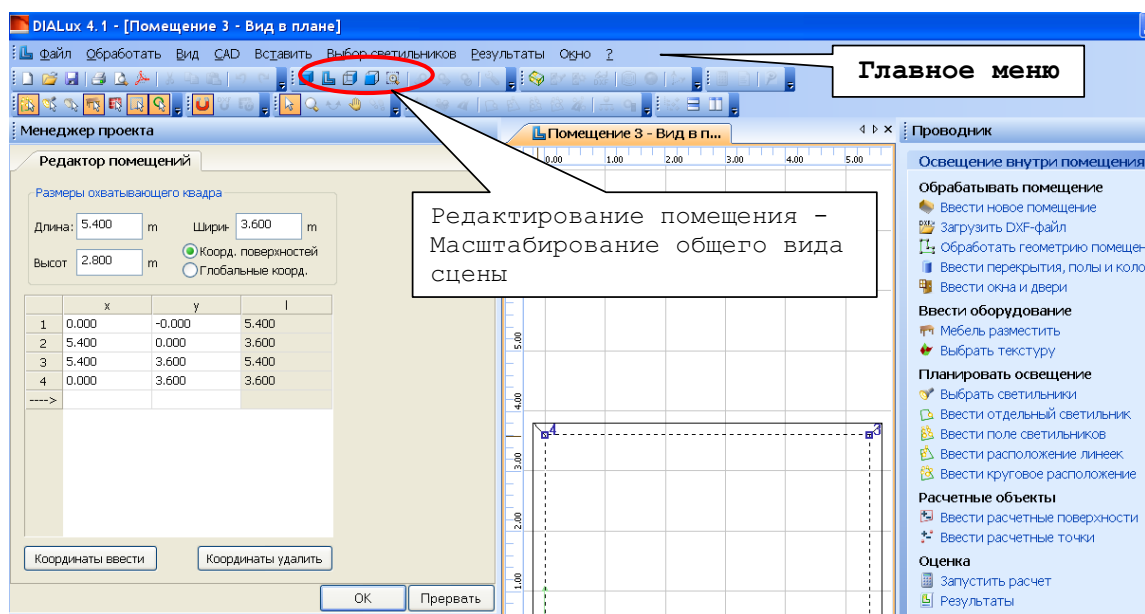


Рис. 7. Создание нового помещения

торе (справа) (рис. 7). Здесь же можно осуществлять редактирование геометрии помещения (**Проводник** → **Обработать геометрию помещений**) (рис. 7) и работу с помещениями в разных видах (Панель инструментов «Вид») (рис. 8).



Рис. 8. Панель инструментов «Вид». Кнопки команд слева направо:
3D-изображение по умолчанию; вид в плане; вид сбоку; вид спереди;
общий вид сцены – изменение масштаба изображения; предыдущая сцена
освещения; следующая сцена освещения; показать значения затемнения в CAD;
показать факторы плана технического содержания в CAD

Для работы с геометрией помещения в разных видах (3D-изображение, вид в плане, вид сбоку, вид спереди) можно выбирать необходимые изображения, которые поочередно будут сменяться в окне CAD. Однако для совокупности представления видов изображения можно организовать вывод результатов в определенной последовательности выхода на экран, так называемый *Каскадный режим* (вперемешку, один над другим, один возле другого) (**Главное меню** → команда меню «Окно»).

II. Выбор и вставка элементов помещения (коэффициенты отражения поверхностей, текстура (рисунки для покрытия поверхностей), цвет и материал поверхностей, мебель, светильники, расчетные поверхности и точки).

Вставка элементов помещения осуществляется через *Проводник «Освещение внутри помещения»* (*Ввести оборудование, планировать освещение, расчетные объекты*) или древовидную структуру *Инспектора* (мебель, текстура, выбор светильников) (рис. 7). Работа с *Проводником* одновременно отражается в окнах *Менеджера проекта* и *Инспектора* (рис. 9).

Процедура вставки любого элемента помещения происходит, во-первых, выбором объекта курсором мыши, заданием геометрии расположения объекта (в окне *Менеджера проекта*) и подтверждением действий операцией *Вставить* либо перенесением объекта (с помощью мыши) в пространство помещения, при этом место положения при необходимости можно отредактировать через окно *Менеджера проекта* (рис. 9).

III. Операции редактирования:

- помещений (инструменты выравнивания);
- объектов;
- светильников и осветительных установок.

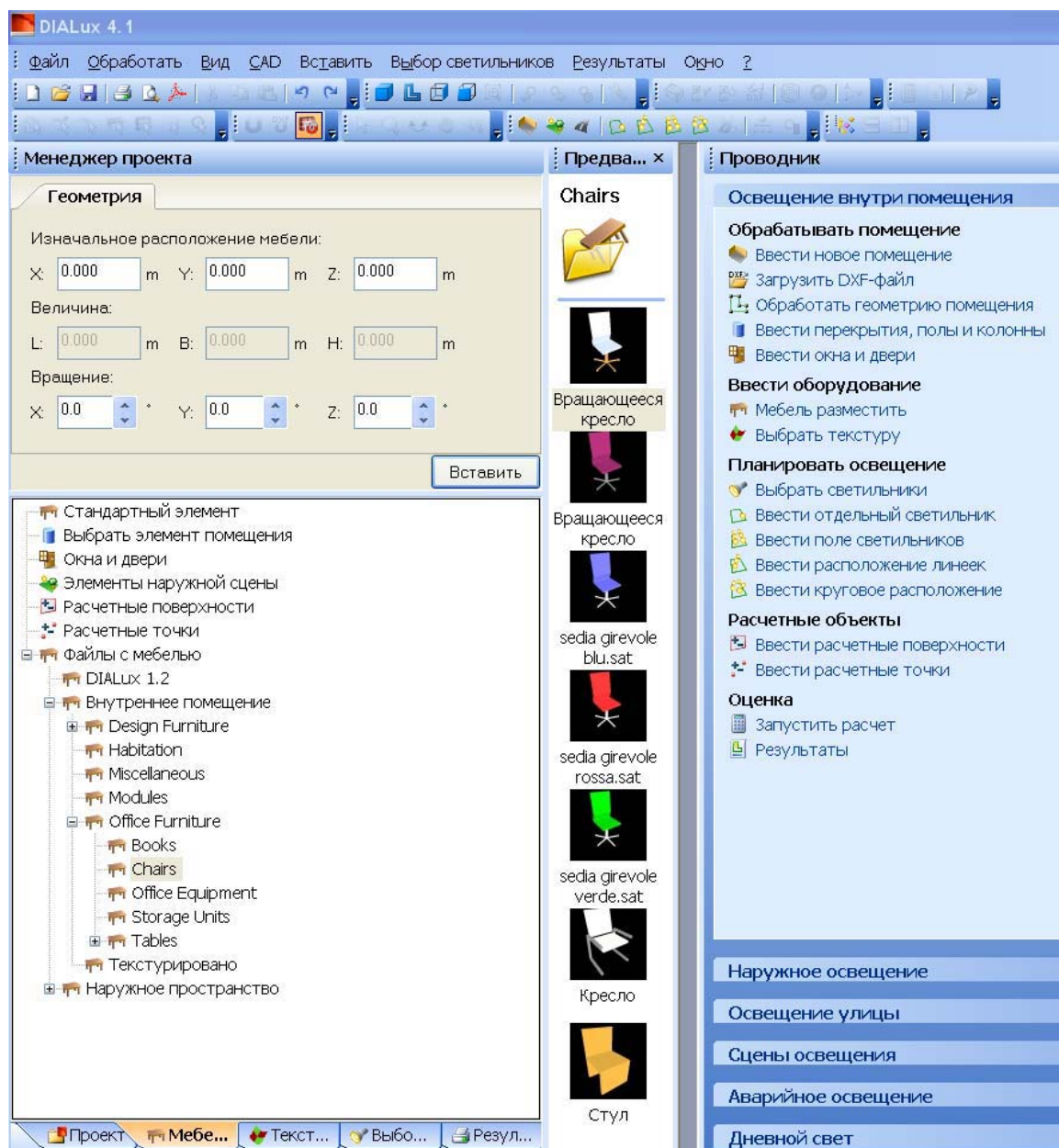


Рис. 9. Выбор и вставка элементов помещения

Редактирование помещений:

1. Редактирование геометрии помещения.

Изменять геометрию помещения возможно перемещением отдельных точек мышью или вставить точки с помощью правой кнопки мыши. Альтернативно можно редактировать координаты помещения в окне **Инспектора**.

При работе с видами (3D-, в плане, сбоку, спереди) существуют вспомогательные операции, которые отражены в **Главном меню** → **CAD**, а также в панели инструментов «Режим работы с мышью» (рис. 10).

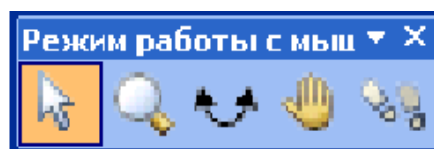


Рис. 10. Панель инструментов «Режим работы с мышью». Кнопки команд слева направо: выбрать объекты; укрупнять и уменьшать вид – масштабировать вид; поворачивать вид – вращение трехмерного вида; сместить вид; перемещения по сцене

2. Редактирование данных помещения.

При работе с помещением в окне *Менеджера проекта*, различные свойства помещения отражаются с помощью *Инспектора*. Здесь находятся четыре вкладки:

- Общие положения.
- Метод плана техобслуживания.
- Поверхности в помещении.
- Ориентировка.

Общие положения, на вкладке которых осуществляется ввод проектной информации: название помещения и его описание.

Метод плана техобслуживания включает в себя два способа работы с проектной информацией в виде *Простого* или *Расширенного метода определения коэффициента обслуживания*.

Таблица 1

Состояние объекта EN 12464-1, CIE 97	Коэффициент технического содержания
Очень чистое помещение, малый ежегодный срок эксплуатации	0,80
Чистое помещение, 3-летний цикл техобслуживания	0,67
Наружная сцена, 3-летний цикл техобслуживания	0,57
Внутренняя и наружная сцена, сильная загрязненность	0,50

Состояние помещения в программе задается коэффициентом технического содержания. В DIALux это объединено с программой планирования освещения и обеспечивается автоматически. Параметры обслуживания осветительных установок в проекте могут быть оптимизированы относительно значения коэффициента обслуживания и нового значения установки (табл. 1). Проектировщику только необходимо обеспечить разработку плана техобслуживания в проекте освещения. Для пользователя также предусмотрена возможность использовать зна-

чение коэффициента обслуживания как общее совместимое значение комнаты и неориентируемого светильника.

Простой метод определения коэффициента обслуживания

Снижение светового потока осветительной установки из-за загрязнения светильников и источников света (даже при регулярной чистке) и их старения при расчетах учитывали коэффициентом запаса, представляющим собой отношение светового потока нового светильника с новой лампой к световому потоку того же светильника в конце срока службы лампы. Коэффициент запаса предусматривается только для общего освещения независимо от выбранной системы освещения [5]. При расчетах ОУ в программном комплексе DIALux коэффициент запаса, а также коэффициент добавочной освещенности, который зависит от коэффициентов отражения стен и потолка помещения и от светораспределения светильников, при выбранных параметрах учитываются методом определения коэффициента обслуживания.

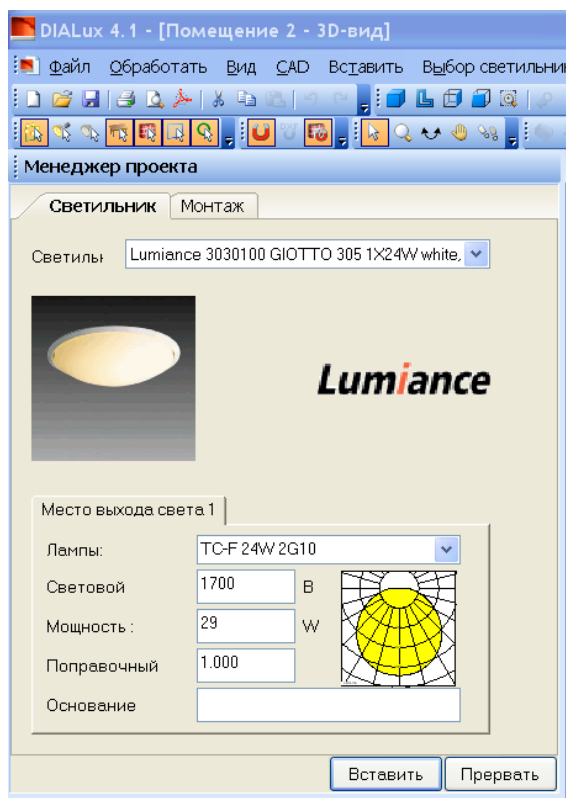


Рис. 11. Технические характеристики светильника

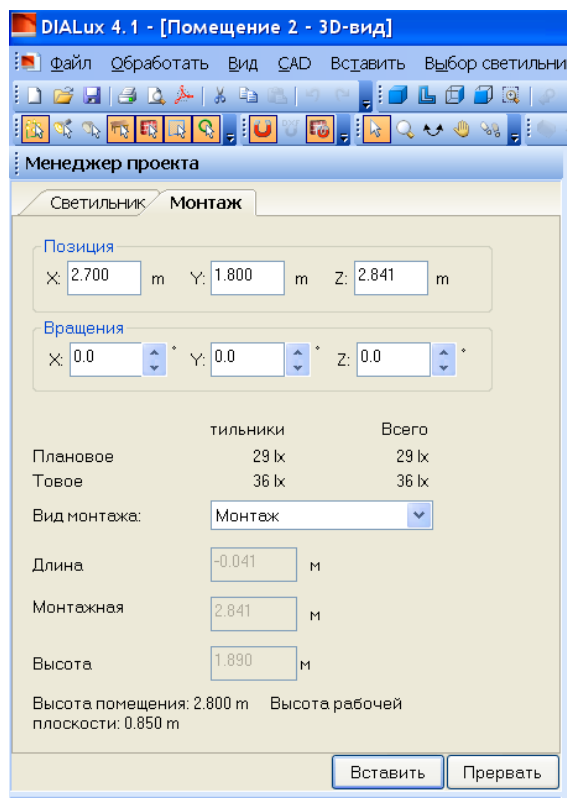


Рис. 12. Параметры установки (монтажа) светильников

В DIALux пользователь имеет возможность выбрать, рассчитывать общий коэффициент обслуживания для всего помещения или определить соответствующий коэффициент обслуживания для каждого светильника / осветительной установки. Более простой путь – использова-

ние классического метода. После того, как помещение или наружная сцена были вставлены в проект, пользователь может сделать вышеупомянутый выбор на странице свойств (табл. 1).

Пользователь может также редактировать любой коэффициент обслуживания в соответствующем поле. После выбора светильника пользователь может поместить его в любой установке. Также он имеет доступ к техническим характеристикам светильника. Поскольку световой поток и поправочный коэффициент влияют на число светильников, эти данные можно редактировать на соответствующих вкладках (рис. 11, рис. 12).

В DIALux метод коэффициента использования полагается на CIE, чтобы грубо определить правильное число для всех возможных размещений светильников. Таким образом, обозначается ожидаемое новое значение освещенности, а также значения коэффициента обслуживания.

Проект 1



14.12.2006

Оператор
 Телефон
 Факс
 Электронная почта

Помещение 1 / План техобслуживания

Для эффективной работы осветительной установки регулярное техсодержание – обязательное условие, чтобы поддержать в допустимых границах вызванное старением ослабление светового потока на установке. Оговоренные в EN12464 минимальные значения освещенности – это инвентарные значения, т. е. они основаны на новые данные (при инсталляции) и задаваемое техсодержание. Естественно, то же относится и к рассчитанным DIALux значениям, и достичь можно их лишь, если последовательно осуществлять исходный план содержания.

Общие данные по пространству	
Условия окружения для помещения:	Нормальн
Периодичность техобслуживания	
Помещения	Каждый год
 Одиночная структура / Mazda ADANTE MWG620 070 1xAPACHE 70W/830	
Влияние поверхностей в помещении	маленький (k <= 1.6)
через отражения:	
Тип освещения:	Опосредовано
Периодичность техобслуживания	Каждый год
светильников:	
Тип светильника:	Светильник отраженного света (согл. CIE)
Продолжительность работы в год (в 1000 часов):	2.58
Периодичность замены ламп:	Каждый год
Тип ламп:	Трехспектральная люминесцентная лампа (согл. CIE - Международная комиссия по освещению/МКО)
Немедленная замена отказавших ламп:	Да
Показатель техсодержания поверхностей помещений:	0.78
Коэффициент технического содержания светильников:	0.81
Коэффициент технического содержания светового потока ламп:	0.93
Показатель долговечности лампы:	1.00
Показатель техсодержания:	0.59

Рис. 13. Вывод результатов. Ведомость «План техобслуживания»

Кроме того, новое значение и значение коэффициента обслуживания всего помещения обозначаются аналогично. Пользователь может немедленно понять влияние этой осветительной установки на все планирование. В этом случае значения идентичны, потому что никакой другой осветительной установки в комнате не существует.

При выводе результатов коэффициент обслуживания указывается в нескольких местах на странице «План техобслуживания» и в отчете в формате PDF (рис. 13).

Расширенный метод определения коэффициента обслуживания

Пользователь также может определить, если требуется, коэффициент обслуживания единственного используемого светильника (установки). Кроме того, соответствующий метод должен быть выбран сначала на странице свойств помещения (рис. 14).

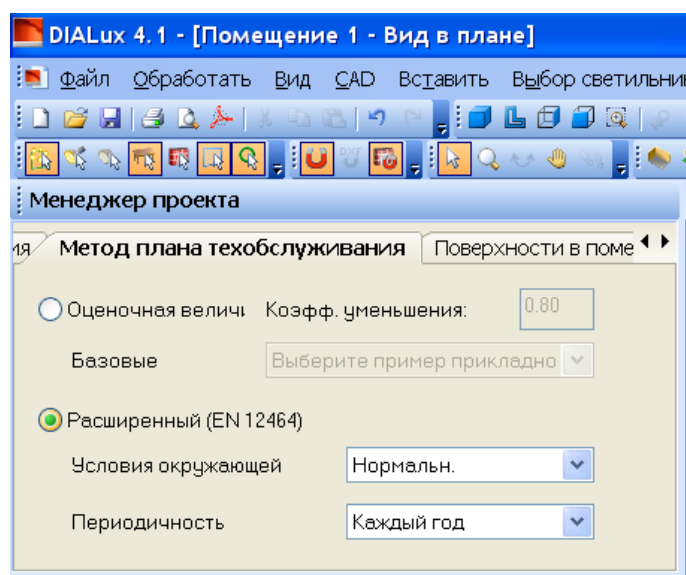


Рис. 14. Выбор определения расширенного коэффициента обслуживания

Для помещения или наружной сцены сначала определяются окружающие условия (табл. 1). Здесь также устанавливается интервал обслуживания помещения. После выбора светильника пользователь может поместить его в любой установке. Он также имеет доступ к техническим характеристикам светильника. Эта страница свойств идентична странице из простого метода. Если пользователь использует светильник с несколькими (различными) излучающими элементами (LEO, *Light Emitting Object* – *Светоизлучающий объект*), он может установить для каждого LEO обособленно выбор лампы и поправочный коэффициент. Новое значение освещенности и значения коэффициента обслуживания будет обозначено так же, как и в простом методе. Дополнительно новое

значение и значение коэффициента обслуживания всего помещения обозначаются аналогично. Пользователь может немедленно понять влияние этой осветительной установки на всю планировку. В этом случае значения идентичны, потому что в комнате никакой осветительной установки еще не существует.

На странице свойств *Показатель техсодержания* осветительной установки все параметры могут быть отредактированы для коэффициентов обслуживания этого светильника. Если светильник имеет несколько LEO, они могут аналогично индивидуально параметризоваться.

2.2. Светотехническая часть проекта

- Выбор вида и системы освещения.
- Выбор нормированной освещенности.
- Выбор типа светильников и источников света:
 - а) общие рекомендации;
 - б) DIALux: работа с каталогами; вставка светильников и построение ОУ, операции редактирования;
 - в) DIALux: размещение светильников в помещении.
- Выбор коэффициента запаса и добавочной освещенности (*выбор коэффициентов технического содержания DIALux*).
- Расчет и выбор мощности ИС.
- Методы расчета освещенности (*точечный метод, метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности*)(часть II настоящего пособия).
- Составление документации светотехнической части проекта.

Выбор вида и системы освещения. В электрических установках различают следующие виды освещения (рис. 15): рабочее, дежурное, аварийное, охранное, архитектурное, декоративное и т. п. Также различают внутреннее и наружное освещение.

Для помещений всех назначений применяются системы *общего* или *комбинированного* (общего или местного) освещения. Система общего освещения может быть равномерной и локализованной (световой поток перераспределяется по помещению неравномерно, с учетом расположения освещаемых поверхностей). Использование в помещениях одной системы местного освещения не допускается.

Рабочее освещение предназначено для создания во всех точках рабочих поверхностей нормальных условий видения для выполнения некоторых работ. При этом освещенность во всех точках должна быть не ниже нормированной, а пульсация светового потока не должна превышать ее допустимого значения.



Рис. 15. Виды и системы освещения

Аварийное освещение применяют для обеспечения нормального ритма работы при внезапном отключении рабочего освещения. *Аварийное освещение* обеспечивает минимально наблюдаемые осветительные условия для продолжения работы при временном погасании рабочего освещения в помещении и на открытых пространствах в случаях, когда отсутствие искусственного освещения может вызвать тяжелые последствия для людей производственных процессов, нарушить нормальное функционирование жизненных центров предприятия и узлов обслуживания массовых потребителей. Питание аварийного освещения осуществляется от автономного источника или от сети, которая не зависит от рабочего освещения. На светильниках должны быть специальные знаки и надписи.

Выбор нормированной освещенности. Нормирование искусственного или естественного освещения – это установление норм и правил выполнения ОУ, обеспечивающих требуемые в процессе эксплуатации уровни количественных и качественных показателей этих установок. Правила и нормы освещения регламентируются соответствующими нормативными документами (СНиПы, ГОСТы, отраслевые документы и др.). Все нормы освещенности приведены в справочной литературе, нормативных документах [4–6]. Некоторые нормы освещенности помещений производственных зданий регламентируются также в специальной литературе.

Значение нормированной освещенности устанавливают в зависимости от характера зрительной работы, размеров объекта различия, фона и контраста объекта с ним, вида и системы освещения, типа источника света.

Согласно нормам естественного и искусственного освещения [4] помещения общественных и промышленных зданий по задачам зрительной работы подразделяются на 4 группы:

I группа – помещения, в которых зрительная работа по различению объектов производится при фиксированном направлении линии зрения работающих на рабочую поверхность (*рабочие кабинеты, конструкторские бюро, классные комнаты, аудитории и т. п.*);

II группа – помещения, в которых производится различие объектов при нефиксированной линии зрения или обзор окружающего пространства (*торговые залы магазинов, залы столовых, выставочные залы, картинные галереи и т. п.*);

III группа – помещения, в которых обзор окружающего пространства происходит при очень кратковременном, эпизодическом различении объектов (*концертные залы, зрительные залы, фойе театров, клубов и кинотеатров, комнаты ожидания и т. п.*);

IV группа – помещения, в которых происходит общая ориентировка в пространстве интерьера (*проходы, коридоры, санузлы и т. п.*).

При этом нормирование промышленных ОУ дополнительно должно быть рассмотрено с позиций:

- общих норм для всех производственных помещений по обобщенным характеристикам зрительных задач;
- уровней нормированных величин для отдельных технологических операций (*отраслевые документы, специальная документация и т. п.*).

Качественными показателями нормирования ОУ являются:

- показатель ослепленности ***P*** или показатель дискомфорта (табл. 2);

Светящиеся поверхности, обладающие высокой яркостью (светильники, светящиеся потолки, панели, окна), расположенные на периферии поля зрения работающих, вызывают ослепленность или ощущение дискомфорта и также снижают контрастную чувствительность и другие функции зрения.

Таблица 2

Шкала показателя дискомфорта [5]

Категориальная оценка	Яркость адаптации, кд/м ²	Показатель дискомфорта
приемлемо	10	12
	100	7
приемлемо-неприятно	10	30
	100	15
неприемлемо	10	55
	100	35
невыносимо	10	120
	100	60

- коэффициент ослепленности ***S***;
- коэффициент пульсации освещенности ***Kп***.

Изменение светового потока во времени, в частности его периодические колебания с частотой выше критической частоты мельканий, вызываемые РЛ, приводят к повышению утомления и снижению зрительных работ.

Типы светильников и источников света, применяемых в интерьере. В современных помещениях в основном используют три основных вида ламп: лампы накаливания, галогенные лампы накаливания, люминесцентные источники (линейные, компактные).

Качественно новую ситуацию в организации светового пространства, в том числе интерьера, можно создать по средствам светодиодов: создание установок с динамически меняющимися яркостью и цветом во времени и пространстве.

Каталоги световых приборов в DIALux. Выбор типа светильников.

Оптимизация персональных настроек (параметры настройки интерфейса пользователя):

- **DIN** – национальные стандарты Германии (Немецкий институт стандартизации);
- **BZ** – Великобритании;
- **UTE** – Франции;
- **NBN** – Бельгии;
- **CIE** – International Commission on Illumination – Международная светотехническая комиссия.

Выбор светильников как самостоятельная категория DIALux отражена в *Главном меню* программы и дереве *Менеджера проекта*. Раздел *Выбор светильников* представляет собой расширенную базу данных световых приборов, включающую следующие подразделы.

Каталоги DIALux (активные и неинсталлированные)

Папка **Каталоги DIALux** содержит установленные ранее (активные) каталоги светильников. С помощью одного двойного щелчка мыши на названии изготовителя вы можете открыть каталог. В папке **Неинсталлированные каталоги** содержится перечень партнеров проекта DIALux, каталоги которых еще не установлены. Двойной щелчок на соответствующих названиях изготовителей открывает их интернет-страницу, посредством которой можно загрузить необходимый каталог светильников для DIALux.

Онлайновые (интерактивные) каталоги

В DIALux есть возможность вставить файлы светильников из так называемых **Интерактивных каталогов**. Функционирование их подобно работе с установленными каталогами светильников. Интерактивный каталог позволяет вставить светильник из интернет-страницы изготовителя непосредственно в ваш проект DIALux. Таким образом, вы имеете постоянный доступ к текущим файлам изготовителя. Однако вставка све-

тильников из интерактивного каталога работает только в случае, если этот сервис предлагается соответствующим изготовителем.

Файлы светильников

Папка может содержать файлы фотометрическими данными светильников вне каталогов, файлы с базами данных СП из других резервов.

Собственный банк данных

Возможно сформировать собственный банк данных световых приборов. На начальном этапе работы с программой DIALux отражает содержание базы данных СП под маркой DIAL версия 4.0.

Использованные ранее светильники

Здесь всегда перечислены последние использованные СП (до 20 наименований различных изготовителей).

DIALux поддерживает следующие форматы:

- (*.uld)
- Eulumdat (*.ldt)
- CIBSE (*.cib)
- TM14
- IES (все вариации) (*.ies)
- LTLi

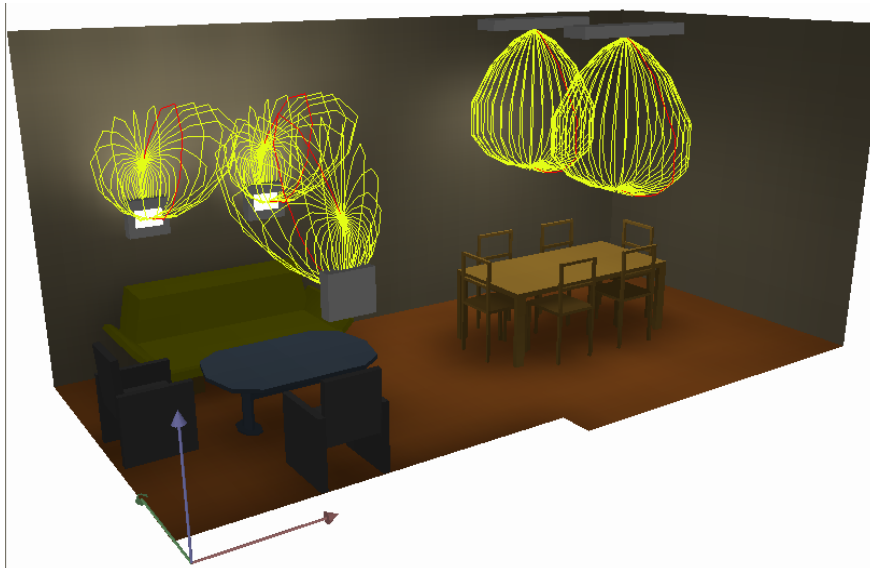


Рис. 16. 3D-представление распределения света (КСС светильника)

Операции редактирования ОУ в DIALux. Выбор, построение и дальнейшие действия с осветительным оборудованием и их светотехническими и фотометрическими данными предполагает работу со следующими операциями редактирования ОУ: *выбор и вставка светильников, тип расположения, юстировка.*

1. Выбор и вставка светильников

А. Выбор и вставка отдельного светильника.

Данные светильников:

- монтаж (вид монтажа, монтажная высота);
- позиция-вращение (угол поворота);
- технические данные светильников;
- светильники с шарнирными соединениями (см. юстировка);
- включение в расчет геометрии светильника. Пользователь может

по запросу включить геометрию светильника в расчет. Это не является необходимым для нормально установленных на поверхность или утопленных (в потолок) светильников. Удлиненные подвесные светильники, которые испускают свет непосредственно или косвенно, могут висеть в своей собственной тени, что возможно заставит рассмотреть геометрию светильника при расчете.

В. Построение ОУ (вставка полей светильников):

- ввести поле светильников;
- ввести расположение линеек;
- ввести круговое расположение;
- неограниченные ОУ.

С. Разделение ОУ $\rightarrow N$ (число отдельных светильников).

2. Тип расположения

С помощью DIALux планирование освещения внутри помещения возможно следующими группами расположения светильников (рис. 17).

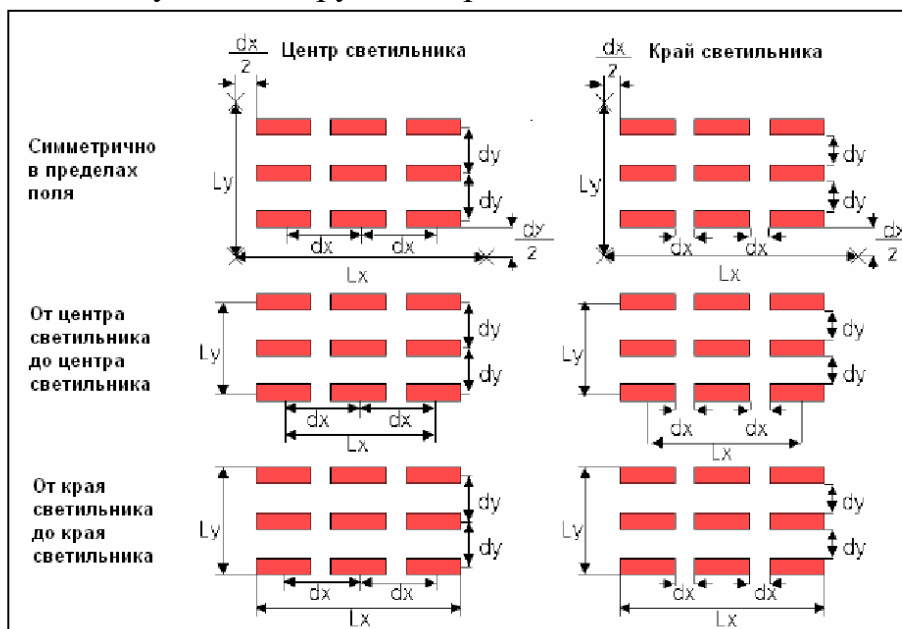


Рис. 17. Влияние типа расположения и типа назначения размеров на размеры поля светильников

3. **Юстировка светильников.** *Юстировка светильника* – направление светового потока светильника на заданную точку или поверхность. В DIALux имеется несколько инструментов для упрощения решения этой задачи [2, 3].

Решить вопрос о направлении светового потока возможно с помощью функции **Вспомогательные лучи у светильников** (желтая и красная направляющие) (рис. 18). При необходимости можно также включить трехмерную кривую распределения света (рис. 16). Эта функция весьма полезна для проверки правильности размещения светильников с асимметричным распределением света.

Дополнительно операция юстировки полезна для работы со светильниками, имеющими шарнирные соединения. В DIALux с помощью трехмерных моделей светильников стало возможным, как в реальной жизни, захватить шарнирные соединения и настроить их (софиты, полностью подвешенные системы, прожекторы, освещение улиц).

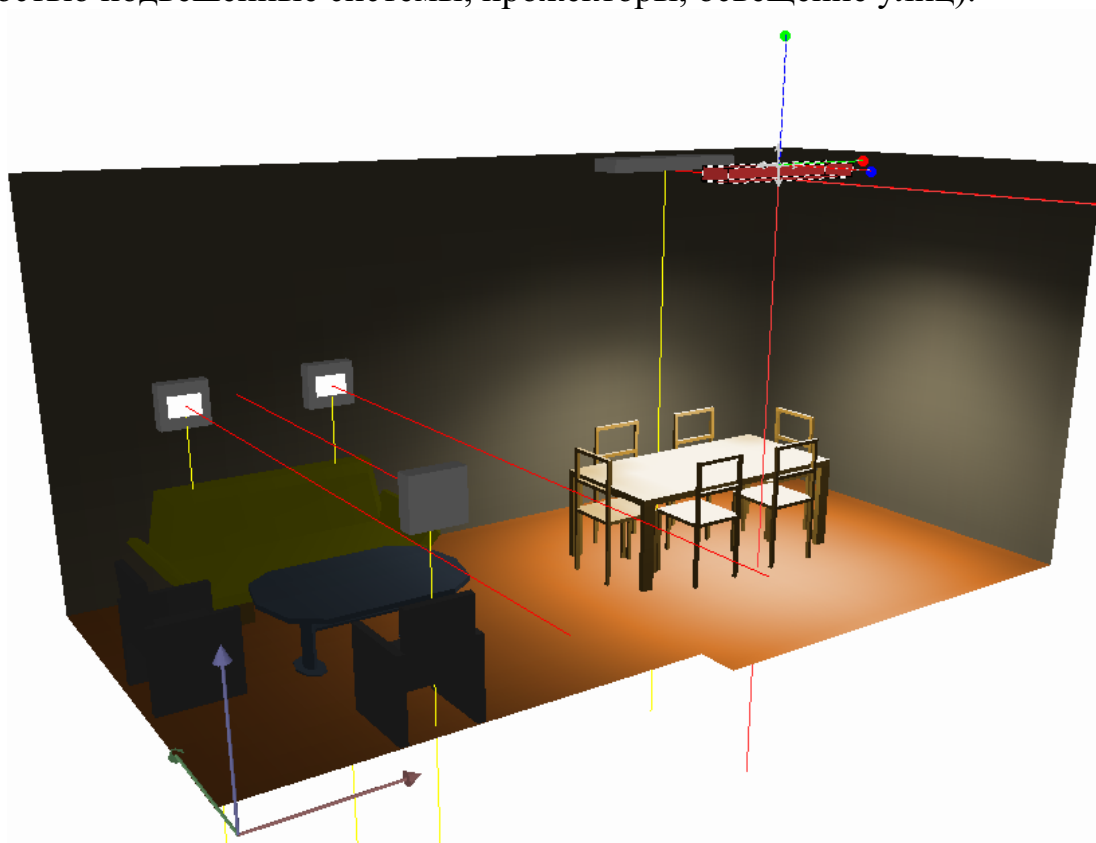


Рис. 18. Вспомогательные лучи у светильников (горизонтальные – красные, вертикальные – желтые); световой эффект выбранного светильника

Кроме того, позиции направленного света могут быть различны, операции юстировки могут быть применимы как к отдельному светильнику, так и к осветительной установке в целом. Юстировка светильников может быть скорректирована с помощью функции **Задать освеще-**

щаемую точку, которая позволяет направить *желтый* вспомогательный луч на любую точку на выбранной поверхности. Дополнительно освещаемая точка может быть также направлена по значению максимальной силы света ($I_{\max}$).

Расчет и выбор мощности источника света. Задача светотехнического проекта – определить потребляемую мощность источников света для обеспечения нормированной освещенности. В DIALux все данные результатов расчетов формируются в базе данных *Результаты*. Расчетные параметры ОУ располагаются в ведомости *Светотехнические результаты*. Полученные расчетные данные могут быть дополнены или скорректированы в режиме *Менеджера проекта* для каждой ведомости отдельно, готовый результат обработки выносится на печать. При проектировании делают поверочный расчет, цель которого – определить фактическую освещенность в расчетных точках рабочих поверхностей по светильникам известных типов и световым потокам установленных в них ламп. При расчетах светотехнические параметры светильников и входящих в них ламп вносятся автоматически при выборе светового прибора в ядро проекта. Однако следует помнить, что параметры мощности, светового потока ламп может быть внесен пользователем самостоятельно в окне *Менеджера проекта* или параметры могут быть скорректированы через окно *Каталог ламп*. Все измененные параметры учитываются при расчетах и отражаются в ведомостях проекта *Результаты*.

2.3. Электротехническая часть проекта

Для планирования и расчета электрической части проекта используется специализированное программное обеспечение, предназначенное для проектирования систем силового электрооборудования и электроосвещения (например, CADElectro, WinELSO «Русская промышленная компания» [7]), с получением всего комплекса проектной документации в соответствии с ЕСКД по российским стандартам и методикам.

Отдельной задачей электротехнической части проекта может служить разработка щитков (главного или вторичного назначения) с обеспечением элементов управления, контроля и автоматизации процессов освещения (программный продукт 1-2-3 Schema (фирма Hager, Германия [8]), электромонтаж и электрооборудование согласно европейским стандартам).

Результатом электрической части проекта служит построение принципиальной схемы осветительной установки (*выполненной в светотехнической части проекта*), формирование дополнительной документации (*при необходимости*) и спецификации.

Выбор напряжения и источников питания. Надежно и экономно распределять электроэнергию – это важная техническая задача. В каждой ситуации она оказывается новой. Будь то квартира или коттедж, офисное здание или промышленное предприятие – каждый раз требуется точно подобранное решение.

Выбор напряжения для питания осветительной установки определяется общими решениями, принятыми для электроснабжения объекта, а для отдельных частей этой установки – требованиями электробезопасности [9]. Для производственных, общественных и жилых зданий, а также для открытых пространств наиболее распространенным является питание напряжением 380/220 В при заземленной нейтрали сети. Такие напряжения возможны в любых помещениях для установок общего освещения при высоте подвеса светильников более 2,5 м, при меньшей высоте – только в помещениях без повышенной опасности поражения электрическим током.

В качестве основополагающего документа во всех областях, входящих в сферу работ по стандартизации и сертификации электроустановок зданий, применяют комплекс государственных стандартов на электроустановки зданий. Указанный комплекс стандартов разрабатывается Техническим комитетом по стандартизации ТК 337 «Электрооборудование жилых и общественных зданий» на основе применения стандартов МЭК 364 «Электрические установки зданий» [10]. В системе сертификации электроустановок

зданий основным нормативным документом, на соответствие требованиям которого проводится сертификация, приняты ПУЭ (правила установки электрооборудования). Требования стандартов ГОСТ Р50571.X применяются в системе сертификации по мере их внедрения в ПУЭ.

Выбор мест ввода и установки щитков. Программа 1-2-3 Schema (Hager) охватывает малые распределительные щиты, распределительные шкафы для монтажа на стене (стенные распределительные шкафы), шкафы для счетчиков. Эти шкафы пригодны как для основного распределения энергии, так и для вторичного. Малые распределительные щиты и щитки для учета электроэнергии в жилых и общественных зданиях; распределительные шкафы как главные распределительные системы в общественных зданиях и в промышленности. Программа снабжена каталогом продукции фирмы Hager, совместно с Polo и TЕНАLIT (продукция и информация о выключателях и розетках, дополнительных устройствах электромонтажа).

Осветительные щитки следует располагать вблизи основного рабочего входа в здание; по возможности в центре питаемых нагрузок; в местах удобных для обслуживания, недоступных для случайных повреждений; с учетом подхода воздушных линий.

Питание рабочего освещения должно быть от отдельного входа. Однако допускается питание осветительных щитков от общего с силовой нагрузкой ввода при условии, что питающая линия обеспечит на вводе отклонения напряжения от номинального, не входящие за допустимые пределы +5 % до –2,5 %.

Компоновка осветительной сети. Сети освещения разделяются на питающие и групповые. К питающей сети относятся линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков, а к групповой сети – линии от групповых щитков до осветительных приборов.

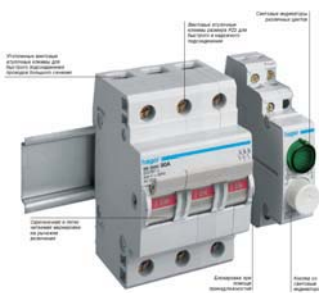
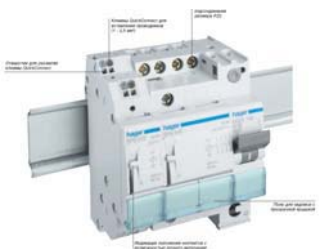
В начале в каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения; в начале групповой линии обязателен аппарат защиты, а отключающий аппарат может не устанавливаться при наличии таких аппаратов по длине линии или когда управление освещением осуществляется аппаратами, установленными в линиях питающей сети.

Выбор схемы питания производится с учетом всех условий электроснабжения объекта, для которого проектируется осветительная установка. Групповые линии целесообразно выполнять однофазными в жилых, административных и бытовых помещениях небольшой площади или освещаемых лампами накаливания мощностью до 200 Вт, а также в помещениях с малым числом светильников с люминесцентными лампами. В жилых и общественных зданиях к однофазным группам освеще-

ния лестниц, коридоров и холлов, чердаков допускается присоединение до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

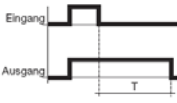
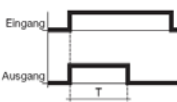
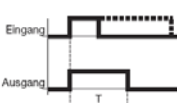
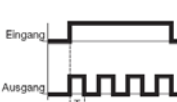
На плане объекта наряду со светильниками наносят групповые и питающие щитки, выключатели, штепсельные розетки.

Средства и устройства управления освещением фирмы HAGER

Наименование	Разновидности	Функциональное назначение
Переключатели, кнопки, световые индикаторы 	Выключатели. Кнопочные выключатели. Кнопки, световые индикаторы, принадлежности	Применяются для выполнения множества различных задач по коммутации и сигнализации
Дистанционные переключатели 	Дистанционные выключатели. Дистанционные выключатели QuickConnect. Дистанционные выключатели для люстры. Электронные дистанционные выключатели	Обеспечивают автоматическую коммутацию электрических цепей. Служат для импульсного управления цепями освещения. При помощи принадлежностей можно реализовать функции централизованного включения/выключения для одновременного управления многими цепями освещения
Установочные реле и контакторы 	Установочные реле (для управления цепями с током до максимума 16 А, для автоматизации с использованием кнопок, выключателей, датчиков времени, таймеров и т. п.). Контакторы. Контакторы с включением вручную	Служат для централизованного управления и коммутации. Обеспечивают возможность построения комплексной системы управления и централизованного включения/выключения потребителей с высокой мощностью

Наименование	Разновидности	Функциональное назначение
Дистанционные регуляторы света, устройства дистанционного управления 	Дистанционные регуляторы света. Устройства дистанционного управления.	Для автоматического плавного регулирования освещения. Осуществляют возможность экономичного управления освещением и бесступенчатого регулирования яркости освещения. Всеми дистанционными регуляторами света можно управлять через кнопку или непосредственно с аппарата. Дистанционные регуляторы света имеют функцию памяти, которая после включения сразу устанавливает последнюю настроенную величину
Сумеречные выключатели 	Сумеречные выключатели (фотозлемент измеряет освещенность. В зависимости от установленного значения сумеречный выключатель включает или выключает электрическую цепь. Примеры применения: освещение витрин; уличное освещение; подъездные пути; световая реклама; освещение автостоянок и т. д.). Сумеречные выключатели со встроенными таймерами при помощи таймера устанавливается время разрешения работы сумеречного выключателя. В разрешенный период времени выход будет включаться, когда измеренная освещенность будет находиться ниже заданного значения. Если измеренная освещенность выше заданного значения или таймер находится за пределами разрешенного периода, выход будет выключен)	Управление освещенностью в зависимости от яркости. Обеспечивают снижения расхода энергии на освещение. Включение и выключение может производиться в зависимости от освещенности (наружный датчик). Чтобы избежать включения освещения уже при очень небольших или кратковременных колебаниях освещенности, включение и выключение происходят с задержкой на 30 с. Порог выключения расположен на 10 % выше порога включения (гистерезис)

Наименование	Разновидности	Функциональное назначение
Сигнализаторы присутствия 	Сигнализаторы присутствия (применение в офисных помещениях и коридорах. Поддерживают функции: ведущий/ведомый; ручная настройка; диапазона освещенности 5–1200 лк; выдержки времени на выключение; большая зона чувствительности: 13×7 м; подстройка в соответствии с помещением благодаря поворотной линзе; размеры головки: 110×31 мм)	Включения и регулирование освещения в зависимости от яркости света и движения. Позволяют включать и плавно регулировать светильники в зависимости от яркости дневного света и движения в помещении. Этим они вносят вклад в экономию энергии
Таймеры 	Цифровые таймеры cronotec (применяются в квартирах, частных домах, на предприятиях, в офисах и других производственных помещениях для управления освещением, отдельными электрическими устройствами в зависимости от времени. Имеют простое управление через программный ключ. Этот ключ служит элементом памяти для программы коммутации). Цифровые таймеры. Аналоговые таймеры	Рациональное управление по времени
Реле времени для лестничного освещения 	Применяются для ограниченного по времени освещения лестничных площадок, вестибюлей, подземных гаражей и т. п. Управление производится кнопкой, а выключение происходит автоматически после истечения установленного времени. Реле времени для лестничного освещения может комбинироваться с устройством предупреждения об отключении	Управление освещением на лестничной площадке с ограничением по времени

Наименование	Разновидности	Функциональное назначение
Реле времени 	Задержка возврата  С импульсной коммутацией  Формирователь импульса  Реле-прерыватель  Многофункциональное	Включение и выключение с выдержкой времени. При помощи реле времени можно управлять включением и выключением ламп сигнализации и акустических устройств сигнализации, вентиляторов, световой рекламы и т. п. с выдержкой времени. Установка различных диапазонов времени осуществляется потенциометром на передней панели. Кроме того, имеются многофункциональные реле с 8 различными функциями. Клеммы для подключения проводников сечением 1–6 мм², настройка времени, от 1 с до 10 ч. Точная настройка механизма выдержки времени
Измерительные приборы 	Приборы для измерения напряжения и тока. Многофункциональный цифровой измерительный прибор SM001. Аналоговые и цифровые вольтметры. Аналоговые и цифровые амперметры (измерение через преобразователь). Аналоговые амперметры	Аналоговое или цифровое измерение тока и напряжения для знания величины входного тока и напряжения устройств и аппаратов. Цифровые измерительные приборы дополнительно оснащены индикацией перегрузки

Наименование	Разновидности	Функциональное назначение
Трансформаторы, звонки, зуммеры, розетки 	Звонки, зуммер:  - Громкость: звонки: 85 дБА; зуммер: 78 дБА. - Максимальная длительность работы – 1 час. Розетки: 	Все эти устройства оптимизированы для установки в распределительные щитки. Применяются в качестве принадлежностей для электроустановок. Крепление производится на монтажную планку, благодаря чему возможен быстрый монтаж

Выбор марки провода и способа прокладки осветительной сети. Выбор проводов, шин, аппаратов, приборов и конструкций должен производиться как по нормальным условиям работы (соответствие рабочему напряжению и току, классу точности и т. п.), так и по условиям работы при КЗ (термические и динамические воздействия, коммутационная способность). Кроме того, марку провода осветительной сети и способ их прокладки определяют в соответствии с условиями окружающей среды [10].

Выбор щитков, коммуникационной и защитной аппаратуры. Осветительные щитки выбирают по конструкторскому исполнению в зависимости от схемы сети и числа отходящих групп; аппаратуре управления и защиты, установленной в щитке, по условиям окружающей среды, в которых им предстоит работать.

Все осветительные установки должны быть защищены от короткого замыкания (КЗ). От перегрузок они должны иметь защиту сети: внутри помещений проводка должна быть проложена открыто с проводом с горючей оболочкой; в пожаро- и взрывоопасных помещениях; жилых и общественных зданиях, торговых и служебно-бытовых помещениях, на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях.

*Распределительные щитки, модульная и защитная аппаратура
(продукция фирмы HAGER)[8]*

Наименование	Функциональное назначение
<i>Система распределительных щитков</i>	
Мини-щитки – самые малые распределительные устройства. Степень защиты IP 30	В распределительные мини-щитки могут помещаться одно или несколько модульных устройств, в зависимости от исполнения. Подходят, прежде всего, для дополнительной защиты отдельных проводников или цепей, а также для децентрализованной установки модульных таймеров и регуляторов света
Малые распределительные щитки Volta. Степень защиты IP 30. Малые распределительные щитки Golf. Степень защиты IP 41	При строительстве новых и реконструкции старых жилых зданий часто требуются компактные электрические распределители. Выделяются возможностями облегчения монтажа и многообразием исполнений
Малый щиток Vector – распределительный щиток со степенью защиты IP41/65	Подходит для монтажа как внутри помещений, так и снаружи. Области применения защищенных от брызг воды распределительных щитков – подвалы, гаражи, мастерские и автомойки
Распределительные щитки FW. Степень защиты IP 43	Подходит для использования в качестве электрораспределителя в жилых и общественных зданиях при установке большого количества устройств защиты и управления. В него можно без проблем установить до 288 модульных аппаратов
Унифицированные сборные PE/N-клеммы QuickConnect	Вспомогательное оборудование для монтажа

Система модульных устройств

Линейные защитные автоматы и устройства защитного отключения

Наименование	Функциональное назначение
Линейные защитные автоматы	Для надежной защиты кабелей и проводов от перегрузки и короткого замыкания с числом полюсов от одного до четырех. Линейные защитные автоматы имеют характеристики расцепления B, C, D и различные уровни мощности для соответствия любому применению. Дополнительные устройства, такие как расцепитель с шунтовой катушкой и расцепитель минимального напряжения, устанавливаются на линейный защитный автомат без применения инструментов
Устройства защитного отключения (УЗО)	Позволяют уменьшить опасность, связанную с использованием электрической энергии. Они защищают людей и животных при прямом и непрямом контакте от поражения электрическим током. Одновременно они снижают риск, вызванный повреждением изоляции

Наименование	Функциональное назначение
Линейные защитные автоматы с устройствами защитного отключения	Линейный защитный автомат с УЗО объединяет защитные функции линейного автомата и устройства защитного отключения в одном устройстве. Линейные защитные автоматы с устройствами защитного отключения защищают как кабели и провода от перегрузки и короткого замыкания, так и людей и животных от поражения электрическим током. Для монтажа этих аппаратов в электрическом распределительном щитке требуется мало места и поэтому они особенно подходят для доработки существующих систем
Разрядники защиты от перенапряжения	Трехступенчатая защита от перенапряжений: предварительная защита, защита среднего класса и точная защита. Аппараты устанавливаются в электрораспределительных устройствах жилых и производственных помещений
Фазные шины и соединительные принадлежности	Вспомогательное оборудование и принадлежности для монтажа

При использовании устройства защиты от сверхтока с обратозависимой время-токовой характеристикой выше упомянутому условию должно удовлетворять значение тока в зоне действия защитного аппарата, при этом время срабатывания не должно превышать 5 с.

По способу действия применяются два типа УЗО:

- без вспомогательного источника питания (электромеханические);
- со вспомогательным источником питания (электронные).

По виду защиты от сверхтоков:

- без встроенной защиты от сверхтоков (выключатель нагрузки);
- со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальный автомат).

По роду тока:

АС – переменного;

А – переменного с пульсирующей составляющей;

Д – постоянного.

В соответствии с действующими нормативными документами УЗО применяются для защиты от прямого и косвенного прикосновений и защиты от возгораний. Причем при защите от прямого прикосновения УЗО не может быть единственной мерой защиты.

Для защиты от прямого и косвенного прикосновений используются УЗО со значениями номинального отключающего дифференциального тока 0,01 и 0,03 А, а для защиты от возгораний – 0,1 и 0,3 А. В определенных случаях для защиты от косвенного прикосновения используются УЗО со значениями отключающего дифференциального тока до 5 А.

В групповых сетях зданий для защиты от прямого и косвенного прикосновений используются УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 0,03 А, УЗО с током 0,01 А применяется для отдельных электроприемников, запитанных по радиальным линиям.

При выборе в пользу электронных УЗО следует иметь в виду, что основная масса отечественных аппаратов не соответствует элементарным требованиям по надежности и пожаробезопасности, схемотехнические решения и их элементная база безнадежно устарели [10].

Рекомендации по монтажу и мероприятия по технике безопасности. Для проектируемой осветительной установки необходимо конкретно изложить особенности монтажа отдельных ее элементов и узлов и указать организационные и технические рекомендации по безопасному осуществлению этих работ. Кроме того, в пояснительной записке должны быть приведены рекомендации по защите эксплуатирующего и обслуживающего данную установку персонала от поражения электрическим током при замене ламп и очистке арматуры, периодических осмотрах, контрольных измерениях освещенности, измерениях изоляции, текущих ремонтах и ревизиях. В общем случае при проектировании ОУ в целях пожаро- и электробезопасности необходимо обеспечить:

- соответствие применяемых аппаратов, осветительных приборов и проводников условиям среды;
- выполнение требований к изоляции сети, токоведущих частей щитков, аппаратов и светильников;
- соблюдение минимальных расстояний между проводами при открытых проводках, расстояний от различных конструктивных частей и проводок до пола или площадок.

Принципиальная схема щитка. На принципиальной схеме изображаются все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи [12]. Принципиальная схема щитка в специализированной программе 1-2-3 Schema [8] формируется в процессе выбора и установки необходимого оборудования в дереве проекта. Важно помнить, что последовательность расположения оборудования в дереве проекта определяет результат формирования принципиальной схемы щитка.

Спецификация. Для проектируемой осветительной установки составляют спецификацию на оборудование и материалы. Перечень элементов в спецификации должен начинаться с крупных узлов и оборудования (щитки, автоматические выключатели, реле и т. д.), включать все

элементы осветительной установки и заканчиваться такими, как изоляционные материалы, металлические и монтажные изделия.

Оформление проекта. Курсовая работа выполняется с привлечением компьютерных средств проектирования светотехнических проектов. Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена в соответствии с правилами, изложенными в [13]. Все справочные и нормативные материалы должны иметь ссылку на литературные источники. Для этого в тексте в квадратных скобках указывают порядковый номер источника по списку литературы.

Все расчетные формулы должны быть выполнены с пояснениями входящих в нее величин. Рассмотрены примеры расчетов с привлечением численных значений и выводом конечного результата.

Графическую часть [12] выполняют используя условные обозначения согласно ГОСТ 2.701-84 ЕСКД (Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению), ГОСТ 2.732-68 (Обозначения условные графические в схемах. Источники света), ГОСТ 2.702-75 (Правила выполнения электрических схем).

ГЛАВА 3. ПОСТРОЕНИЕ СЦЕН ОСВЕЩЕНИЯ В DIALUX

Современный мир дизайна, в частности интерьера, невозможен без решения основного вопроса – грамотной организации и планирования освещения. Известно, что свет и его функциональное назначение влияют на здоровье человека, его настроение и работоспособность.

Планирование сцен освещения при проектировании ОУ предполагает обеспечение средств и устройств управления освещением в этих сценах. Методами непосредственного управления ОУ является дискретное включение/отключение всех или части светильников по командам управляющих сигналов, а также ступенчатое или плавное снижение мощности освещения в зависимости от этих сигналов.

Достижение оптимальной работы ОУ при экономии расходов электроэнергии на освещение возможно осуществить, применяя электронные автоматические системы управления освещением. Системы управления освещением (СУО) выполняют следующие основные функции:

- точное поддержание искусственной освещенности и климатических параметров в помещении на заданном уровне;
- учет естественной освещенности в помещении;
- учет времени суток и дня недели;
- учет присутствия людей в помещении;
- дистанционное беспроводное управление ОУ.

Автоматические системы управления с датчиками позволяют экономить расходы на освещение. Управление освещением осуществляется датчиками света, которые в зависимости от дневного света в помещении регулируют освещенность (поддерживают постоянный уровень освещенности). Благодаря использованию дневного света экономия расходов на электроэнергию может достигать 60 %. Обеспечить экономию расходов от 70 % и выше можно с помощью датчиков для автоматического отключения света, датчиков движения и таймеров. Автоматизированные СУО могут обеспечивать управление освещением светильника(ов), помещения или здания. В этом случае их разделяют на три класса:

1. СУО светильника – простейшая малогабаритная система, конструктивно являющаяся частью светильника и управляющая только им либо одной группой нескольких близлежащих светильников.
2. СУО помещения – самостоятельная система, управляющая одной или несколькими группами светильников в одном или нескольких помещениях и находящаяся вблизи управляемой ОУ.

3. СУО здания – централизованная компьютеризованная система управления, охватывающая освещение и другие системы целого здания или группы зданий.

3.1. Сцены освещения с элементами управления

Программный комплекс «DIALux» является универсальным программным продуктом для проведения светотехнических расчетов искусственного освещения.

В целях проектирования ОУ в DIALux предусмотрены построение и расчет *сцен освещения*. Планирование сцен освещения носит индивидуальный характер, включая особенности внутреннего пространства, норм и правил искусственного освещения. Благодаря возможностям DIALux учет параметров и средств управления освещением позволяет выполнить проект освещения максимально комфортным и экономичным. В сцене для формирования необходимого визуального окружения также необходимы дополнительные приемы эстетического порядка, способствующие выделению светом архитектурных деталей, совмещение с естественным светом, стилевое единство светильников. Выполнение освещения с элементами управления раскрывают дополнительные возможности проектирования освещения.

Для реализации моделирования сцен освещения с элементами управления в программе DIALux отводится отдельный раздел.

Планирование и построение сцен освещения осуществляется в режиме меню *Проводника* (рис. 5), как самостоятельный раздел, так и в разделе *Освещение внутри помещения*.

Используя возможности программы DIALux, можно создавать разнообразные сцены освещения в зависимости от ситуации и роли искусственного освещения.

Средствами *Планирование освещения* построение сцен освещения возможно следующими основными категориями:

- выбор, вставка и редактирование отдельного светильника;
- круговое расположение светильников;
- поле светильников;
- расположение линеек светильников.

Кроме того, варьируя или изменяя параметры и свойства ОУ, возможно сочетание или комбинирование в выборе и построении сцен освещения, учет индивидуальных особенностей и функционального назначения помещения. Комбинируя разные источники света и их месторасположение, можно создавать необходимую обстановку: обычную, рабочую, для просмотра фильма или вечеринки. С помощью элементов

управления освещением можно легко и быстро менять режим освещения в зависимости от обстановки, подчеркивать некоторые детали интерьера или акцентировать внимание на определенных зонах помещения (рабочая, обеденная, зона отдыха и т. д.).

Отдельно в DIALux возможно построение сцен освещения *Дневного света*, в том числе при наличии искусственного света выполнять сцены освещения с учетом дневного света. Это раскрывает дополнительные возможности проектирования: планирование и расчет ОУ носит более реалистичный характер.

Самостоятельным разделом в проектировании и планировании освещения является *Аварийное освещение*. В светотехнической практике проектирования ОУ данному разделу уделяется особое внимание [5]. В DIALux проектирование аварийного освещения возможно в режиме *Проводника*, а также может быть сформирована как отдельная или дополнительная сцена освещения внутри проекта.

Также программа DIALux позволяет планировать *Цветное освещение*. Источники света, участвующие в сценах освещения с элементами управления, могут получить спектр или фильтр.

3.2. Этапы построения сцен освещения с элементами управления в DIALux

DIALux поддерживает планирование динамического управления светом, предоставляет возможность определять группы светильников (рис. 19), включать и выключать значения «затемнения» (рис. 20), автоматически вычислять сцены освещения, визуализировать и обрабатывать результаты планирования.

Сцены освещения определяют изменяющиеся свойства включенных в них управляемых групп светильников, например значения затемнения, цвет освещения, наклон и расположение светильника. Таким образом, группы установок светильников называются «элементами управления» в сценах освещения.

При построении сцен освещения необходимо учитывать определенные требования:

1. Любые светильники могут быть добавлены в элементы управления, так же как и отдельные светильники в осветительной установке.
2. Светильники могут существовать в более чем одном элементе управления.
3. Сцены освещения могут содержать один или несколько элементов управления.

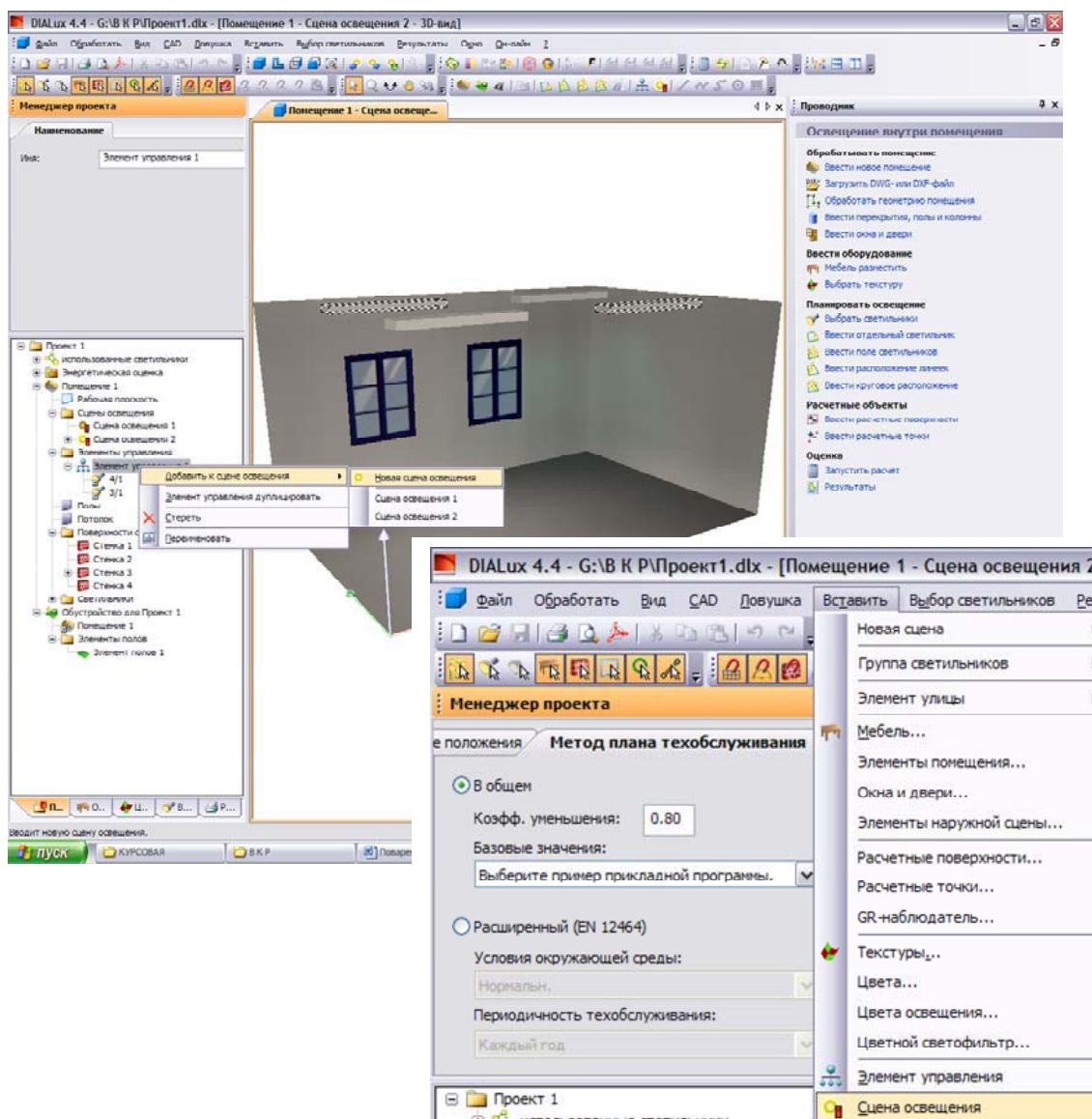


Рис. 19. Вставка сцены освещения с помощью меню, формирование сцен освещения с элементами управления

4. Одновременно в сценах освещения не могут существовать элементы управления, которые содержат один и тот же светильник.
5. Сцена освещения может быть рассчитана в целом или результат расчета всех необходимых элементов управления сцены освещения может быть изменен в интерактивном режиме, в зависимости от изменений в сцене освещения.

Дальнейшее планирование сцен освещения сопровождается следующими этапами построения:

1. Вставить новое помещение, ввести все параметры настройки на соответствующих страницах свойств (например, см. **Редактирование данных помещения**).

2. Вставить светильники, которые будут использоваться в проекте.
3. Выбрать светильники, которые следует объединить в элемент управления. Если вставка осуществляется через поле светильников, необходимо активировать функцию **Разрешить выбор отдельного светильника**, чтобы выбрать единственный светильник.
4. DIALux предлагает опцию, позволяющую добавить осветительную установку(и) к одному или нескольким элементам управления. С помощью контекстного меню **Ввести элемент управления** в окне CAD или в дереве проекта, а также с помощью меню **Вставить > Элемент управления** можно добавить выбранный светильник(и) к новому или существующему элементу управления.
5. Затем в менеджере проекта элемент управления появляется со связанными светильниками. Элемент управления получает **Название** на соответствующей странице свойств.
6. Если светильники будут удалены, сцены освещения также одновременно удаляются из соответствующего элемента управления (при условии, что они относятся к элементу управления). С помощью меню **Вставить > Сцена освещения** можно вставить сцену освещения в проект (рис. 19).

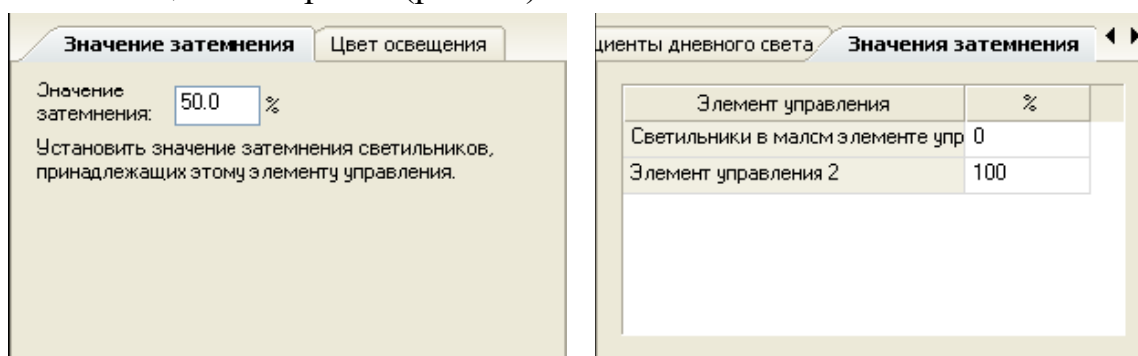


Рис. 20. Значения затемнения для сцены освещения

Альтернативно можно вставить сцену освещения из контекстного меню помещения.

Если элемент управления уже существует, можно открыть контекстное меню, щелкая правой кнопкой мыши на элементе управления, и добавить новую сцену освещения. В этом случае соответствующий элемент управления существует первоначально.

Вкладка *Сцена освещения* содержит название сцены освещения, которое можно изменить. Если выделить сцену освещения в дереве проекта, в Инспекторе открываются соответствующие страницы свойств. То же самое относится к элементу управления, доступному в сцене освещения. Вкладка *Сцена освещения* содержит название сцены освещения, которое можно изменить.

На вкладке *Значения затемнения* (рис. 20, 21) представлены в виде редактируемого списка значения затемнения для элемента управления.

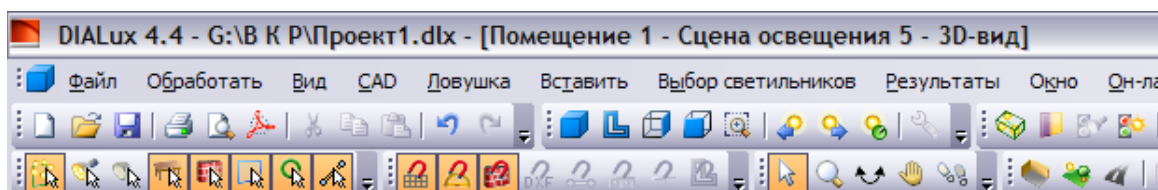


Рис. 21. Значки для отображения значений затемнения в CAD и переключения сцен освещения

 С помощью этого значка в строке меню значения затемнения могут быть переключены (вкл. и выкл.).

 Предоставляется возможность переключаться между отдельными сценами освещения с помощью стрелок при условии, что существуют несколько сцен освещения.

3.3. Примеры сцен освещения с элементами управления в программном комплексе DIALux

Круговое расположение светильников

Для создания сцены освещения (рис. 19) с круговым расположением светильников достаточно выбрать необходимый светильник в диалоге *Выбор светильника* на вкладках *Главного меню* (Каталог или Собственный банк данных). В *Проводнике* выбираем *Ввести круговое расположение*, количество светильников (в данном случае 8, при заданном значении освещенности 500 лк). Количество светильников программой определяется по умолчанию в зависимости от начальных параметров заданной нормированной освещенности или может варьироваться в соответствии с допустимыми параметрами норм освещения и характеристик светильников.

Далее, при введении параметров управления сценой освещения, необходимо выделить элементы управления, количество и состав сцен освещения. Особенно важным является то, что формирование сцен освещения должно носить заранее продуманный характер, а функциональное назначение сцен освещения должно быть обоснованным.

Щелчок правой кнопкой открывает доступ к контекстному меню, выбираем команду *Разделить*, создаем новый элемент управления и сцены освещения 1, указав при этом коэффициенты затемнения.

На вкладке *Значения затемнения* представлены в виде редактируемого списка значения затемнения для элемента управления. Для экономии электроэнергии можно использовать коэффициент затемнения равной, например, 50 %.

В проводнике выбираем *Запустить расчет* и смотрим результаты в 3D-изображении.

Поле светильников

Для создания сцены (рис. 22) выбираем нужный светильник в диалоге *Выбор светильника* на кнопке *Каталог* или *Собственный банк данных*. В проводнике выбираем *Ввести поле светильников*, количество рядов и количество светильников в ряду (в данном случае 3 и 3). Щелчок правой кнопкой открывает доступ к контекстному меню, выбираем команду *Разделить*, создаем новый элемент управления и сцену освещения 2, указав при этом коэффициенты затемнения и изолинии.

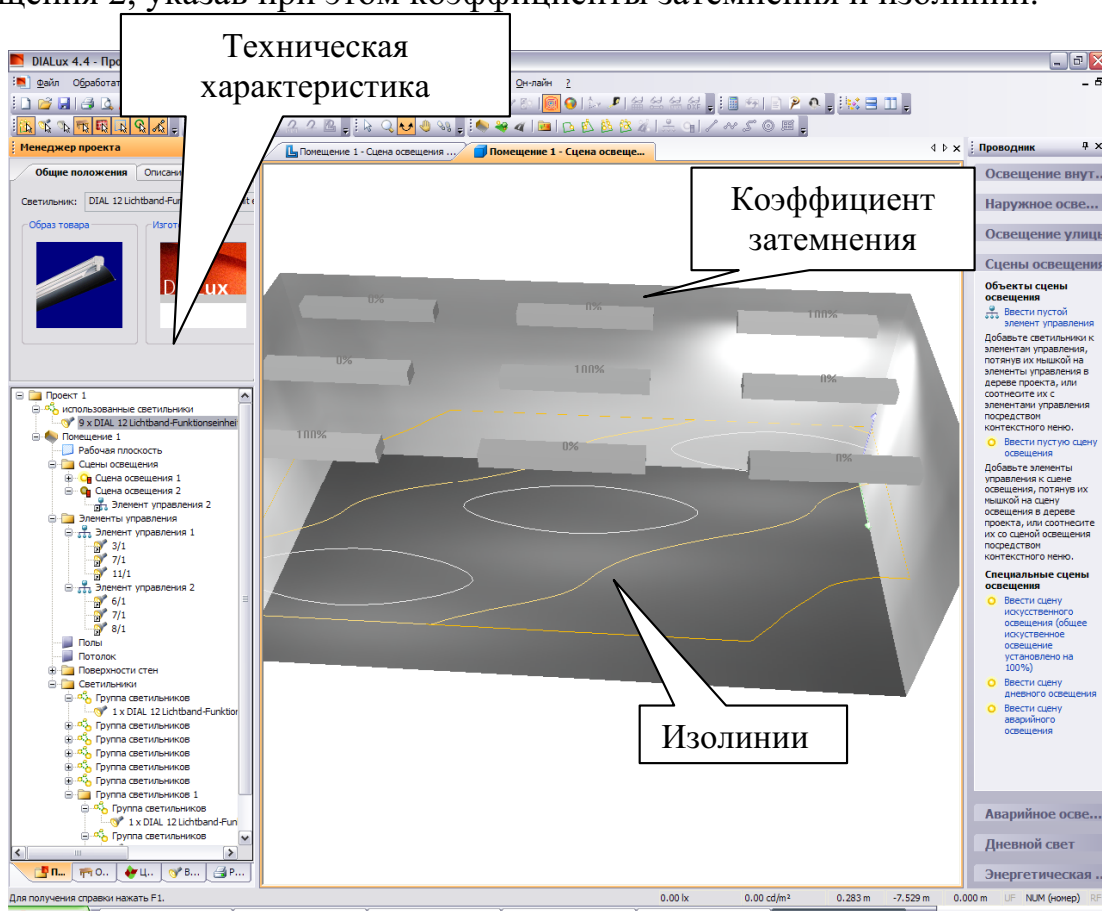


Рис. 22. Поле светильников

В проводнике выбираем *Запустить расчет* и смотрим результаты в 3D-изображении.

Комбинированное расположение светильников

Программа DIALux позволяет создавать сцены освещения, комбинируя различные расположение, например поле и круговое расположение светильников. В проводнике выбираем *Ввести круговое расположение*, указав радиус и месторасположение в помещении, количество светильников, также можно задать начальный и конечный углы круга. Затем выбираем поле светильников и устанавливаем их аналогичным образом. Можно разделить данные установки на отдельные светильники с помощью меню *Обработать > Разбить группу* светильников. Затем можно формировать их в группу элементов управления. Таким образом, можно создавать несколько сцен освещения, используя одни и те же светильники.

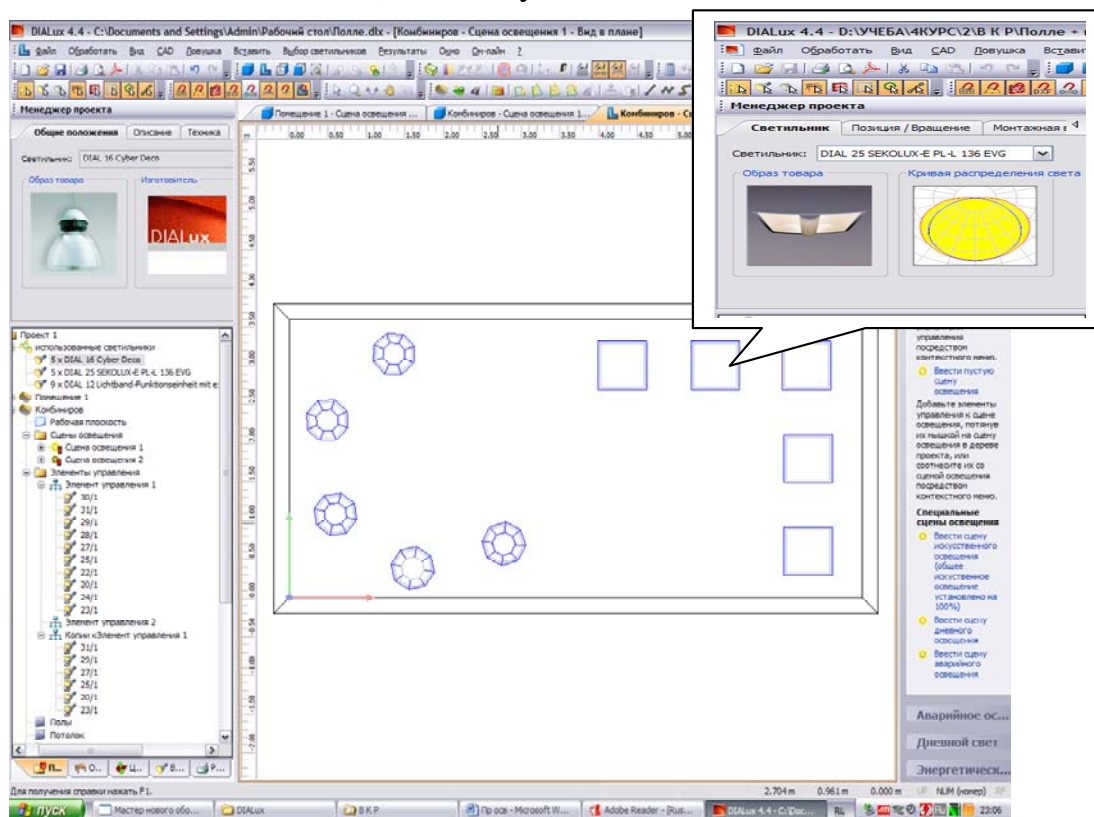


Рис. 23. Комбинированное расположение светильников

DIALux дает возможность наиболее тщательно обрабатывать данные светильников. Пользователь может самостоятельно устанавливать значения светового потока ламп (*Менеджер проекта*→*Данные светильника или Каталог ламп*), подбирать напряжение, а также корректировать параметры цветопередачи излучения (*Дерево проекта*→*Цвета освещения, цветной фильтр*), использовать для обработки данные известных световых приборов (*Файлы светильников*). Это позволяет добиваться нужного результата освещения, в том числе при создании декоративного или театрально-постановочного освещения.

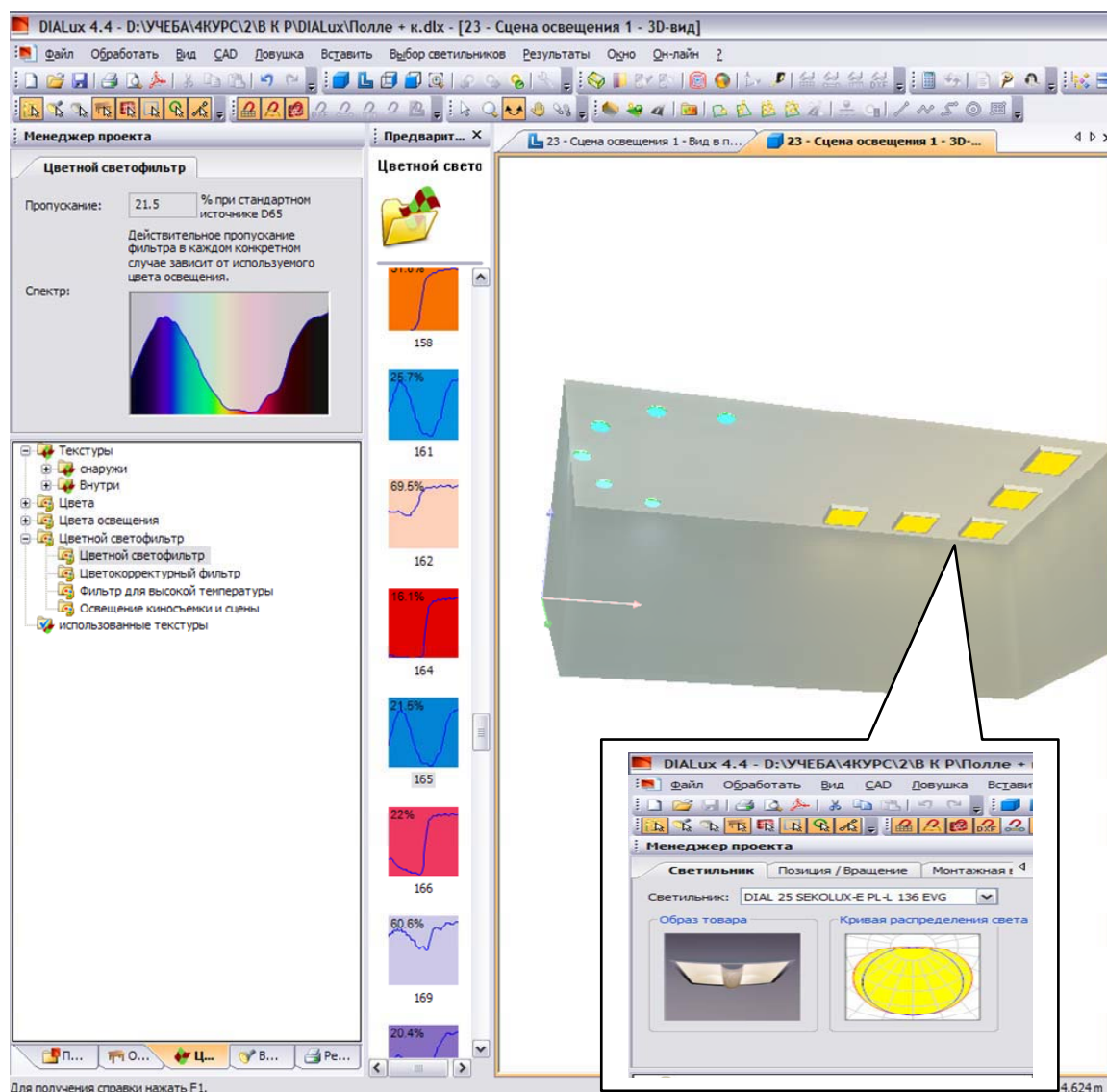


Рис. 24. Комбинированное освещение с использованием светофильтров

Таким образом, сцены освещения и комбинация светильников в них могут быть различны. Каждый вариант построения и планирования ОУ с помощью сцен освещения носит индивидуальный характер, что определяется функциональным назначением участвующих в освещении светильников и приборов контроля за освещением.

Конечный результат освещения или отдельная сцена освещения может быть экспортирована и сохранена в отдельный файл в формате *.dlc. Операция сохранения и перемещения файла осуществляется через главное меню **Файл → Экспортировать → DIALux сцены освещения Сохранить файл**.

3.4. Дневной свет. Расчет дневного света в DIALux

DIALux дополнен поддержкой расчета дневного света. Теперь при планировании проекта сцены дневного света могут быть также вставлены в проект.

Кроме того, существует возможность использования влияния естественной освещенности учесть при планировании расхода электроэнергии в течение рабочего дня, скоординировать действия осветительных приборов в случае изменения условий освещения в утренние и вечерние часы. Спланировать управление освещением с учетом дневного света как панорамного офиса (open space), так и небольшого помещения.

Влияние дневного света может быть рассчитано во внутренних и наружных сценах. В DIALux представлены различные модели неба (ясно, пасмурно, частично пасмурно), которые так же, как прямой солнечный свет, влияют на расчет (табл. 3). Также учитываются расчетом местоположение, время, ориентация и преграды для дневного света.

В наружных сценах дневной свет может быть рассчитан всегда, в интерьерах – когда какие-либо окна или верхний свет существуют в помещении.

Как основа для расчета использовались издания европейских стандартов DIN 5034 и CIE 110. В соответствии с этим купол неба разделен на параметризованные светящиеся поверхности, которые получают яркость в зависимости от модели неба, местоположения, даты и времени. С помощью опции **Прямой солнечный свет** проводится расчет с солнцем как источником света.

Расчет происходит следующим образом:

1. Расчет верхнего света на всех поверхностях (внутри и снаружи).
2. Расчет прямого солнечного света на всех поверхностях.
3. Расчет прямого света светильников (если доступно).
4. Расчет косвенного компонента.

Таблица 3

Типы неба согласно CIE 110-1994

	Пасмурное небо	Усредненное небо	Чистое небо
Название CIE	Облачное небо	Смешанная облачность Разработано Nakamura, Oki и другими	Чистое небо
Описание	Сплошное пасмурное небо, круглосимметричное распределение яркости	Разработано после длительного периода измерений, описывает средние погодные условия	Безоблачное небо
Возможность прямого солнечного света	Нет	Нет	Да

DIALux не делает никаких различий в расчетах внутри помещений и для наружных сцен, все поверхности просто используются для чередования излучения. Расчет дневного света в DIALux осуществляется в случае, если соответствующая сцена освещения участвует в проекте (см. в разделе «Построение сцен освещения»).

Типы неба в DIALux (табл. 3) соответствуют стандартам CIE 110-1994 «Пространственное распределение дневного света – Распределения яркости различного неба». Таким образом, яркость назначается для каждой точки неба. Яркость зависит от солнечной высоты и азимута, высоты и азимута точки неба.

Расчет освещения с учетом дневного света

Если проект начат, то сначала должно быть определено местонахождение объекта проектирования, заданы координаты (долгота/широта). Это можно сделать, используя базу данных расположенных в программе DIALux объектов или выполнить необходимый ввод данных с последующим их сохранением.

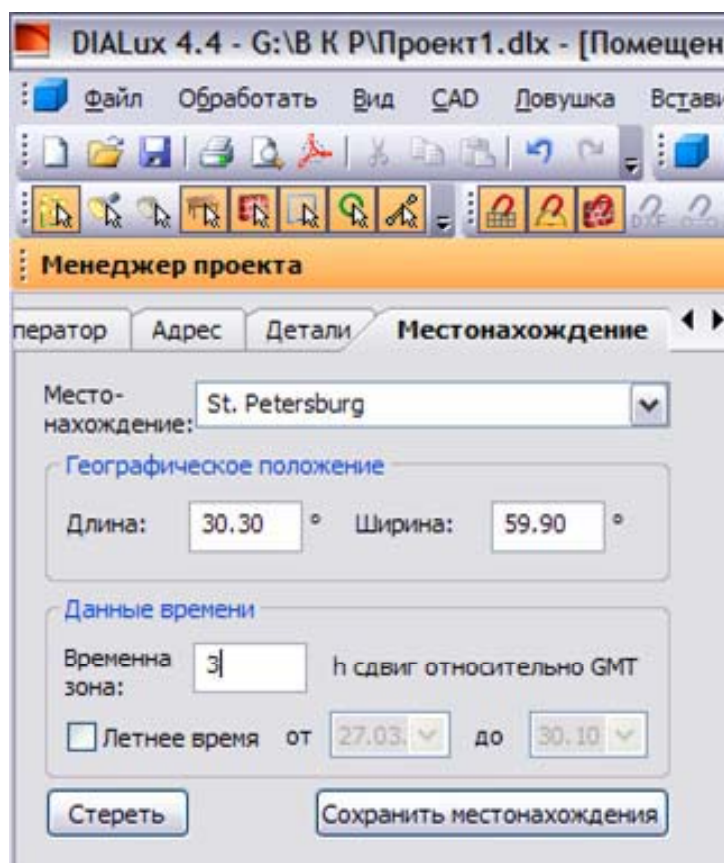


Рис. 25. Выбор местонахождения

На вкладке **Местонахождение** в Инспекторе пользователь может выбрать любое место для размещения проектируемого объекта (рис. 25).

Северное направление может быть определено в каждом случае для помещения или наружной сцены. Чтобы легко распознать его, стрелка направления на север отрисовывается рядом с началом координат. В помещении окна в стенах или окна в крыше должны быть предварительно включены в планировку. Они могут быть легко размещены по линии или в виде поля, если используется функция **Копировать вдоль одной линии**.

Вкладка в менеджере проекта **Коэффициенты дневного света** служит для определения положения солнца при расчете дневного света. Можно сделать любые настройки дневного света в Инспекторе. Активировать переключатель **При расчете принять во внимание дневное освещение** – это способ, которым можно включать дневной свет в проект (рис. 26).

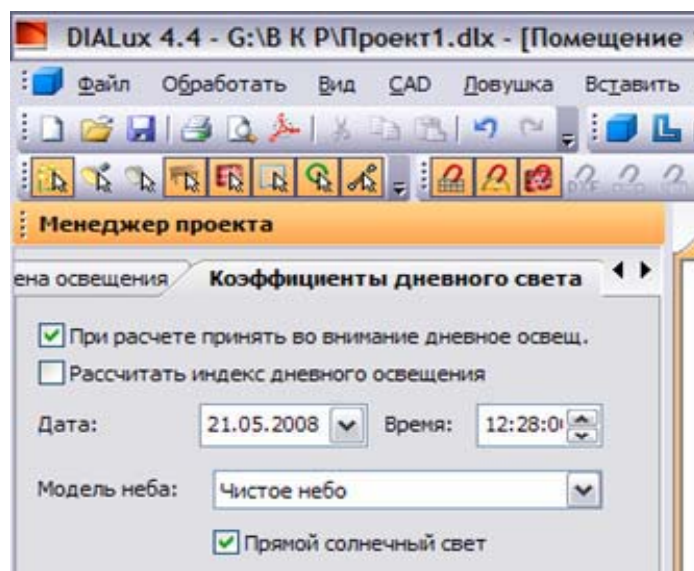


Рис. 26. Выбор параметров для коэффициентов дневного света

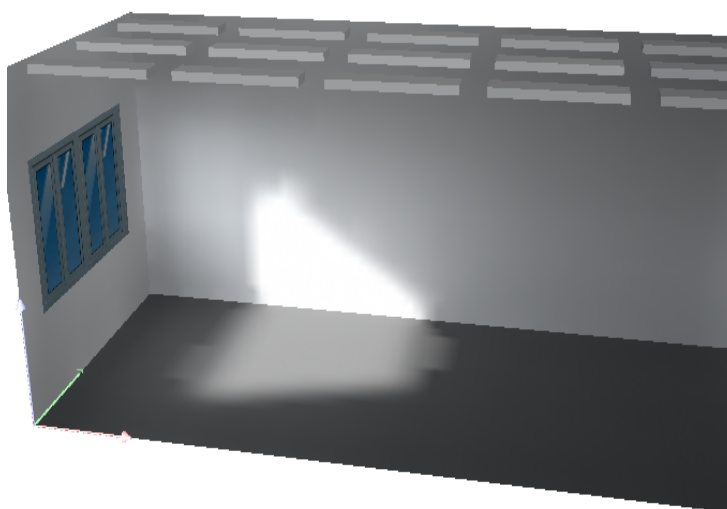


Рис. 27. Пример сцены освещения с участием дневного света

Чтобы рассчитать сцену освещения с дневным светом, необходимые варианты расчета должны быть вставлены в сцену освещения. Если переключатель **Рассчитать индекс дневного освещения** активирован, параметры настройки изменятся следующим образом:

- облачное небо;
- прямого солнечного света нет;
- никакие светильники не рассматриваются.

В результате пользователь получает расчет, включая визуализацию, т. е. результаты влияния дневного света на освещенность рабочей плоскости. Если пользователь хочет знать влияние дневного света в других положениях, он может вставить соответствующие расчетные поверхности или расчетные точки. В расчетном документе **Таблица значений на рабочей плоскости** могут быть показаны: фактор дневного света, яркость в соответствующих положениях, как процентное отношение влияния дневного света на освещенность выбранных участков или точек.

Дополнительно в DIALux в расчетах для дневного света может быть также учтена преграда. Для этого необходимо определить ее в окне CAD. Преграду можно вставить, выбрав **Обработать обустройство дневного освещения** в меню **Обработать** или щелкнув правой кнопкой мыши на помещении.

В сцене с преградой помещение показано снаружи. Теперь объекты-преграды могут быть запланированы произвольно вокруг помещения. Также помещение может быть поднято, если это касается, например, комнаты на более высоком этаже. Преграда работает как экран для прямого света, а также как источник собственной яркости от освещения, которое попадает на объекты преграды.

Визуализация солнечного света и тени

Прямое падение солнечного света в помещении может моделироваться в реальном времени. Падение света из окон и/или окон в крыше рассчитывается как функция места, ориентации, геометрии, даты и времени. Чтобы обратиться к данной функции, щелкните кнопку **Визуализация света и тени** на панели инструментов (рис. 26, 27). При постановке визуализации распространения солнечного света и распределение тени дата и время могут быть изменены в реальном времени, и может моделироваться направление падения солнечного света в помещении, как показано на рис. 27.

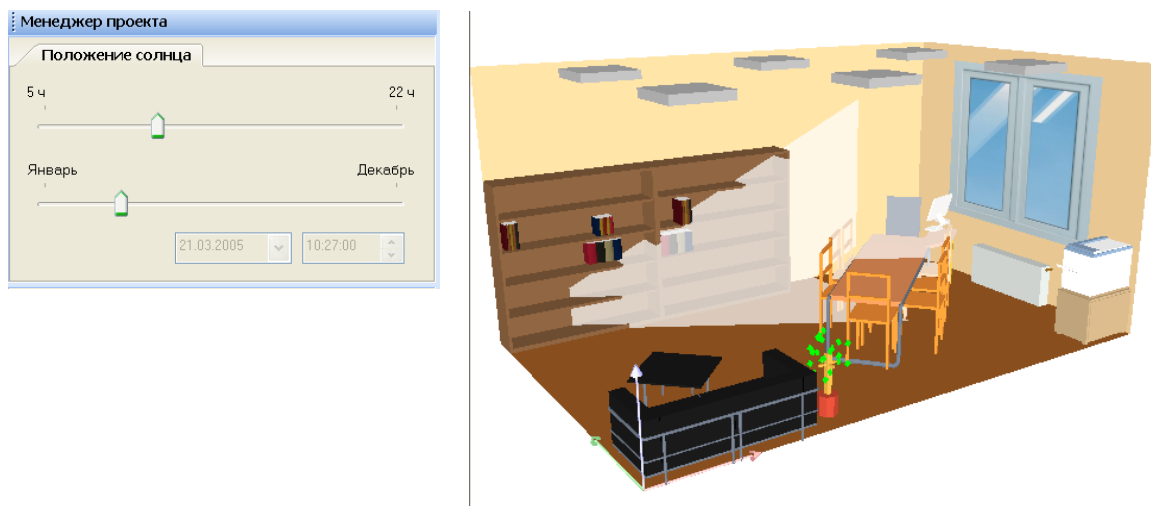


Рис. 27. Пример визуализации солнечного света и тени при заданных параметрах положения солнца с учетом календарного и текущего времени

При формировании конечных расчетных данных в сценах с участием дневного света также необходимо учитывать ситуацию меняющейся освещенности во времени в период смены времен года или режима (продолжительности) рабочего (светового) дня. Это особенно важно, если в проекте присутствует анализ энергоэффективности установки с участием естественного освещения. Этот анализ также можно провести набором статистических данных, рассчитанных в разный период времени.

3.5. Планирование цветного освещения в DIALux

Применение цвета стремятся использовать не только в интерьере, но и в экстерьере. Цвет рассматривается как важный эстетический фактор формирования архитектурной среды. Многочисленные задачи, решаемые с помощью цвета, должны рассматриваться комплексно, так как на формирование цветового окружения влияет одновременно целый ряд взаимосвязанных факторов [15]. Проблема влияния освещения на восприятие цвета стала особенно актуальной с появлением и постоянным расширением номенклатуры разнообразных источников света.

Теперь DIALux может принимать во внимание спектры источников света, спектры цветных фильтров и материалов. Световой поток ламп (источников света) описывается по длинам волн, согласно выбранному источнику света данные предлагаются в графическом виде (спектр/спектральное распределение), которые отражаются в окнах *Менеджера проекта* и *предварительного просмотра*. По этим результатам визуальное наблюдение за выбором и подбором параметров источника

света улучшилось. Расширились возможности планирования ОУ, с точки зрения постановки цветоцветовой композиции освещения. Теперь информация о всех изменяемых параметрах и дополнительных эффектах отображаются в окне *Предварительного просмотра* и после выполнения расчетов вносится в документацию проекта.

Спектр ламп теперь может быть задан через каталог (PlugIns) светильников или источников света. В этом случае пользователь может воспользоваться дополнительной информацией о спектре, чтобы выполнить расчет освещения с учетом выбора цветной компоненты (Менеджер проекта→Цвета).

Известно, что «правильность» цветопередачи оценивается индексом цветопередачи – мерой качества цветопередающих свойств источника света. В соответствии с предложенным МКО методом оценки качества цветопередачи пользуются так называемым *общим индексом цветопередачи Ra*. Индекс цветового предпочтения оценивается не по отношению к эталонному источнику света, а по отношению к цветностям, предпочитаемым массовым потребителем.

Заметное влияние на цветность излучения могут оказывать светотехнические материалы, из которых выполнены отражатели, рассеиватели, абажуры светильников, решетки (анодированные золотистые, серебряные и др.), перекрывающие световой поток при искусственном освещении. Это могут быть как материалы, пропускающие свет – молочное стекло, цветные стекла, пластмассы, ткани, светорассеивающие пленки, так и отражающие его – металлические поверхности, эмали, лакокрасочные покрытия [14].

При планировании нельзя забывать, что конечный результат освещения должен обеспечивать организованное, целенаправленное качественно-количественное распределение цвета в пространстве. Учет параметров цветопередачи источников света, сочетание цветов – это не только декоративный компонент при освещении, но и качественный неповторимый, эстетический облик, индивидуальность как внутреннего пространства зданий, как и архитектурной композиции. Характеристика и свойства цветов, а также использование световых эффектов распространения и подачи света находят свое распространение при организации освещения витрин [18]. Использование цвета, цветоцветовой динамики и светопроекции (слайдпроекции), а также создание световых эффектов с помощью лазерных и прожекторных пучков света определяет результат динамичного архитектурное освещение [14].

В DIALux дерево *Цвета* содержит категории: *текстуры*, *цвета*, *цвета освещения* и *цветной фильтр* (рис. 28). Пока категории *текстуры* и *цвета* используются только для объектов (поверхности комнаты, мебе-

ли), *цвета освещения* и *цветной фильтр* предназначены для источников света. Очень важное различие существует между категориями *цвета освещения* и *цветной фильтр*. Цвет освещения является результатом спектрального распределения светового потока лампы. В категории *цвета освещения* есть подразделы со спектральными характеристиками для черного излучателя, дневного света, типов нормированного света и спектров стандартных ламп. Стандартные лампы еще подразделены на лампы накаливания, люминесцентные лампы и лампы высокого давления. Эти спектры могут быть использованы при расчете освещения. Они могут быть легко использованы при подборе параметров и дополнительных спектральных характеристик световых приборов (светильников, прожекторов). Если спектр выбран, в *Менеджере проекта* в окне *Инспектор* отражается информация относительно коррелированной цветовой температуры, спектрального распределения и индекса цветопередачи образца.

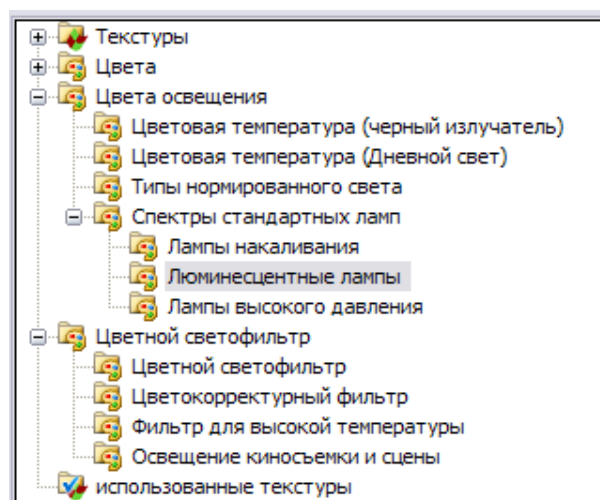


Рис. 28. Менеджер проекта, окно Инспектора: Дерево Цвета (DIALux)

Выбирая спектр в дереве *Цвета*, *Инспектор* отображает в окне *Предварительного просмотра* спектр выбранного источника света и величину соответствующей цветовой температуры. Эта величина является точной только для тепловых излучателей (рис. 29), в остальных случаях значение цветовой температуры – это теоретическая величина. В нижней части диаграммы в окне *Предварительного просмотра* цветных образцов значение спектрального излучения выбранного источника света приведено согласно CIE (Международная комиссия по освещению). Для каждого цветного образца индекс цветопередачи и значение Ra используются как расчетные. В дереве *текстур* можно найти различные варианты текстур (изображения поверхности), RAL цвета, а также можно задать текстуру через следующую последовательность действий: *Главное меню* → *Файл* → *Импортировать* → *Файлы текстур*.

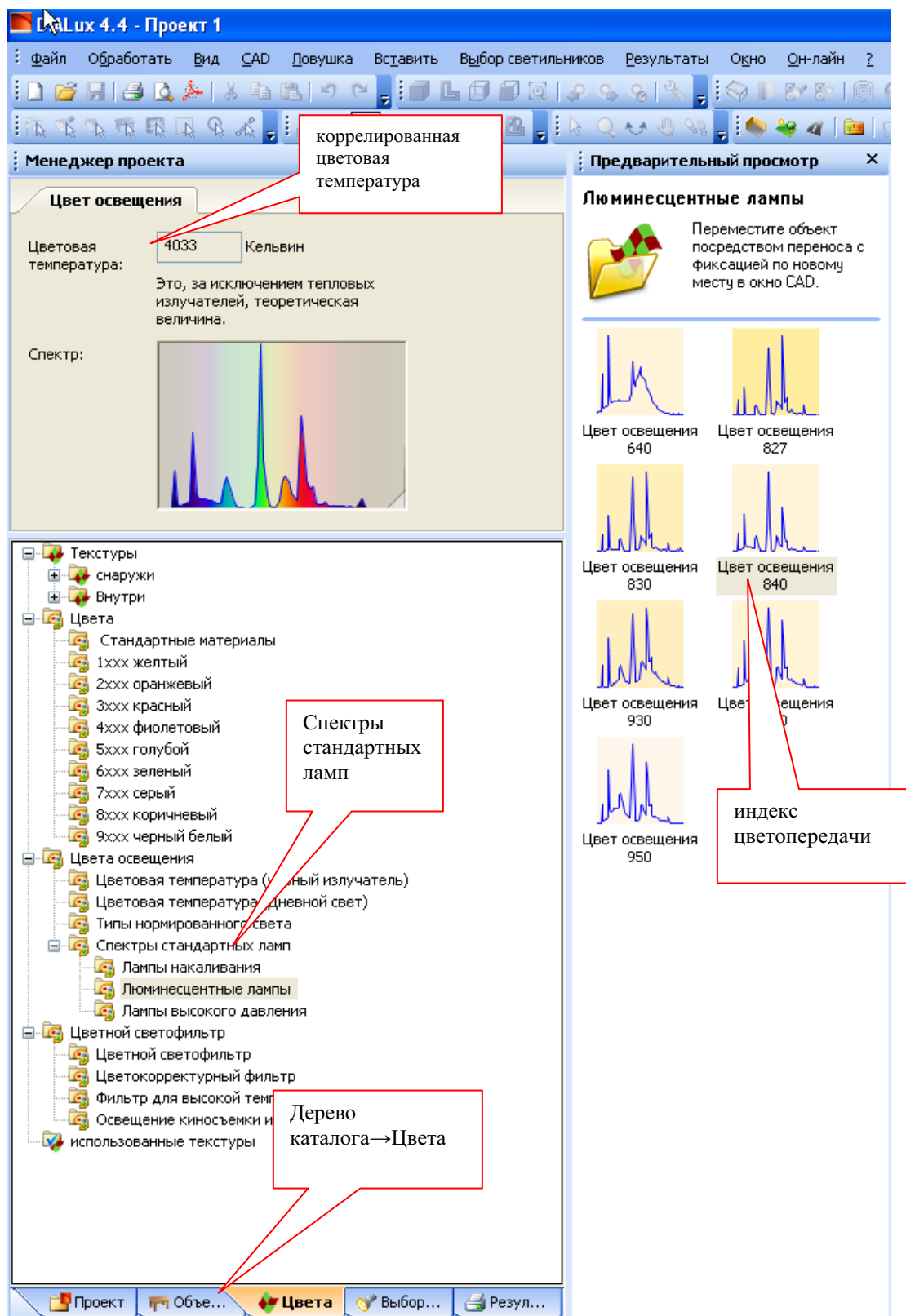


Рис. 29. Информация о цвете для выбранного спектра

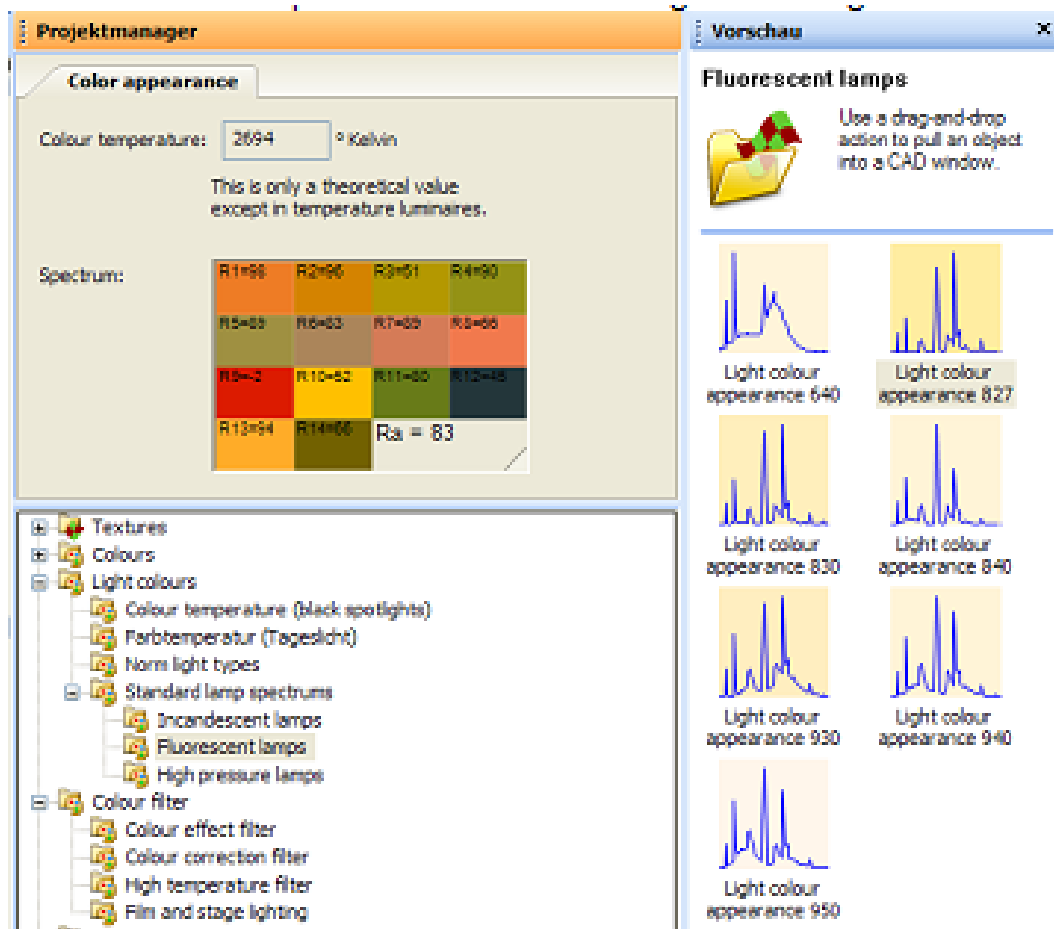
При выборе текстуры в дереве *текстур Инспектор* показывает ее в окне *Предварительного просмотра*. После наложения текстуры на поверхность, результат рассчитывается согласно значениям RGB-текстуры. Эти значения позже можно изменять. Результат отображается на экране, как цветное изображение окрашенного спектра для каждого из выбранного источника света.

Цвет представляет собой информацию об индексе цветопередачи (CRI) отдельно для каждого из источников, что является мерой способности источника света воспроизводить цвета светящегося (излучающего) источника. Этот метод разработан Международной комиссией по освещению (CIE). Согласно CIE наилучшим значением индекса цветопередачи CRI для источника света является 100, а наименьшим – 0. Индекс цветопередачи CRI измерен при сравнении с излучением «совершенного/идеального» источника, которым является абсолютное черное тело, за исключением источников с цветовыми температурами выше 5000 К, для этого случая используется стандартный излучатель, имитирующий дневной свет (например, D65 RA = 100) (рис. 30).

Для того чтобы добавить спектр к источнику света, достаточно просто перераспределить его. Все источники света в областях размещения (поле, линейка, круг или одиночный) получают этот спектр. Для того чтобы добавить определенный спектр к единственному источнику света в пределах размещения, просто придержите клавишу SHIFT при перемещении, указывая на источник. Источник света показывает замену спектра с миганием на короткое время и появляется цвет, испускаемый источником света (если доступно включить цветной фильтр). Если хотите поместить спектр на все источники света в комнате, просто придержите клавишу CTRL и укажите на любой источник света.

Источники света, участвующие в сценах освещения с элементами управления могут получить спектр или фильтр как каждый в отдельности, так и одновременно для всех участников сцены. Фильтр не применяется в источнике света того же самого типа, расположенного отдельно (в центре рис. 31) (если данный источник света не входит в эту сцену освещения). Если придерживать клавишу CTRL, пока перераспределяется фильтр/спектр, то все источники света начинают испускать данный спектр.

После того как спектр будет добавлен к источнику света, страница свойств отображает данные: спектр светильника, спектр фильтра и результирующие цветные данные (рис. 32).



Стандартный
излучатель
 $R_A = 100$

Люминесцентная
лампа $R_A = 80$

Натриевая лампа
ВД $R_A = 20$

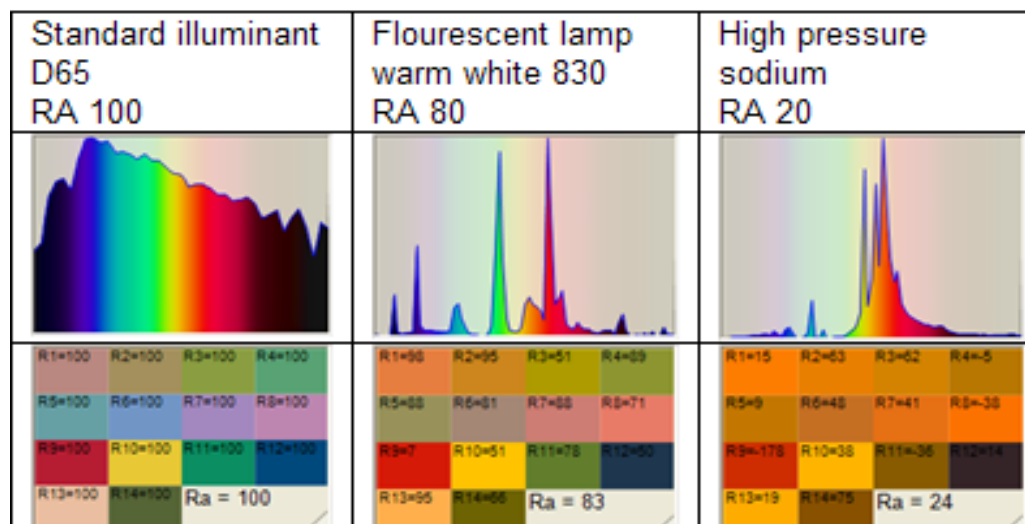


Рис. 30. Спектры и цвета, формирующие данные согласно индексу цветопередачи

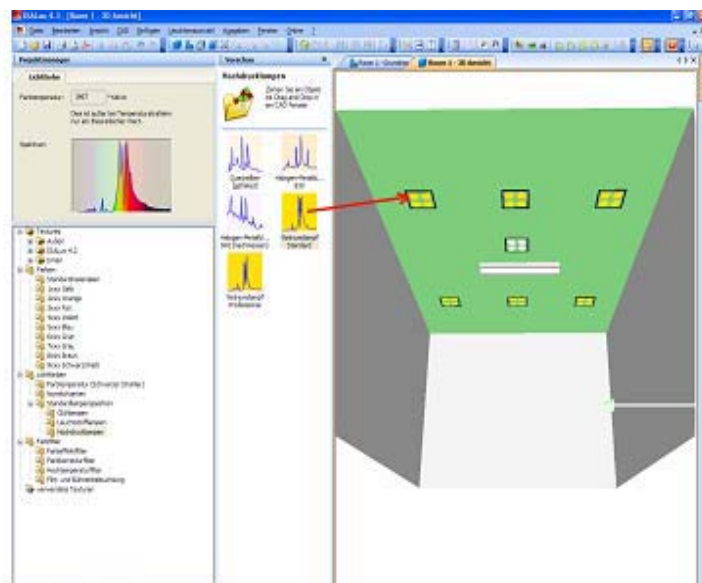


Рис. 31. Перераспределение спектра в источнике света

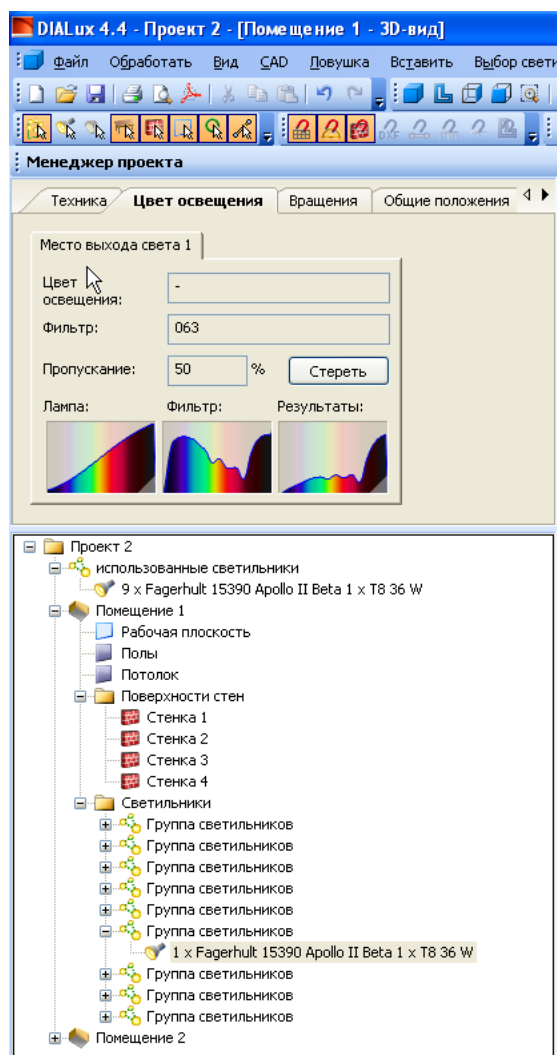


Рис. 32. Спектр лампы, фильтр и результирующее излучение

В DIALux есть несколько сот цветных доступных фильтров (цветные, цветокорректирующие). Это чистые фильтры, спектральное излучение которых измерили в фотометрической лаборатории. Нумерация – согласно нумерации доступного продукта. В предварительном просмотре можно видеть цветное появление и показатель передачи при использовании стандартного излучателя D65.

В применении цветных фильтров следует принять во внимание, что один и тот же фильтр/спектр может быть применим для разных ламп (например, натриевая лампа высокого давления и металло-галогенная лампа), но результирующие спектры и показатели передачи другие (рис. 31). Однако при выборе и планировании цветного освещения, в частности с люминесцентными лампами, необходимо руководствоваться особенностями данного типа излучателя, подбор параметров для цветного освещения будет отличаться от тепловых источников. На рис. 33 представлен результат подбора параметров цветного освещения с использованием двух типов ламп (натриевые ВД и металлогалогенные), показан также результирующий спектр излучения и световой эффект результирующего спектра с разными типами ламп при одном и том же типе фильтра (рис. 34).

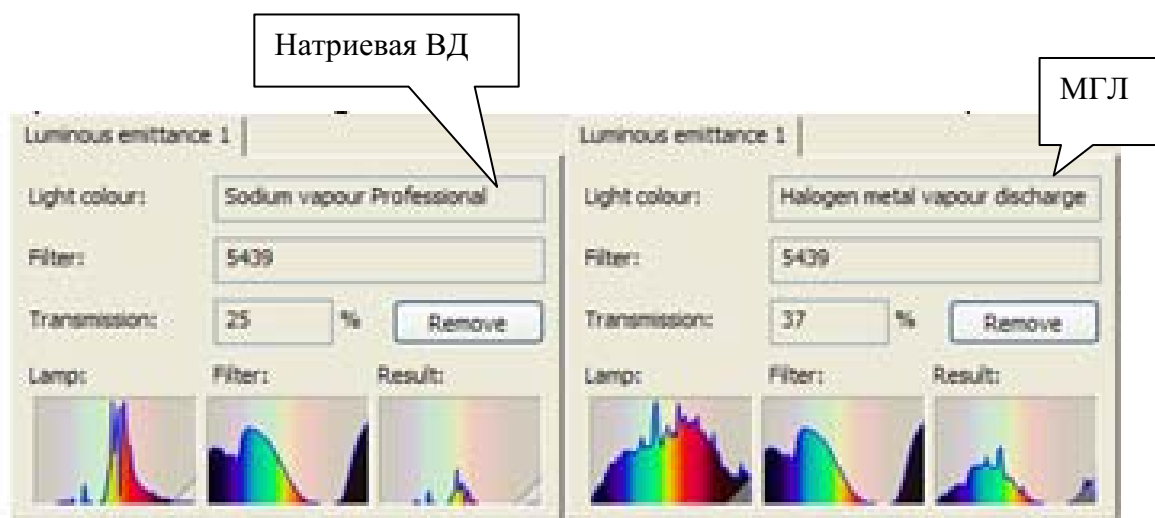


Рис. 33. Техническая информация о результирующих спектрах источников света с одним фильтром, но разными источниками света

В условиях компьютерного проектирования идеи планирования цветосветовых композиций освещения могут быть самыми различными (рис. 35, 36). При моделировании участия света и его цветной компоненты изменения могут носить как глобальный, так и корректирующий характер. Из многочисленных приемов в организации цветосветового пространства среды задачи, решаемые с помощью цвета, можно разделить на три основных группы: А, Б и В.



Рис. 34. Пример, когда все точки используют один и тот же цветной фильтр, но имеют разные источники света. Слева направо: ЛН, ЛЛ 830, D65, натриевая лампа ВД, МГЛ

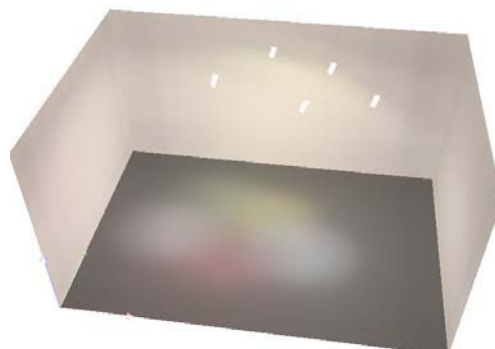


Рис. 35. Построение сцены освещения с МГЛ и светофильтрами (01, 19, 55, 89, 373)

Группа А – цвет обеспечивает психофизиологический комфорт. Он способствует созданию комфортных условий функционирования организма человека: обеспечению оптимальных условий для осуществления зрительной работы и компенсации неблагоприятных воздействий среды (монотонность зрительной работы, неблагоприятный климат местности, неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия).

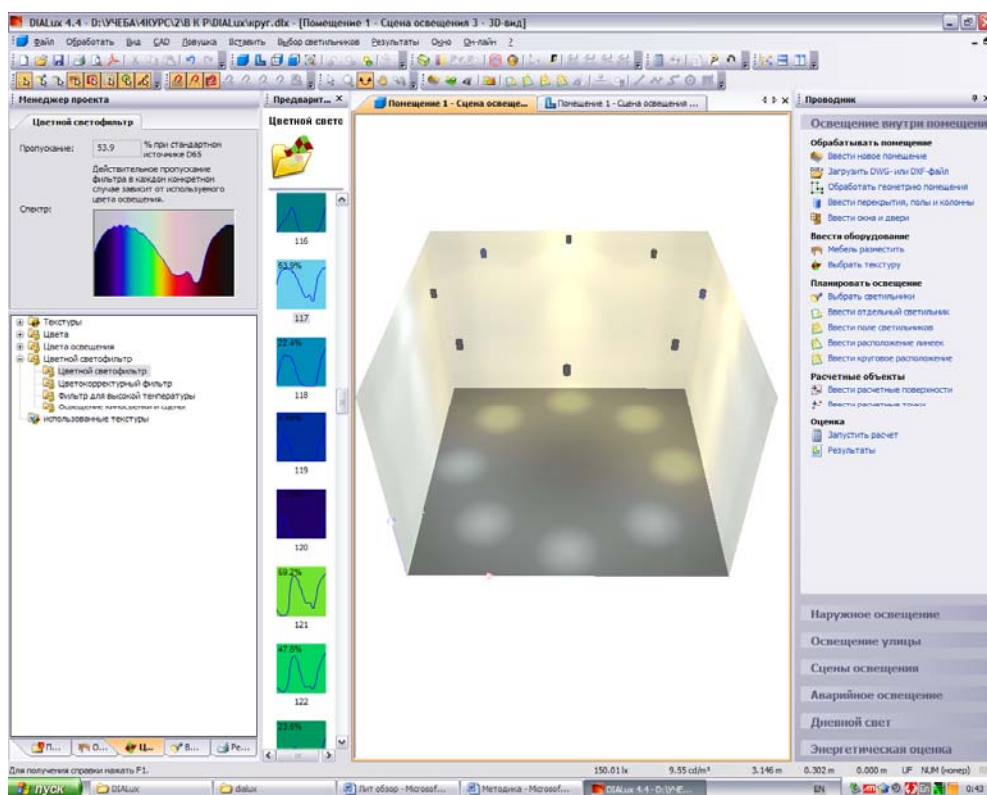


Рис. 36. Построение сцены освещения с использованием разных типов светофильтров (010, 117)

Группа Б – цвет участвует в организации систем средств визуальной коммуникации. Информативная роль цвета используется при проектировании городской застройки, в производственных цехах, торговых залах универсамов и т. д.

Группа В – цвет выступает как важнейший фактор эмоционально-эстетического воздействия.

3.6. Энергетическая оценка

Наиболее важным новшеством программы DIALux является возможность провести **энергетическую оценку** (рис. 37) проекта [3], что влияет на планирование освещения как внутри помещения, так и в наружных сценах. Потребление электрической энергии на цели освещения возрастает и становится важнейшим социальным фактором в жизни общества. Европейские государства установили для себя особую цель: увеличение эффективности использования энергии и снижение выделения углекислого газа (CO_2) [16, 17]. Подобные меры являются существенным шагом к уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу и к снижению риска, связанного с изменением климата.

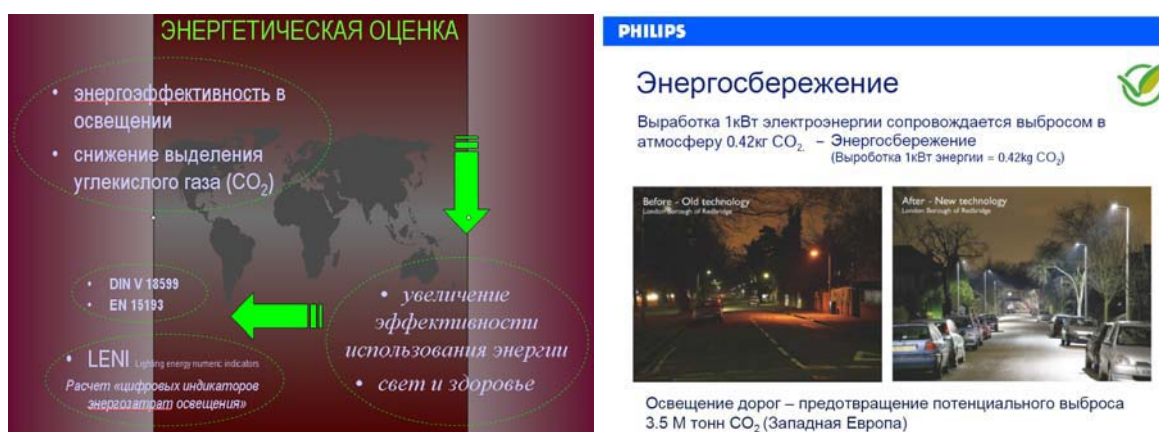


Рис. 37. Энергетическая оценка

Оценивая ту или иную область потребления энергии, следует учитывать то обстоятельство, что производство электроэнергии (ЭЭ) непосредственно связано с потреблением и переработкой природных ресурсов, как правило, сопряжено с нарушением экологического равновесия в природе и требует значительных инвестиций. Повышение энергоэффективности осветительных установок неразрывно связано с задачей комплексного снижения затрат, так как для потребителя важно не только снижение энергоемкости, но и срок окупаемости затрат на строительство осветительной системы [19]. В конечном счете эффективность ОУ

определяется стоимостью световой энергии, вырабатываемой за срок службы ОУ, и в значительной степени затратами на оплату ЭЭ.

Общеизвестно, что затраты на улучшение ОУ быстро окупаются благодаря высокой эффективности искусственного освещения: снижению утомляемости человека и повышению производительности и качества труда, увеличению эффективности транспортных средств и снижению количества аварий. Невозможно переоценить эстетическую роль света в архитектуре и градостроительстве.

По мировой статистике энергопотребление в освещении в России – одно из самых высоких в сравнении с развитыми странами мира и представляет большой потенциал экономии. При этом нормативное и техническое состояние внутреннего и наружного освещения в целом по стране не соответствует современным требованиям [19].

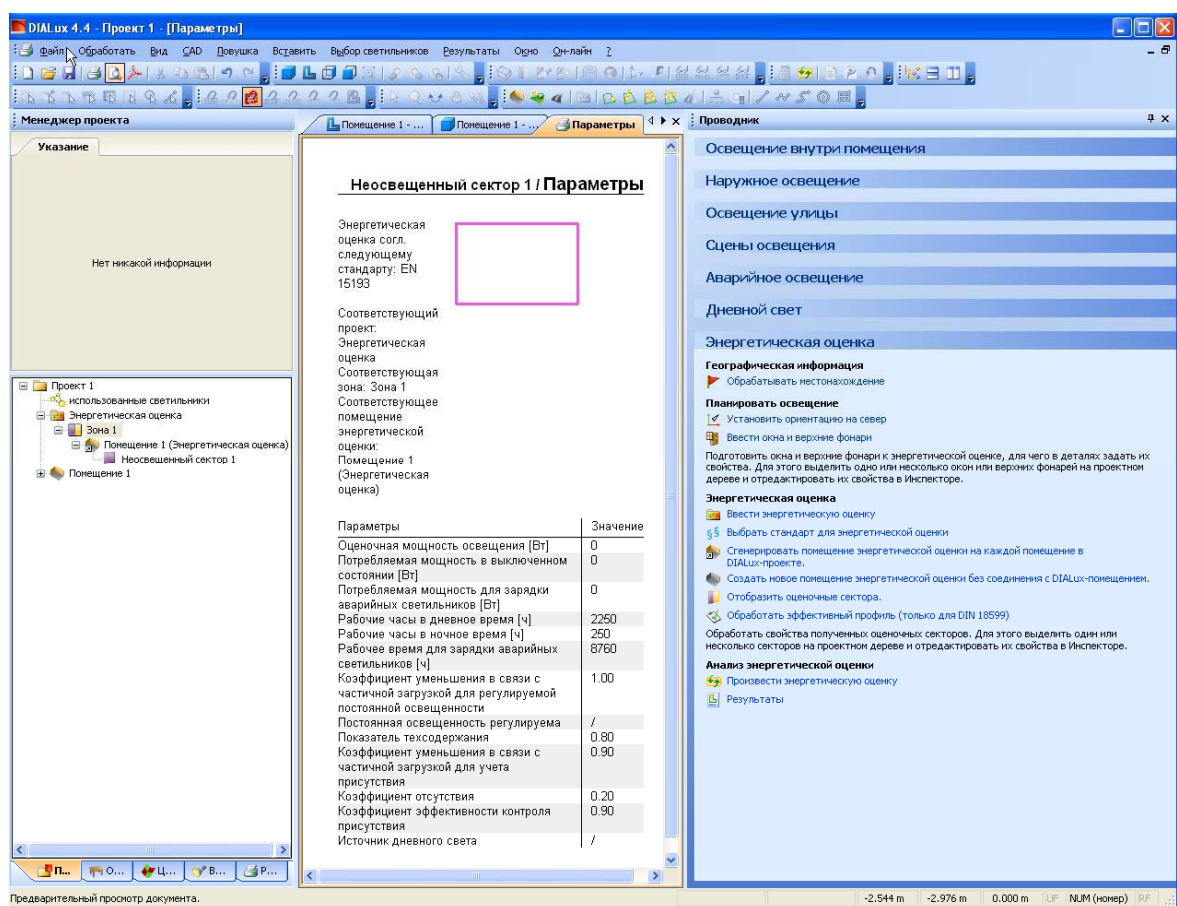


Рис. 38. Панель управления расчетными параметрами → Энергетическая оценка

Искусственный свет становится все более емким и мобильным носителем информации, без которой немислим прогресс человеческой цивилизации в новом столетии и, тем более, тысячелетии. Информационно-световые медиатехнологии уже активно влияют на архитектуру и на

создаваемую среду, и со временем это влияние будет усиливаться, поэтому они должны уже сегодня учитываться при разработке градостроительных и средовых проектов [20]. При экономическом сравнении вариантов освещения следует помнить, что самая дорогая составляющая расходов на освещение – это потребляемая установкой энергия; вторая по величине составляющая приведенных затрат – это замена перегоревших ламп новыми.

DIALux в настоящее время может обеспечить полную поддержку планирования освещения в соответствии с немецким стандартом DIN 18599 и при необходимости провести энергетическую оценку освещения (рис. 37, 38). Совокупность различных параметров и стандартов, интегрированных в программу DIALux, легко может быть выбрана пользователем. Информация, введенная в процессе планирования освещения, например геометрия комнаты, естественное освещение, источники света, адаптируются программой DIALux для энергетической оценки проекта и автоматически используются при расчете. Помимо немецкого стандарта DIN V 18599, существует европейский стандарт EN 15193, характеризующий потребление электроэнергии в здании. Хотя эти стандарты отличаются друг от друга по основным пунктам, DIALux может, если требуется, провести оценку энергии в соответствии с этими стандартами. Таким образом, очень легко обеспечить необходимые параметры для других европейских стран. Расчет «цифровых индикаторов энергозатрат освещения» (Lighting energy numeric indicators, LENI) (рис. 37).

Проектирование офиса – требования к освещению с учетом критериев энергетической оценки

За последнее время значительно изменилось оформление интерьера с точки зрения искусственного освещения; количество источников света в помещениях резко возросло. Причиной данного явления послужило то, что человек большую часть своей жизни проводит под искусственным освещением. Раньше качественным и количественным характеристикам света в интерьере не уделялось должного внимания. Сегодня в силу быстрого развития световых технологий, а также в связи с новейшими открытиями в области влияния света на организм человека актуальность проблемы правильного освещения с точки зрения эстетического, физиологического и психологического воздействия резко возросла. Как следствие, это привело к огромному количеству разнообразных световых решений интерьеров.

Свет важен не только для качественного выполнения работы, но и для того, чтобы преодолевать усталость и снимать эмоциональную нагрузку. Правильный дизайн освещения позволяет создать в офисе твор-

ческую атмосферу. В современном офисе встречается два основных типа планировок: кабинетная система и открытая планировка (open space).

Кабинетом называется персональное рабочее помещение. Помещения, рассчитанные на большое количество работающих, обычно используют открытую планировку. Независимо от количества работающих, принцип освещения рабочего места одинаков: на каждого сотрудника оказывает влияние как индивидуальное освещение рабочего места, так и освещение окружающего пространства.

Как правило, чтение и письмо требуют более высокого уровня освещенности, чем работа с компьютером.

Согласно европейскому стандарту EN 12464-1, освещенность на рабочих зонах (например, на рабочем столе это зона $0,6 \times 0,8$ м) должна быть 500 лк (коэффициент равномерности 0,7). В зоне непосредственного окружения, примерно 0,5 м вокруг рабочей зоны, достаточно 300 лк (коэффициент равномерности 0,5). В других частях помещения, исключая зону около полуметра от стен, значение уровня освещенности должно составлять не менее 100 лк [21]. Очень важно учитывать не только освещенности горизонтальной рабочей зоны, но и освещенности вертикальных поверхностей помещения. Освещение стен важно для периферийного зрения, самочувствия и состояния бодрости. Достаточная вертикальная освещенность создает визуальный комфорт и помогает избежать резких контрастов. Не стоит забывать и о потолках: высокий или неравномерный уровень освещенности потолка создает риск возникновения дискомфорта и бликов.

При планировании освещения небольшой офис или кабинет является идеальным рабочим местом. Возможность изменять и регулировать освещение в течение дня позволяет обеспечить комфортную визуальную среду. В кабинете чтение и письменная работа чередуются с работой на компьютере и проведением встреч.

Визуальные аспекты освещения дают возможность видеть и выполнять работу, однако есть и другие параметры, которые необходимо принять во внимание, например освещенность вертикальных поверхностей, которая существенно влияет на биологические и эмоциональные аспекты восприятия. Влияние суточного цикла и сезонных изменений на человеческий организм генетически запрограммировано, однако оно в определенной степени подстраивается под условия жизни человека, в первую очередь под окружающее освещение.

Планирование освещения на стадии компьютерного проектирования (DIALux) дает возможность обращать внимание на освещение разных поверхностей, а также на изменение света и цветовой температуры с течением времени. Это будет особенно важно для помещений с недос-

татком дневного света. Для обеспечения хорошей освещенности в небольшом кабинете зачастую достаточно одного светильника. Для улучшения качества освещения, энергосбережения и повышения функциональности очень важно использовать управление светом. Используя управление светом, можно извлечь выгоду из наличия дневного света (см. Построение сцен освещения, дневной свет), сократить уровень искусственной освещенности и тем самым сэкономить электроэнергию. Датчик присутствия автоматически выключит свет, когда в кабинете нет людей. Особенно большой потенциал энергосбережения существует в кабинете, где работает только один человек.

Планирование освещения с целью осуществления энергетической оценки помещения будет больше учитывать визуальные, биологические и эмоциональные аспекты восприятия света.

Традиционно анализ и характеристики качества освещения фокусировались в основном на визуальных аспектах, с помощью измерения освещенности на рабочей поверхности и непосредственном окружении рабочего места. Состояние бодрствования и, соответственно, наша способность выполнять работу в течение определенного времени тесно связаны с уровнем окружающей общей освещенности.

Индекс VBE – это модель, которая предлагает методику интерпретации светового восприятия в терминах визуального, биологического и эмоционального ощущения [21].

Целью создания индекса VBE является описание субъективного восприятия освещения, где все параметры одинаково важны и могут быть рассмотрены по отдельности в зависимости от типа помещения и вида деятельности внутри этого помещения. Концепция, стоящая за моделью расчета – обеспечение технической поддержки, а также инструмента для переговоров с клиентами и светодизайнерами, достаточно гибкого для того, чтобы быть адаптированным к различным световым сценариям, включающим офисы, рестораны и медицинские учреждения. Модель применима как для создания новых проектов, так и для оценки уже существующих систем.

Модель основана на субъективной оценке визуального, биологического и эмоционального аспектов, где принимается во внимание общее восприятие светового решения человеком.

Различным параметрам дается индивидуальная оценка, используются особые predetermined критерии, сумма всех параметров и является общим индексом VBE. Чем лучше соответствие всех критериев, тем выше общий балл для расчета индекса VBE. Параметры для расчета индекса VBE (Visual, Biological, Emotional) представлены в форме треугольника (рис. 39). Каждый параметр оценивается по шкале от 1 до 5.

Общий индекс VBE, таким образом, может достигать максимум 15 баллов. Чем выше общий индекс, или чем больше заполнен треугольник, тем лучше общее восприятие освещения.

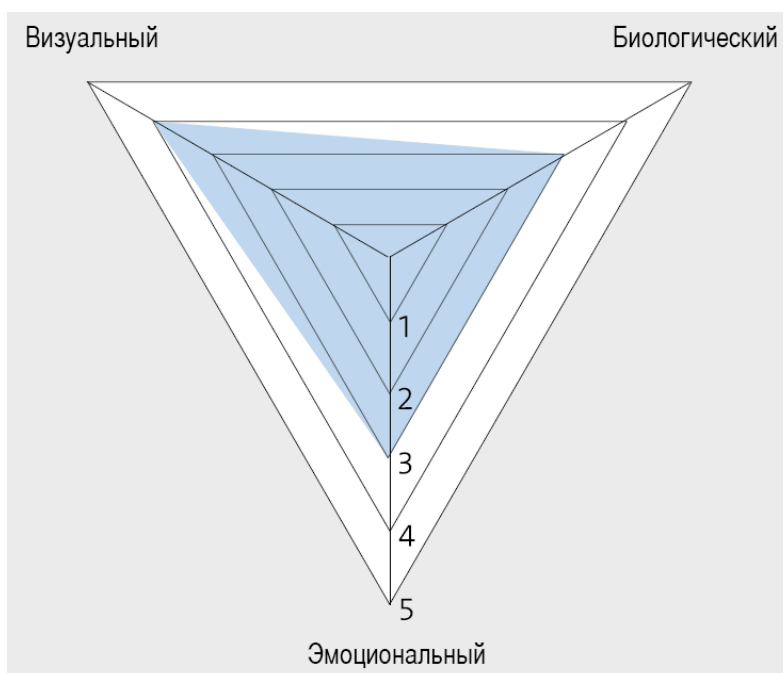


Рис. 39. Параметры для расчета индекса VBE

Составляющие индекса VBE:

- *Визуальные* аспекты включают в себя традиционные параметры оценки, такие как обзор объекта, визуальный комфорт, контраст и блескость.
- *Биологические* аспекты в первую очередь влияют на наши «биологические часы» – секрецию гормонов эндокринной системой и гормональное воздействие на нашу активность, самочувствие и качество выполняемой работы в течение дня и года. Исследования показывают, что на человеческий организм воздействует главным образом уровень окружающего светового поля и его спектральная структура.
- *Эмоциональные* аспекты – самые субъективные, они характеризуют наше индивидуальное восприятие освещения, окружающих нас цветов и цвета освещения, световой динамики и комфорта в течение определенного времени.

При оценке качества освещения потребности человека находятся в центре внимания, модель основана на субъективной оценке визуальных, биологических и эмоциональных аспектов восприятия освещения. Различным параметрам дается индивидуальная оценка по predetermined критериям, сумма всех параметров и является общим индексом VBE.

Дополнительно для оценки общего качества освещения используют также индекс AQ [21]. Индекс AQ (Application Quality index) – это модель, которая не только учитывает человеческий фактор в восприятии света, но и оценивает параметры использования электроэнергии и эксплуатационную характеристику заданного помещения. Параметры могут различаться в зависимости от назначения помещения, например в офисном здании учитываются сами офисы и прилегающие к ним коридоры.

Индекс основывается на пяти параметрах, чтобы обеспечить целостный подход к оценке общего качества освещения заданного помещения (рис. 40). Параметры учитывают восприятие света, энергопотребление, эффективность продукции, управление светом и необходимое обслуживание. Критерии расчета индекса AQ представлены в форме пятиугольника, оценка происходит по шкале от 1 до 5. Чем выше общий показатель индекса, или чем больше площадь заполнения пятиугольника, тем выше качество системы освещения для данного помещения. Конечный результат представлен в виде пятиугольника и рассматривается как общее значение индекса системы освещения в помещении – восприятие света с учетом энергопотребления и эксплуатационных характеристик.

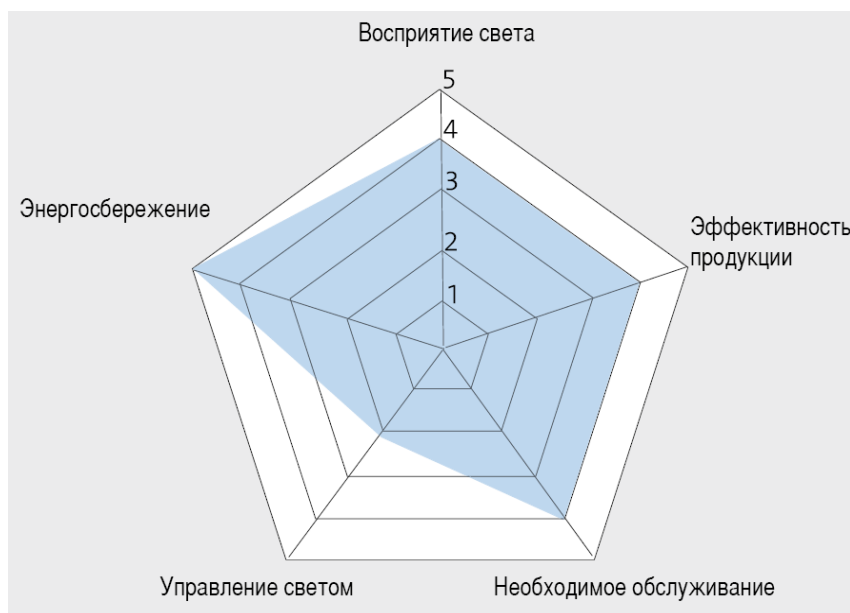


Рис. 40. Критерии расчета индекса AQ

Методика оценки применима как на стадии проектирования, так и для проверки уже существующих систем.

Параметры для оценки общего индекса AQ:

- *Восприятие света.* Основано на общем индексе VBE как субъективной оценке визуальных, биологических и эмоциональных параметров освещения в помещении.

- *Энергопотребление.* Характеризует использование электроэнергии согласно числу LENI по стандарту EN 15193. Рассчитанный индекс LENI описывает энергопотребление в помещении, выраженное в кВтч/м² в год. Данные обрабатываются с помощью DIALux, результат расчетов энергетической оценки помещения или наружной сцены согласно LENI можно найти в ведомости «Энергетическая оценка».
- *Эффективность продукции* – для светильников, включая источники света – указывается как индекс LLE для всех светильников в помещении. Рассчитанный LLE измеряется в люмен/Вт.

Управление светом. Описывает типы систем контроля освещения, используемые в помещении.

Необходимое обслуживание – временной интервал для обслуживания системы освещения, включая чистку, сервисное обслуживание и замену ламп, рекомендованные проектировщиком.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

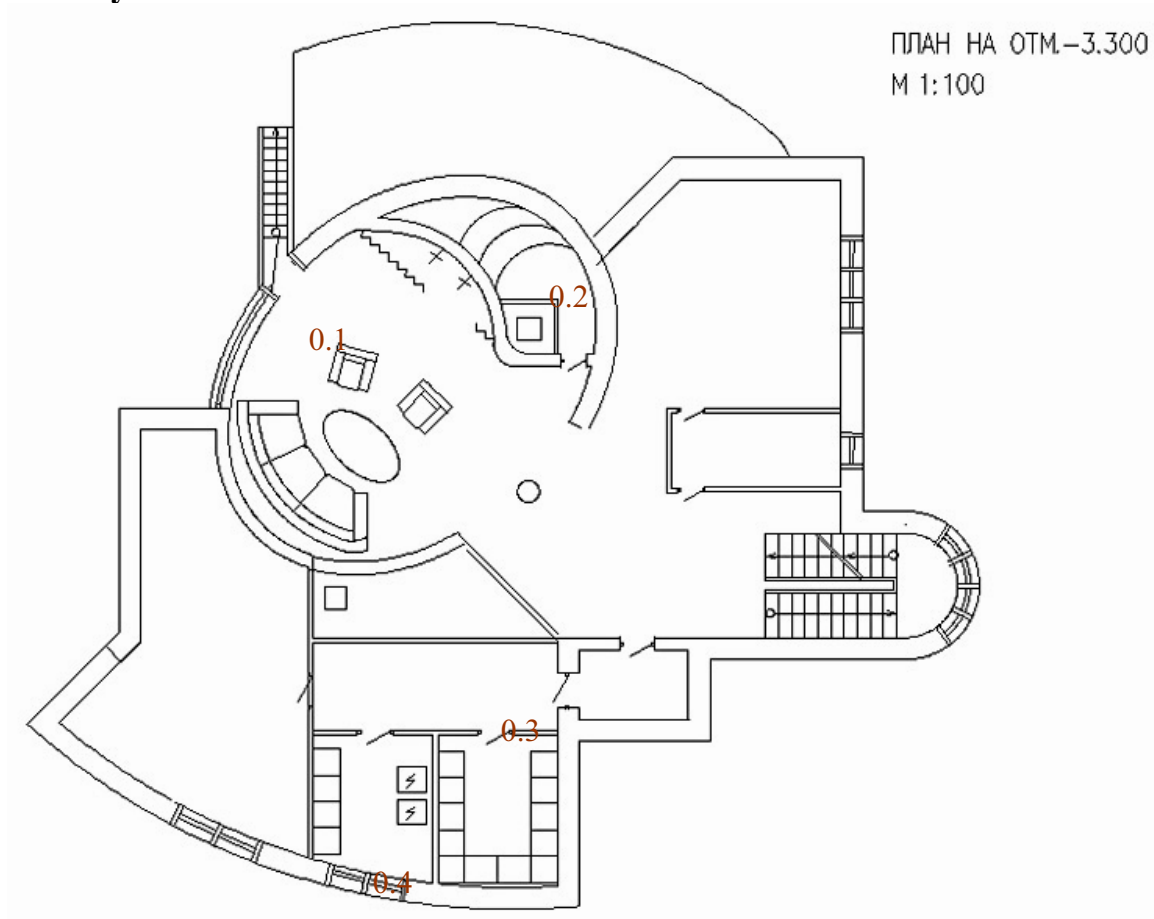
№	Примерные темы на курсовое проектирование ОУ	исходные данные		ОИФ студента	№ Задания, дата
		объект	примечание		
1	Зонирование пространства, стилистика жилого помещения		L-образное помещение $S \geq 50\text{м}^2$		7
2	Использование поворотных светильников в разработке осветительных установок		$S \geq 50\text{м}^2$		2
3	Планирование и расчет аварийного освещения		$S \geq 100\text{м}^2$		8
4	Планирование и расчет ОУ с учетом дневного света		помещение прямоугольной формы $S \geq 50\text{м}^2$		3
5	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>гостиной</i> в жилом доме	МД план 1.8			5
6	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>детской комнаты</i>	МД план 2.4			8
7	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>комнаты для гостей</i> в жилом доме	МД план 1.7			2
8	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>комнаты отдыха</i> в жилом доме	МД план 1.2			7
9	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>офисного помещения</i>		$S \geq 50\text{м}^2$		1
10	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>производственного помещения</i>	МД план 0.3			6
11	Разработка дизайн-проекта и расчет осветительной установки <i>столовой комнаты</i> в жилом доме	МД план 1.6			4
12	Расчет и планирование ОУ со светодиодами в жилых помещениях		$S \geq 50\text{м}^2$		7
13	Туннельное освещение, разработка дизайн-проекта и расчет ОУ		$S \geq 100\text{м}^2$		4
14	Учет энергетической оценки для планирования и расчета осветительной установки		чистое помещение, $S \geq 50\text{м}^2$		2
15	Экономический анализ эффективности замены ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы в жилых помещениях		$S \geq 50\text{м}^2$		1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

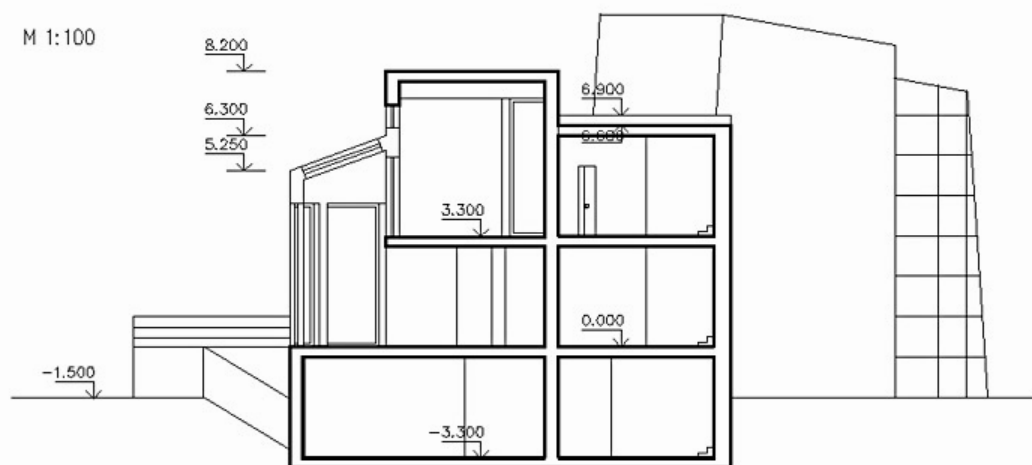
№ задания по указанию преподавателя	Перечень дополнительных вопросов, подлежащих разработке	Срок сдачи готовой работы	
		На проверку	Защита проекта
1	1. Расчет рабочего места 2. Создание общей системы освещения		
2	1. Расчет ОУ с применением спектров стандартных ламп 2. Построение сцен освещения с элементами управления		
3	1. Расчет рабочего места 2. Построение сцен освещения с элементами управления		
4	1. Ввод и оценка состояния освещенности по расчетным точкам 2. Создание общей системы освещения		
5	1. Планирование кругового расположения светильников 2. Энергетическая оценка помещения		
6	1. Обработка коэффициентов технического содержания 2. Ввод и оценка состояния освещенности по расчетным поверхностям		
7	1. Расчет ОУ с применением цветных фильтров 2. Построение сцен освещения с элементами управления		
8	1. Ввод и оценка состояния освещенности по расчетным точкам 2. Создание системы освещения с элементами управления		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Многоэтажный дом Нулевой этаж

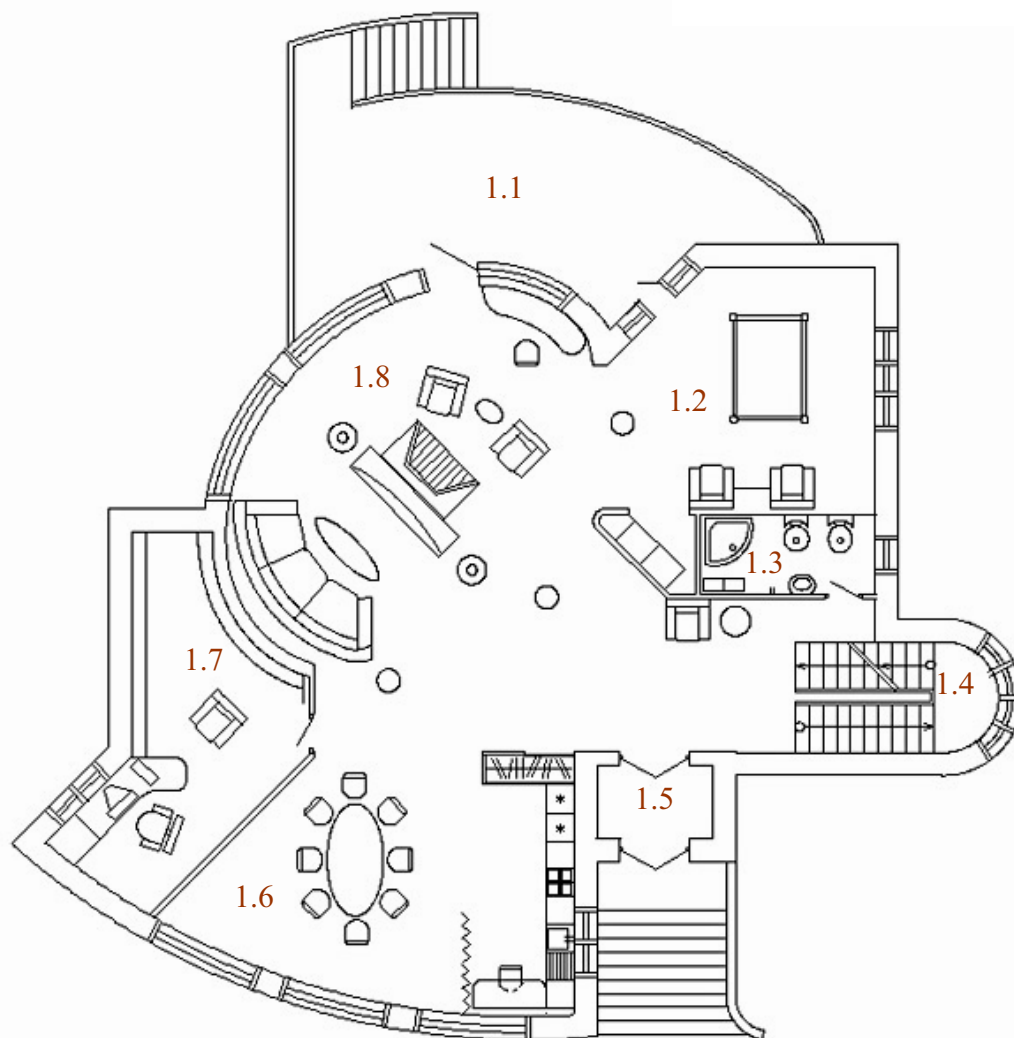


РАЗРЕЗ 1-1 М 1:100

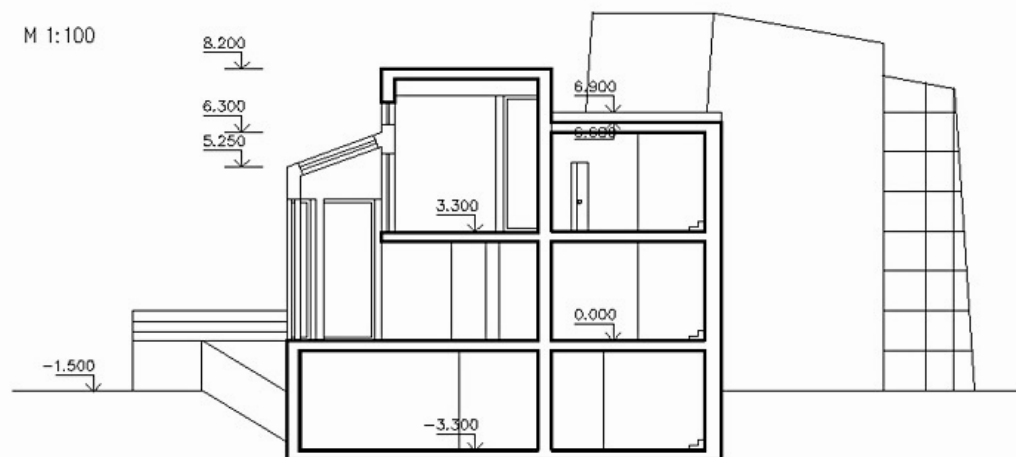


Многоэтажный дом
Первый этаж

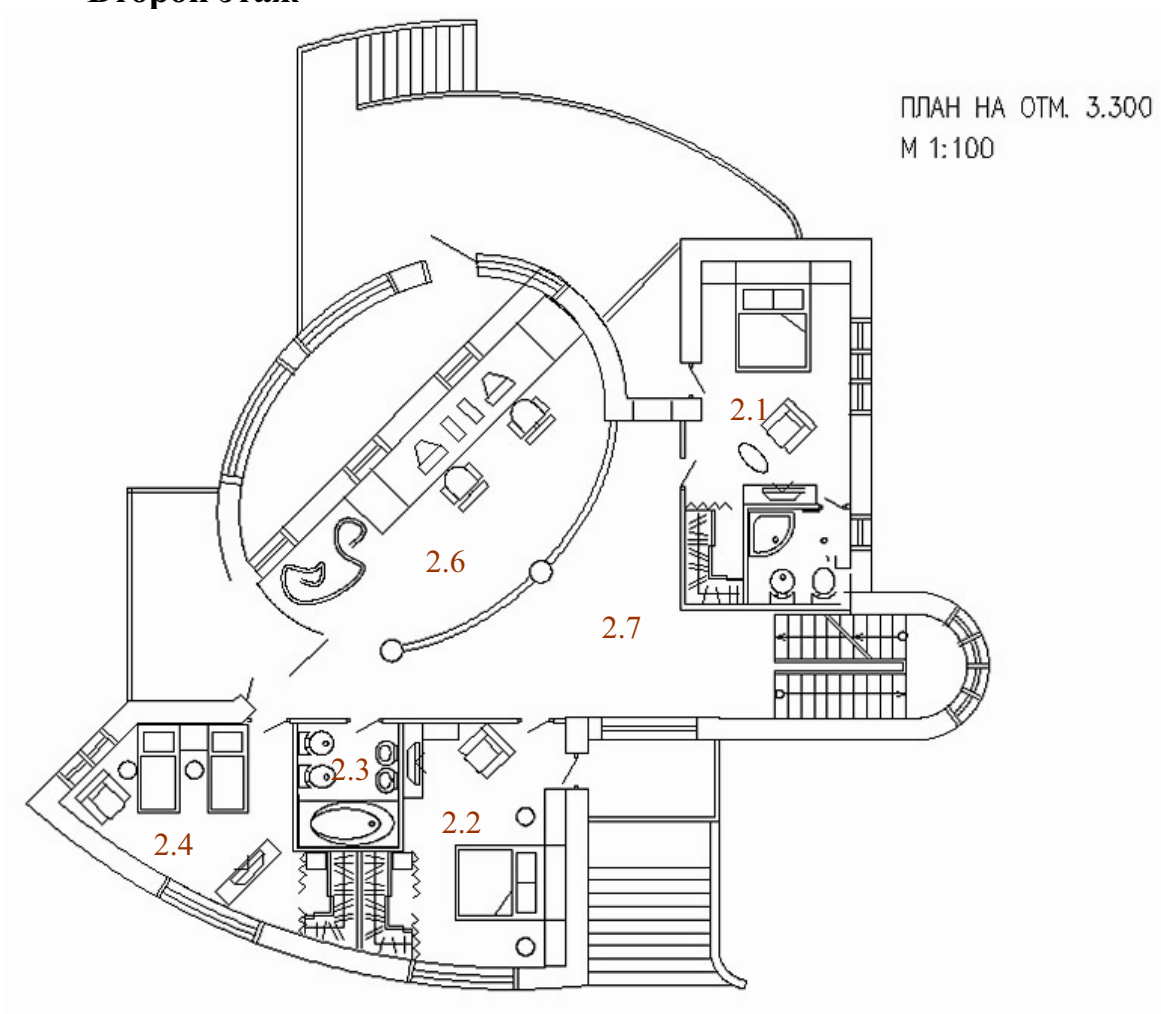
ПЛАН НА ОТМ.0.000
М 1:50



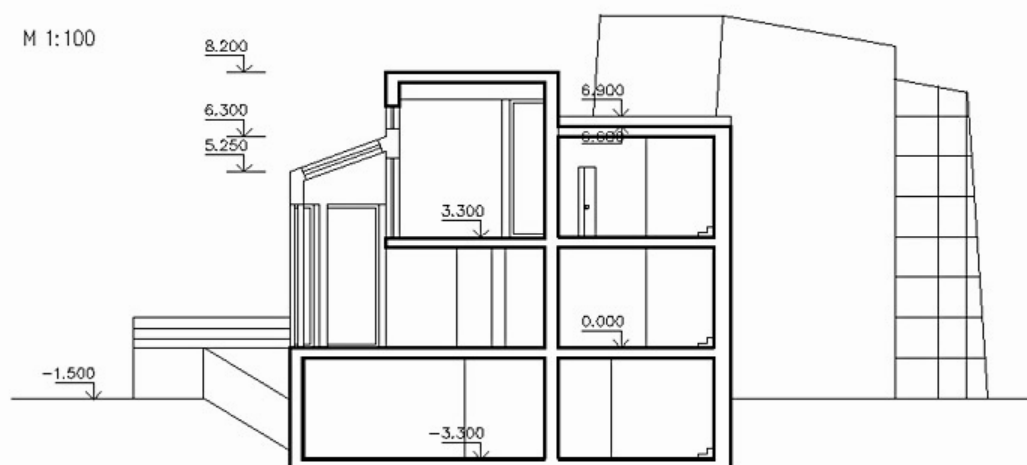
РАЗРЕЗ 1-1 М 1:100



Многоэтажный дом
Второй этаж



РАЗРЕЗ 1-1 М 1:100



ВИД 1



ВИД 2



Список литературы

1. Общий обзорный каталог Брайтэлек // СветоДизайнПроект. – 2008. – № 1. – С. 31–40.
2. Руководство пользователя DIALux 4.5 // DIAL GmbH, Lüdenscheld, 2007. – 197 с.
3. DIALux версия 4.5 // Программный продукт DIAL GmbH, DIALux версия 4.5. – Германия, 2007.
4. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 2003. – С. 42–89.
5. Справочная книга по светотехнике / Московский дом света; под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
6. Петров В.И. Новые европейские нормы освещения // Новости светотехники / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – Москва, 1998. – № 4. – С. 11–18.
7. Официальный сайт ООО «Русская промышленная компания» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа <http://www.cad.ru>.
8. Официальный сайт ООО «HAGERSYSTEMS» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа: <http://www.hagersystems.ru>.
9. Кнорринг Г.М. и др. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – СПб., 1992. – 285 с.
10. Шалыгин А.А. Новые требования ПУЭ к электрической части осветительных установок, вопросы электробезопасности // Новости светотехники. – М., 2001. – № 1. – С. 28–29.
11. Буддак В.П., Макаров Д.Н. Программы расчета и визуализации осветительных установок // Новости светотехники. – М., 2005. – № 3. – С. 23–34.
12. Куликов В.П. Стандарты инженерной графики: учебное пособие. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2007. – 240 с.
13. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления. СТО ТПУ 2.5.01-2006 [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа <http://standard.tpu.ru/stdpredp/stp42i.doc>.
14. Архитектурная физика: учебник / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина и др; под ред. Н.В. Оболенского. – стер. изд. – М.: Стройиздат, 2001. – 448 с.
15. Ашкенази Г.И. Цвет в природе и технике / Г.И. Ашкенази. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1974. – 89 с.
16. Миллс Э. Потенциальные возможности всемирного энергосбережения в освещении // Светотехника. – 2002. – № 6. – С. 5–11.

17. Уайт Т. Стабильность окружающей среды и освещение // Светотехника. – 2004. – № 5. – С. 21–24.
18. Панова В.Н., Шестакова М.А. Художественные принципы создания витрины: назначение и организация витринного пространства // XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии»: сборник трудов: в 3 т. – Т. 3. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – С. 554–556.
19. Жданова Е.Г., Овчаров А.Т. Энергосбережение в осветительных установках. – Томск, 2003. – 105 с.
20. Развитие светотехники. Светильники серии Trade Line PHILIPS, [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа: <http://www.pdfactory.com>.
21. Свет для работы – освещение офисов. Модели оценки качества освещения (VBE&AQ индексы) / FAGERHULT BELYSNING AB [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа: [http://www.fagerhult.com\(ru\)](http://www.fagerhult.com(ru)).
22. Светильники Fagerhult // FAGERHULT BELYSNING AB [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2008. – Режим доступа: <http://www.fagerhult.ru>.

ЧАСТЬ 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА СВЕТО- И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТЕЙ ОУ

ГЛАВА 1. МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

1.1. Значение метода

Метод коэффициента использования (КИ) предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. Понятие КИ определяется, например, в книгах Г.М. Кнорринга [1, 2]. КИ можно представить двояко [3]:

$$\eta = \eta' + \eta_{\text{отр}} \quad (1.1)$$

либо
$$\eta = \eta_{\text{сн}} + \eta_{\text{отр}} \quad (1.2)$$

где, соответственно, η' и $\eta_{\text{отр}}$ – прямая и отраженная составляющие КИ, а $\eta_{\text{сн}}$ и $\eta_{\text{ном}}$ – КПД светового прибора и потока в помещении. В пособие включены ставшие уже традиционными задачи на определение коэффициента первичного использования для точечного (по CoHu) и линейного излучателя (по Einhorn'у, 1964). Получены (видимо, впервые в светотехнической литературе), решения задач, использующие теплотехнические подходы для определения: светового загрязнения [4]; потока, падающего на тело человека, от двухмерного излучателя на потолке [5] и от электронагревателя на стене [6]. (В пособие не включены). Любопытное совпадение во времени: в 3-м издании «Справочной книги по светотехнике» [7] также появились ссылки на теплотехнические работы. Эффект от взаимопроникновения и обогащения свето- и теплотехники не случаен [8].

В большинстве стандартного уровня задач по проектированию ОУ находится полное значение КИ, без выделения слагаемых по (1.1) или сомножителей по (1.2), либо составляющих η_{Ω} и η_{σ}

При расчете по методу КИ требуемый поток лампы

$$\Phi_{\lambda} = E \cdot z \cdot S \cdot k \cdot (N \cdot n \cdot \eta)^{-1}, \quad (1.3)$$

где E – минимальная освещенность, лк; k – коэффициент запаса; S – освещаемая площадь, м²; z – коэффициент минимальной освещенности, $z = E_{\text{ср}} / E_{\text{мин}}$ [12]; N – число светильников; n – число ламп в светильнике; η – КИ в долях единицы (в западных источниках вместо k используется Maintenance Factor $MF = k^{-1}$).

Для определения КИ находится индекс помещения

$$i = A \cdot B \cdot h^{-1} \cdot (A + B)^{-1}, \quad (1.4)$$

где A и B – длина и ширина помещения, м; h – расчетная высота, м; учитываются коэффициенты отражения поверхностей: потолка – ρ_n , стен – ρ_c , расчетной или пола – ρ_p .

По выражению (1.3) выбирается ближайшая стандартная лампа с потоком Φ_L , удовлетворяющая условию $0,9 \leq \frac{\Phi_L}{\Phi} \leq 1,2$. При невозможности выбора с таким приближением корректируется число светильников N . При однозначно заданном Φ_L формула решается относительно N и может быть использована для определения ожидаемой E , если другие величины заданы.

В ряде случаев задача усложняется. Так, при учете эффекта свода необходимо воспользоваться понятием «условный потолок» [2]. При меняющейся расчетной высоте, при площади расчетной поверхности, зависящей от высоты, при криволинейных в плане или (и) разрезе боковых поверхностях, необходимо применять индекс ind [3]. При поверхности, неоднородной по величине коэффициента отражения, следует найти его средневзвешенное значение. В задачах используется распределение люминесцентных светильников на группы по «Справочной книге для проектирования электрического освещения» [1]. КИ для некоторых светильников и ряда наборов коэффициентов отражения даны в табл. 1.1. Значения КИ для случая $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0 - 0 - 0$ позволяют найти прямую и затем отраженную составляющую освещенности. В задачах используются традиционная форма записи: исходные данные – слева, решение – справа.

В трудных ситуациях советуем проектировщику обратиться к учебному пособию Вайнштейна В.Б., Никитина В.Д. «Расчет освещения комбинированным методом» (1974г.). В мультитаблице на с. 74–76 [3] анализируется «анатомия» метода КИ, сравниваются формулы, абсолютные и относительные погрешности всех имеющих самостоятельное значение методик для расчета: коэффициента первичного использования, КИ потока в нижней полусфере, КИ потока в верхней полусфере, полного КИ. В частности, последний оценен методами Ветцеля ZFI (США), МЭИ, Кнорринга-Герсонской, Кнорринга-Сорокиной, графоаналитическим Вайнштейна-Никитина и др.

Таблица 2.1

Коэффициенты использования светового потока

Тип светильника	Астра 1,11,12	НПД- 500	УП- 24	ППР		НСПОЗ	Шар		УПД ДРЛ	ПВЛМ-Д, ЛД (гр. 1)	ЛСПО2, ЛДР (гр. 3)		ШОД		ЛДОР	
ρ_n	0,5	0	0	0,7	0,5	0	0,7	0	0	0,7	0	0,7	0,5	0	0,7	0
ρ_c	0,3	0	0	0,5	0,7	0	0,5	0	0	0,5	0	0,5	0,3	0	0,5	0
ρ_p	0,1	0	0	0,3	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0
Индекс	Коэффициенты использования, %															
0,5	20	13	18	19	12	3	15	3	18	27	16	24	16	22	14	10
0,6	26	16	22	24	15	6	19	7	26	32	20	31	20	28	18	12
0,7	34	21	25	29	19	9	23	10	29	36	24	35	24	35	24	14
0,8	38	26	29	33	23	11	26	11	33	39	28	38	27	35	24	16
0,9	41	27	32	35	25	13	28	12	35	42	31	41	30	38	27	18
1	43	28	36	37	26	15	30	13	38	45	34	44	33	41	29	19
1,1	45	30	38	40	28	16	32	14	40	48	36	46	36	43	31	20
1,25	47	31	40	43	30	17	34	15	42	50	39	48	38	46	34	22
1,5	50	34	43	46	32	19	36	16	45	54	44	52	42	50	37	24
1,75	53	36	45	49	35	20	38	17	48	57	47	55	45	53	40	25
2	55	38	47	52	37	20	40	18	51	59	49	57	48	55	42	27
2,25	57	40	49	54	39	21	42	19	52	62	52	59	50	57	44	28
2,5	59	41	50	56	40	22	43	20	53	63	54	60	51	59	45	29
3	62	44	52	60	43	24	45	21	56	65	56	62	54	61	48	30
3,5	64	45	54	62	45	25	48	21	57	67	58	64	55	63	60	31
4	66	48	55	64	47	26	49	25	58	68	59	65	57	65	52	32
5	69	49	57	57	49	29	52	27	60	70	62	67	60	67	53	34

1.2. Светильники с лампами накаливания и дуговыми ртутными лампами

1.2.1. Шесть светильников ППР должны обеспечить $E = 50$ лк на полу помещения $A - B - h = 10 - 6 - 3$ (м) при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$. Определите мощность лампы и отклонение по потоку.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
6 светильников ППР $E = 50$ лк $A - B - h = 10 - 6 - 3$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $P_{\text{Л}} = ?$ $\Delta \Phi_{\text{Л}} = ?$	Находим индекс помещения $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{10 \cdot 6}{3 \cdot (10 + 6)} = 1,25.$ По табл. 5–5 [1] находим $\eta = 0,3$. Требуемое значение потока лампы $\Phi = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 60 \cdot 1,15}{1 \cdot 6 \cdot 0,3} = 2500 \text{ (лм)}.$ По табл. 2–2 [1] находим лампу Г 215-225-220 (по «Справочной книге по светотехнике» [7] $\Phi_{\text{Л}} = 2880 \dots 3150$ лм). Отклонение по потоку +12 %

1.2.2. Определите среднюю освещенность $E_{\text{ср}}$ на участке размером $A - B - h = 16 - 8 - 4,2$ (м) при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. В помещении установлено 8 светильников «Шар молочного стекла» (лампы Г 215-225-150, $\Phi_{\text{Л}} = 2040 \dots 2220$ лм)

ДАНО	РЕШЕНИЕ
8 светильников «Шар молочного стекла» лампы Г 215-225-150 $A - B - h = 16 - 8 - 4,2$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ $E_{\text{ср}} = ?$	Воспользовавшись коэффициентом минимальной освещенности, найдем $E_{\text{ср}} = E_{\text{мин}} \cdot z = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{k \cdot S}.$ Находим индекс помещения $i = \frac{16 \cdot 8}{4,2 \cdot 24} = 1,3 \approx 1,25.$ Находим по табл. 5–8 [1] $\eta = 0,34$, отсюда $E_{\text{ср}} = \frac{2040 \cdot 8 \cdot 0,34}{1,3 \cdot 16 \cdot 8} = 33,3 \text{ (лк)}$

1.2.3. Определите количество светильников ППР-100 в помещении (г. Иркутск) размером $A-B-h=18-6-5$ (м) при высоте свеса $h_c=0,7$ м, высоте расчетной поверхности $h_p=0,8$ м, коэффициентах отражения $\rho_n-\rho_c-\rho_p=0,7-0,5-0,3$. Необходимо обеспечить $E=50$ лк при $k=1,3$, $e_n^{III}=0,3\% < 0,4\%$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Светильники ППР-100 $A-B-h=18-6-5$ (м) $h_c=0,7$ м $h_p=0,8$ м $\rho_n-\rho_c-\rho_p=0,7-0,5-0,3$ $E=50$ лк $k=1,3$, $e_n^{III}=0,3\% < 0,4\%$. $N=?$	$h=H-h_c=5-0,7-0,8=3,5$ (м). Находим индекс помещения $i=\frac{A \cdot B}{h(A+B)}=\frac{18 \cdot 6}{3,5 \cdot 24}=1,25.$ Тогда $\eta=0,43$ (по табл. 5–5 [1]). Поток Φ берем по табл. 2–2 [1]. В соответствии с п. 3, 4 [9] $E=75$ лк, $N=\frac{75 \cdot 1,15 \cdot 1,3 \cdot 18 \cdot 6}{0,43 \cdot 1450}=19$

1.2.4. Помещение (рис. 1.1) требуется обеспечить 8 светильниками «Астра» освещенностью $E=75$ лк при $k=1,3$, коэффициентах отражения $\rho_n-\rho_c-\rho_p=0,5-0,3-0,1$, $h=4$ м. Определите мощность лампы.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
8 светильников «Астра» $E=75$ лк $k=1,3$ $\rho_n-\rho_c-\rho_p=0,5-0,3-0,1$ $h=4$ м $\Phi_{\text{л}}=?$	Ввиду невыпуклости помещения на плане находим (в соответствии с пособием Вайнштейна В.Б., Никитина В.Д. [3]) индекс ind , по нему i и затем η : $S_{\text{расч}}=8 \cdot 10+6 \cdot 4=104 \text{ (м}^2\text{)},$ $S_{\text{остальн}}=S_n+S_{\text{стен}}=104+10 \cdot 4+12 \cdot 4+6 \cdot 4+2 \cdot 4 \cdot 4=280 \text{ (м}^2\text{)},$ $ind=\frac{104}{280}=0,37; i=\frac{2ind}{1-ind}=\frac{2 \cdot 0,37}{1-0,37}=1,1,$ $\eta=0,45$ (по табл. 5–3 [1]). Поток $\Phi=\frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{N \cdot \eta}=\frac{75 \cdot 1,15 \cdot 104 \cdot 1,3}{8 \cdot 0,45}=3250 \text{ (лм)}.$ По табл. 2–2 [1] находим лампу Б 215-225 с $\Phi_{\text{л}}=2920$ (лм)

1.2.5. Рассчитайте коэффициент первичного использования светового потока светильника с кривой силы света $I_{\alpha} = const = 100 \text{ кд}$, установленного на высоте 4 м и координируемого размерами $a = 4 \text{ м}$, $b = 6 \text{ м}$, $c = 8 \text{ м}$, $d = 9 \text{ м}$. Значение зональных потоков приведены в табл. 1.7.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$I_{\alpha} = const = 100 \text{ кд}$ $h = 4 \text{ м}$ $a = 4 \text{ м}$, $b = 6 \text{ м}$, $c = 8 \text{ м}$, $d = 9 \text{ м}$ $\eta' = ?$	Воспользуемся методом Кою. Имеем $\frac{a}{h} = \frac{4}{4} = 1; \quad \frac{b}{h} = \frac{6}{4} = 1,5; \quad \frac{a}{h} = \frac{8}{4} = 2; \quad \frac{b}{h} = \frac{9}{4} = 2,25.$ Расчет представлен в табл. 1.3. Суммарный для всех квадрантов поток составляет 308,4 лм. Коэффициент первичного использования $\eta' = 308,4 : 628,1 = 0,49$

1.2.6. Рассчитайте коэффициент использования потока нижней полусферы для светильника $I_{\alpha} = const = 100 \text{ кд}$ при $\lambda = 1,0$; $i = 1,5$. Используйте зональные множители Джонса–Нейдхарта; значения зональных потоков принять по табл. 1.3; можно ли использовать для решения метод Кою?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$I_{\alpha} = const = 100 \text{ кд}$ $\lambda = 1,0$; $i = 1,5$ $\eta' = ?$	Расчет представлен в табл. 1.8. Коэффициент первичного использования $\eta' = 238,9 : 628,1 = 0,38$. Использовать метод Соли нецелесообразно

1.2.7. В зале размером $A - B - h = 25 - 15 - 8 \text{ (м)}$, на высоте 5 м от пола подвешены светильники отраженного света с лампами КГ 220-2000-4. Коэффициенты отражения потолка и стен выше светильников – 0,7; остальной поверхности стен – 0,5; пола – 0,1. Уровень расчетной поверхности $h = 0,8 \text{ м}$. Определите коэффициент отражения «условного потолка» и число светильников для создания $E = 300 \text{ лк}$ при $k = 1,5$. КПД светильника $\eta_c = 0,7$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 25 - 15 - 8(\text{м})$ $h = 5 \text{ м}$ СП отраженного света лампы КГ 220-2000-4 Коэффициенты отражения потолка и стен выше светильников – 0,7; остальной поверхности стен – 0,5; пола – 0,1 $h = 0,8 \text{ м}$ $E = 300 \text{ лк}, \kappa = 1,5$ $\eta_c = 0,7$ $\rho_n = ?$ $N = ?$	Находим площадь потолка и стен выше светильников: $S_n = 15 \cdot 25 = 375 (\text{м}^2)$, $S_c = 2 \cdot 3 \cdot (25 + 15) = 240 (\text{м}^2)$. Коэффициент отражения условного потолка на уровне светильников [2]: $\rho_n = \frac{\rho_{св} \frac{S_n}{S_{св}}}{1 - \rho_{св} \left(1 - \frac{S_n}{S_{св}}\right)} = \frac{0,7 \frac{375}{375 + 240}}{1 - 0,7 \left(1 - \frac{375}{375 + 240}\right)} = 0,59.$ Находим индекс помещения $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{375}{4,2 \cdot (25 + 15)} = 2,25.$ Из табл. 5–11 [1] берем $\eta = 0,57$ и $\eta = 0,62$, соответственно, для наборов $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,5 - 0,1$ и $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Интерполируя между $\rho_n = 0,5$ и $\rho_n = 0,7$, находим $k_{np} = 0,57 + (0,62 - 0,57) \frac{0,09}{0,2} = 0,59 \text{ (или)}$ $k_{np} = 0,62 - (0,62 - 0,57) \frac{0,11}{0,2} = 0,59.$ Тогда $\eta = \eta_1 \cdot k_{np} = 0,7 \cdot 0,59 = 0,41$. Полный потребный поток ламп $\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S_n}{\eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 374}{0,41} = 406 (\text{кЛм}).$ По табл. 2–11 [1] для ламп КГ 220-2000-4 находим $\Phi_{\text{Л}} = 44 \text{ кЛм}$. Число светильников $N = 408 : 44 = 9$

1.2.8. Рассчитайте ОУ слесарно-механического участка ($A - B - h = 60 - 24 - 4,8$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$) при светильниках ППД-500. Сравните установленную мощность с вариантом ОУ при светильниках ЛСП04-2×40 с лампами ЛБ40-4.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 60 - 24 - 4,8$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ 1) светильники ППД-500 2) светильники ЛСП04-2×40 с лампами ЛБ40-4 $N = ?$	Находим $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{60 \cdot 24}{4,8 \cdot (60 + 24)} = 3,5.$ Для компактности, поскольку требуется сравнение вариантов, решение представлено в табл. 1.9

1.2.9. Обоснуйте выбор исполнения светильника НСП 01×200 для освещения участка гальваники. Рассчитать ОУ ($A - B - h = 48 - 20 - 4$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$) при светильниках НСП01-200 «Астра 12».

ДАНО	РЕШЕНИЕ
светильник НСП 01×200 $A - B - h = 48 - 20 - 4$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ НСП01-200 «Астра 12» $N = ?$	С учетом химически активной среды (участок гальваники) выберем светильник «Астра-12» (НСП 01×200/Д5'3-03). По табл. 4-4к [1] находим $E = 150$ лк; $k = 1,3$; $z = 1,1$. Находим $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{48 \cdot 20}{4 \cdot (48 + 20)} = 3,5.$ По табл. 3-5 [1] $\eta = 0,64$. По табл. 2-2 [1] выбираем лампу Г 215-225, $\Phi_{\text{л}} = 2920$ лм. Находим $N = \frac{150 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 960}{2920 \cdot 0,64} = 110$

1.2.10. Рассчитайте ОУ формовочного цеха ($A - B - h = 120 - 58 - 9$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$) при светильниках УПД ДРЛ-400. Как изменится мощность ОУ при переходе к светильникам УПД ДРЛ с лампой ДРЛ-700. При определении установленной мощности учесть, что мощность ПРА составляет 10 % от мощности лампы ДРЛ.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 120 - 58 - 9$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ 1) светильники УПД ДРЛ-400 2) УПД ДРЛ с лампой ДРЛ-700 $P_{ПРА} \approx 0,1 P_L$ $P_{ОУ1} = ?$ $P_{ОУ2} = ?$	По табл. 2-4 [1] $E = 300$ лк, $k = 1,8$. Находим $i = \frac{120 \cdot 58}{9 \cdot (120 + 58)} = 4,32$. Интерполируя по индексу, находим по табл. 5-10 [1] $\eta = 0,64$. Беря для лампы ДРЛ-400 $\Phi_L = 35\,000$ лм (табл. 2-15 [1]), находим $N = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 120 \cdot 58}{19000 \cdot 0,64} = 340.$ Для лампы ДРЛ-700 $\Phi_L = 35\,000$ лм и $N = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 120 \cdot 58}{35000 \cdot 0,64} = 185.$ Найдем установленную мощность ОУ: $P_{ОУ1} = 340 \cdot 0,4 \cdot 1,1 = 150$ кВт и $P_{ОУ2} = 185 \cdot 0,7 \cdot 1,1 = 142$ кВт. При переходе к лампам ДРЛ-700 экономия по цеху составляет 8 кВт

1.2.11. Рассчитайте осветительную установку зала (разрез на рис. 1.7) длиной 20 м, по стенам которого на высоте 5 м оборудуется карниз. Коэффициенты отражения: свода – 0,7; остальной поверхности стен – 0,5; пола – 0,1. Нормируемая освещенность $E = 75$ лк. Сравните использование ламп накаливания нормальных осветительных ($K_k = 0,6$) и зеркальных ($K_k = 0,8$). Принять коэффициент запаса $k_z = 1,3$. Значение $k_{лр}$ найти интерполяцией с использованием книги Г.М. Кнорринга [2] и по двухквдратной номограмме [10].

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A = 20$ м $h = 5$ м Коэффициенты отражения: свода – 0,7 остальной поверхности стен – 0,5 пола – 0,1 $E = 75$ лк $\kappa_3 = 1,3$ $k_{ПР} = ?$	Находим площадь пола и свода: $S_n = 20 \cdot 10 = 200 (\text{м}^2)$; $S_{св} = \pi \cdot R \cdot l = 3,14 \cdot 5 \cdot 20 = 314 (\text{м}^2)$. Коэффициент отражения условного потолка на уровне карниза: $\rho_n = \frac{\rho_{св} \frac{S_n}{S_{св}}}{1 - \rho_{св} \left(1 - \frac{S_n}{S_{св}}\right)} = \frac{0,7 \frac{200}{314}}{1 - 0,7 \left(1 - \frac{200}{314}\right)} = 0,59.$ Находим индекс помещения $i = \frac{20 \cdot 10}{4,2 \cdot 30} = 1,6$. Из табл. 5–8 [1] берем $\eta = 0,39$ и $\eta = 0,33$, соответственно, для наборов $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ и $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,5 - 0,1$. Интерполируя между значениями $\rho_n = 0,5$ и $\rho_n = 0,7$, находим: $k_{np} = 0,33 + (0,39 - 0,33) \frac{0,09}{0,2} = 0,34;$ $k_{np} = 0,39 - (0,39 - 0,33) \frac{0,11}{0,2} = 0,34.$ Далее находим $\eta = \eta_k \cdot k_{np}$ и затем полный потребный поток ламп $\Phi = E \cdot k \cdot S_n \cdot \eta^{-1}$. Расчеты сведены в табл. 1.11. При окончательном выборе варианта ОУ необходимо учесть качество освещения (равномерность распределения яркости по своду). Найти k_{np} можно, но менее точно, с помощью табл. 1.12, заимствованной из «Справочной книги» [1]

1.3. Светильники с люминесцентными лампами

1.3.1. Определите сторону квадратного помещения, если $h = 3$ м, коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$, КИ $\eta = 0,63$ (светильники 1-й группы).

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Квадратное помещение $h = 3$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ $\eta = 0,63$ светильники 1-й группы $A = ?$	По табл. 5–11 [1], пользуясь известными значениями η и $\rho_n - \rho_c - \rho_p$, находим $i = 2,5$. Для квадратного помещения $i = \frac{A}{2h}$, отсюда $A = 2 \cdot i \cdot h = 2 \cdot 2,5 \cdot 3 = 15$ (м ²)

1.3.2. Определите число светильников ШОД-2×40 (лампы ЛБ-40-4) в конструкторском бюро размером $A - B - h = 12 - 6 - 3$ (м) при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ для создания $E_r = 400$ лк при $k = 1,5$, $z = 1,1$. Обоснуйте возможность проверки методом КИ, создается ли $E \geq 300$ лк в плоскости чертежного стола (угол с горизонтом $\theta = 60^\circ$).

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Светильники ШОД-2×40 лампы ЛБ-40-4 $A - B - h = 12 - 6 - 3$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $E_r = 400$ лк $k = 1,5$, $z = 1,1$ При $\theta = 60^\circ$ $E_\theta \geq 300$ лк $N = ?$	$N = \frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{\Phi \cdot \eta};$ $i = \frac{12 \cdot 6}{3,5 \cdot (12 + 6)} = 1,33 \approx 1,25.$ Находим $\eta = 0,34$ по табл. 5–17 [1]. Тогда $N = \frac{400 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 6}{2850 \cdot 2 \cdot 0,34} = 24.$ Оценить методом КИ величину $E_{\theta=60^\circ}$, применяя «обычные» (т. е. для $\theta = 0^\circ$) значения η , не представляется возможным

1.3.3. Определите число светильников ЛСП 02-2×40 с лампами ЛБ-40-4 в административно-конторском помещении с размерами $A - B - h = 18 - 15 - 4,2$ (м) при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ для создания освещенности $E = 500$ лк при $k = 1,5, z = 1,1$. Как изменится число светильников при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ (при прочих равных условиях)? Какие факторы могут повлиять на число СП?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Светильники ЛСП 02-2×40 лампы ЛБ-40-4 $A - B - h = 18 - 15 - 4,2$ (м) 1) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ 2) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $E = 500$ лк $k = 1,5, z = 1,1$ $N = ?$	Индекс помещения $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{18 \cdot 15}{4,2 \cdot 33} = 1,95 = 2.$ По табл. 5-5 [1] найдем $\eta_1 = 0,65$. $N_1 = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 15 \cdot 1,1}{5700 \cdot 0,65} = 60.$ При изменившихся значениях коэффициента отражения $\eta_2 = 0,55$, количество светильников $N_2 = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 15 \cdot 1,1}{5700 \cdot 0,55} = 71, \text{ или, проще,}$ $N_2 = N_1 \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{60 \cdot 0,65}{0,55} = 71. \text{ При компо-}$ новке это число может измениться

1.3.4. Постройте зависимость числа светильников от высоты $N = N(h)$ для значений $h = 2 - 3 - 4 - 6 - 8 - 10$ (м) в квадратном помещении $S = 200 \text{ м}^2$ при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Одно общее освещение, разряд зрительной работы – $(I_r + 1)$, светильники ЛДОР-2×40, лампы ЛБ-40-4. Пользуясь графиком, определите N при $h = 9$ м.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$h = 2 - 3 - 4 - 6 - 8 - 10(\text{м})$ квадратное помещение $S = 200\text{м}^2$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ освещение общее разряд зрительной работы – $I_r + 1$ светильники ЛДОР-2×40 лампы ЛБ-40-4 $N = N(h)$ определить N при $h = 9\text{м}$	Число светильников $N = \frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{\Phi \cdot \eta}$. По табл. 4–1 [1] при разряде зрительной работы ($I_r + 1$) $E = 500\text{лк}$; $A = B = \sqrt{S} = \sqrt{200} = 14,1(\text{м})$. Для помещения квадратной формы $i = \frac{A}{2h} = \frac{\sqrt{S}}{2h} = \frac{14,1}{2h}$. Дальнейшие расчеты представлены в табл. 1.2, причем значения η были найдены по табл. 5–11 [1]. По данным табл. 1.4 построен рис. 1.2. По графику при $h = 9\text{м}$ найдем $N = 80$. Проверим этот результат: $i = \frac{14,1}{2 \cdot 9} = 0,8$; $\eta = 0,36$; $N = \frac{165000}{5700 \cdot 0,36} = 80$

1.3.5. Определите при лампах – 1) ЛБ-40-4; 2) ЛД-40-4; 3) ЛДЦ-40-4 – освещенность в помещении размером $A - B - h = 18 - 9 - 6(\text{м})$, если высота свеса $h_c = 0,8\text{ м}$; $h_p = 0,8\text{ м}$, коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Установлено 28 светильников ЛД-2×40. При нахождении η интерполировать по индексу помещения. Изменится ли соотношение освещенностей при изменении числа СП? Назовите недостатки приводимой в решении таблицы.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Лампы: 1) ЛБ-40-4 2) ЛД-40-4 3) ЛДЦ-40-4 $A - B - h = 18 - 9 - 6(\text{м})$ $h_c = 0,8\text{ м}$, $h_p = 0,8\text{ м}$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ 28 светильников ЛД-2×40 $E = ?$	$E = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{k \cdot S}$; $h = H - h_c - h_p = 6 - 0,8 - 0,8 = 4,4(\text{м})$; $i = \frac{18 \cdot 9}{4,4 \cdot (18 + 9)} = 1,36$. Линейная интерполяция дает $\eta_{1,36} = \eta_{1,25} + (\eta_{1,5} - \eta_{1,25}) \frac{0,11}{0,25} = 0,52$.

1.3.6. Определите число светильников в помещении машинного зала воздухоудовки с постоянным дежурством персонала с размерами $A - B - h = 12 - 12 - 4$ (м), если высота свеса $h_c = 0,4$ м, высота расчетной поверхности $h_p = 0,8$ м, коэффициенты отражения $\rho_n = 0,7$, $\rho_p = 0,1$. Светильники ШОД-2×40 с лампами ЛБ-40-4; $k_3 = 1,5$; $e_n^{III} = 0,3$ % в III поясе светового климата. Найти средневзвешенное значение коэффициента отражения стен, если коэффициент отражения поверхности стены $\rho_c = 0,6$, коэффициент отражения темных окон $\rho_{ок} = 0,1$ (рис. 1.3).

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 12 - 12 - 4$ (м) $h_c = 0,4$ м $h_p = 0,8$ м $\rho_n = 0,7$, $\rho_p = 0,1$ светильники ШОД-2×40 лампы ЛБ-40-4 $k_3 = 1,5$; $e_n^{III} = 0,3$ % $\rho_c = 0,6$ $\rho_{ок} = 0,1$ $N = ?$	$N = \frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{\Phi \cdot \eta}$ Расчетная высота $h = 4 - 0,4 - 0,8 = 2,8$ (м). Средневзвешенный коэффициент отражения $\rho_{с.в} = \frac{\sum \rho_i S_i}{\sum S_i} = \frac{0,6 \cdot 36 + 0,1 \cdot 12}{36 + 12} = 0,5.$ Индекс помещения $i = \frac{A}{2h} = \frac{12}{2 \cdot 2,8} = 2.$ При $i = 2$ и $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ $\eta = 0,55$ по табл. 5–17 [1]. По приложению 3 [9] определяем $E = 100$ лк. В соответствии с п. 3.4 [9] принимаем $E = 200$ лк. Тогда число СП равно: $N = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 144}{5700 \cdot 0,55} = 15$

1.3.7. Определите коэффициент первичного использования светового потока в помещении размером $A - B - h = 20 - 12 - 4$ (м) при установке двух продольных рядов светильников с косинусным светораспределением в продольной плоскости. Значения силы света в поперечной плоскости приведены в табл. 1.2.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 20 - 12 - 4$ (м) 2 ряда светильников $\eta' = ?$	$\frac{A}{h} = \frac{20}{4} = 5; \quad \frac{B}{h} = \frac{12}{4} = 3.$ Воспользуемся методом Эйнхорна (рис. 3.15, 3.17 [2]), определим η_A и η_B для отдельных зон (табл. 1.6) и $\eta_\gamma = \eta_A \cdot \eta_B$. Коэффициент первичного использования $\eta' = \sum_5^{85} I_\gamma \eta_\gamma \cdot \left(\sum_5^{85} I_\gamma \right)^{-1} = \frac{288}{649} = 0,44$

1.3.8. Рассчитайте ОУ смесеприготовительного отделения литейного цеха ($A - B - h = 84 - 52 - 5$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$) при светильниках Н4БН. То же при светильниках Н0ГЛ-2×80 с лампами ЛБ.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 84 - 52 - 5$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ 1) светильник Н4БН 2) светильник Н0ГЛ-2×80 с лампами ЛБ $N = ?$	Находим $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{84 \cdot 52}{5 \cdot (84 + 52)} = 5.$ Ход решения показан в табл. 1.10

1.3.9. Рассчитайте ОУ краскозаготовительного цеха ($A - B - h = 72 - 36 - 5,5$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$) при светильниках ПВЛМ-Д с лампами ЛДЦ. Оправдан ли выбор типа СП?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 72 - 36 - 5,5$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ светильники ПВЛМ-Д с лампами ЛБ $N = ?$	По приложению 3 [5] находим $E = 150$ лк. В соответствии с п. 3.4 принимаем $E = 200$ лк, $k = 1,8$. По табл. 5–11 [1] для $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ и $i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{72 \cdot 36}{5,5 \cdot (72 + 36)} = 4$ находим $\eta = 0,64$. По табл. 2–12 [1] для лампы ЛДЦ-80-4 $\Phi_\gamma = 3380$ лм. Находим $N = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 72 \cdot 36}{2 \cdot 3380 \cdot 0,64} = 287$. Тип СП оправдан

1.3.10. Обоснуйте необходимость реконструкции ОУ читального зала библиотеки (план на рис. 1.4) при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$. Светильники ЛПО02-2×40 с лампами ЛД. Распределение освещенности по расчетной поверхности в установке достаточно равномерно ($z = 1,1$). Что дает переход на лампы ЛБ?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ светильники ЛПО02-2×40 с лампами ЛД, $\Phi_{\text{Л}} = 2225$ лм $z = 1,1$ Нужна ли реконструкция?	Индекс помещения $i = \frac{20 \cdot 6}{3,6 \cdot (20 + 6)} = 1,25$. По табл. 5–17 [1] находим $\eta = 0,46$. Следовательно, ОУ читального зала создает освещенность: $E = \frac{\Phi \cdot N \cdot n \cdot \eta}{z \cdot S \cdot k} = \frac{2225 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 0,46}{1,1 \cdot 120 \cdot 1,5} = 210$ (лк). Не спасает положение и выбор вместо ЛД40-4 лампы ЛБ40-4, у которой световая отдача выше в $\frac{2850}{2225} = 1,27$ раза, ибо $E = 200 \cdot 1,27 = 255$ (лк). Реконструкция необходима

1.3.11. Рассчитайте ОУ того же зала, удовлетворяющую требованиям действующих норм. Какие факторы, помимо ЕН, влияют на число СП?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ светильники ЛПО02-2×40 с лампами ЛД $z = 1,1$	Выбирая, например, светильник ЛПО02-2×40, по табл. 5–13 [1] находим $\eta = 0,64$. При лампе ЛД40-4 ($\Phi_{\text{Л}} = 2225$ лм по табл. 2–12 [1]): $N = \frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{n \cdot \Phi_{\text{Л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 120}{2 \cdot 2225 \cdot 0,64} = 21.$ Исходя из плана помещения, с учетом табл. 4–16 [1] и сетевых соображений, светильники устанавливаем в 2 ряда по 10 шт. в каждом. Следует, кроме того, проверить выполнение требований к качеству освещения

1.3.12. Рассчитайте ОУ аудитории ($A - B - h = 12 - 6 - 3,3$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$) при светильниках ЛДР2×40 с лампами ЛБ. Обоснуйте расстановку светильников.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A - B - h = 12 - 6 - 3,3$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ светильники ЛДР2×40 с лампами ЛБ	По табл. 2 [9] находим $E = 200$ лк. В соответствии с п. 3.4 [9] принимаем $E = 200$ лк. По табл. 5–11 [1], для $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ и $i = \frac{12 \cdot 6}{3,3 \cdot (12 + 6)} = 1,25$, находим $\eta = 0,53$. Для лампы ЛБ40-4 $\Phi_{\text{Л}} = 2850$ (по табл. 2–12 [1]) находим $N = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 6}{2 \cdot 2850 \cdot 0,53} = 12.$ По табл. 4–16 [1] находим для светильников ЛДР2×40 рекомендуемое значение $\lambda = \frac{L}{h} = 1,4.$ Исходя из плана помещения и с учетом значения λ , выбираем 2 ряда

1.3.13. Рассчитайте ОУ конференц-зала с амфитеатром при светильниках ЛВ001-4×40 с лампами ЛД-40. Ширина зала 25 м, $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$. Продольный разрез дан на рис. 1.5. Принять, что амфитеатр представляет совокупность горизонтальных площадок. Оцените точность решения.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Светильники ЛВ001-4×40 лампы ЛД-40 $B = 25$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ $N = ?$	Находим $ind = \frac{S_p}{S_{oct}} = \frac{50 \cdot 25}{4 \cdot 25 + 12 \cdot 25 + 25 \cdot 50 + (50 \cdot 8) \cdot 2} = 0,51.$ Отсюда $i = \frac{2ind}{1 - ind} = \frac{2 \cdot 0,51}{1 - 0,51} \approx 2.$ Находим по табл. 5–14 [1] $\eta = 0,49.$ По табл. 2–12 [1] световой поток лампы ЛД-40-4 $\Phi_\gamma = 2225$ лм. Тогда $N = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 50 \cdot 25}{4 \cdot 2225 \cdot 0,49} = 91.$ Примечание: решение носит ориентировочный характер, т. к. таблицы коэффициентов использования не рассчитаны на ситуацию, встретившуюся в задаче

1.3.14. Рассчитайте ОУ фойе административно-бытового здания при светильниках УСП-5-6×20, лампы ЛБ-20 ($A - B - h = 30 - 6 - 4,5$ (м), $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$) как скажется на решении переход к набору $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Светильники УСП-5-6×20 лампы ЛБ-20 $A - B - h = 30 - 6 - 4,5$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ $N = ?$	По табл. 2 [9] находим $E = 150$ лк. Находим $i = \frac{30 \cdot 6}{4,5 \cdot (30 + 6)} = 1,1.$ По табл. 5–14 [1] $\eta = 0,39.$ Принимая для лампы ЛБ20-4 $\Phi_\gamma = 1120$ лм (по табл. 2–12 [1]), находим $N = \frac{150 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 6}{6 \cdot 1120 \cdot 0,39} = 17.$ Если $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$, то $\eta = 0,32 \text{ и } N = \frac{150 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 6}{6 \cdot 1120 \cdot 0,32} = 20$

1.3.15. Рассчитайте ОУ производственного помещения (план на рис. 1.6) высотой $h = 5,5$ м, $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ при $E_H = 500$ лк, светильники НОГЛ-2×80, лампы ЛБ. Обосновать возможность применения метода коэффициента использования. Назвать фактор, влияющие на точность расчета.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$h = 5,5$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $E_H = 500$ лк светильники НОГЛ-2×80 лампы ЛБ $E = ?$	Находим $S_p = 98 \cdot 24 + 18 \cdot 30 = 2892$ (м²). Находим $S_{осм} = 4432$ (м²). Отсюда $ind = \frac{S_p}{S_{осм}} = 0,65$, тогда $i = \frac{2ind}{1 - ind} = \frac{2 \cdot 0,65}{1 - 0,65} = 3,72.$ По табл. 5–12 [1] $\eta = 0,50$. Для лампы ЛБ-80 $\Phi_{л} = 4960$ лм (табл. 2–12 [1]), и $E = \frac{482 \cdot 0,5 \cdot 4960 \cdot 2}{1,1 \cdot 1,5 \cdot 2892} = 505$. Примечание: применение метода коэффициента использования возможно, если речь не идет о гарантии освещенности $E = 500$ лк в конкретной точке помещения. В противном случае, а также при негоризонтально ориентированной рабочей поверхности и некоторых других обстоятельствах, задачу необходимо решать точечным методом (если отраженная составляющая освещенности невелика), либо комбинированным методом

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

Таблица 1.2

Зональные значения силы света

Зона, °	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
I_{α} , кД	64	65	69	72	75	78	78	76	72

Таблица 1.3

Зональные значения светового потока

Зона, °	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
Зональный поток, лм	9,5	28,3	46,3	62,8	77,4	89,7	89,2	108,8	109,1

Таблица 1.4

Расчет числа светильников

h , м	$i(h) \Rightarrow i_{\text{табл}}$	$\eta[i(h)]$	$N(h)$
2	$14,1 \cdot (2 \cdot 2)^{-1} = 3,5$	0,63	$\frac{500 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 200}{5700 \cdot 0,63} = \frac{29}{0,63} = 46$
3	$14,1 \cdot (2 \cdot 3)^{-1} = 2,35 \Rightarrow 2,25$	0,58	$\frac{29}{0,58} = 50$
4	$14,1 \cdot (2 \cdot 4)^{-1} = 1,76 \Rightarrow 1,75$	0,54	$\frac{29}{0,54} = 53$
6	$14,1 \cdot (2 \cdot 6)^{-1} = 1,18 \Rightarrow 1,25$	0,47	$\frac{29}{0,47} = 61$
8	$14,1 \cdot (2 \cdot 8)^{-1} = 0,88 \Rightarrow 0,9$	0,4	$\frac{29}{0,4} = 72$
10	$14,1 \cdot (2 \cdot 10)^{-1} = 0,71 \Rightarrow 0,7$	0,33	$\frac{29}{0,33} = 88$

Таблица 1.5

Лампа	ЛБ	ЛД	ЛДЦ
E , лк	299	233	209

Таблица 1.6

Решение задачи по Einhorn'у

Зона, °	I_γ , кД	η_A	η_B	η_γ	$I_\gamma \eta_\gamma$
0–10	64	0,88	0,98	0,86	55
10–20	65	0,87	0,9	0,78	50,7
20–30	69	0,86	0,83	0,71	49
30–40	72	0,84	0,76	0,64	46
40–50	75	0,82	0,65	0,53	39,7
50–60	78	0,78	0,53	0,41	32
60–70	78	0,72	0,28	0,2	15,6
70–80	76	0,6	0	0	0
80–90	72	0,28	0	0	0
	649				288

Таблица 1.7

Решение задачи по Соли

Зона, °	Φ , лм	η_a	η_b	η_c	η_d	Первичный Φ			
1	2	3	4	5	6	ab 7	ac 8	bd 9	cd 10
0–10	–	0,5	0,5	0,5	0,5	2,4	2,4	2,4	2,4
10–20	28,3	0,5	0,5	0,5	0,5	7,1	7,1	7,1	7,1
20–30	46,3	0,5	0,5	0,5	0,5	11,6	11,6	11,6	11,6
30–40	62,8	0,5	0,5	0,5	0,5	15,7	15,7	15,7	15,7
40–50	77,4	0,43	0,5	0,5	0,5	16,6	16,6	19,3	19,3
50–60	89,7	0,24	0,43	0,5	0,5	7,6	10,8	19,3	22,4
60–70	99,2	0,135	0,24	0,37	0,425	6,2	0,3	8,2	14,6
70–80	105,8	0,07	0,12	0,16	0,18	0	0	0	0
80–90	109,1	0,03	0,04	0,06	0,07	0	0	0	0
	628,1					67,2	64,5	83,6	93,1

Таблица 1.8

Решение задачи с зональными множителями (по табл. 3–5[2])

Зона, °	0– 10	10– 20	20– 30	30– 40	40– 50	50– 60	60– 70	70– 80	80– 90	Σ
Зональный поток, лм	9,5	28,3	46,3	62,8	77,4	89,7	99,2	105,8	109,1	628,1
Зональные множители	1,0	1,0	0,95	0,68	0,60	0,48	0,24	0,01	0	
Полезный поток, лм	9,5	28,3	44	42,7	46,4	43,1	23,8	1,1	0	238,9

Таблица 1.9

Сравнение ОУ с ЛН и ЛЛ

Светильник	ППД-500	ЛСП 04-2×40
Освещенность и коэффициент запаса по табл. 4–4к [1]	$E = 150 \text{ лк},$ $k = 1,8$	$E = 300 \text{ лк},$ $k = 1,5$
Коэффициент использования	По табл. 5–3 [1] $\eta = 0,52$	По табл. 5–11 [1] $\eta = 0,62$
Лампа	Г 215-225-500	ЛБ 40-4
Количество светильников	$N = \frac{150 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 60 \cdot 24}{8300 \cdot 0,52} = 98$	$N = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 24}{2 \cdot 2850 \cdot 0,62} = 202$
Установленная мощность, кВт	14	16,4 (с учетом мощности ПРА-19,6)

Таблица 1.10

Сравнение мощности двух ОУ

Светильник	Н4БН	Н0ГЛ-2х80
Освещенность и коэффициент запаса по табл. 4–4к [1]	$E = 50 \text{ лк},$ $k = 1,5$	$E = 100 \text{ лк},$ $k = 1,8$
Коэффициент использования	По табл. 5–7 [1] $\eta = 0,5$	По табл. 5–12 [1] $\eta = 0,53$
Лампа	Г 215-225-150 (Б220-150) По табл. 2–2 [1] $\Phi_{\text{л}} = 2100 \text{ лм}$	ЛБ 80-4 По табл. 2–12 [1] $\Phi_{\text{л}} = 4960 \text{ лм}$
Количество светильников	$N = \frac{50 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 84 \cdot 52}{2100 \cdot 0,5} = 343$	$N = \frac{100 \cdot 1,1 \cdot 1,8 \cdot 84 \cdot 52}{2 \cdot 4960 \cdot 0,53} = 164$
Установленная мощность, кВт	51,45	26,24

Таблица 1.11

Сравнение ОУ с лампами ОН и зеркальными

Вариант	Г220-60	ЗК220-300-1
КПД карниза η_k	0,6	0,8
КПД ОУ $\eta = k_{np} \cdot \eta_k$	$0,6 \times 0,34 = 0,2$	$0,8 \times 0,34 = 0,27$
Потребный поток ламп Φ , клм	$\frac{75 \cdot 1,3 \cdot 200}{0,2} = 97,5$	$\frac{75 \cdot 1,3 \cdot 200}{0,27} = 72,5$
Поток лампы, клм	По табл. 2–2 [1] $\Phi_{\lambda} = 0,71$	По табл. 4.5 [6] $\Phi_{\lambda} = 3,6$
Число ламп	$N = \frac{97,5}{0,71} = 137$	$N = \frac{72,5}{3,6} = 20$

Таблица 1.12

Коэффициенты использования светового потока светильников
(любого типа), излучаемого в верхнюю полусферу

СП	Потолочные							Подвесные						
ρ_n , %	70				50		30	70				50		30
ρ_c , %	50		30		50	30	10	50		30		50	30	10
ρ_p , %	30	10	30	10	10		10	30	10	30	10	0		10
i	Коэффициенты использования, %													
1,0	43	41	37	35	28	25	13	37	35	32	30	22	20	9
1,1	46	43	39	37	30	26	14	40	37	34	33	24	21	11
1,25	49	46	42	40	32	28	15	43	41	38	36	26	24	12
1,5	54	49	47	44	34	31	17	48	44	42	40	29	26	14
1,75	57	52	51	47	36	33	18	52	48	46	43	31	29	15
2	60	54	54	50	38	35	19	55	50	50	46	33	31	16
2,25	62	56	57	52	39	37	20	58	52	53	49	35	33	17

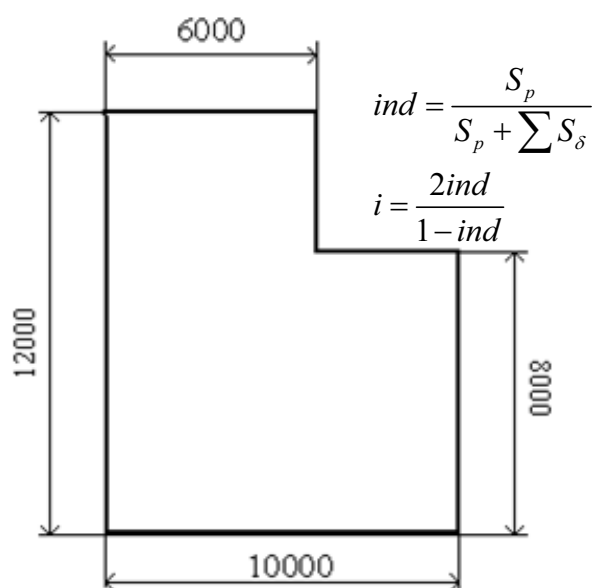


Рис. 1.1. План помещения к задаче 1.2.4

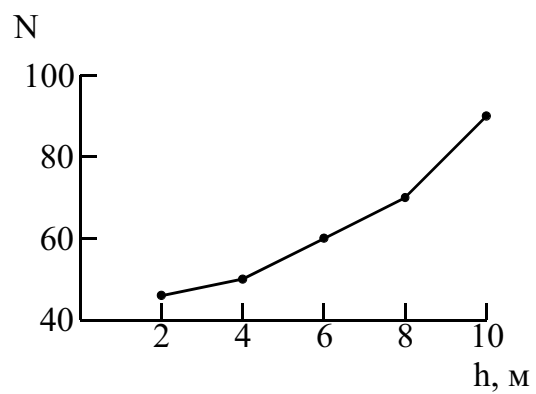


Рис. 1.2. Зависимость $N = N(h)$
(к задаче 1.3.4)

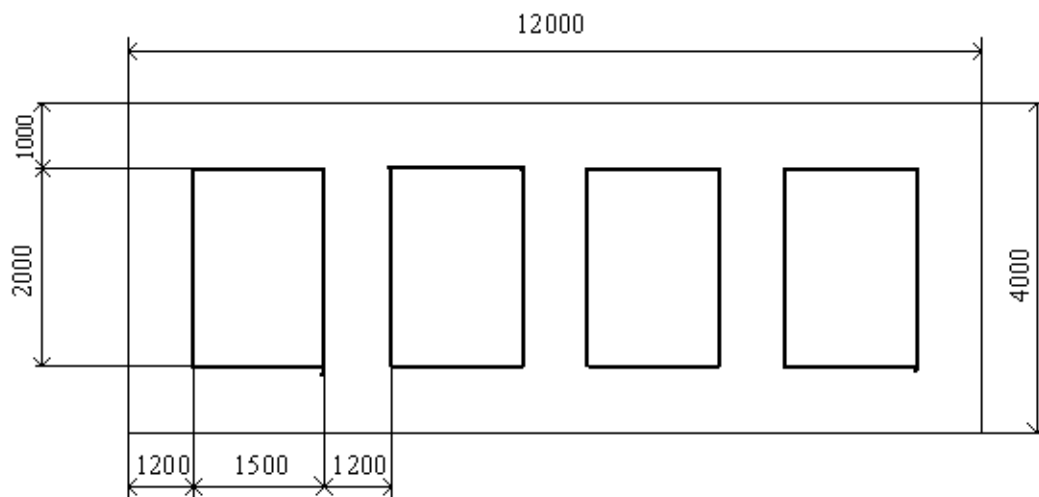


Рис. 1.3. Поперечный разрез помещения к задаче 1.3.6

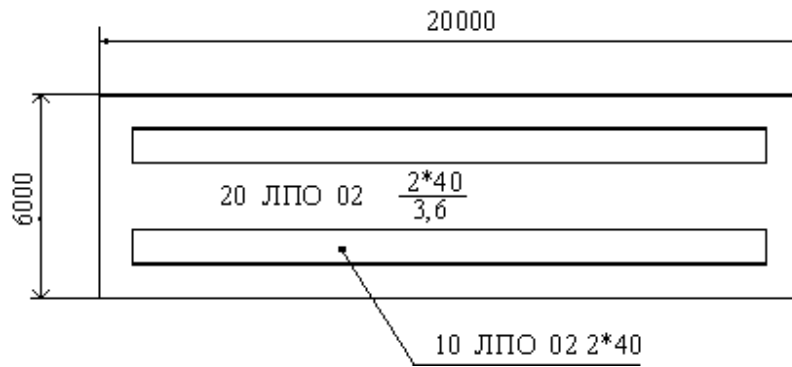


Рис. 1.4. План осветительной установки к задаче 1.3.10

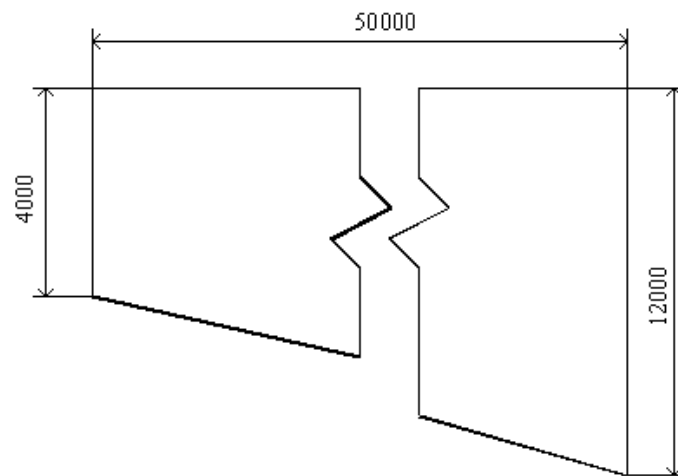


Рис. 1.5. Поперечный разрез помещения с амфитеатром к задаче 1.3.13

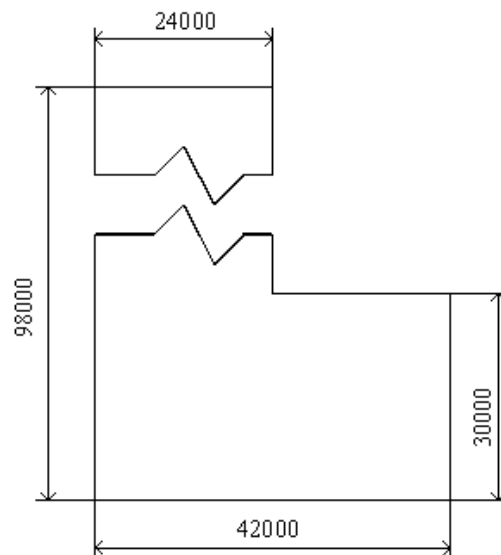


Рис. 1.6. План помещения невыпуклой формы к задаче 1.3.15

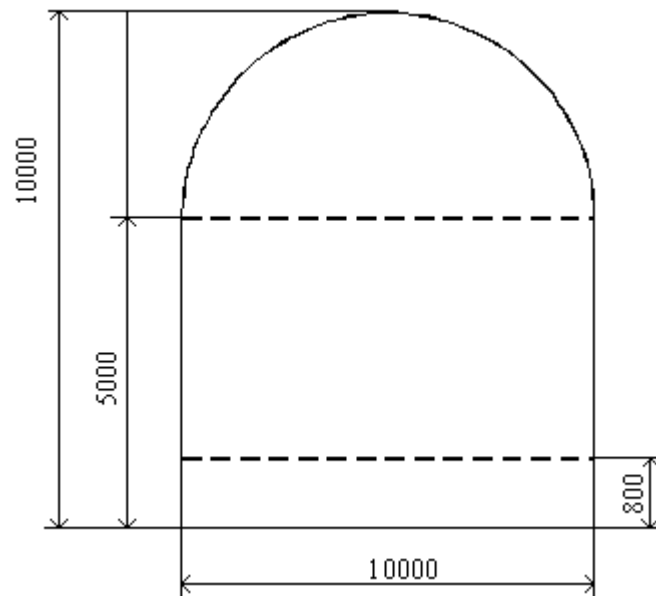


Рис. 1.7. Поперечный разрез помещения со сводом к задаче 1.2.11

Список литературы

1. Кнорринг Г.М., Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг [и др.] – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
2. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
3. Вайнштейн В.Б., Никитин В.Д. Расчет освещения комбинированным методом: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПИ, 1974. – 102 с.
4. Степанова Е.В., Никитин В.Д. Расчет светового загрязнения в установках наружного освещения // Тезисы докл. IV Междунар. светотехн. конф. – Калининград, 2006. – С. 84–85.
5. Шегоракова О.С., Никитин В.Д. Расчет коэффициентов первичного использования потока...(на примере офисных помещений) // Тезисы докл. на научно-техн.конф. «Молодые светотехники России». – М.: «Вигма», 2006. – С. 70–74.
6. Оптимизация расположения ламбертовых излучателей на стене / Д.Ю. Дорофеева [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков. – Красноярск: Изд. КрасГАУ, 2007. – Ч. 2. – С. 139–142.
7. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
8. Расчет поля излучателей в свето- и теплотехнике / Д.Ю. Дорофеева [и др.] // Материалы XI Всероссийской научно-практ. конф. «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города». – Красноярск: Изд. ИПЦ КГГУ, 2006. – С. 39–42.
9. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение // Светотехника. – 2004. – № 2.
10. Никитин В.Д. Анализ осветительных установок с выраженным эффектом свода // Светотехника. – 1988. – № 7. – С. 10–11. Полный текст депонирован в Информэлектро 20.07.88 № 232 ЭТ 88.
11. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1992. – 448 с.
12. Никитин В.Д., Пашник К.П., Трубоч А.В. Сравнение систем общего...// Известия ТПУ, № 4, Т 314. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2009. – С. 148–152.

ГЛАВА 2. МЕТОД УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И ДРУГИЕ УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕНИЯ

2.1. Характеристика метода удельной мощности

Для упрощения расчетов освещения значительное применение получил метод удельной мощности. Под удельной мощностью W понимается отношение мощности P (Вт) к освещаемой площади S (м²). Этот энергетический показатель используется для определения без расчета числа и мощности светильников.

Метод удельной мощности используется только для расчета общего равномерного освещения в случаях, не требующих учета затенений и в пределах тех «паспортных данных», для которых составлены таблицы, являющиеся основным справочным материалом метода [1].

К «паспортным данным» таблиц удельной мощности при лампах накаливания относятся: тип светильников; освещенность; коэффициент запаса; коэффициенты отражения поверхностей помещения; коэффициент z (табл. 2.1).

Для люминесцентных ламп таблицы даются только для $E = 100$ лм ввиду прямой пропорциональности E и W (табл. 2.2).

Для удлиненных помещений следует определить значение W для условной площади $2B^2$ и распространить на всю площадь помещения. Значения пересчетного коэффициента M для нестандартных условий даны в табл. 2.3.

Порядок пользования таблицами при лампах

накаливания и ДРЛ

- выбираются все решения по освещению помещения, включая число светильников N ;
- по соответствующей таблице находится значение удельной мощности W ;
- определяется единичная мощность лампы по формуле $P = W \cdot S/N$;
- по каталожным данным выбирается ближайшая стандартная лампа.

люминесцентных

- выбираются все решения по освещению помещения, включая число рядов светильников и спектральный тип лампы;
- по соответствующей таблице находится значение W для данной лампы;
- для тех же ламп определяется необходимое число светильников в ряду делением WS на мощность одного светильника и осуществляется компоновка ряда.

Характеристиками для решения частных задач являются графики Гурова, Прохорова для определения числа люминесцентных светильников данного типа и мощности в функции площади помещения (рис. 2.1) и графики Гольдина (рис. 2.2). Более подробная характеристика этих и других упрощенных методов приведена в п. 2.4.

2.2. Расчет при светильниках с лампами накаливания и ДРЛ

2.2.1. В помещении размером $A \times B = 12 \times 10 \text{ м}^2$, высотой $h = 3 \text{ м}$, установлено 10 светильников ППР. Определите мощность лампы РЛ для обеспечения освещенности в цехе с разрядом зрительной работы VIIIб, если коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B = 12 \times 10 \text{ м}^2$ $H = 3 \text{ м}$ $N = 10$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $0,5 - 0,3 - 0,1$ $P_{\text{Л}} = ?$	Для разряда VIIIб, с учетом примечания 5 в) к табл. 1[3], находим $E = 20 \text{ лк}$. При $E = 20 \text{ лк}$ находим $W = 6 \text{ Вт/м}^2$ (по табл. 3.1 при $S = 12 \cdot 10 = 120 \text{ м}^2$ для $h = 3 \text{ м}$); тогда $P = W \cdot S/N = 6 \cdot 12/10 = 7,2 \text{ Вт}$. По табл. 2.2 [1] ближайшая стандартная лампа Б 220-100 с потоком $\Phi_{\text{Л}} = 1350 \text{ лм}$

2.2.2. В помещении обрубного цеха агломерационной фабрики ($S = 150 \text{ м}^2$, $h = 4,0 \text{ м}$) требуется обеспечить $E = 150 \text{ лк}$ 10 (значение E обосновано) светильниками ППД 2-500. Воздушная среда содержит 10 мг/м^3 темной пыли. Коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$. Определите мощность лампы. Найдите величину отклонения освещенности при выборе стандартной лампы.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S = 150 \text{ м}^2$ $h = 4,0 \text{ м}$ $E = 150 \text{ лк}$ $N = 10$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $0,5 - 0,3 - 0,1$ $P_{\text{Л}} = ?$ $\Delta \Phi_V = ?$	По табл. 5–33 [1] для светильника ППД 2×500 $W_T = 15,8 \text{ Вт/м}^2$. Пропорциональным пересчетом находим коэффициент k_W: $k_W = (2 \cdot 150)/(1,3 \cdot 100) = 2,3$, $W = W_T \cdot k_W = 15,8 \cdot 2,3 = 36,3$. Тогда при $N = 10$ $P = (W \cdot S)/N = (36,3 \cdot 150)/10 = 544 \text{ Вт}$. Для определения величины отклонения освещенности построим вспомогательный график $\Phi(P)$ (рис. 2.3.) Найдим $\Phi_V \approx 9100 \text{ лм}$ при $P = 500 \text{ Вт}$. По табл. 2.2 [1] $\Phi_V = 8300 \text{ лм}$ при $P = 500 \text{ Вт}$. Тогда $\Delta \Phi_V = -9,5 \%$

2.2.3. В помещении размером $A \times B \times h = 35 \times 10 \times 3,2 \text{ (м)}$ с коэффициентами отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$ для получения освещенно-

сти $E = 20$ лк при $k = 1,3$ намечено установить 10 светильников ППР. Определите мощность лампы и отклонение по величине освещенности.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h =$ $= 35 \times 10 \times 3,2$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $E = 20$ лк $k = 1,3$ $N = 10$ $P_{\text{л}} = ?$ $\Delta\Phi_{\text{в}} = ?$	Поскольку помещение имеет удлиненную форму, ($A/B = 35/10 > 2,5$), распространяем значение W для условной площади $S = 2B^2 = 200 \text{ м}^2$ на всю площадь $S = 350 \text{ м}^2$. По табл. 5–30 [1] для $S = 200 \text{ м}^2$ и $h = 3,2$ находим $W_T = 6 \text{ Вт/м}^2$. С учетом значений коэффициентов отражения $k_W = 0,9$, тогда $W = 5,4 \text{ Вт/м}^2$. При $N = 10$ имеем $P = (W \cdot S)/N = (36,3 \cdot 150)/10 = 189 \text{ Вт}$. Выбираем по табл. 2.2 [1] ближайшую стандартную лампу Г220-200, $\Phi_{\text{в}} = 2800$ лм

2.2.4 Определите количество светильников ППР-100, установленных в помещении размером $A \times B \times h = 13 \times 10 \times 2,8$ (м) для получения освещенности $E = 30$ лк при $k = 1,3$. Коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$, естественное освещение отсутствует.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h =$ $= 13 \times 10 \times 2,8$ (м) $E = 30$ лк при $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$	По табл. 5.30 [1] $W = 9,2 \text{ Вт/м}^2$ ($h = 2,8 \text{ м}$, $S = 130 \text{ м}^2$, $E = 30$ лк); для светильника ППР с КСС, близкой к равномерной (табл. 3.5 [1]), $\lambda_{\text{э}} = 2,6$ (табл. 4.16 [1]); светильники целесообразно разместить двумя рядами (расстояние между светильниками в ряду 6 м), т. е. $N = 6$. Тогда мощность лампы $P = (9,2 \cdot 130)/6 \approx 200 \text{ Вт}$. Выполним проверку МКИ. Находим $i = 2,0$, $\eta = 0,37$ (табл. 5.5 [1]), тогда $\Phi = EzSk / Nn\eta = 30 \cdot 1,1 \cdot 130 \cdot 1,5/6 \cdot 1 \cdot 0,37 = 2,9$ клм. Лампа Г220-200 имеет $\Phi = 2800$ лм, т. е. получим ту же лампу, что и в МУМ

2.2.5 Определите зависимость числа светильников ППД-200 от площади помещения $S = 10 - 20 - 40 - 80 - 150 - 300 - 500$ (м^2), при $h = 4,5$ м, для получения освещенности $E = 100$ лк. Принять $k = 1,3$, коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$. Найдите по графику

число светильников для площади $S = 120 \text{ м}^2$ ($A/B = 1 + 1,5$). Выполните расчеты для двух типов лампы.

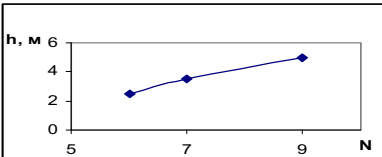
ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S = 10 - 20 - 40 - 80 - 150 - 300 - 500 \text{ (м}^2\text{)}$ $h = 4,5 \text{ м}$ $E = 100 \text{ лк}$ $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $N(S) = ?$ Найти N для $S = 120 \text{ м}^2$ ($A/B = 1 \div 1,5$)	Зависимость удельной мощности от площади помещения по табл. 5.31 [1] представлена в табл. 2.4 и на рис. 2.4. Число светоточек (по теории) указано для помещения с формой, близкой к квадратной. Для сравнения приведем расчет освещения тех же помещений $S = 10 \dots 500$ м ² с тоном коэффициента использования для двух вариантов: биспиральной лампы с $\Phi_{Л1} = 2920 \text{ лм}$ и газонаполненной лампы с $\Phi_{Л2} = 2800 \text{ лм}$

2.2.6. Определите число светильников ППД-200 с лампой Г220-200, установленных в помещении размером $A \times B \times h = 30 \times 18 \times 4,6 \text{ (м)}$, для создания освещенности, соответствующей зрительному разряду VIIIб при $k = 1,3$ и коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$, если $U = 0,95 U_H$. Естественное освещение отсутствует.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h = 30 \times 18 \times 4,6 \text{ (м)}$ $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ $U = 0,95 U_H$ ППД-200 с лампой Г220-200	По табл. 1 [3] находим $E = 50 \text{ лк}$ (разряд VIIIб, одно общее освещение). С учетом прим. 5 к табл. 1[3] при ЛН следует принять $E = 20 \text{ лк}$, но с учетом п. 4.5д окончательно получим при ЛН $E = 30 \text{ лк}$. По табл. 3.1 найдем $W_T = 7/4 \text{ Вт/м}^2$. Однако с учетом табл. 3.3 ($U = 0,95 U_H$) получим поправку W_ϕ к табличному значению W_T ($W_\phi = (1/0,95)2,03 = 1,11$). Следовательно, $W = W_T \cdot W_\phi = 7,4 \cdot 1,11 = 8,2 \text{ Вт/м}^2$. Поскольку мощность лампы задана ($P = 200 \text{ Вт}$), получим $N = (W \cdot S)/p = (8,2 \cdot 540)/200 \approx 22$. Сравним это значение с числом «светоточек», рекомендуемых по ТНУО. По табл. 4.16 [1] найдем $\lambda = 1,4$ (косинусная КСС, λ_C взята с учетом того, что используемая лампа – предельной мощности), тогда $l = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 4,6 \approx 7 \text{ м}$. По теории, СП надо расположить в 3 ряда по 5 светильников в ряду, число светоточек $N = 15$. Окончательно принимаем такой вариант: в светоточках, ближайших к торцевым стенам, удваиваем число

	светильников с целью снижения периферийной неравномерности, число СП при этом равно 21. Задача ясно показывает несовпадение, в принципе, числа СП с числом «светоточек». Для современных ОУ при высоких Ekh^2 многоламповые «светоточки» – обычное решение	<table border="1"><tr><td>XX</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>XX</td></tr><tr><td>XX</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>XX</td></tr><tr><td>XX</td><td>X</td><td>X</td><td>X</td><td>XX</td></tr></table>	XX	X	X	X	XX	XX	X	X	X	XX	XX	X	X	X	XX
			XX	X	X	X	XX										
			XX	X	X	X	XX										
			XX	X	X	X	XX										

2.2.7. Постройте зависимость от расчетной высоты ($h = 2,5 - 3,5 - 5$) количества светильников ППР-200 для получения освещенности 30 лк в помещении площадью 150 м^2 при $k = 1,3$ и коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$. По графику найти число светильников для создания $E = 30$ лк при высоте $h = 4,5$ м. Объяснить характер полученной зависимости.

ДАНО	РЕШЕНИЕ												
$h = 2,5 - 3,5 - 5$ $E = 30$ лк $h = 4,5$ м $S = 150 \text{ м}^2$ $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$ $N = ?$ При $E = 30$ лк, $h = 4,5$ м	Рассчитываем количество светильников для значений расчетной высоты $h = 2,5$ м, $h = 3,5$ м, $h = 5$ м ($S = 150 \text{ м}^2$, $E = 30$ лк). Результаты расчетов даны в таблице ниже. По данным таблицы строим график $N = N(h)$. По графику при $h = 4,5$ м определим $N = 8$. Вывод: чем больше расчетная высота, тем больше светильников нужно для сохранения заданной освещенности <table><tr><th>$h, \text{ м}$</th><th>$W, \text{ Вт/м}^2$</th><th>N</th></tr><tr><td>2,5</td><td>7,8</td><td>6</td></tr><tr><td>3,5</td><td>8,9</td><td>7</td></tr><tr><td>5</td><td>12,3</td><td>9</td></tr></table> 	$h, \text{ м}$	$W, \text{ Вт/м}^2$	N	2,5	7,8	6	3,5	8,9	7	5	12,3	9
$h, \text{ м}$	$W, \text{ Вт/м}^2$	N											
2,5	7,8	6											
3,5	8,9	7											
5	12,3	9											

2.2.8. В помещении площадью 80 м^2 и высотой $h = 3,8$ м требуется создать 12 светильниками ППР освещенность $E = 50$ лк при $k = 1,3$ и коэффициенте отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$. Выбрать лампу при напряжении сети $U = 127 \text{ В}$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S = 80 \text{ м}^2$ $h = 3,8 \text{ м}$ $N = 12$ $E = 50 \text{ лк}$ $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$	По табл. 5.30 [1] для светильника ППР $W_T = 18,5 \text{ Вт/м}^2$. Напряжение $U = 127 \text{ В}$ учтем коэффициентом $m = 0,86$. $W = W_T \cdot m = 18,5 \cdot 0,86 = 15,91 \text{ Вт/м}^2$. Тогда, при $N = 12$, $P = 15,9 \cdot 80/12 = 106 \text{ Вт}$. По табл. 2.2 [1] ближайшая стандартная лампа БК127-100

2.2.9. В помещении размером $A \times B \times h = 7,5 \times 5 \times 3 \text{ (м)}$ установлено 4 светильника ППД 200. Найдите мощность лампы для создания освещенности $E = 30 \text{ лк}$, если коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ и $k = 1,3$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h =$ $= 7,5 \times 5 \times 3 \text{ (м)}$ $N = 4$ $E = 30 \text{ лк}$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$ $k = 1,3$ $P_{\text{Л}} = ?$	$S = 37,5 \text{ м}^2$. По табл. 5–31 [1] находим $W = 8,3 \text{ Вт/м}^2$, но учитывая $k = 1,5$, $W_K = W_{1,3} \cdot 1,5/1,3 = 9,6 \text{ Вт/м}^2$. Тогда $P = W \cdot S/N = 9,6 \cdot 37,5/4 \approx 100 \text{ Вт}$. Примечание: в этом случае наряду со светильниками ППД 200 можно применить и ППД 100

2.2.10 В помещении размером $A \times B \times h = 18 \times 12 \times 7 \text{ (м)}$ с коэффициентами отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$ установлено 6 светильников УПДДРЛ. Определите мощность лампы ДРЛ, если освещенность $E = 100 \text{ лк}$, $z = 1,15$, $k = 1,3$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h =$ $= 18 \times 12 \times 7 \text{ (м)}$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$ $N = 6$ $E = 100 \text{ лк}$ $z = 1,15$ $k = 1,3$ $P_{\text{Л}} = ?$	По табл. 5–40 [1] для $S = 216 \text{ м}^2$ и $h = 7 \text{ м}$ находим $W = 7,9 \text{ Вт/м}^2$; с учетом $k = 1,3$ $W = W_T \cdot 1,3/1,5 = 7,9 \cdot 1,3/1,5 = 6,85 \text{ Вт/м}^2$, $P_{\text{Л}} = W \cdot S/N = 6,85 \cdot 216/6 = 246 \text{ Вт}$. По табл. 2–15 [1] выбираем лампу ДРЛ-250

2.3. Расчет при светильниках с люминесцентными лампами

2.3.1. Определите количество светильников ЛДОР 2×80 с лампами ЛБ-80 в помещении площадью $S = 50 \text{ м}^2$, расчетной высотой $h = 4 \text{ м}$ и коэффициентами отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$, для обеспечения нормируемой освещенности $E = 300 \text{ лк}$ при $k = 1,8$. В помещении отсутствует естественное освещение.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S = 50 \text{ м}^2$ $H = 4 \text{ м}$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $E = 300 \text{ лк}$ $k = 1,8$ $N = ?$ Светильник ЛДОР 2×80 относится к 4-й группе	Для $S = 50 \text{ м}^2$, $h = 4,0 \text{ м}$ при $E = 100 \text{ лк}$ (табл. 3.2 [1]). Значение W могут быть взяты по табл. 5–42 [1]: 8,9; 7; 9,5 (в зависимости от строки). С целью создания максимальной освещенности выбираем значение $W = 11,7 \text{ Вт/м}^2$. Так как $k = 1,8$, $E = 300 \text{ лк}$, а коэффициенты отражения выше табличных, то $W = \frac{11,7 \cdot 1,8 \cdot 300 \cdot 0,9}{1,5 \cdot 100} = 37,9.$ Тогда $N = \frac{W \cdot S}{n \cdot P} = \frac{37,9 \cdot 50}{2 \cdot 80} = 11,8 \approx 12$

Примечание: задача раскрывает неточность метода удельной мощности, зависящую от дискретности значений S и h : в зависимости от строки имеем $W = 8,9 - 7 - 11,7 - 9,5$ и, соответственно, $N = 8 - 6 - 11 - 9$.

2.3.2. Определите число светильников в цехе размерами $12 \times 8 \text{ м}^2$, расчетной высотой $h = 3,2 \text{ м}$, коэффициентами отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Разряд зрительной работы IIIг. Помещение с особым режимом по чистоте воздуха (принят $k = 1,3$).

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B = 12 \times 8 \text{ м}^2$ $h = 3,2 \text{ м}$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $k = 1,3$ $N = ?$	Светильник ЛДР 2×80 относится к 3-й группе. По табл. 3.2 [1] находим $W_1 = 6,5 \text{ Вт/м}^2$. Поправочный коэффициент, учитывающий $k = 1,3$ и $E = 200 \text{ лк}$, найдем пропорциональным пересчетом: $k_w = \frac{1,3 \cdot 200}{1,5 \cdot 100} = 1,73.$ $W = W_T \cdot k_w = 6,5 \cdot 1,73 = 11,3 \text{ Вт/м}^2$

	Тогда $N = \frac{W \cdot S}{n \cdot P} = \frac{11,3 \cdot 96}{2 \cdot 80} = 6,78 \approx 7.$ Выполним проверку МКИ. Находим $i = 1,5$, $\eta = 0,48$, поток ЛБ-80 $\Phi_{\text{Л}} = 4960$ лм. Тогда $N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{\Phi_{\text{Л}} \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 96 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{4960 \cdot 2 \cdot 0,48} = 5,77 \approx 6$
--	--

2.3.3. С помощью графика Гурова–Прохорова определите число светильников ЛПР 2×40 с лампами ЛБ-40 для создания $E = 300$ лк. $S = 120 \text{ м}^2$, $h = 2,5$ м, $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$E = 300$ лк $S = 120 \text{ м}^2$ $h = 2,5$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $N = ?$	Используя график Гурова–Прохорова (рис. 2.1), находим, что необходимо 20 светильников

2.3.4. В помещении площадью 600 м^2 на высоте 5 м от расчетной поверхности установлены светильники ЛДР 2×80 с лампами ЛБ-80. Определите число светильников, если разряд зрительной работы Пг, $k = 1,5$, $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$; КЕО = 0,5 %.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S = 600 \text{ м}^2$ $h = 5$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,5 - 0,3 - 0,1$ КЕО = 0,5 % $k = 1,5$ $N = ?$	По табл. 5.42 [1] $W_{100} = 4,5 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 5$ м, $S = 600 \text{ м}^2 > 400 \text{ м}^2$), светильник группы 3, лампа ЛБ-80, с учетом $E = 300$ лм (разряд Пг при одном общем освещении ГРЛ) $W_{300} = W_{100} \cdot (300/100) = 13,5 \text{ Вт/м}^2$. Тогда число светильников $N = \frac{W \cdot S}{P_{\text{св}}} = \frac{13,5 \cdot 600}{2 \cdot 80} = 51.$ Выполним проверку МКИ. Находим $i = 2,5$; по табл. 5.11 [1] (светильник ЛДР относится, в соответствии с табл. 3–2 [1], к 3-й группе) найдем $\eta = 0,56$, поток лампы ЛБ-80 $\Phi_{\text{Л}} = 5220$ лм и число светильников $N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{\Phi_{\text{Л}} \cdot n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 600 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{5220 \cdot 2 \cdot 0,56} = 50$

2.3.5. Определите по методу Гурова–Прохорова площадь помещения, в котором освещенность 200 лк создается 15 светильниками ЛПР 2×40 с лампами ЛБ-40, $h = 2,8$ м, коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Найдите значение удельной относительной мощности w_0 .

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$E = 200$ лк $N = 15$ $h = 2,8$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $S = ?$	Используя график Гурова–Прохорова (рис. 5.3 [1]), находим, что площадь помещения $S = 200 \text{ м}^2$. Удельная относительная мощность $w_0 = 15 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 200^{-1} \cdot 200^{-1} = 0,03 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$

2.3.6. По графику Гурова–Прохорова определите освещенность, создаваемую 10 светильниками ЛПР 2×40 с лампами ЛБ-40 в помещении $S = 90 \text{ м}^2$ и $h = 2,5$ м при коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$. Выполняется ли в помещении рекомендуемое значение $E_y = 100 \text{ лк}$?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$N = 10$ $S = 90 \text{ м}^2$ $h = 2,5$ м $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $= 0,7 - 0,5 - 0,1$ $E = ?$	Используя график Гурова–Прохорова (рис. 5.3 [1]), находим $E = 200$ лк. Рекомендуемое значение $E_y = 100 \text{ лк}$ в данном случае не достигается

2.3.7. Определите освещенность, создаваемую 16 светильниками ЛДОР 2×80 с лампами ЛБ-80 в помещении площадью 110 м^2 ($A/B = 2$) и $h = 2,8$ м при $k = 1,3$ и коэффициентах отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$N = 16$ $S = 110 \text{ м}^2$ $A/B = 2$ $h = 2,8$ м $k = 1,3$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p =$ $0,5 - 0,3 - 0,1$ $E = ?$	По табл. 5–42 [1] для $S = 110 \text{ м}^2$, $h = 2,8$ м и $E = 100$ лк находим $W_T = 5,8 \text{ Вт/м}^2$. С учетом $k = 1,3$, $W = W_T \cdot 1,3 / 1,5 = 5,8 \cdot 1,3 / 1,5 = 5 \text{ Вт/м}^2$. Найдем значение удельной мощности для заданной лампы ЛБ-80: $W = \frac{N \cdot P_{\text{л}} \cdot n}{S} = \frac{16 \cdot 80 \cdot 2}{110} = 23,28 \approx 23,3 \text{ Вт/м}^2$ Так как при люминесцентных лампах имеет место прямая пропорциональность освещенности и W, то $E = 100 \cdot 23,3 / 5 = 466 \text{ лк}$

2.3.8. Рассчитайте количество светильников ЛСПО2-2×150 (группа 4) с лампами типа ЛХБ-150 для проектного кабинета размером $A \times B \times h = 10 \times 6 \times 3$ (м). Коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ и $k = 1,5$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h = 10 \times 6 \times 3$ (м) $K = 1,5$ $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ $N = ?$	$S = 60 \text{ м}^2$. Нормируемая освещенность $E = 300$ лк (по табл. 2 [3]). По табл. 5–42 [1] для светильников 4-й группы $W = 4,9 \text{ Вт/м}^2$. Учитывая $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$, величину W уменьшим на 10 %. $W = 4,9 \cdot 0,9 = 4,4 \text{ Вт/м}^2$. Тогда $N = \frac{60 \cdot 4,4 \cdot 300}{150 \cdot 2 \cdot 100} \approx 3$

2.3.9. Рассчитайте число светильников ЛПОО2-2×40 (группа 8) с лампами типа ЛБ-40, установленных в главном коридоре гостиницы размером $A \times B \times h = 30 \times 6 \times 4$ (м). Дано $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$; $k = 1,5$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$A \times B \times h = 30 \times 6 \times 4$ (м) $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,3$ $k = 1,5$ $N = ?$	$S = 180 \text{ м}^2$. Нормируемая освещенность, $E = 75$ лк (табл. 2[2]). Величину W находим из табл. 5–45 [1] для светильников 8-й группы по условной площади $S = 2B \cdot B = 75 \text{ м}^2$, отсюда $W = 6,7 \text{ Вт/м}^2$. Тогда $N = (W/S)/P = (6,7 \cdot 180 \cdot 75)/(40 \cdot 2 \cdot 100) = 12$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

Таблица 2.1

Удельная мощность общего равномерного освещения светильниками ППР-100, ППР-200, ППД-200, ППД2-500 (коэффициенты отражения $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,5 - 0,3 - 0,1$; $k = 1,3$; $z = 1,15$)

h , м	S , м ²	ППР			ППД		
		Удельная мощность, Вт/м ² , при освещенности, равной, лк					
		20	30	50	20	50	100
2–3	50–150	6,4	9,2	15	4,9	11,3	21,8
3–4	50–120	7,4	11,1	18,5	5,3	12,9	25,8
	120–300	6	8,9	14,9	4,4	10,7	21,4
	> 300	4,7	7,1	11,8	3,9	9,2	18,3
4–6	80–150	8,2	12,3	20,5	5,4	13,5	27
	150–400	6,5	9,8	16,2	4,7	11,7	23,4

Таблица 2.2

Удельная мощность общего равномерного освещения при $E = 100$ лк.
Светильники с люминесцентными лампами ЛБ-80
(учетные значения $\rho_n = 50$; $\rho_p = 10$ %; $\rho_c = 30$ %; $k = 1,5$; $z = 1,1$)

h , м	S , м ²	Удельная мощность Вт/м ² , при светильниках группы		
		3	4	8 (лампы ЛБ-40)
2–3	50–150	5,4	5,8	4,8
3–4	50–120	6,5	7	5,5
4–6	50–80	8,9	9,3	7,1
	400	4,5	4,5	4

Таблица 2.3

Значение пересчетного коэффициента

Условия, для которых верны табличные значения W_T				Условия, выходящие за рамки, предусмотренные таблицей			пересчетный коэффициент M ($W_v = MW_T$)
ρ_n	ρ_p	ρ_c		ρ_n	ρ_p	ρ_c	
1.	—	—	0,1	—	—	0,3	0,9
2.	—	0,3	0,1	0,7	0,5	0,1	0,9
3.	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1

Окончание табл. 2.3

4. Коэффициент запаса при люминесцентных лампах $k = 1,5$	1,7/2,0	1,13/1,33
5. При лампах накаливания 1,3	1,5/1,7	1,15/1,31
6. $U = 220$ В (при ЛН)	Напряжение 127 В	0,86
7. $U_{ном}$	$U \neq U_{ном} \quad \Delta U < 10 \%$	Для ЛН: ($U_{ном}/U$) ^{2,03}

Таблица 2.4

Сравнение числа светильников при расчете по МУМ и по МКИ

Показатели		Площадь помещения, м ²						
		10	20	40	80	150	300	500
Расчет по МУМ								
W , Вт/м ²		72	62,5	41,5	33,3* (27)	27* (23,4)	23,4	19,3
Число светоточек $n \cdot P_{\text{л}}$, Вт		1 4×200	2 3×200	4 2×200	4 3×200	4 5×200	9 4×200	9 7×200
Число светильников		4	6	8	12	20	36	63
Расчет по МКИ								
i		0,2	0,3	0,7	1,0	1,25	2,0	2,5
η		0,17	0,2	0,3	0,39	0,42	0,51	0,54
Число светильников	N1	3	5	7	10	18	30	47
	N2	4	5	7	11	19	31	49

* Многозначность обусловлена совпадением границ соответствующих строк в таблице удельной мощности.

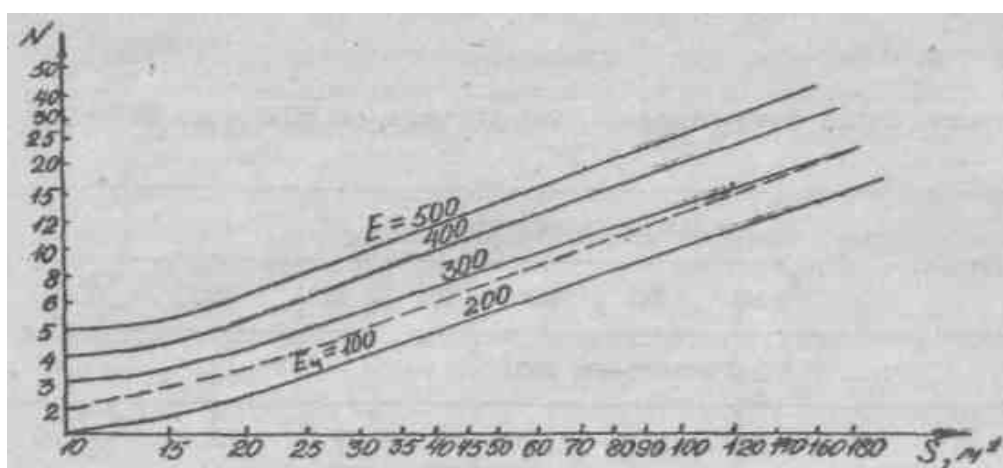


Рис. 2.1. График Гурова-Прохорова для определения числа светильников с лампами ЛБ-40

Светильник ЛПР2×40; $h = 2-3$ м; $\rho_n - \rho_c - \rho_p = 0,7 - 0,5 - 0,1$

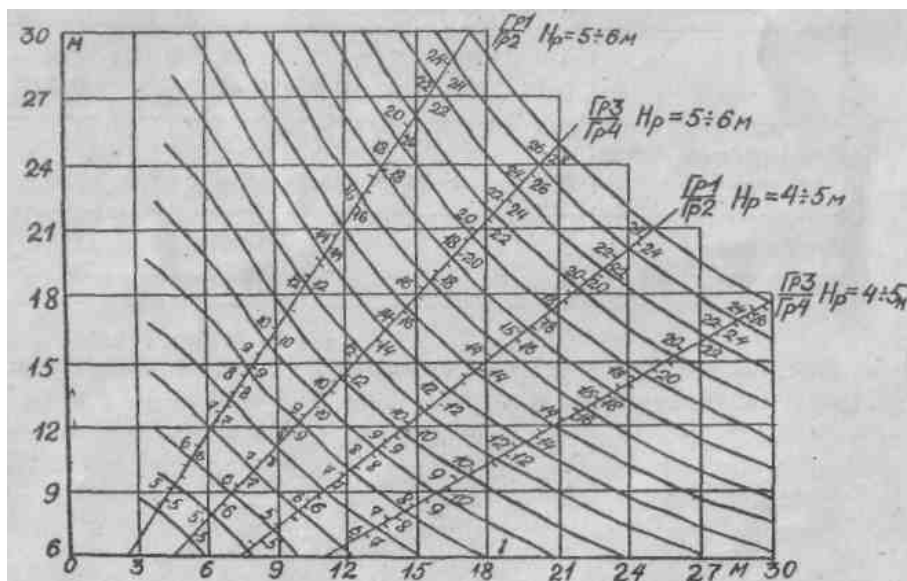


Рис. 2.2. График Гольдина для определения числа светильников с ЛЛ групп 1–4 при $H_p = 4-6$ м

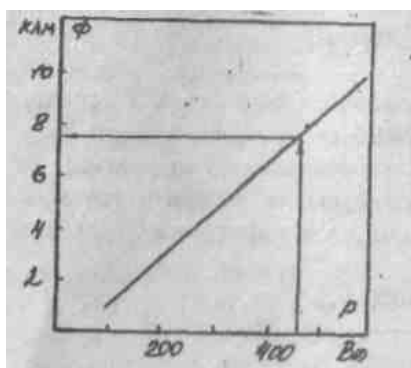


Рис. 2.3. Зависимость $\Phi = \Phi(P)$ (к задаче 2.2.2)

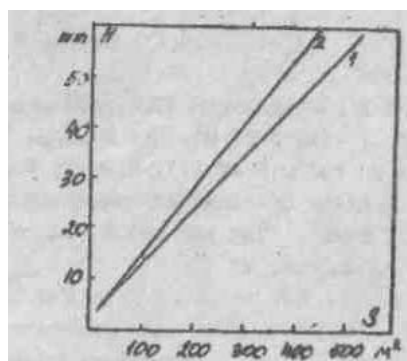


Рис. 2.4. Зависимость $N = N(S)$ по МКИ(1) и по МУМ(2)

2.4. Другие упрощенные способы расчета освещения

Методика оценки упрощенных способов расчетов освещения разработана Г.М. Кноррингом [5].

Трудоемкость расчета по отдельным способам будем приблизительно оценивать в баллах, складываемых из следующих составляющих: нахождение нужной таблицы или графика и прочтение по ним данных, в зависимости от сложности – 2 или 3; выполнение одного любого арифметического действия – 1; линейное интерполирование между двумя значениями – 3.

При такой системе оценок трудоемкость метода коэффициента использования в его неупрощенной форме составляет 11 баллов.

В целом, упрощенные способы расчета, принося при правильном использовании несомненную пользу, имеют недостаток (помимо увеличенной погрешности) – пользующиеся ими нередко забывают физические основы метода.

В сопоставляемых способах используются три формы представления зависимости результата R от аргумента A : приведение значений R для ряда дискретных значений A , приведение неизменных значений R в пределах определенного диапазона значений A , графическое изображение зависимости $R = f(A)$. Выбор между таблицами или графиками в значительной степени дело привычки, но преимуществом графиков следует считать наглядность и непрерывность шкал. Из двух табличных форм предпочтительна вторая, так как при первой форме предполагается либо трудоемкое интерполирование, либо принятие значения R по ближайшему табличному значению A . В этом случае, конечно, лучше перейти на второй способ, т. е. указать, что данное значение R может приниматься в пределах таких-то значений A .

Отметим, что все сопоставляемые способы дают решения для фиксированных значений $k, z, \rho_n, \rho_c, \rho_p$ и в этом отношении равноценны.

2.5. Метод условной площади

В своей статье Г.М. Кнорринг лестно отзывается о методике, предложенной В.Б. Вайнштейном, но ее трудоемкость в баллах не оценил. Рассмотрим методику подробнее и дадим оценку в баллах.

При коэффициентах отражения потолка $\rho_n = 0,5$, стен $\rho_c = 0,3$, коэффициенте запаса $K_z = 1,5$, минимальной освещенности $z = 1,15$, освещенности минимальной $E = 0,9 \cdot E_n$ (т. е. при отрицательном допуске – 10 % на величину освещенности) на 1 светильник приходится условная площадь $S_y = 424 \cdot \Phi \cdot E_n^{-1}$; в рассматриваемом примере при нормированном значении $E_n = 300$ лк она составляет для двух величин потока 33 и 50 клм 46 и 71 м² (табл. 2.6).

Характеристика помещения: длина $A = 90$ м (15 модулей по 6 м) ширина – 18 м (3 модуля по 6 м), площадь $90 \times 18 = 1620$ м², коэффициент формы помещения $\alpha = 90/18 = 5$, расчетная высота – 8 м.

Порядок расчета следующий:

1. По табл. 2.7 находим при $\alpha = 5$ и $h = 8 < 8,1$ значение дополнительной площади 200 м².

Трудоемкость – 2 балла.

2. Находим условную площадь как сумму площади помещения и дополнительной площади из табл. 2.7: $S_y = 1620 + 200 = 1820$ м².

3. Поскольку помещение имеет по длине 15 модулей, то возможны варианты с 16, 32 и 48 СП (светильники крепятся к фермам, в том числе –

торцевых стен). Тогда условная площадь, приходящаяся на один СП, составляет при $N = 16 - 32 - 48$, соответственно: $\frac{1820}{16} = 114 \text{ м}^2$, $\frac{1820}{32} = 57 \text{ м}^2$, $\frac{1820}{48} = 38 \text{ м}^2$.

Трудоемкость операций 2 и 3 – по 1 баллу.

4. По табл. 2.8 при $E = 300$ лк найдем условную площадь, приходящуюся на 1 СП: при 32 СП с лампами ДРЛ-1000 $S_y' = 70,7 \text{ м}^2$, при 48 СП с лампами ДРЛ-700 $S_y' = 46,6 \text{ м}^2$. Возможны оба варианта, поскольку $70,7 > 57$ и $46,6 > 38$.

Трудоемкость операции – 2 балла.

Итого: трудоемкость всего расчета – 6 баллов.

Р.С. Мы не включаем в итоговое значение трудоемкость поиска оптимальной ОУ. Если принять за критерий установленную мощность, то при $K_{ПРА} = 1,1$ получим значения, указанные в табл. 2.9. Однако с учетом качества освещения предпочтителен вариант 48 СП с $P = 0,7$ кВт: распределение освещенности равномернее, бликовое действие меньше (габаритная яркость СП снижена).

Оценка по методике Г.М. Кнорринга [5] упрощенных способов расчета освещения приведена в табл. 2.10.

Таблица 2.6

Мощность ИС, Вт	Световой поток, клм	Площадь условная, м ²
700\1000	33\50	46\ 70,6(6)

Таблица 2.7

Расчет максимальных высот по дополнительной площади

α	$\frac{(\alpha+1)^2}{\alpha}$	$\frac{d(\alpha+1)^2}{\alpha}$	Высота h (м) при S_0 (м ²), равной							
			50	75	100	125	150	200	250	300
1÷2	4,25	1,91	5,1	6,3	7,2	8,1	8,9	10,4	11,5	12,5
2÷3	5,0	2,25	4,7	5,9	6,7	7,5	8,2	9,4	10,5	11,8
3÷4	5,8	2,61	4,4	5,4	6,2	6,9	7,6	8,8	9,8	10,7
4÷5	6,72	3,03	4,1	5,0	5,7	6,4	7,0	8,1	9,1	10,0

Таблица 2.8

P_L , Вт	Φ_L , клм	Условная площадь S_y' (м ²), при E (лк), равном						
		50	75	100	150	200	300	400
250	10	84,8	53,4	42,4	27,2	21,2	14,1	10,6
400	18	153	102	76,4	51	38,1	25,4	19,1
700	33	280	186	140	93	70	46,6	35
1000	50	424	282	212	141	106	70,7	53

Таблица 2.9

$P_{\text{л}}, \text{кВт}$	N	Мощность $P_{\text{уст}}, \text{кВт}$	Расположение СП
0,7	48	$48 \cdot 0,7 \cdot 1,1 = 37$	1 на модуль 6×6 м
1,0	32	$32 \cdot 1,0 \cdot 1,1 = 35,2 < 37$	2 на пролет длиной 6 м

Таблица 2.10

Автор (год)	Способ расчета	Число баллов
Кнорринг Г.М. [1] (1956)	Таблицы удельной мощности (первоначальный вариант)	4
Кнорринг Г.М. [2] (1976)	Таблицы удельной мощности (для $E = 100$ лк)	5 (в ином варианте – 7)
Лесман Е.А. [3] (1977)	Модификация таблицы удельной мощности	10
Вайнштейн В.Б. [4] (1971)	По условной площади, приходящейся на 1 СП	6 (обоснование приведено выше)
Гуров А.М., Прохоров Ю.В. [5], (1967)	Графики $N = N(S)$ для различных E	2, 3 или 5 – в зависимости от варианта
Лесман Е.А., Медведский Н.И. [6] (1974)	Таблицы удельных значений количества светильников	5*
Гольдин А.И. [7] (1977)	Гиперболические графики наложения	3

Примечание: * – приводимые Лесманом Е.А. данные о сокращении объема материала преувеличены, а о повышении точности – ошибочны.

Следует остановиться на таблице удельной мощности (для $E = 100$ лк). Фактически это частичный случай удельной относительной мощности – абстракции более высокого уровня, чем просто удельная мощность. Удельная относительная мощность, что встретила в задаче 2.3.5 в настоящем пособии. Связь между удельной относительной мощностью и удельной мощностью (для $E = 100$ лк): $W_0 \cdot 10^2 = W_{(100 \text{ лк})}$.

Таблица 2.11

Анализ упрощенных способов расчета

Г.М. Коррина(1, 2), В.Б. Вайнштейн(4), А.М. Гурова, Ю.В. Прохорова (5) и А.И. Гольдина (7)

Способ 1	Способ 2	Способ 4	Способ 5	Способ 7
«Родоначалник» всех упрощенных способов расчета. Был разработан для СП с точечными ИС, световая отдача которых $\eta = \eta(P)$. В этом случае мощность лампы P и число светильников N могут принимать ограниченное число значений, при этом стремились не к точному определению $P = P(N)$, а к выскокой вероятности того, чтобы приближенно определенное P при его округлении до ближайшего стандартного значения дало тот же результат, как «точный» расчет. По кривой зависимости потока лампы от мощности	Приводятся значения удельной мощности w только для освещенности 100 лк (в данном случае E прямо пропорционально w). Потребовалось, чтобы не увеличивать объема таблиц, разбить люминесцентные лампы на группы с близкими значениями η , а для каждой группы давать отдельные значения w , что внесло некоторую дополнительную трудоемкость способа составления 5 баллов. Для сокращения объема таблиц в 4 раза и устранения указанной погрешности представляется целесообразным составлять	Отличается безусловной оригинальностью. Прибегнув к остроумному преобразованию исходных формул, автор нашел достаточно простое и относительно точное решение, которое приближенно учитывает также и форму помещения. Принятие эмпирической формулы, связывающей индекс помещения и коэффициент использования, создает для некоторых теоретических критериев силы света погрешность формулы до 9 %. Выбо-	Был предложен для решения частной задачи, но вполне заслуженно получил очень широкое распространение. Способ только для светильников с люминесцентными лампами. Необходимость задания всех основных факторов резко увеличивала число необходимых графических. Впредь предлагается строить графики только для освещенности 100 лк, но наносить на графике кривые для всех значений высоты, при которых вероятно применение	Еще не получил достаточной практической оценки. Хотя идея гиперболических графиков не нова, но А.И. Гольдин сделал интересную и, в общем, удачную попытку увеличения объема информации, приводимой на одном графике. Легко исправимой ошибкой является продолжение гипербол чуть ли не до осей координат, что дает возможность пользоваться ими при таких соотношениях длины и ширины помещения, при которых

определялась ожидаемая мощность лампы (без округления до стандартных значений). Существенный недостаток способа: увеличение погрешности в случаях неоптимального λ . Поэтому таблицы малоприменимы для нахождения $N = N(P)$. Трудоемкость расчета – 4 балла. Дальнейшее развитие в способе 2	таблицы для наиболее распространенной лампы ЛБ-40, и приводить таблицу переводных коэффициентов для разных освещенностей и различных типовых мер ламп. Таблицы будут точнее и компактнее, но трудоемкость может составить 7 баллов. (Последнее предложение использовано Е.А. Лесманом)	точные расчеты для реальных кривых давали погрешность до 12 %. Подбор параметров эмпирической формулы – довольно сложная задача. Характеристика этого способа расчета приведена отдельно – на примере ОУ с лампами ДРЛ, описанной в [12] – для двух значений потока ламп (способ характеризуется табл. 2.6–2.9 в разд. 2.5). Трудоемкость – 4 балла	рочные расчеты для реальных кривых давали погрешность до 12 %. Подбор параметров эмпирической формулы – довольно сложная задача. Характеристика этого способа расчета приведена отдельно – на примере ОУ с лампами ДРЛ, описанной в [12] – для двух значений потока ламп (способ характеризуется табл. 2.6–2.9 в разд. 2.5). Трудоемкость – 4 балла	данного светильника. Одновременно будет даваться таблица переводных коэффициентов для $E = var$ и др. Поскольку лампы ЛБ-40 наиболее распространены, в большинстве случаев потребуется пересчет только по освещенности, и трудоемкость способа составит от 3 до 5 баллов. Дополнительное допущение – дается зависимость $E_{\eta} = E_{\eta}(s)$	все упрощенные способы непригодны. Возможно, что в дальнейшем удастся специальным исследованием формы хода гипербола приблизженно учесть и роль формы помещения, пока же гиперболы должны быть ограничены сектором: $A : B = 0,3...3$. Способ пригоден только для расчета люминесцентного освещения. Трудоемкость может быть оценена в 3 балла
--	--	---	---	--	---

Список литературы

1. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг [и др.]. – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
2. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
3. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95* / Минстрой России. – Изд. офиц. – М.: ГП ЦПП, 1995. – 35 с.
4. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Спб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
5. Кнорринг Г.М. Сопоставление и выбор упрощенных способов расчета освещения... // Светотехника. – 1977. – № 8. – С. 15–18.
6. Кнорринг Г.М. Расчет освещения по удельной мощности // Светотехника. – 1956. – № 6. – С. 11–13.
7. Лесман Е.А. Упрощенный расчет общего равномерного освещения по способу условных удельных мощностей // Светотехника. – 1977. – № 2. – С. 20–23.
8. Вайнштейн В.Б. Расчет освещения по методу условной площади // Светотехника. – 1973. – № 1. – С. 12–13.
9. Гуров А.М., Прохоров Ю.В. График для определения потребляемой энергии и количества светильников. Руководящие материалы по проектированию сельского хозяйства. – М.: изд. ВНИПИсельэлектро, 1967. – № 6.
10. Лесман Е.А., Медведский Н.И. Определение количества светильников методом удельных значений // Светотехника. – 1974. – № 12. – С. 17–18.
11. Гольдин А.И. Новая форма гиперболического графика наложения // Светотехника. – 1977. – № 1. – С. 22–24.
12. Вайнштейн В.Б. Расчет освещения комбинированным методом: учебное пособие / В.Б. Вайнштейн, В.Д. Никитин; Томский политехнический институт. – Томск: Изд-во ТПИ, 1974. – 103 с.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО ТОКУ НАГРЕВА

3.1. Расчет осветительных сетей

Инженеры-светотехники должны владеть способами расчета светотехнических установок различного назначения. Однако сборник задач (расчетный практикум) по проектированию электрического освещения отсутствует.

В ходе самостоятельных работ знание теоретических аспектов проектной работы, получаемое в лекционном курсе «Светотехнические установки», расширяется и углубляется путем решения конкретных задач, основанных на практике проектных организаций. Решение наиболее интересных, а также часто встречающихся задач анализируется; в простых задачах даются лишь краткие пояснения. Методические указания предназначены для самостоятельных аудиторных занятий, поэтому в текст включены (в минимальном объеме) необходимые справочно-информационные материалы.

Электрическая и светотехническая части осветительных установок тесно связаны между собой [1, 2] (отличия в их проектировании указаны в таблице 4 [2]). В электрической части рассматриваются вопросы построения и эксплуатации сетей для распределения энергии, необходимой для питания источников света. Осветительная сеть (ОС-список обозначений дан в табл. 3.1) весьма протяженная, разветвленная, прокладывается в самых разных условиях. Расчеты ОС – наиболее трудоемкая часть светотехнического проектирования; это обусловлено тем, что к электрической сети предъявляются разнообразные требования (по температурному режиму, уровню напряжения, механической прочности, электро-, пожаро-, взрывобезопасности и др.).

Нормативными документами при устройстве и эксплуатации электроустановок, в том числе осветительных, являются «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) [3] и «Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий» (ПТЭ).

Таблица 3.1

Основные условные обозначения

Понятие	Условное обозначение, размерность
Осветительная сеть	ОС
Аппарат защиты	АЗ
Мощность	P , кВт
Ток	I , А
• допустимый (аппарата защиты)	$I_{\partial} (I_3)$, А
Напряжение	U, В
• линейное (фазное)	$U_{\text{л}} (U_{\phi})$, В
Потеря напряжения	ΔU , %
Сопротивление единицы длины линии	$r_0(X_0)$, Ом/км
• активное (реактивное)	
Удельная проводимость	γ , См/м
Длина проводника	L , м
Сечение	S , мм ²
Температура:	
• окружающей среды	ϑ_0 , °С
• провода	ϑ , °С
Момент нагрузки	M , кВт·м
Коэффициент:	
• мощности	$\cos \varphi$
• учитывающий мощность ПРА	$K_{\text{пра}}$
• спроса	K_c
• числа проложенных кабелей	K_n
• температурных условий	K_m
• кратности защиты	K_3
• поправочный на условия прокладки	$K_{\text{прокл}}$
Автоматический выключатель	АВ

3.2 Общие положения по расчету сечения проводов и кабелей

Центральной задачей при проектировании ОС является расчет (выбор) сечений проводников [4–9], который производится:

- по току нагрузки (определяет сечение для сильно нагруженных коротких сетей);
- потере напряжения (определяет сечение для слабонагруженных длинных сетей);
- механической прочности проводов как при монтаже, так и в процессе эксплуатации (табл. 3.2).

Соотношение между методами представлено (принципиально) на рис. 3.1.1 [2]. Сечение проводника в сети до 1000 В, в основном, зависит от величины расчетного тока, но влияют также следующие факторы: необходимость защиты сети от перегрузки, температурные условия окружающей среды, характер помещения, тип изоляции проводника и др. Следует отметить, что, согласно ПУЭ, расчет сетей до 1000 В по экономической плотности тока производится для питающих сетей (от ТП до распределительных шкафов) цехов, имеющих число часов использования максимума $T_{\text{м}}$ более 4000–5000. Остальные сети, как и ответвления к отдельным электроприемникам, по $I_{\text{эк}}$ не выбираются [10].

Отметим также, что длительно допустимый ток в функции сечения проводника должен быть согласован с аппаратом защиты этого проводника по условию

$$I_{\text{д}}(S) \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}}, \quad (3.1^{**})$$

где K_3 – коэффициент (кратность) защиты, т. е. отношение длительно допустимого тока проводника к номинальному току или току уставки срабатывания защитного аппарата при перегрузке или КЗ; I_3 – номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата, А; $K_{\text{прокл}}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей.

Объяснения по $I_{\text{д}}$ приведены в разделе 3.3.

Таблица 3.2

*Минимальные сечения (алюминиевых) проводников
по механической прочности*

Условия		Сечение, мм ²				
		2,5	4	6	10	16
Провода на изоляторах при их шаге, м			6		≤12	>12
Ответвление от ВЛ, м				10	25	
Заземляющие проводники		Изолированные		Голые		
Вид сети	Групповая	Ввод в квартиры		Питающая		

Таблица 3.3

Длительно допустимый ток I_d для проводов и кабелей

Группа проводов	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией			Кабели с изоляцией		Голые провода
				резиновой и пластм.	бумажной пропитан.	
Характерная марка	АПР-АПРТО-АПВ		ПР-ПРГ-ПВ	АВВБ-АНРБ	ААБ-АСБ	А
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах	открыто	в земле	в земле	открыто вне помещений / в помещениях
Сечение, мм ²	I_d , при числе жил (одножильных проводов), равном, А					
	∀	4	4	4	4	∀
2,5	24	19	30	26	—	—
4	32	23	41	35	38	—
6	39	30	50	42	46	—
10	60	39	80	63	65	—
16	75	55	100	81	90	105/75
25	105	70	140	104	115	135/105
35	130	85	170	126	135	170/130
50	165	120	215	158	165	215/165
70	210	140	270	190	200	265/210

3.3. Расчет по току нагрева

Выбор сечения S по току нагрева (синонимы: по температуре нагрева; по термической стойкости изоляции) сводится к сравнению расчетного тока в проводнике с табличным значением длительно допустимой нагрузки для принятой конструкции провода или кабеля и условий прокладки. При этом должно соблюдаться условие $I_P \leq I_\theta(S)$.

Расчетный ток определяется по формуле

$$I_P = P_y \cdot K_o \cdot K, \quad (3.2)$$

где P_y – установленная мощность (кВт), активная мощность осветительной установки, определяемая светотехническим расчетом; $P_y = P_L \cdot N_L \cdot K_{ПРА}$ (P_L – мощность одной лампы, N_L – число ламп, $K_{ПРА}$ учитывает мощность ПРА (при ГРЛ)); K_C – коэффициент спроса (см., например [2] рис. 2.4.1); k – коэффициент, зависящий от системы напряжения и коэффициента мощности:

$$k = n U_\phi (\cos \varphi)^{-1}. \quad (3.3)$$

Таблица 3.4

Сеть	Ток
Трёхфазная, с нулем и без нуля, при равномерной нагрузке фаз (РНФ)	$I = \frac{P_3}{3 U_\phi \cos \varphi} = \frac{P_3}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} \quad (3.4)$
Двухфазная с нулем, при РНФ	$I = P_2 (2 U_\phi \cos \varphi)^{-1} \quad (3.5)$
Двухпроводная	$I = P (U_H \cos \varphi)^{-1} \quad (3.6)$

В формулах (3.4), (3.5) и (3.6) P – расчетная мощность нагрузки (включая мощность ПРА), соответственно, трех, двух и одной фаз, кВт; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; U_L, U_ϕ, U_H – напряжение сети (кВ): линейное, фазное, номинальное.

При протекании тока в сети выделяется энергия, идущая на нагрев проводов и кабелей. Как только температура проводника ϑ_l превысит температуру окружающей среды ($\vartheta_l > \vartheta_0$), теплота начинает отдаваться проводником в окружающую среду. Через некоторое время наступает тепловое равновесие, при котором количество теплоты, выделяемой в проводнике за единицу времени, равно теплоте, рассеиваемой в окружающую среду (рис. 3.1 и 3.2).

Согласно закону Джоуля–Ленца, количество тепла, выделяющееся при прохождении через проводник тока, равно:

$$Q_{\text{выд}} = I^2 R t = I^2 L \left(\gamma \frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}, \quad (3.7)$$

где I – ток, А; L – длина проводника, м; γ – удельная проводимость, См/м; d – диаметр проводника, м; t – время, с.

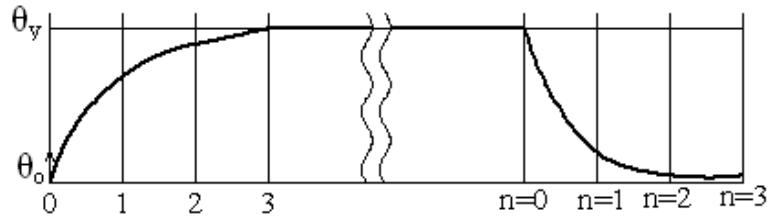


Рис. 3.1. Изменение температуры провода во времени

Количество тепла, рассеиваемого с поверхности проводника, равно

$$Q_{\text{расс}} = \pi d L \Delta \vartheta K t, \quad (3.8)$$

где $\Delta \vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2$: ϑ_1 – температура проводника, °С; ϑ_2 – температура окружающей среды, °С; K – коэффициент теплопередачи (зависит от площади поверхности, числа жил, условий прокладки).

В стационарных условиях (установившийся тепловой режим) наступает тепловое равновесие, когда

$$Q_{\text{выд}} = Q_{\text{расс}},$$

$$I^2 L \left(\gamma \frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1} t = \pi d L \Delta \vartheta K t, \quad (3.9)$$

при этом $I^2 \sim d^3 \Delta \vartheta K \gamma$.

Следовательно,

$$I \sim \sqrt{S^{3/2} \Delta \vartheta K \gamma}, \quad (3.10)$$

где S – сечение проводника.

Каждому току, длительно протекающему по проводнику при заданных условиях охлаждения, соответствует вполне определенный нагрев проводника.

Из формулы (3.10) следует, что длительно допустимый ток зависит от четырех факторов:

- 1) сечение жилы (теоретически $I_{\text{д}} \sim S^{3/4}$, фактически $I_{\text{д}} \sim S^{0.67}$);
- 2) удельная проводимость (по «Справочной книге» [1] для алюминия $\gamma = 30,5 \cdot 10^6$ См/м, для меди $\gamma = 50 \cdot 10^6$ См/м);
- 3) разность температур жилы и окружающей среды;
- 4) коэффициент теплопередачи.

Специальные исследования и практика эксплуатации позволили установить предельные значения температуры нагрева проводов и жил кабелей (превышение этих температур приводит к ухудшению технических характеристик электрических сетей), °С [1]:

Голые провода внутри и вне помещения	70
Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией и кабели с резиновой изоляцией	55

Провода и кабели с резиновой теплостойкой изоляцией	65
Кабели с бумажной изоляцией, пропитанной компаундом, при напряжении до 3 кВ	80

На практике длительно допустимые значения токов для различных материалов находят по таблицам для проводов и кабелей стандартных сечений и условий. Так, для $t_{жс} = 70^\circ$ (80°), $t_0 = 25^\circ$ (15°) и т. д. значения длительно допустимого тока даны в табл. 12–2 – 12–4 [1]. Фрагмент представлен в табл. 3.3.

При отличии от табличных условий используются поправочные коэффициенты на температуру, число кабелей, режим работы.

1. Табличные значения допустимых токов соответствуют температуре окружающей среды: для кабелей, проложенных в земле или в воде – $+15^\circ\text{C}$; кабелей, проложенных в воздухе – $+25^\circ\text{C}$. При иной температуре окружающей среды допустимый ток

$$I'_{\text{дон}} = I_{\text{дон}} \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{дон}} - \vartheta'_0}{\vartheta_{\text{дон}} - \vartheta_0}}, \quad (3.11)$$

где $\vartheta_{\text{дон}}$ – допустимая температура проводника по ГОСТу; ϑ_0 и ϑ'_0 – расчетная и фактическая температура окружающей среды.

$$\text{Величина} \quad K_T = \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{дон}} - \vartheta'_0}{\vartheta_{\text{дон}} - \vartheta_0}} \quad (3.12)$$

является поправочным коэффициентом на измененную температуру окружающей среды. Она приводится в таблицах (см., например, табл. 12.5 [1]).

2. Теплоотдача кабелей, проложенных в общей траншее, зависит от числа кабелей и расстояния между ними. При определении допустимых токов для таких кабелей используется поправочный коэффициент $K_{\Pi} < 1$, причем

$$I'_D = I_D K_{\Pi}, \quad (3.13)$$

где I_D – длительно допустимый ток для одиночного кабеля.

3. При повторно-кратковременных нагрузках (для медных проводников сечением более 10 мм^2 и алюминиевых – более 16 мм^2) длительно допустимый ток рассчитывается по формуле

$$I'_D = I_D \frac{0,875}{\sqrt{ПВ}}, \quad (3.14)$$

где I_D – максимально допустимый ток для данного сечения проводника; ПВ – продолжительность включения в относительных единицах (отношение продолжительности рабочего периода t_p к продолжительности цикла t_u).

При одновременном действии различных нестандартных условий табличная предельно допустимая нагрузка должна пересчитываться на новые условия:

$$I'_d = I_d K_m K_n \frac{0,875}{\sqrt{ПВ}} = I_d K_{прокл}, \quad (3.15)$$

где $K_{прокл}$ – поправочный коэффициент из формулы (3.1).

3.4. Факторы, влияющие на значение длительно допустимого тока для проводов и кабелей

Зависимость коэффициента теплопередачи конвекцией от сечения проводника $K(S)$:

$$K(S) = I_d^2 S^{-\frac{3}{2}} \left[2\sqrt{\pi} \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \right]^{-1} = I_d^2 S^{-\frac{3}{2}} \cdot F^{-1}. \quad (3.16)$$

Здесь ограничимся анализом для (широко распространенного) случая проводов и шнуров, проложенных открыто. Хотя теоретически $I_d \propto S^{0,75}$, но фактически $I_d \sim S^{0,63 \pm 0,67}$ (анализ приведен в «Справочной книге» [1]); для данного случая $I_d \sim S^{0,64}$.

Тогда

$$K(S) \propto S^{2 \cdot 0,64} \cdot S^{-\frac{3}{2}} \cdot F = S^{-0,22} \cdot F. \quad (3.17)$$

Поскольку $K(S) \sim S^{-0,22}$, то производная $\frac{dK}{dS} \sim -S^{-1,22} < 0$ (3.18)

и функция $K(S)$ – монотонно убывающая.

При сечении $S = 10 \text{ мм}^2$ монотонность зависимости $K = K(S)$ нарушается; поставлена задача выявить причину этого и найти «правильное» значение $K(10)$. Ситуацию $K(10) > K(6)$ просто и естественно объяснить наличием погрешности при экспериментальном определении I_d : сечение исследовавшегося образца было менее номинала, обусловив локальный максимум $K(10)$; в табл. 3.5 показано, что вместо 10 мм^2 было, вероятно, $S = 8,7 \text{ мм}^2$.

Для отыскания «правильного» значения $K(10)$ вначале выполним корректировку значения плотности тока (ПТ) i для $S = 10 \text{ мм}^2$. Функция

$$i(S) \sim S^{0,64} \cdot S^{-1} = S^{-0,36} \quad (3.19)$$

в диапазоне $6 \dots 16 \text{ мм}^2$ аппроксимируется формулой

$$i(S) \sim 12,36 \cdot S^{-0,36}. \quad (3.20)$$

Аппроксимация $I(S) = G \cdot S^{0,64}$ приведена в табл. 1 для интервалов: 2,5 и 4; 6, 10 и 16; 25, 35 и 50; 70 и 95 мм^2 (кусочный характер – для снижения погрешности); среднее значение $I_{S=2,5 \div 50} = 12,42 \cdot S^{0,64}$.

Корректировка $i(S)$ выполнена в табл. 3.6, 3.7 и на рис. 3.2.

Отметим особенности:

- Привлечение (гипотетического) значения ПТ для $S_{Al} = 1,5 \text{ мм}^2$ на основе i для $S_{Cu} = 1,5 \text{ мм}^2$ с использованием в качестве поправки величины $\gamma_{Al}^{\frac{1}{2}} \cdot \gamma_{Cu}^{-\frac{1}{2}}$ позволяет увеличить объем исходных данных.
- Для нахождения значения длительно допустимого тока $I_\delta(10)$ достаточно умножить значение плотности тока на сечение $S (\text{мм}^2)$, т. к. по определению $i = I \cdot S^{-1}$.
- Нахождение скорректированного значения K для $S = 10 \text{ мм}^2$ показано в табл. 3.6; для расчета используется формула (3.16).

Сравнение значений K на основе «Справочной книги» [1] и с учетом формулы (3.16) дано в табл. 3.7.

Таблица 3.5

Коэффициенты G формулы $I(S) = G \cdot S^{0,64}$ и сравнение двух методик для нахождения $i(10)$

$S, \text{мм}^2$	2,5 и 4	6, 10 и 16	25, 35 и 50	70 и 95
G	12,8	12,36	12,1	13,8
Графический способ		Аналитический способ		
Зависимость $i = i(S)$ на основе «Справочной книги» [1] дает при $S = 10 \text{ мм}^2$ значение $i(10) = 5,4 \text{ А} \cdot \text{мм}^{-2}$. Но в табл. 12–2 [1] стоит $I_\delta(10) = 60 \text{ А}$, т. е. $i = 6,0 \text{ А} \cdot \text{мм}^{-2}$. Это позволяет – если реализуются указанные выше теоретические зависимости – указать значение S (точка D), при котором $i(S) = 6,0 \text{ А} \cdot \text{мм}^{-2}$: $SD = 8,7 \text{ мм}^2$, на 13 % меньше номинального сечения (выкладки опущены; особенности A, B, C, D объяснены в легенде к рис. 3.2)		Используется квадратичная интерполяция по Бесселю [15], данные по S_j и i_j приведены ниже		
		$S_j, \text{мм}^2$	$I_j, \text{А}$	$i_j, \text{А} / \text{мм}^2$
		$S_1 = 4$	32	$i_1 = 8$
		$S_2 = 6$	39	$i_2 = 6,5$
		$S^* = 10$	57*	$i^* = 5,7$
		$S_3 = 16$	75	$i_3 = 4,7$
		$S_4 = 25$	105	$i_4 = 4,2$

Таблица 3.6

Значение плотности тока (линия 1 на рис. 3.2) и приращение отношения $i[1]/i[16]$

$S, \text{мм}^2$	Значение плотности тока $i, \text{А} / \text{мм}^2$	$S, \text{мм}^2$	Рост значений $i, \%$
1,5	Гипотетическое, $i = 11,98$ (точка A на рис. 3.2)	2,5	$(24-21) / 21 \cdot 100 = 14$
10	Скорректированное: • по графику (точка B на рис. 3.2), $i = 5,4^*$; • формуле Бесселя, $i = 5,7$ (оказалось средним арифметическим между значением табличным и по графику)	4	$(32-28) / 28 \cdot 100 = 14$
		6	$(39-35) / 35 \cdot 100 = 11$
		10	$(60-50) / 50 \cdot 100 = 20$
		16	$(75-70) / 70 \cdot 100 = 7$
		25	$(105-95) / 95 \cdot 100 = 11$

Примечание: * – предлагаемое значение длительно допустимого тока $I_\delta = 5,4 \cdot 10 = 54 \text{ А}$ (вместо 60 А).

Таблица 3.7

Сравнение значений K на основе «Справочной книги» [1] и с учетом (1)
(принято значение $\Omega = 2\sqrt{\pi}(\Delta\theta)\gamma = 4,865 \cdot 10^9 \text{ град} \cdot \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$)

Сечение $S, \text{мм}^2$	2,5	4	6	10		16	25
Ток $I_\partial, \text{А}$	24	32	39	60	54*	75	105
Значение $S^{0,64}$	1,79	2,43	3,21	4,36		5,97	7,94
Отношение $I_\partial: S^{0,64}$	13,42	13,16	12,14	13,76	12,38	12,56	13,2
$K_{[I]} = I_\partial^2 \cdot S^{-1,28} \cdot (\Omega)^{-1}$	37	35,6	30,3	38,9	31,5	32,4	35,8
Значение $S^{3/2}$	3,953	8	14,69	31,62		64	125
$K_{(I)} = I_\partial^2 \cdot S^{-3/2} \cdot (\Omega)^{-1}$	29,95	26,3	21,28**	23,4	18,95	18,06	18,13
Отношение $K_{[I]}: K_{(I)}$	1,23	1,35	1,66	1,66	1,66	1,79	1,98

Примечание: * – предлагаемое значение ПТ (по графику) $i = 5,4 \text{ А/мм}^2$; при квадратичной интерполяции по Бесселю для значений $S = 4 - 6 - 10 - 16 - 25 \text{ мм}^2$: $i_{10} = 5,73 \text{ А} \cdot \text{мм}^{-2} \rightarrow I_\partial = 57,3 \text{ А}$.

** – Пример расчета:

$$K_{(I)} = I_\partial^2 \cdot S^{-3/2} \cdot (2\sqrt{\pi}(\Delta\theta)\gamma)^{-1} = 0,0213 \cdot 10^{-6} \text{ А}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{См}^{-1} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{мм}^{-3} = 21,3 \text{ Вт/град} \cdot \text{м}^2.$$

Существующий метод обоснования значений I_∂ основан на учете теплопередачи конвекцией. Однако в действительности открыто проложенный проводник рассеивает тепло также излучением (теплопроводностью пренебрегаем). В табл. 4 выполнено сравнение коэффициентов теплопередачи излучением K_p и конвекцией K_k для условий: Al , $\gamma = 30,5 \text{ См/м}$, $S = 6 \div 50 \text{ мм}^2$, $I_\partial = 39 \div 165 \text{ А}$, $t_{жс} = 70 \text{ }^\circ\text{С}$ (343 К), $t_{o,c} = 25 \text{ }^\circ\text{С}$ (298 К).

Коэффициент теплопередачи K представим в виде двух составляющих:

- K_k – учитывает теплопередачу конвекцией; монотонно убывает с ростом сечения проводника; описывается уравнением $KI \sim S^{-0,22}$ (чем тоньше цилиндр, тем относительно больше конвективные теплотери в окружающую среду);

- K_p – учитывает теплопередачу излучением; зависит от температуры проводника и среды и интегрального коэффициента излучения (в некоторых случаях – и от радиуса кривизны проводника).

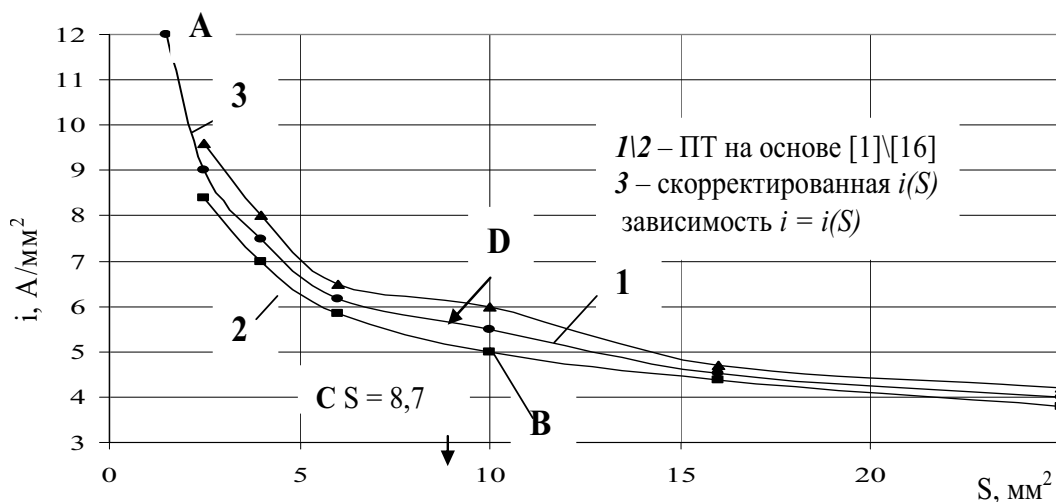
Уравнение теплового баланса (с единицы длины в единицу времени) с учетом и радиационных (по закону Стефана–Больцмана) теплотерь

$$I^2(\gamma \cdot S)^{-1} = \pi d(T_2 - T_1)K_k + \varepsilon \cdot \sigma(T_2^4 - T_1^4)\pi d. \quad (3.21)$$

Его можно привести к виду

$$I^2(\gamma \cdot S)^{-1} = \pi d(T_2 - T_1) \cdot (K_k + K_p), \quad (3.22)$$

где T_1 (T_2) – температура проводника (окружающей среды); K_k (K_p) – коэффициент теплопередачи конвекцией (излучением; коэффициент $K_p = \varepsilon\sigma(T_2^3 + T_2^2T_1 + T_2T_1^2 + T_1^3)$).



Точка	Значение	Условие
A	i гипотетическое	$S_{Al} = 1,5 \text{ мм}^2$; $i = 23 \text{ А} \cdot \sqrt{30,5 / 50} \cdot 1,5^{-1} = 12 \text{ А/мм}^2$
B	i предлагаемое	При сечении $S_{Al} = 10 \text{ мм}^2$: $i = 5,4 \text{ А/мм}^2$
C	вероятное $S = 8,7 \text{ мм}^2$ (вместо 10 мм^2)	При экспериментальном исследовании I_0
D	$i(8,7) = 6,0 \text{ А/мм}^2$	Равное табличному для $S = 10 \text{ мм}^2$ у Кнорринга Г.М. [1]

Рис. 3.2. Зависимость плотности тока от сечения

Сравнение K_k и K_p выполнено в табл. 3.8. Очевидно, что роль теплопотерь излучением в тепловом балансе с ростом температуры жилы все более заметна. Расчет коэффициента K_p при интегральном коэффициенте излучения $\varepsilon = 0,9$ постоянной Стефана–Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4$ при $T_2 = T_{жс} = 343 \text{ К}$ и $T_1 = T_{oc} = 298 \text{ К}$ дает $K_p = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (343^3 + 343^2 \cdot 298 + \dots + 343 \cdot 298^2 + 298^3) = 6,75 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ (при $t_{жс} = 50 \text{ °С}$ $K_p = 6,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$).

Сравнение значений $K(1)$ и $K[1]$ в табл. 3.7 показывает, что регламентируемые у Т.М. Корринга [1] значения I_0 предполагают высокие значения коэффициента теплопередачи. Учет, помимо конвективной, также радиационной составляющей покрывает рост требуемых значений K только для сечений $2,5$ и 4 мм^2 , но недостаточен для сечений $S \geq 6 \text{ мм}^2$.

Таблица 3.8

Сравнение коэффициентов теплопередачи излучением K_p и конвекцией K_k

Сечение S , мм ²		6	10	16	25	35	50
K_k , Вт·м ⁻² ·град ⁻¹		21,28	18,95	18,06	18,13	16,78	15,83
Отношение K_p/K_k (%)	50	28,7	32,3	33,9	33,7	36,5	38,7
при $t_{жс}$ (°C), равном	70	31,7	35,6	37,4	37,2	40,2	42,7

3.5. Методика комплексного решения задач по выбору сечения осветительной сети

Номограмма предназначена для определения минимально возможных сечений в осветительной сети по току и потере напряжения и построена для напряжения 220/380 В. Допустимые сечения по механической прочности должны определяться отдельно.

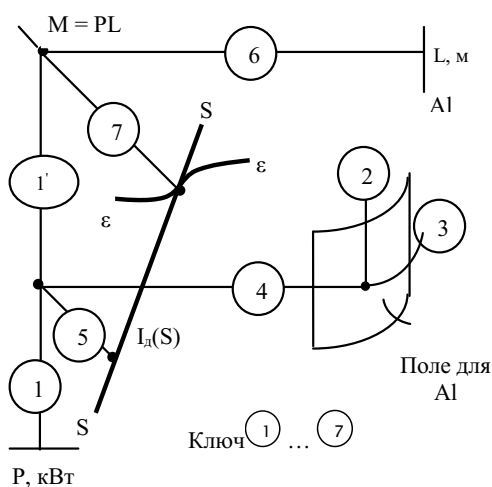
Шкалы расчетных длин участков и коэффициентов мощности расположены:

- для медных проводов – в левой части номограммы;
- для алюминиевых проводов – в правой части номограммы.

Способы прокладки для шкал коэффициентов мощности промаркированы:

А – открытая проводка; В – 2 одножильных провода в трубе или один 2-жильный открыто; С – 3 одножильных провода или один 2-жильный в трубе или один 3-жильный открыто; D – 4 одножильных провода в трубе; Е – один 3-жильный провод в трубе.

Условия охлаждения проводов и кабелей равных сечений практически одинаковы.



«Ключ» к номограмме

По точке пересечения вертикальной линии 1 от данной мощности и горизонтальной 4 от данного коэффициента мощности 3 при заданном способе прокладки 2 определяем (ближайшее большее) значение сечения проводника (но не менее допустимого по механической прочности!). Порядок действий показан на чертеже «ключ».

На линиях $s = \text{const}$ даны I_d для Cu и Al при открытой прокладке. Объяснение по второй части

номограммы ($\varepsilon(s)$), само изображение номограммы и примеры решения конкретных осветительных сетей будут представлены в отдельной публикации. Условия охлаждения проводов и кабелей равных сечений, согласно нормативным документам, приняты одинаковыми. Порядок расчета показан на следующих примерах.

Цех 108 м (18 пролетов), групповой щиток у колонны И (48 и 60 м от торцов, соответственно). Провод АПВ открыто (допустимо сечение – 6 мм ²). Цех освещен лампами ДРЛ-700 (3 светильника в гнезде для уменьшения пульсации, cosφ=0,5), мощность наиболее загруженных групп $3 \times 0,7 \times 1,1 \times 10 = \mathbf{23,1 \text{ кВт}}$ (если на две – 11,55 кВт)			Лампы ДНаТ (дорожное покрытие), ДРИ (тротуар), ГЛН (рекламные щиты); суммарная мощность 24,5 кВт при cosφ=0,74 , расчетная длина 105 м, допустимо 16 мм ²
группа 23,1 кВт	группа 11,55 кВт		
	минимальное сечение	увеличенное сечение	
Сечение по току: на вертикали от <i>P</i> = const и горизонтали от cosφ при данном способе прокладки			
16 мм ²	6 мм ²	6 мм ²	10 мм ²
Потеря напряжения: на вертикали от мощности и горизонтали от расчетной длины находим наклонную вправо вспомогательную линию и идем параллельно ей до выбранного сечения			
1,5 %	1,7 %, блоки через ферму	1,8 % сеч. 10 мм ²	3,6 % (на тросе – 5,8 %)
Условный расход: 16(сеч) × 18(прол.) = 288	Условный расход: 6 × 2 × 18 = 216	Условный расход: 6 × 9 + 10 × 18 = 234	

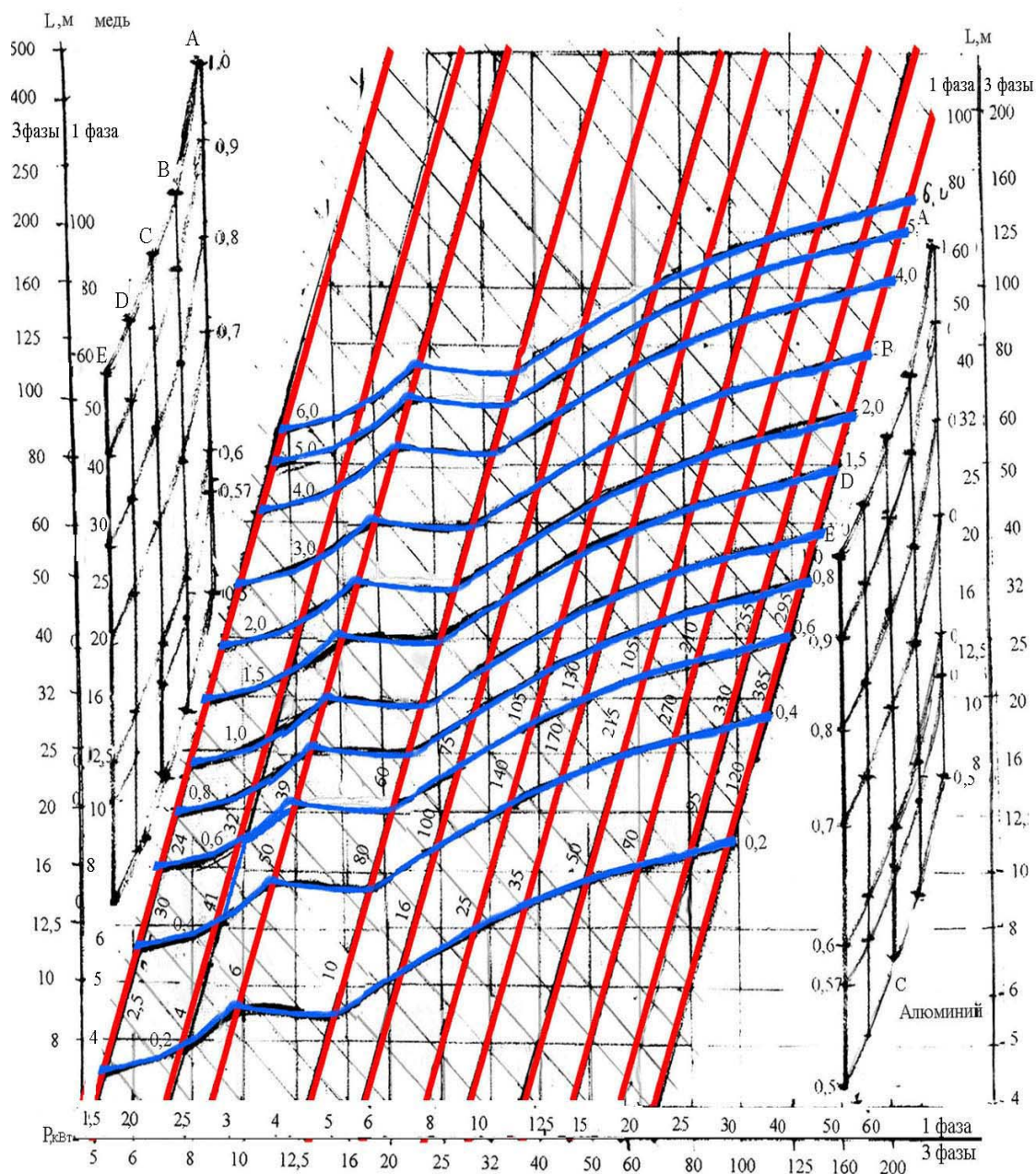


Рис. 3.3. Номограмма [17]

При работе с номограммой удобно пользоваться прозрачным треугольником.

3.6. Задачи

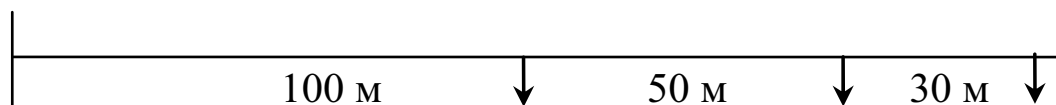
3.6.1. Определите значения установленной мощности и расчетного тока для сети (380/220 В; $K_C = 0,9$), питающей осветительный щиток с нагрузкой в 200 светильников ЛСП04-2·80 ($\cos\varphi = 0,92$; ПРА – стартерная). Найдите сечение жил кабеля ААБ в земле ($t_0 = 15^\circ\text{C}$), которым запитан щиток.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
200 светильников ЛСП04-2×80 $\cos\varphi = 0,92$; ПРА – стартерная $K_C = 0,9$ $t_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ $S = ?$	Установленная мощность $P_y = 200 \cdot 2 \cdot 0,08 \cdot 1,2 = 38,4\text{ кВт.}$ $I_p = \frac{38,4 \cdot 0,9}{3 \cdot 0,22 \cdot 0,92} = 57\text{ А.}$ По табл. 12.2 сечение жил $S = 10\text{ мм}^2$ ($I_{\mathcal{D}} = 65\text{ А} > 57\text{ А}$)

3.6.2. Алюминиевый провод А-70 допускает нагрузку по температуре нагрева 265 А. Найдите: а) допустимый ток для медного провода равного сечения при тех же условиях; б) температуру провода А-70 при токе 320 А и температуре окружающей среды +25 °С.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Алюминиевый провод А-70 $I_{\text{дон}} = 265\text{ А}$ $I_{\text{д}} = ?$ $\vartheta' = ?$	Допустимый ток для медного провода $I'_{\text{дон}} = I_{\text{дон}} \sqrt{\frac{\gamma_M}{\gamma_A}} = 265 \sqrt{\frac{50}{30,5}} = 339\text{ А.}$ Из формулы (5.10) находим, что температура алюминиевого провода равна: $\vartheta' = \frac{I_{\text{д}}'^2 (\vartheta_{\text{дон}} - \vartheta_0)}{I_{\text{дон}}^2} + \vartheta_0 = \frac{320^2 \cdot (70 - 25)}{265^2} + 25 = 90,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.6.3. Рассчитайте наружную воздушную линию (3ф+0, 380/220 В), питающую следующие нагрузки:



Нагрузка	1	2	3
Мощность P , кВт	20	30	50
Коеф. мощности $\cos\varphi$	0,7	1,0	0,8

В каком случае возможно ближайшее меньшее сечение?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Воздушная линия $(3_{\Phi} + 0, 380/220 \text{ В})$ $P_1 = 20 \text{ кВт}$ $P_2 = 30 \text{ кВт}$ $P_3 = 50 \text{ кВт}$ $\cos\varphi_1 = 0,7$ $\cos\varphi_2 = 1,0$ $\cos\varphi_3 = 0,8$ $S = 50 \text{ мм}^2?$ $S = 35 \text{ мм}^2?$	Суммарная активная мощность $\sum P = 20 + 30 + 50 = 100 \text{ кВт.}$ $\sum Q = P_1 \operatorname{tg}\varphi_1 + P_2 \operatorname{tg}\varphi_2 + P_3 \operatorname{tg}\varphi_3 =$ $= 20 \cdot 1 + 50 \cdot 0,7 = 55 \text{ кВАр.}$ Полная мощность $W = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = \sqrt{13025} = 115 \text{ кВАр.}$ $\cos\varphi = \frac{\sum P}{W} = \frac{100}{115} = 0,87.$ $I_P = \frac{100}{3 \cdot 0,22 \cdot 0,87} = 174 \text{ А}$

По табл. 3.3 имеем $S = 35 \text{ мм}^2$ с некоторым недостатком. Для окончательного выбора необходимо решение и другими методами.

3.6.4. Найдите сечение групповой сети, выполненной (открыто) проводом АПВ, питающей 12 светильников с лампами ДРЛ-700 ($K_{ПРА} = 1,1$; $K_C = 1,0$; $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $K_{20^\circ} = 1,05$). (Сравнение решения этой задачи по потере напряжения дано в табл. 3.9.)

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Провод АПВ 12 светильников $K_{ПРА} = 1,1$ $K_C = 1,0$ $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $K_{20^\circ} = 1,05$ $I_D = ?$	Для сети 380/220 В, $\cos\varphi = 0,5$, $n = 3$, $K = (3 \cdot 0,22 \cdot 0,5)^{-1} = 3,0.$ Расчетный ток $I_P = 12 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 3,0 = 28 \text{ А.}$ При $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $K_{20^\circ} = \text{Лампы ДРЛ-700} = 1,05.$ При $S_{\Phi} = 2,5 \text{ мм}^2$, $I_{\Phi} = 24 \text{ А}$; $I'_D = 24 \cdot 1,05 =$ $= 25,2 < 28.$ При $S_{\Phi} = 4 \text{ мм}^2$, $I_D = 32 \text{ В}$ и $I'_D = 33,6 > 28$

3.6.5. Нагрузка, потребляющая ток 600 А при напряжении 10 кВ, питается кабелями, проложенными в канале. Температура окружающей среды равна $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ ($K_T = 0,93$). Сколько кабелей марки ААБ-150 должно быть проложено в канале (расстояние между кабелями 100 мм)? Каков допустимый ток для этих кабелей?

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Кабель ААБ-150 $U = 10 \text{ кВ}$ $T_{OC} = +30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_T = 0,93$ $L = 100 \text{ мм}$	Для кабеля ААБ-150 допустимый ток при температуре кабеля $+60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре окружающей среды $+25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, согласно табл. 5.5 равен 210 А . При температуре воздуха $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $I = 600 \text{ А}$ допустимый ток будет меньше (поправочный коэффициент $K_T = 0,93$), и для одного кабеля $I'_д = I_д \cdot K_T = 210 \cdot 0,93 = 195 \text{ А}$

В задаче необходимо учесть тепловое поле соседних кабелей (величина K_{II} (по табл. 3.4) падает с ростом числа кабелей). Сравнение решения при 3-х и 4-х кабелях дано в табл. 3.7. По трем кабелям можно пропустить ток 497 А , меньший заданного, по четырем – ток 625 А , удовлетворяющий условию.

3.6.6. Найдите длительно допустимый ток, если сеть выполнена кабелем ААБ $S_{\phi} = 25 \text{ мм}^2$, проложенным по стене помещения (температура окружающей среды $t_0 = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Найдите $I_д$ при изменении температуры окружающей среды до $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Как изменится этот ток, если сеть выполнить медным проводом $S = 25 \text{ мм}^2$. Принять удельную проводимость для алюминиевых проводников $\gamma = 30,5 \cdot 10^6 \text{ См/м}$, для медных – $\gamma = 50 \cdot 10^6 \text{ См/м}$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$S_{\phi} = 25 \text{ мм}^2$ $t_0 = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{OC} = +30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $S = 25 \text{ мм}^2$ $I'_д$ при медной жиле?	Для кабеля ААБ по табл. 5.5 определяем длительно допустимую токовую нагрузку ($S_{\phi} = 25 \text{ мм}^2$, $\vartheta_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{жс} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$) $I_д = 65 \text{ А}$. При температуре окружающей среды $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по формуле (5.10) $\gamma = 30,5 \cdot 10^6 \text{ См/м}$ найдем, что $\gamma = 50 \cdot 10^6 \text{ См/м}: I'_д = I_д \sqrt{\frac{\vartheta_д - \vartheta'_0}{\vartheta_д - \vartheta_0}} = 65 \sqrt{\frac{60 - 30}{60 - 20}} = 56,5 \text{ А}.$ Соотношение тока сети, выполненной медными (М) и алюминиевыми (А) проводниками $\frac{I'_д А}{I'_д М} = \frac{\sqrt{\gamma_A}}{\gamma_M}$, откуда $I'_{дМ} = I'_{дА} \sqrt{\frac{\gamma_M}{\gamma_A}} = 56,6 \sqrt{50 \cdot 10^6 / 30,5 \cdot 10^6} = 73 \text{ А}$

3.6.7. Определите длительно допустимый ток в сети, выполненной проводом АС-70: а) в помещении при температуре окружающей среды $t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, б) вне помещения при температуре окружающей среды $t_0 = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
Провод АС-70 $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_0 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $I_d(25\text{ }^{\circ}\text{C}), I_d(20\text{ }^{\circ}\text{C}) = ?$	а) По табл. 5.2 определяем длительно допустимый ток для провода АС-70 в помещении при температуре окружающей среды $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре жилы $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$: $I_d = 210\text{ А}$. При температуре $\vartheta_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ допустимый ток по формуле (5.10) $I'_d = I_d \sqrt{\frac{\vartheta_d - \vartheta_0}{\vartheta_d - \vartheta_0}} = 210 \cdot \sqrt{\frac{(70 - 20)}{(70 - 25)}} = 221\text{ А}.$ Решение задачи б) аналогично (табл. 5.7)

3.6.8. По каким параметрам могут отличаться ОУ двух крытых неотапливаемых одностипных ($E_1 = E_2$) складов в северной части Новой Земли/Зеландии? Если сечение сети новозеландского склада известно, как можно быстро найти сечение сети новоземельского? Почему ответ, вероятно, не будет точным?

РЕШЕНИЕ. По условию, $E_1 = E_2$, отсюда $P_1 = P_2 \Rightarrow I_{P1} = I_{P2}$ (тонкие эффекты вроде зависимости $\eta = \eta(v)$, в этой главе не учитываем). Расчетный ток $I_P = 30\text{ А}$, кабель ААБГ (4 жилы) проложен открыто, $v_{жс} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, базовая $v_{баз} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Влияние климатических условий на I_d показано ниже.

Северный остров Новой	
Зеландии	Земли
Климат субтропический, морской, в январе (пик лета в Ю.п.) в Веллингтоне $v \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. По табл. 12.2 для 4 жил найдем, что ближайшее меньшее сечение $S = 4\text{ мм}^2$ недостаточно $I_{S=4\text{ мм}^2} = 27\text{ А} < I_P = 30\text{ А}$, и только при $S = 6\text{ мм}^2$, $I_d = 35\text{ А} \geq 30\text{ А}$	Климат холодный (арктический), в июле (лето) $v = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. С учетом лучших условий охлаждения «проходит» ближайшее меньшее сечение: при $S = 4\text{ мм}^2$ и $v = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$: $I'_d = 27\text{ А} \cdot \sqrt{\frac{70 - 5}{70 - 25}} = 32\text{ А} > 30\text{ А}$

* Во многих случаях (очень протяженная сеть и др.) для корректировки необходим расчет по потере напряжения.

Примечание: – если кабель предназначен для новоземельского полигона, понадобится специальное исполнение изоляции)

3.6.9. Какой из двух вариантов сети – $3 \times 16 + 1 \times 10$ или $2(3 \times 10 + 1 \times 6)$ – представляет меньшую пожарную опасность при следующем наборе условий:

ОУ1, $3 \times 16 + 1 \times 10$, Cu	ОУ2, $2(3 \times 10 + 1 \times 6)$, Al
По табл. 12–3 [1] и табл.3.3 $I_d = \begin{cases} 100\text{ А (открыто)} \\ 80(75)\text{ А (в трубе, 3(4))} \end{cases}$	По табл. 12–2 [1] и табл.3.3 $I_d = \begin{cases} 60\text{ А (открыто)} \\ 47(39)\text{ А (в трубе, 3(4))} \end{cases}$

РЕШЕНИЕ. Сравнение длительно допустимых токов I_{∂} , А, в ОУ1 и ОУ2, в зависимости от способа прокладки и, для трубных проводок, от типа ИС, дано ниже.

Проводка	Значение I_{∂} на жилу, А	I_{∂} , А	ОУ1	ОУ2
Открыто	$100^* < 2 \cdot 60 = 120$	120 100		Прокладка открыто
В трубе, каналах и аналогах ($K_n = 0,9$ по табл. 3.9)	Для ЛОН, ГЛН ($I_N \sim 0$)	85		ЛН ($I_N \sim 0$)
	$80^* < 2 \cdot 47 \cdot 0,9 = 85$	80		Прокладка в трубе и аналогах
	Для ЛЛ ($I_N \sim 0,5 I_{\phi}$)	75		ЛЛ ($I_N \sim 0,5 I_{\phi}$)
	$75 > 2 \cdot 39 \cdot 0,9 = 70^*$	70		

Примечания: – 1) ПБ (см. примечание 2) при токах I_p , менее указанных звездочкой * значения 80 (70), обеспечивается в обеих ОУ; 2) ввиду неполноты данных вместо ПБ лучше говорить о «запасе пропускной способности» в каждом варианте и цене этого «запаса»; 3) «расщеплением нагрузки» следует пользоваться осторожно; в ОУ2 затраты на проводники (хотя Al дешевле Cu) и монтаж – выше.

3.6.10. Можно ли рассчитать по I_d сечение проводов ПР в помещении, если страница с таблицей «Длительно допустимый ток I_d ... с медными жилами...» в справочнике утрачена, но сохранилась таблица для алюминиевых проводников. Возможно ли использовать ПР для зарядки светильников с лампой ДРЛ-700, подвешенных на крюке?

РЕШЕНИЕ. В соответствии с формулой (3.9) $I_{\partial} \sim \gamma^{0,5}$, следовательно, для меди значение $I'_d = I_{DAL} \cdot \gamma_{Cu}^{0,5} \cdot \gamma_{AL}^{-0,5}$, т.е. увеличится в $\sqrt{50 \cdot 30,5^{-1}} = 1,3$ раза.

Для зарядки мощных СП предназначены нагревостойкие провода с оплеткой из стекловолокна ПРКС (К-кремнийорганическая резина) либо ПРБС (Б-резина на основе бутилкаучука) и т.п., см., например, с.294 [1]. А провод ПР – с медной жилой, резиновой изоляцией, оплеткой из х/б пряжи, пропитанной противогнилостным составом – для зарядки СП не следует использовать ввиду напряженного теплового режима ($P_{\lambda} = 700 \text{ Вт}$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

Таблица 3.9

Поправочный коэффициент на число работающих кабелей, проложенных (в трубах или без труб) в земле

Расстояние кабелями, мм	Значения K_{Π}^* при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Примечание: * – в американской практике принимаются значения K_{Π} (на основе [12]).

Число проводников	4 ÷ 6	7 ÷ 24	25 ÷ 42	>42
Значение K_{Π}	0,8	0,7	0,6	0,5

Таблица 3.10

Длительно допустимая токовая нагрузка на голые сталеалюминиевые провода вне помещений при температуре +20 °С (по [11])

Сечение, мм ²	35	50	70	95	120	185	240	35
Ток, А	175	210	265	350	445	510	610	175

Таблица 3.11

$I_{\text{д}}$ трехжильных кабелей с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых на воздухе

Сечение жилы, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
$I_{\text{д}}$, А	45	65	80	105	130	155	185	210	235	270

Таблица 3.12

К решению задачи 3.6.7 ($K_T = 0,93$)

Число кабелей	3	4
Коэффициент K_n	0,85	0,8
Значение $nI_{\text{д}}$, А	$3 \cdot 210 \cdot 0,93 \cdot 0,85 = 497$	$4 \cdot 210 \cdot 0,93 \cdot 0,8 = 625$
Вывод	не удовлет., т. к. $497 < 600$	удовлетв., т. к. $625 > 600$

Таблица 3.13

К решению задачи 3.6.10

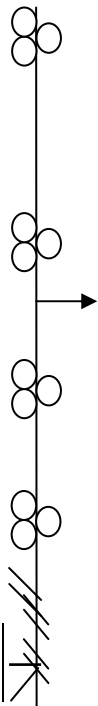
Сеть	$t_0, ^\circ\text{C}$	Значения K	I , А	I_j , А
В помещении	+20	$\sqrt{(70 - 20)/(70 - 25)}$	210	221
Вне помещения	-20	$\sqrt{(70 - (-20))/(70 - 25)}$	265	378

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

Таблица 3.14

Сравнение методов расчета сечения по току нагрева и потерям напряжения

Показатели	Расчет по току нагрева	Расчет по потере напряжения
Критерий	Односторонний: $I_p \leq I_0$	Двухсторонний: $U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$
Расположение СП	Не учитывается	Учитывается
Температурные условия	Учитываются $t_{жс}$ и t_0 (аналитически или с использованием табл. 12-5 [1])	Реально не учитываются (значения γ входят из средней эксплуатационной температуры жилы +35 °C)
Влияние на АЗ	Соотношение I_d и номинального тока АЗ учитывается табл. 10-3 [1]	Не учитывается
Влияние на освещенность	Не учитывается	Учитывается (зависимость потока ИС от напряжения питания оценивается грубо)
Основные формулы; параметры, учитываемые методом	$I_p = P_y K_C K \leq I_d (S),$ где P_y – установленная мощность электроприемников, кВт; K_C – коэффициент спроса (по рис. 2.4.1 [2]); K – коэффициент, зависящий от величины напряжения, системы рассчитываемого участка сети и коэффициента мощности (по табл. 2.4.1 [2])	$S = M/C \Delta U,$ где M – момент нагрузки, кВт·м; C – коэффициент, зависящий от материала проводника и системы напряжения сети (табл. 12-9 [1]); ΔU – потери напряжения (по табл. 12-6 [1]) в зависимости от мощности трансформатора, коэффициента его загрузки β и коэффициента мощности нагрузки

Показатели	Расчет по току нагрева (зад. 5.5)		Расчет по потерям напряжения	
Другие формулы	$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} \cdot K_{\text{ПРА}}$, где P_{Σ} – мощность ламп, кВт; $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент, учитывающий мощность ПРА газоразрядных ламп (для ламп ДРЛ $K_{\text{ПРА}} = 1,1$)		$M = P \cdot L$, где P – нагрузка, кВт; L – длина линии, м. В общем случае: $M_{\Sigma} = M + \alpha_m$, где α – коэффициент приведения моментов	
	При $N = 12$ ламп ДРЛ-700 ($K_{\text{ПРА}} = 1,1$, $K_C = I$; $K = 3,0$, АВП, открыто, $t_{0c} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) $I_P = 12 \times 0,7 \times 1,1 \times 1,0 \times 3,0 = 28\text{ A}$; $K_t \cdot 20 = 1,05$. Требование к S : $I_{\Sigma}(S) \geq I_P$		Трансформатор 1000 кВАр, $\beta = 0,8$, $\cos \varphi = 0,7$, (не путать с $\cos \varphi = 0,5$ ламп ДРЛ), $U_{\text{лам}} = 97,5\text{ \%}$, $\Delta U = 3,8\text{ \%}$, на групповую сеть $\Delta U_{\Sigma} = 1,8\text{ \%}$. $I_0 = I_1 = I_2 = I_3 = I = 10\text{ м}$. $C = 44$. $S = \frac{12 \times 0,77(10 + 15)}{44 \times 1,8} = 2,9 \Rightarrow 4\text{ мм}^2$ По табл. 12.11[1] при $\Delta U = 1,8\text{ \%}$ и $M = 7,7 \times 1,1 \times 12 \times 25 = 228\text{ кВтм}$, $S = 4\text{ мм}^2$ и фактически $\Delta U_{\Sigma} = 1,3\text{ \%}$. На питающую сеть остается $(3,8 - 1,3) = 2,5(\text{ \%})$	
Пример: рассчитать сечение групповой сети, питающей 12 светильников (4 блока по 3 СП в каждом)	S_{Φ} , мм ²	I_{Σ} , А	$I_{\Sigma} \times K_t$	Вывод
	2,5	24	25,2	$I'_{\Sigma} < I_P$
	4	32	33,6	$I'_{\Sigma} > I_P$
	АВП  10 м 10 м 10 м 10 м 12С34ДРЛ $\Sigma P = 12 \times 0,7 \times 1,1 = 9,2$			

Список литературы

1. Справочная книга по проектированию электрического освещения / Кнорринг Г.М. [и др.] – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
2. Вайнштейн В.В., Никитин В.Д. Электрическая часть осветительных установок: учебное пособие. – Томск: ТПИ, 1984. – 90 с.
3. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 90 с.
4. Электротехнический справочник / под общ. ред. М.Г. Чиликина, П.Г. Грудинского и др. – М.: Энергия, 1975. – Т. 2. – 731 с.
5. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера. – М.: Энергия, 1974. – 696 с.
6. Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных установок / под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера. – М.: Энергия, 1974. – 727 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1981. – 408 с.
8. Райцельский Л.А. Справочник по осветительным сетям. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
9. Осветительные установки промышленных предприятий (справочник). – Ч. 3: Электротехническая. – М.: изд. ГПИ ТПЭП, 1975. – 193 с.
10. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. – Томск: изд. ТПУ, 1983. – 96 с.
11. Петренко Л.И. Электрические сети: сборник задач. – Киев: Вища школа, 1985. – 271 с.
12. Райцельский Л.А. О проектировании осветительных установок в США // Светотехника. – 1990. – № 8. – С. 24–27.
13. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
14. Каминский Е.А. Практические приемы чтения схем электроустановок / Е.А. Каминский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 368 с.
15. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
16. Кнорринг Г.М. Справочник для проектирования электрического освещения. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 340 с.
17. Пашник К.П. Погрешность в расчетах и описание светового поля двухмерного излучателя с косинусостепенным светораспределением / К.П. Пашник, В.Д. Никитин // Тр. Рос. светотехнический интернет-конференции. 3–16 июня 2009 г. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Б.м., 2009. – Режим доступа: <http://nsk2009.svetotech.cjm/?=99>, свободный.

Учебное издание

ГРЕЧКИНА Татьяна Валерьевна
НИКИТИН Владимир Дмитриевич

РАСЧЕТНЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Учебное пособие

Научный редактор *доктор физико-математических наук,*
профессор В.Ю. Яковлев
Редакторы *И.А. Свиридова, А.В. Высоцкая*
Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*
Дизайн обложки *О.Ю.Аршинова*

Подписано к печати 22.12.2009. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 8,84. Уч.-изд.л. 7,99.
Заказ 959-10. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: 8(3822) 56-35-35, www.tpu.ru