

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

В.Д. Никитин, К.П. Толкачева

СВЕТОВОЕ ПОЛЕ В УСТАНОВКАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 628.931

Н62

Никитин В.Д.

Н62 Световое поле в установках наружного освещения: учебное пособие / В.Д. Никитин, К.П. Толкачева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 113 с.

В пособии анализируются установки наружного освещения – для улиц, прожекторные и др. Обсуждаются существующие методы расчета освещения. Разработан ряд способов расчета, которые целесообразны для практической проектной работы.

Предназначено для студентов очного обучения специальности 200203, студентов заочного обучения специальности 210102, а также магистров-светодизайнеров по программе 551907.

УДК 628.931

Рецензенты

Кандидат технических наук,
профессор кафедры системо-энергетики КрасГАУ
Я.А. Кунгс

Заместитель генерального директора «Томскгорсвет»
В.А. Ре

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010

© Никитин В.Д., Толкачева К.П., 2010

© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений и условных обозначений.....	4
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1.ЗНАЧЕНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	11
1.1. Функциональный и эстетический аспекты.....	11
1.2.Влияние освещения на ДТП и криминальную обстановку.....	16
1.3.Светотехническая характеристика СП для наружного освещения.....	23
1.4.Электрическое освещение в Томске.....	27
1.5.Вопросы экономики и экологии.....	36
2. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВОГО ПОЛЯ.....	42
2.1. <i>Основные</i> особенности данной главы.....	42
2.2. Освещенность в поле точечного излучателя.....	43
2.3. Освещенность в поле линейного излучателя.....	45
2.4. Освещенность в поле двухмерного излучателя.....	47
3. РАСЧЕТЫ ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ.....	50
3.1.Нормирование освещения в уличных ОУ.....	50
3.2.Анализ методов расчета освещенности улиц.....	60
3.3.Совершенствование расчетов освещенности улиц.....	63
3.4.Конструктивное выполнение ОУ улиц.....	69
3.5.Технико-экономический анализ уличных установок.....	72
4. РАСЧЕТЫ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	79
4.1. Неортогональное расположение СП. Прямое построение изолюкс в по- ле прожектора.....	79
4.2. Расчет освещенности в поле одиночного прожектора.....	82
4.3. Веер прожекторов: сравнение стандартной и предлагаемой мето- дик.....	86
4.4 Прямое построение графика приведенной освещенности.....	89
4.5 Технико-экономический анализ прожекторных ОУ.....	91
5.НАРУЖНОЕ АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ.....	95
5.1 Архитектурное освещение в ночном городе.....	95
5.2. Анализ математических процедур при освещении фасадов и памятни- ков.....	101
5.3. Интерполяция силы света.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	112

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ* И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АО	– архитектурное освещение;	Φ	– световой поток;
ГЛН	–галогенная лампа накаливания;	Φ _л	– световой поток лампы;
ГРЛ	– газоразрядная лампа;	I	– сила света;
<u>ДНаТ</u>	– дуговая натриевая трубчатая;	L	– яркость;
ДРИ	– дуговая ртутная с йодидами;	R _a	–индекс цветопередачи
ДРЛ	– дуговая ртутная люминесцент-ε	– освещенность относи-	
ЕСЭ	ная;	тельная;	
	– единица световой энергии;		
ИС	– источник света;	E	– освещенность;
КЛЛ	– компактная люминесцентная	– освещенность условная;	
	лампа;	ζ	– освещенность приведен-
КПД	– коэффициент полезного дейст-	ная;	
	вия;		
КСС	– кривая силы света;	E _в	– освещенность в плоско-
ЛЛ	– люминесцентная лампа;		сти вертикальной;
ЛН	– лампа накаливания;	E _г	– освещенность в плоско-
<u>МГЛ</u>	– металлогалогенная лампа;		сти горизонтальной;
НЛВД	– натриевая лампа высокого дав-	E _н	– освещенность в плоско-
	ления;		сти наклонной;
НО	– наружное освещение;	τ	–срок службы ИС;
ОУ	– осветительная установка;	P _л	– мощность лампы;
ПРА	– пускорегулирующий аппарат;	h	– расчетная высота;
СО	– световая отдача;	d	– координата для круглосим-
СП	– световой прибор;		метричного излучателя
УНО	– установка наружного освеще-	(расстояние до оси СП);	
	ния;		
УО	– уличное освещение;	K	– коэффициент запаса;
УОУ	– уличная осветительная уста-	K _у	–коэффициент усиления;
	новка;		
ЭЭ	– электроэнергия;	ψ	– коэффициент перехода от
			E _г к E _н ;
LED	–light- emitting diode (светодиод).	P	– показатель ослепленно-
			сти.

* Дублирование (ДНаТ=НЛВД, ДРЛ=МГЛ) отражает неустойчивость терминологии; рекомендуемая форма аббревиатуры подчеркнута

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие предназначено для студентов-светотехников и оптотехников, специализирующихся в области наружного освещения. Пособие может быть полезно для студентов других специальностей, для практических работников, занятых проектированием и эксплуатацией уличного функционального, прожекторного, архитектурного освещения городов, и для всех, кто по роду своей деятельности связан с освещением. В основу пособия положены лекционные курсы – «Светотехнические установки», «Проектирование, монтаж и эксплуатация осветительных установок», «Основы светотехники», «Электрическое освещение», «Источники света и световые приборы» и ряд других – читавшиеся автором для студентов электрофизического и электроэнергетического факультетов (сейчас – в составе ИФВТ и ЭЛТИ). В пособии использованы материалы публикаций по наружному освещению в журнале «Светотехника» и РЖЭ и обобщена информация в монографической литературе.

В пособии не только излагаются существующие методы расчета освещенности (немногочисленные заимствования, по-возможности, оговорены), но приводится новая информация, которую целесообразно использовать в установках наружного освещения. Издание – одиннадцатое в серии продолжающихся публикаций учебных пособий по светотехнике и смежным направлениям:

- Распределение яркости в поле зрения (1973);
- Расчет освещения комбинированным методом (совместно с В.Б. Вайнштейном; 1974);
- Аварийное освещение (совместно с В.Б. Вайнштейном; 1976);
- Светотехнические установки (курсовое проектирование; совместно с В.Б. Вайнштейном; 1978);
- Электрическая часть осветительных установок (совместно с В.Б. Вайнштейном; 1984);
- Расчет освещения точечным методом (1985);
- Экономика осветительных установок (совместно с Г.Н. Сериковой; 1988);
- Расчет прямой составляющей освещенности (1992);
- Источники света, on-line курс (совместно с В.М. Лисицыным; 2004);
- Расчетный практикум...(совместно с Т.В.Гречкиной; 2010).

В данное пособие задачи не включены: для приобретения студентами практических навыков решения проектных задач изданы методи-

ческие указания для расчета освещения методами точечным (1990 г.), коэффициента использования (1991 г.), удельной мощности (1996 г.); в методуказаниях для расчета сетей по длительно допустимой токовой нагрузке (1993 г.) свыше половины составляют задачи по наружному освещению.

Список аббревиатур (в алфавитном порядке) и условных обозначений приводится во «Введении», а список литературы и контрольные вопросы даются в каждой главе (для удобства пользования).

В пособии преобладают оригинальные материалы, компиляции немногочисленны и, по возможности, оговорены (лишь в редких случаях, из-за трудности установления, первоисточник не указан).

В соответствии с названием, основное внимание пособие уделяет светотехническим расчетам, именно световому полю; объем смежных вопросов (нормирование, конструктивное выполнение, архитектурные задачи и т.п.) определяется тем влиянием, которое они оказывают на основную сюжетную линию. По этой причине, а не «в угоду моде» на экологию, в издание включен, например, вопрос о световом загрязнении городов, ставший актуальным для Томска в последние годы: на улицах появилось много «Шаров молочного стекла», не столько освещающих тротуары, сколько небо над головой.

Авторы приносят благодарность за помощь в работе студентам специальности оптотехника: М.А. Марьясовой, Н.Л. Котовой, М.В. Ворожейкиной, Е.С. Башкатовой, А.А. Жуковой, А.С. Акрестиной, Е.С. Пановой, О.А. Мамаевой, А.В. Азаренко.

Особая признательность выражается Матющенко Анне Александровне и Дорофеевой Дарье Юрьевне.

ВВЕДЕНИЕ

Наша цивилизация – по существу, цивилизация людей, находящихся внутри помещений. Плотность светового потока в УНО на порядки ниже, чем во внутреннем освещении. Рассмотрим одно «исключение». Высокие, до 1 клк, уровни освещенности нужны не футболистам (играть, в принципе, можно и при лунном свете), не судьям и не фанатам на трибунах. Высокая освещенность на стадионе, ринге и т.п. нужна для цветного ТВ – в интересах тех, кто сидит на диване перед экраном. Не удивительно, что в светотехнике преобладают публикации по внутреннему освещению, и только в последние годы стало больше статей по НО.

Широко распространено мнение, что хорошее освещение нужно, преимущественно, в сфере материального производства, в меньшей мере – в смежных и обслуживающих областях, а для НО – не столь и важно. Это мнение ошибочно: на улицах, тротуарах и других путях перемещения вероятность травматизма\криминальных проявлений (число травм\преступлений в единицу времени пребывания) на 1-2 порядка выше, чем в условиях помещений.

Не следует также забывать, что приезжие судят о городе прежде всего по его виду; благоприятное эстетическое впечатление гостей существенно зависит от освещения площадей, улиц, памятников, монументов, подсветки (фасадов) зданий, особенно имеющих архитектурную\историческую ценность, транспортных узлов (вокзалы, порты и т.п.), рекламного освещения торговых, культурных, развлекательных центров. Рост значения НО обоснован в табл. 1.

Таблица 1

Возрастание значения НО

Уличные ОУ (функциональные)	Прожекторные ОУ (заливающего света)	Архитектурно-декоративные ОУ
<p>Рост нормируемых значений Е (рис. 1 на основе [1]), появление и усиление требований к качеству освещения обусловлены неуклонным возрастанием:</p> <ul style="list-style-type: none"> • интенсивности движения (число машин растет из-за повышения, в целом, благосостояния населения и, как следствие, в транспортных услугах); • скорости движения 	<p>Все шире применяются в случаях, когда задачу освещения удаленных объектов при светильниках решить трудно или невозможно (строительные площадки, карьеры, аэропорты, спортивные сооружения, территории промышленных предприятий, большие автостоянки и т.п.). Рост потребности в таких ОУ, успехи в производстве ИС и СП, усложнение задач привели к сущест</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Усиление внимания к зданиям и другим объектам освещения обусловлено рядом причин: гуманизацией современной жизни, в частности, открытием границ, ростом активности в туристическом бизнесе, амбициями исполнительной власти, желанием «выделиться» у бизнес-элиты и др. ▪ Стремительное разрастание световой рекламы торговых

• (жизнь становится динамичнее – на фоне прогресса в автомобилестроении, дорожном строительстве, организации движения).	венным изменениям в этой области НО. Более подробная информация по прожекторным ОУ приводится в 4-ом разделе.	развлекательных игорных предприятий легко объясняется: хороший свет – двигатель торговли и фактор, сильно влияющий на кассовые сборы.
---	--	---

Поскольку в светотехнической литературе, в нормах освещения, в программах учебных дисциплин преобладают материалы по внутреннему освещению, представляется интересным проанализировать различия между внутренним освещением (помещений) и наружным. Ни одна попытка такого сравнения нам не известна. Ниже сопоставляются основные факторы, характеризующие освещение внутреннее (табл. 2, столбец слева) и наружное (справа).

Таблица 2

Различия внутреннего и наружного освещения

Внутреннее освещение	Наружное освещение
1.1 Источники света	
Самые разнообразные, как правило, с высокими значениями R_a ; работают в условиях стабильной температуры окружающей среды ($\approx 20^\circ C$). В офисных, торговых и т.п. помещениях преобладают (К) ЛЛ, в жилых – ЛН.	С $\eta_v = \max$, работают при низкой (зимой) температуре окружающей среды; могут не обеспечивать правильной цветопередачи; первые два фактора сокращают, а третий расширяет возможности выбора ИС.
1.2 Световые приборы	
Широко используются СП с круглосимметричными КСС; приборы с “тяжелыми” исполнениями требуются редко (во взрывоопасных, химически активных, сырых и других агрессивных средах). Предъявляются повышенные требования к внешнему виду СП.	В прожекторных ОУ часто используются, а в УОУ – господствуют СП с некруглосимметричными КСС; “легкие” исполнения реально не применяются. (см. раздел 3.4). СП с круглосимметричными КСС здесь не экономичны (мала доля потока на дорожное покрытие).
1.3 Расположение СП	
Преобладают ОУ с рядами, в которых СП расположены относительно близко друг к другу – и низко. Чаще $h=N \cdot h_p \approx 2...3$ м (редко, например, в высоких цехах с фермами, театральных зданиях и т.п. $h \approx 7$ м). Обеспечиваются значения $z=E_{cp}/E_{min}$, близкие к 1.	В УОУ СП расположены (очень) редко; как правило, на высоких (≥ 8 м) опорах. Снижение высоты опоры облегчает эксплуатацию, но нежелательно “технологически”: возрастает неравномерность распределения освещенности (яркости).
2.1 Характеристика излучателей	
Значительное разнообразие: • точечные – ЛН, включая галогенные, компактные ЛЛ, плафоны с ЛЛ, растровые	Во всех видах НО подавляюще преобладают точечные излучатели. Как линейный излучатель может рассчитываться:

Окончание табл. №2

<p>(одиночно расположенные) СП; линейные – при обычных (линейных) ЛЛ и реже, с другими ИС; •двухмерные – в ОУ архитектурного освещения (световые потолки, карнизное освещение и др.).</p>	<p>•освещение рекламных щитов (при прямых ЛЛ или близко расположенных ГЛН или МГЛ); •вся ОУ улицы (берется $\ell' = 0$, а длина разрыва – равной расстоянию между СП).</p>
<p>2.2 Методики расчета</p>	
<p>Наряду с точечным, широко используются методы: коэффициента использования, удельной мощности; в редких сложных случаях прибегают к комбинированному методу. В некоторых ОУ возможно применять любой из этих методов.</p>	<p>Господствует точечный метод (берется $\mu=1$, т.к. удаленные СП не учитываются, а $E_{отр}$ можно пренебречь). При нормировании яркости дорожного покрытия применяют метод коэффициента использования по яркости.</p>
<p>2.3 Освещенность</p>	
<p>Составляет (в системе одного общего освещения – «верхний свет») чаще 200...400 лк. Ее распределение в поле (континиума) СП обычно равномерное ($Z=E_{cp}/E_{min} \cong 1,15$). Специальные меры позволяют уменьшить внутрипольную и, чаще, периферийную неравномерность. Для существенного роста E, создания определенного направления светового потока и т.п. обычно применяют местное освещение.</p>	<p>Примерно на 2 порядка ниже, чем в установках внутреннего освещения. Резко неравномерное распределение освещенности характерно для в установок: •уличных (вдоль, а нередко – и поперек оси движения); •прожекторных (быстрый спад E к границам светового пятна); •фасадных («пятнистость» стен – обычный порок при СП на коротких кронштейнах).</p>
<p>3. Восприятие гостями города</p>	
<p>Особое внимание не обращается, т.к. в новом городе преобладает содержательная сторона посещения магазинов, музеев, театров, концертных и спортивных залов, выставок и т.п. Кроме того, сказывается частая «однотипность» решений.</p>	<p>С повышенным интересом, т.к. новый город всегда привлекает внимание, кроме того, приезжие относительно больше времени проводят на улице, перемещаясь от объекта к объекту, свежим взглядом оценивая освещение и архитектуру зданий.</p>

Здесь следует отметить, что в пособии широко используется табличная форма представления информации. Это объясняется достоинствами таблицы как средства классификации: компактное изложение материала, динамичность, возможность сопоставления по многим показателям. По сравнению с «обычным», последовательным представлением фактов, дефиниций и т.п., таблица позволяет обеспечить четкую, весьма концентрированную и без повторов подачу информации. В частности, материалы по таким важнейшим аспектам НО, как:

- анализ основных установок НО,
- особенности работы зрительного анализатора водителя при малых $L_{ад}$,
- анализ при АО факторов, основных принципов и рекомендаций,

- анализ при АО требований и специальных аспектов – впервые изложены в жесткой табулированной форме, заменив бесхребетные рассуждения и водянистые компиляции, кочующие из одного литисточника в другой – иногда из-за нежелания авторов вкладывать собственное время в работу над текстом (проще взять, ученического уровня опусы своих сотрудников или аспирантов либо аналитические материалы в смежной области), а подчас и просто для маскировки нечеткого, приблизительного представления о предмете.

Глава первая

ЗНАЧЕНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

1.1 Функциональный и эстетический аспекты

1.1.1. Термин «наружное освещение» объединяет расположенные вне зданий ОУ различного назначения и исполнения. В табл. 1.1.1 представлены основные ОУ наружного освещения – с прожекторами, светильниками, в отдельную группу выделены прочие ОУ – рекламные, информационные, декоративные, иллюминационные. При проектировании установок НО следует учитывать целый ряд требований (табл. 1.1.2, на основе [1]).

Наружное освещение относится к числу важнейших компонентов функциональной организации среды обитания человека. Освещение площадей, улиц, зданий и памятников — не только комфорт и безопасность людей в темное время суток, а инструмент, позволяющий моделировать эстетическое восприятие городской среды.

Система НО включает такие основные направления:

- освещение транспортных магистралей;
- освещение жилых районов и пешеходных зон;
- прожекторное освещение;
- архитектурное освещение.

Освещение транспортных магистралей. Приоритетное направление в организации освещения проезжей части улиц – обеспечение безопасности движения механизированного транспорта в темное время суток. Средствами светотехники решаются следующие задачи: достижение уровня освещенности, необходимого для достоверного и своевременного восприятия дорожной ситуации; обеспечение равномерности освещения; ограничение уровня прямой и отраженной блескости; обеспечение спектральных характеристик ИС, необходимых для обозначения направления движения транспорта и пешеходов.

Освещение жилых районов и пешеходных зон. В жилых районах, где наряду с пешеходными зонами имеется развитая транспортная сеть, функции наружного освещения в темное время суток: обеспечение

безопасного движения транспорта и пешеходов; беспрепятственная ориентация на местности; создание визуального и психологического комфорта. При организации освещения жилых районов необходимо учитывать, что в темное время суток повышается вероятность противоправных действий. Вне зависимости от функционального назначения, наружное освещение должно быть комфортным и не допускать ослепления людей. Во всех случаях необходимо принимать меры, исключая попадание прямого направленного света в окна жилых помещений.

Архитектурное освещение. В течение светового дня естественное освещение влияет на облик города, в ночное время искусственный свет формирует его образ [2]. Освещение может способствовать выявлению и усилению облика города или объекта, подчеркивая стилевые особенности или детали архитектуры, выделяя привлекательные природные элементы, например, озеро или канал и т.п. Вечером требования к архитектуре города столь же высоки, как и днем, – но иные. Жизнь в городах с наступлением темноты не прекращается, а в развлекательных аспектах даже расцветает.

Сейчас все больше внимания уделяется качеству окружающей нас световой среды. Освещение – мощный фактор, позволяющий создать привлекательный для жителей и гостей облик города; в освещенном городе хорошо жить и встречаться с людьми. Наличие свободного времени и мобильность людей, возрастающая деловая и экономическая активность в условиях рыночной экономики, увеличение вследствие урбанизации интенсивности автотранспортного и пешеходного движения в темное время суток определяют ведущую роль установок НО в благоустройстве улиц городов.

Архитектурно-планировочные особенности НО городов Сибири изложены в прекрасной статье [2] (заслуживают особого внимания приметы северной экзотики).

Есть природно-климатические особенности, которые необходимо учитывать при проектировании освещения городов Сибири и Крайнего Севера. Долгую зиму с ее низкими (до -50°C) температурами и коротким световым днем город находится в «объятиях» снега, его ослепительно-белая, холодно-голубоватая поверхность в ночное время отражает падающий свет Луны и функциональных светильников, освещая рассеянным светом фасады зданий и снежный покров на деревьях. При благоприятной экологической обстановке (незагрязненной атмосфере) удастся долго сохранить чистоту белоснежной поверхности земли.

Именно в это время года цветоцветовая среда городов Сибири и Крайнего Севера имеет свои отличительные особенности.

Применение в НО «теплых» ИС с $T_{\text{н}} \leq 4200\text{K}$ создает более комфортные условия пребывания человека в холодной среде затянувшейся северной или сибирской зимы в темное время суток. Низкие температуры в зимний период несколько ограничивают выбор ИС и ОП; не приемлемы традиционные и компактные ЛЛ; при температурах ниже -40°C ненадежны электронные схемы питания ИС.

Таблица 1.1.1

Основные установки наружного освещения

<i>ОУ с прожекторами</i>	<i>ОУ со светильниками</i>	<i>Другие ОУ</i>
<ul style="list-style-type: none"> • наружного архитектурного (фасадного) освещения прожекторами заливающего света, укрепленными на земле, опорах функционального УО, крышах других зданий и т.п.; • охранного освещения зданий, территорий, например, долговременных стоянок транспорта и т.п.; • спортивных сооружений (стадионы, трамплины), заводских территорий, промышленных зон, площадок перед предприятиями, дебаркадеров и т.п.; • объектов строительства, открытых складских территорий, мест разработки ископаемых в карьерах, аэро-, речных и морских портов; • памятников, монументов и инженерных сооружений прожекторами, относительно далеко расположенными и создающими необходимые световые акценты. 	<ul style="list-style-type: none"> • функционального освещения улиц, площадей, транспортных развязок и т.п., где осуществляется движение автотранспорта; • садов, парков, эспланад и т.п., где основным является освещение пешеходных дорог, аллей и пространств; • для подсветки фасадов зданий СП, укрепленными непосредственно на стенах зданий и создающими локальные освещенные зоны; • жилых зон, детских площадок, проходов между зданиями и т.п. • памятников расположенными вблизи них СП, и создающими общее освещение памятников, их периферии и окружения. 	<ul style="list-style-type: none"> • освещенные рекламные щиты на путях движения автотранспорта и пешеходов; • освещенные информационные или рекламные установки на фасадах и крышах зданий, у входов на объекты торговли, развлечений; • декоративные гирлянды с маломощными ЛН, светодиодами и т.п. для рекламного оформления зданий, украшения елок, световых «занавесей» над путями движения автотранспорта и пешеходов; • иллюминационные установки мостов, телебашен, фасадов и т.п. гирляндами ЛН, очерчивающими контуры или подчеркивающими особенности освещаемых объектов.

Таблица 1.1.2

Требования к наружному освещению городов

Безопасность	Защищенность	Ориентация
<p>Основное требование – исключить воздействие прямой и отраженной блескости, которые могли бы снизить видимость потенциальных препятствий в окружающем пространстве и безопасность передвижения.</p> <p>Регламентируется яркость и размеры световой рекламы, оценивается воздействие на зрительную работоспособность человека элементов АО, обладающих повышенной яркостью и/или работающих в импульсном режиме.</p> <p>При выполнении этих требований снижается вероятность дорожно-транспортных происшествий и травматизма, так как, не имея помех со стороны ОУ наружного освещения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • водители транспортных средств уверенно себя чувствуют и быстро различают препятствия; • пешеходы ясно видят ступени, пандусы, пятна льда особенности на своем пути. 	<p>Освещение – мощное средство предупреждения преступлений и контроля за криминальной обстановкой:</p> <ul style="list-style-type: none"> • помогает удерживать злоумышленников от правонарушений; • позволяет человеку своевременно увидеть приближающегося потенциально опасного пешехода и реагировать адекватно складывающейся ситуации; • позволяет хорошо разглядеть черты преступника, запомнить его одежду и увидеть направление его отхода с места преступления; • облегчает помощь жертвам нападений, а службам правоохранительных органов – поиску и задержанию преступников. <p>Не случайно, что криминальные элементы вытесняются с хорошо освещенных улиц на плохо освещенные дворы, пустыри и т.д.</p>	<p>В ситуации поиска пути в городе определенную помощь оказывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> • различия в освещении улиц и площадей в зависимости от категории; • особенности освещения дорог кольцевых и коллекторных; • освещенные ориентиры на местности – колокольни, минареты, шпили культовых сооружений, телевизионные башни, вышки downtown'a, высокие здания, мосты, вышки, высокие трубы и другие объекты, снабженные огнями аэронавигации; • освещение характерных структур района и города (различные осветительные установки создавались неодновременно, имеют особенности, обусловленные городской инфраструктурой или эксплуатационными возможностями); • крупногабаритные указатели дорожной обстановки

Окончание табл. № 1.1.2

<i>Реклама</i>	<i>Своеобразие</i>	<i>Атмосфера</i>	<i>Зрелищность</i>
<p>Освещение</p> <ul style="list-style-type: none"> • является средством активной рекламы города, его торговых, общественных, культурных и зрелищных центров; • способствует формированию положительного образа компании, организации и т.п., привлечение посетителей, клиентов, туристов; • способно придать сооружению новое, дополнительное очарование, например, превратить скучный фасад административного здания в волнующую, живую, привлекающую внимание достопримечательность. • дает возможность «закрывать» (заслонить) объекты, лишенные архитектурной ценности, а также места, посещение которых нежелательно. 	<p>Освещение может:</p> <ul style="list-style-type: none"> • способствовать выявлению и усилению индивидуального облика или характера города, района, объекта; • подчеркнуть определенные черты, стилевые особенности или детали архитектуры; • выделить привлекающие внимание ландшафтные элементы – озеро, реку, каналы, насаждения и т.п. <p>Технические средства освещения должны соответствовать образу места или объекта по стилю, масштабу, способу крепления.</p>	<p>От количественных и качественных показателей освещения зависит восприятие ночного города.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Хорошее освещение может вызывать чувство привлекливости, теплоты, ощущение радости, простора, вызывать душевный подъем. • И наоборот. Унылая картина, характерная для окраинных (спальных) районов многих городов – низкие уровни освещенности в системе функционального освещения, отсутствие установок архитектурного освещения – не создают ощущения, что вы – желанный гость. Ситуация может усугубляться однотипностью застройки, малочисленностью объектов торговли и развлечений, рекламы. 	<p>Световые представления в городе – распространенный способ организации увеселений и отдыха.</p> <p>Прекрасным примером со времен Скрябина являются спектакли «звук и свет».</p> <p>Сложные системы управляют изменением интенсивности, цвета и направления световых потоков. Удивительная гибкость искусственного освещения по сравнению с плавными изменениями естественного</p> <ul style="list-style-type: none"> • позволяет придать городскому ландшафту новый зрительный облик; • делает свет могущественным создателем световых и цветомузыкальных зрелищ.

Возникают ограничения при выборе места установки СП и способов освещения. Наличие большого снежного покрова на кровле и карнизах зданий, частое лавинообразное падение снега ограничивают возможности локального освещения (монтаж прожекторов на кровле и фасадах зданий). С целью повышения надежности работы установок в условиях низких температур и короткого светового дня в городах Сибири и Крайнего Севера рекомендовано осветительные установки в зимний период не выключать. Необходимо отметить, что белоснежная архитектура объектов и окружающего ландшафта позволяет в 1,5-2 раза снизить, по сравнению с московскими нормами, яркостные характеристики освещаемых объектов.

Архитектурные и светотехнические требования к установкам наружного освещения изложены в: СНиП 23-05-95; параграфе 15.1 «Справочной книги по светотехнике» под ред. Айзенберга Ю.Б., издание 1995г.; методических рекомендациях по архитектурному освещению ряда проектных и научно-исследовательских организаций (преимущественно московских). Богатая и прекрасно иллюстрированная информация по архитектурно-художественному освещению городов содержится в журнале «Светотехника» в статьях по световому дизайну мегаполисов – российских и зарубежных.

1.2 Влияние наружного освещения на ДТП и криминальную обстановку

1.2.1. Влияние на ДТП. Плохие условия уличного освещения (низкая освещенность, ослепленность и др.) объективно снижают количество информации, поступающей в мозг, что очень опасно в условиях дорожного движения [3]. Хотя уличное движение в темное время суток менее интенсивно, доля аварий в сумеречные часы и ночью относительно выше, и они серьезнее, чем днем (табл. 1.2.1; рис. 1.2.1, в литературе отсутствующий, наглядно это показывает).

Превышение доли травм (особенно числа погибших) в темное время суток на деле объясняется не только ухудшением условий зрительной работы (ключевой фактор), но и вечерней усталостью и алкогольной интоксикацией участников движения (горизонтальная штриховка на рис. 1.2.1). Тем не менее, около половины ДТП происходят из-за плохого освещения (вертикальная штриховка на рисунке).

В табл. 1.2.1 представлены результаты исследования в 13 странах – участниках Организации по экономическому сотрудничеству и развитию.

Таблица 1.2.1

Европейская статистика дорожно-транспортных происшествий на дорогах в зонах застройки и пригородов (в скобках - %) (на основе[4])

Время суток	Интенсивность движения, %	Последствия ДТП – травмы		Летальные исходы
		Легкие	Тяжелые	
Светлое – день	(75)	227923(72,4)	75176(65,1)	4715(55,15)
Темное – ночь	(25)	106387(27,6)	40238(34,9)	3834(44,85)
Соотношение (н/д)	(33)	(38)	(53)	(81)

Хотя среднестатистически лишь 20-25 % времени движение осуществляется без естественного света, и интенсивность движения ночью падает, но за это время происходит около 35 % всех ДТП, в том числе больше всего ДТП с участием пешеходов и ДТП со съездом автомобиля с дороги. Освещение дорог снижает риск ДТП, поскольку:

- облегчает возможность обнаружить на дороге препятствие;
- позволяет лучше видеть других участников движения;
- дает различие ближайшего окружения дороги.

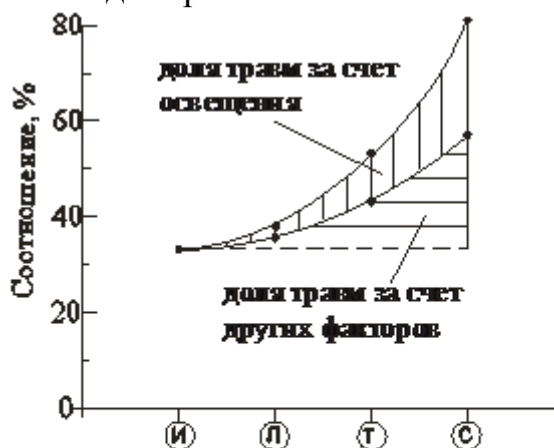


Рис. 1.2.1 Соотношение в темное и светлое время суток
И – интенсивности движения
Л(Т) – легких (тяжелых) травм
С – летальных исходов

Помимо этого, на хорошо освещенных улицах и дорогах снижается вероятность криминальных проявлений и травм от падения у пешеходов.

По данным МКО, улучшение качества освещения и доведение НО до нормативных требований позволяет снизить количество ночных ДТП:

- всего – на 14-53 %;
- с пешеходами – на 40 %;
- с летальным исходом – на 48-65 %.

Близкие результаты получены и в Германии. Эксперименты, проведенные по заказу министерства транспорта ФРГ на десяти участках дорог в шести крупных городах, показали, что удвоение средней яркости дорожного покрытия снижает количество ДТП в темное время суток на 28 %, аварий с участием пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов – на 68 %, несчастных случаев – на 45 % [4].

1.2.2. Влияние на криминальную обстановку. Плохое наружное освещение населенных пунктов способствует криминальным проявлениям:

- потенциальный преступник уверен, что он не замечен, запомнить и опознать его жертва не сможет;
- трудности восприятия окружающего пространства мешают жертве сориентироваться в опасной ситуации;
- акты насилия и преступления против собственности, в основном, происходят в темных уединенных местах.

Более высокий уровень горизонтальной и вертикальной освещенности в зонах с присутствием пешеходов способствует лучшему визуальному восприятию пространства:

- подозрительные перемещения окружающих становятся заметны с дальнего расстояния;
- приметы и намерения приближающихся людей различаются четче;
- быстрое и ясное понимание ситуации дает больше времени на подготовку к опасности и адекватным ответным действиям [4].

С улучшением освещения городов преступлений становится меньше. Но совсем «убрать» преступность с улиц города невозможно даже при самом лучшем освещении. На рис. 1.2.2 показана зависимость уровня преступности от освещенности улиц (на основе [4]).

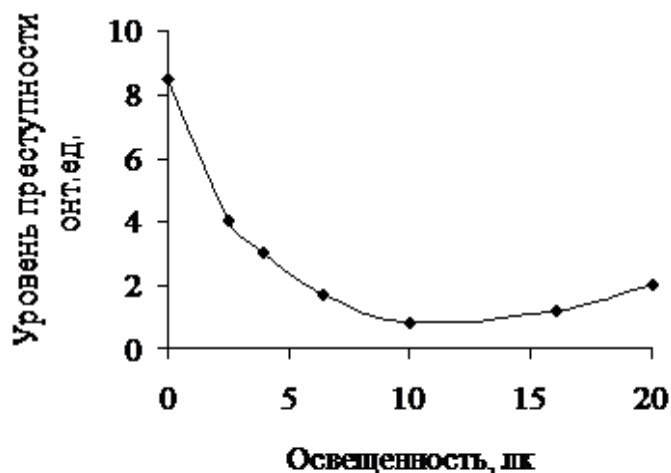


Рис 1.2.2 Зависимость уровня преступности от освещенности улиц по А. Фомину [4] с нечеткой ссылкой на компанию Gutes Licht

Влияние уличного освещения на уровень преступности показывают результаты исследований, проведенных в Великобритании.

В Дадли (Западный Мидленд) и Сток-он-Тренд (Стаффордшир) был реализован проект реконструкции УО. Изучалось влияние улучшенного УО на благоустройство улиц, состояние уличной преступности, безопасность жителей

района и прохожих на улице в ночное время. В течение 12 месяцев до и после окончания работ по замене УО проводились опросы жителей и прохожих на улице.

Было зарегистрировано уменьшение уровня преступности (табл. 1.2.2, 1.2.3), увеличение количества пешеходов в ночное время. (Отметим: материалы [5] внутренне противоречивы, поскольку данные табл. 1.2.2 и табл. 1.2.3 не согласуются; так по Сток-он-Тренд $135+1+17=153 \neq 152$, и $86+4+1=91 \neq 87$.)

Хотя реализация подобных проектов требует значительных денежных затрат, выгоды от снижения преступности значительно превышают расходы на улучшение уличного освещения [5]. (1£, вложенный в освещение, по экономической эффективности равен $1,4 \div 40\text{£}$, вложенных в профилактику).

Таблица 1.2.2

Влияние освещения на показатели (на основе [5])

Показатели преступности и экономические	Район	
	Дадли	Сток-он-Тренд
1.Количество уличных краж и случаев вандализма	516 ↓ 298	135 ↓ 86
2.Количество грабежей и хищений.	31 ↓ 6	1 ↑ 4
3.Изнасилование	62 ↓ 19	17 ↓ 1
4.Ежегодные выплаты на покрытие капитальных затрат,ф.ст	5602	8952
5.Средняя цена «прямого» ущерба от одной кражи со взломом или ее попытки,ф.ст.	668, полный ущерб – 758	Затраты на лечение и реабилитацию 940*

* При преступлениях против личности

Таблица 1.2.3

Результаты эксперимента в Западном Мидленде и Стаффордшире, G.V. (на основе [5])

Город	Число преступлений до/после реализации проекта
Дадли	609/323 (в % : 65,3/34,7)
Сток-он-Тренд	152/87 (в % : 63,6/36,4)

1.2.3. Главный потребитель НО улиц и дорог – не пешеходы, хотя они количественно преобладают в городе, а водители механизированного транспорта, ибо:

- пешеход может быстро остановиться или изменить направление движения, вплоть до движения в обратном направлении (например, попятиться и вернуться на тротуар);

- водитель моторизованного средства мгновенно остановить его не может из-за биологических и технических причин запаздывания (табл. 1.2.3.1).

Отметим, что условия освещения улицы влияют и на биологические, и на технические причины запаздывания реагирования; достаточно вспомнить, что видимость объекта $V=k \cdot (КЧ)$, где k – контраст объекта с фоном, $КЧ$ – контрастная чувствительность зрительного анализатора.

Распространенное (и поддерживаемое литературой) мнение, что благоприятная роль освещения как фактора дорожного движения обусловлена ростом контраста объекта с фоном, отчасти ошибочно. Сложность здесь в следующем. Переход от условий, приведенных в табл. 1.2.3.2, к «нормальному» освещению действительно дает рост контраста, облегчает различение препятствия и ускоряет реагирование на него. Однако вне условий табл. 1.2.4, в диапазоне «нормального» освещения, рост освещенности объекта и фона в одно и то же число раз на контраст не влияет ($k = |L_0 - L_\phi| L$; «частное не изменится, если делимое и делитель...»).

Таблица 1.2.4

Восприятие объекта (препятствия) на фоне дорожного покрытия (ДП) в условиях «экономии» ЭЭ

Уличная ОУ	Характеристика
Включается поздно, до этого ДП освещается светом вечернего небосвода, рекламных и информационных установок, из окон, витрин и т.п. (интегрально: диффузное освещение)	Фигура человека (обычно принимается $\rho \cong 0,2$) на фоне ДП ($\rho \cong 0,15$) плохо различима: объект и фон воспринимаются как диффузные серые поверхности с близкими коэффициентами отражения (подтверждается данными Цаар о видимости на пешеходных переходах)
Использует ИС недостаточной мощности (того же типоразмерного ряда или даже с меньшим значением световой отдачи), что неизбежно даёт снижение освещенности ДП	При малой плотности светового потока индикатора яркости ДП не может обеспечить должный контраст объекта с фоном; при несовпадении светового центра вероятно изменение КСС СП и светотехнического «рельефа», что отразится на восприятии объекта
Включается частично (каждый 2-ой или 3-ий СП, как в ночном режиме), но в вечернее и утреннее тёмное время суток* при снижении интенсивности движения	Резко неравномерное распределение освещенности (и, как следствие, яркости) по ДП создаёт для водителя ситуацию «пульсирующего» контраста объекта с фоном, затрудняя зрительное восприятие, в частности, различение объекта

* «Своеобразная» трактовка (светорегуляторы-то ведь дороги!) п.7.44 действующих СНиП23-05-95 с изменением №1, утвержденным постановлением Госстроя РФ 23 мая 2003 г. №44.

Позитивная роль освещения реализуется иначе: при росте освещенности пропорционально увеличится яркость фона и, следовательно, вырастет контрастная чувствительность и связанная с ней острота зрения (или, если угодно, снизится пороговое значение контраста и различаемый угол). [Эти вопросы изучаются в курсах «Основы светотехники» и «Проектирование ОУ».]

Но во всех случаях повышение освещенности дорожного покрытия улучшает условия зрительной работы человека на улице.

Как правило, в условиях НО улиц яркость потенциального препятствия невысокая, и для его обнаружения нужно повысить либо его яркостный контраст с фоном – ДП, либо значение КЧ.

Яркостный контраст. Необходимая величина яркостного контраста создается должной плотностью светового потока и индикатрисой яркости фона (асфальта, бетона и т.п. проезжей части улицы). Основной фотометрической величиной, регламентируемой в установках НО улиц и определяющей зрительную работу водителей автотранспорта, является яркость ДП, которая при невысоких яркостях потенциальных препятствий однозначно предопределяет высокий контраст (отрицательный) объекта обнаружения/различения на фоне дороги.

В условиях УОУ с ростом E и $L \sim E$ контраст сначала достигает критического значения, затем значения $k \approx 1$; при дальнейшем увеличении плотности потока улучшение условий зрительной работы обеспечивается за счет роста КЧ.

Контрастная чувствительность. Основной функцией, определяющей зрительную работоспособность водителей автотранспортных средств, является контрастная чувствительность зрительного анализатора. Отражательные характеристики потенциальных препятствий, как правило, невысоки (у верхней одежды пешеходов $r \approx 0,2$). По С.L. Crouch, в диапазоне яркостей, характерных для УОУ, зависимость КЧ (L) близка к линейной.

Пространственная ориентация. Уровни средних яркостей ДП должны обеспечивать: высокую вероятность обнаружения потенциальных препятствий при заданной скорости движения автотранспортных средств; пространственную ориентацию – освещать и периферийные зоны автомагистралей, подсвечивая фасады зданий, тротуары и т.п. улиц важнее благоприятная цветопередача человеческого лица: 1) при низких яркостях адаптации, характерных для НО, проявляется эффект Пуркине (сдвиг $v(\lambda)$ в коротковолновую часть видимого спектра) и те-

ряется цветовая чувствительность; 2) в установках НО используются ГРЛ (с высокими η_v), спектр которых не обеспечивает правильную цветопередачу (R_a – низкий).

Таблица 1.2.5

*Причины и факторы, влияющие на реагирование
при появлении препятствия*

1. Биологические причины	2. Технические причины
<p>Время реакции водителя помимо воспринимаемого информационного потока зависит от состояния:</p> <ul style="list-style-type: none"> • зрительного анализатора – контрастной чувствительности*, остроты зрения и др. функций, наличия глазных болезней; • центральной нервной системы (алкогольной и иной интоксикации, душевного состояния и др., возраста) <p>*Контрастная чувствительность существенно зависит от количественных и качественных характеристик освещения (яркости адаптации, равномерности распределения яркости в поле зрения, наличия блестящих источников, спектра и пульсаций потока ИС и других условий).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Время инерции различных узлов тормозной системы и управления. • Тормозные свойства полотна (ДП) и колес автомашины. • Кинетическая энергия транспортного средства. • Состояние фар, стекол, зеркал и др. • Характеристики объекта (препятствия): видимые размеры, величины яркостного и цветового контраста** и др. <p>**Контраст объекта с фоном зависит от плотности светового потока и индикатрисы яркости ДП, структуры светового поля (в частности, соотношения E_v и E_T), размеров и формы объекта (препятствия), его коэффициента отражения, возможности (при данном спектре ИС) оценить цветового контраста и других условий.</p>
3. Критическое расстояние	4. Критический контраст
<p>Водитель механизированного транспорта должен иметь возможность обнаружить препятствие и принять меры по совершению маневра автомобиля (или его остановке) своевременно, с расстояния в несколько десятков метров; оно определяется биологическими и техническими причинами, указанными выше, прежде всего – скоростью движения транспортного средства и его массой ($Q \sim mV^2$).</p>	<p>Определяет границу уверенного ($s_p \cong 0,99$) обнаружения препятствия, в условиях воздействия всех факторов, усложняющих работу водителя автотранспорта; зависит от угловых размеров объектов различения, скорости движения транспортного средства, средней яркости ДП, перегрузки поля зрения балластными (мешающими) световому стимулами; определяется экспериментально в реальных или близких к ним условиях.</p>

1.3 Светотехническая характеристика СП для наружного освещения

1.3.1. Прожекторы – СП, перераспределяющие свет ИС внутри малых телесных углов (обеспечивающие высокую угловую концентрацию светового потока). Обычно используются для освещения объектов, до которых расстояние на 2-3 порядка больше размера прожектора. Наиболее распространены прожекторы общего назначения (заливающего света), которые увеличивают освещенность объекта по сравнению с его окружением (фоном) и применяются для длительного освещения элементов городской среды, имеющих культурно – историческое значение, и мест, требующих повышенного внимания в силу своей функциональной специфики. По характеру светораспределения прожекторы делятся на три основные группы [6]:

- с круглосимметричным распределением силы света относительно осевого направления (коэффициент усиления $K_y > 30$);
- симметричные – с двумя плоскостями симметрии ($K_y > 15$);
- «кососветы» – с одной плоскостью симметрии.

Выбор типоразмера ламп определяется требованиями к цветовой температуре, спектру, плотности светового потока, его пульсациям и др.

Повышенным требованиям к качеству НО могут удовлетворять современные СП с ГРЛ, электроникой и высококачественной оптикой. Некоторые СП позволяют получить на выходе любой цвет (путем смешения цветовым миксером трех основных составляющих – cyan, yellow, magenta), снабжены диммер- устройством регулирования яркости, дистанционной фокусировкой. Такие прожекторы работают по заранее заложенной программе, которая находится либо во встроенном контроллере, либо во внешнем пульте управления, и могут объединяться в синхронно работающие группы; более характерны для внутреннего (шоу-бизнес) освещения.

1.3.2. Согласно международной классификации, по характеру светораспределения для углов $\alpha \geq 70^\circ$ и направлению максимальной силы света типовые КСС в вертикальной плоскости для СП утилитарного НО разделяются на три группы: не-, полу- и ограниченного светораспределения (рис. 15.5 в [6]).

Критерием эффективности КСС является наилучшее обеспечение количественных (средняя горизонтальная освещенность $E_{г.ср}$, средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$) и качественных (коэффициенты неравномерности распределения освещенности $E_{max}/E_{ср}$ и яркости L_{max}/L_{min} , показатель ослепленности P) параметров установок НО.

Расчетные исследования подтверждают, что $L_{\text{ср}}$ и $L_{\text{max}} / L_{\text{min}}$ при совместном действии ОП в основном определяются КСС в интервале углов $\alpha = 0^\circ - 80^\circ$ и практически не зависят от значения силы света в направлениях $\alpha \geq 80^\circ$, тогда как слепящее действие СП НО наряду с другими факторами зависит от значений силы света в зоне $\alpha \geq 75^\circ$. Нормативы в целях ограничения слепящего действия регламентируют значения силы света ОП с широкой и полуширокой КСС в диапазоне углов $\alpha = 75^\circ - 90^\circ$ от вертикали в главной поперечной плоскости.

Допустимые значения силы света в зоне углов $\alpha = 75^\circ - 90^\circ$ для МГЛ и НЛВД (в скобках – для ДРЛ)

Угол, град.	75	80	85	90
Сила света I_α , кд/кЛМ	200 (200)	50 (80)	15 (25)	10 (20)

Другая полезная информация об уличных СП будет приведена в главе 3.

1.3.3. Светораспределение – важнейшая характеристика СП, определяющая его световое поле.

Излучатели, используемые на относительно больших (в сравнении с их размерами) расстояниях от освещаемых объектов, считаются ТИ и характеризуются распределением силы света – пространственной плотностью потока.

Светораспределение ТИ определяется формой фотометрического тела СП (геометрическое место концов радиус-векторов, выходящих из светового центра СП, длина которых пропорциональна силе света СП в соответствующих направлениях), и описывается КСС, получаемой сечением фотометрического тела СП плоскостью (при отсутствии круглой симметрии – плоскостями). КСС строится обычно в полярной (для СП, направляющих поток в пределах больших телесных углов) или прямоугольной (для прожекторов) системах координат. Для возможности сравнения КСС различных СП (отличающихся числом и/или мощностью ламп) эти кривые даются обычно для условной лампы $\Phi_A = 1000 \text{ лм}$ (этот прием распространяется и на многоламповые СП!). Фактическое значение силы света получают пропорциональным пересчетом.

Если для описания светораспределения круглосимметричного СП достаточно одной меридиональной КСС (его фотометрическое тело образуется вращением КСС вокруг оптической оси), то для некруглосимметричных ТИ необходимы меридиональные КСС $I_\beta(\alpha)$; угол β задает положение данной меридиональной плоскости по отношению к началу отсчета – обычно к главной продольной плоскости СП. Для СП с ли-

нейными лампами (ЛЛ, ксеноновыми трубчатыми и тому подобными) с двумя плоскостями симметрии, как правило, ограничиваются приведением КСС только в двух главных плоскостях – продольной и поперечной.

В практике ОУ специальные СП (с несимметричными фотометрическими телами, требующие знания КСС для ряда значений $\beta = \text{const}$) встречаются довольно редко, поэтому в пособие не включены.

1.3.4. Необходимость формализации светотехнических расчетов, диктуемая потребностями не только теоретической светотехники, но и практических приложений, обусловила поиск аппроксимации КСС, что является непростой задачей ввиду значительного разнообразия светораспределений выпускаемых СП (табл.1.3.1).

Таблица 1.3.1

Виды аппроксимации кривой силы света

Автор	Аппроксимация КСС					
Болдырев Н.Г.	$I_\alpha = A \cos \alpha + B \cos^3 \alpha + C \cos^5 \alpha$					
Кнорринг Г.М. [7]	$I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha$					
Степанов В.Н. [8]	$I_{\alpha\beta} = I_0 f(\alpha) f(\beta)$,			где $f(\alpha) = \cos^m \alpha e^{n\alpha}$,		
	$f(\beta) = \cos^k \beta e^{l\beta}$					
Бухман Г.Б., Прибытков Г.Б.	$I_\alpha = \sum_{k=1}^N b_k \cos^{2k-2} \alpha$ (обычно $N=7$)					
Айзенберг Ю.Б. [9]	КСС	К, Г	Д	Л, Ш	М	С
	I_α / I_0	$\cos n \alpha$	$\cos \alpha$	$\frac{\cos \alpha}{\cos(\theta \sin^n c \alpha)}$	1	$\sin \alpha$

1.3.5. Среди аппроксимаций особое место занимает формула $I_\alpha = I_0 \cos^m \alpha$ [7] ввиду ее продуктивности как при теоретических исследованиях, так и в практических приложениях. Графический способ определения m , уточненный в сравнении с [7], сводится к определению углового коэффициента спрямляющей линии, обычно в 3-ем квадранте (на абсциссе – $\lg \cos \alpha$, на ординате – $\lg I_\alpha / I_0$).

Проектирование больших прожекторных ОУ является сложной оптимизационной задачей, решение которой требует использования вычислительной техники. Поэтому важно представить светораспределение прожектора в удобной для расчетов на ЭВМ форме.

• За рубежом данные о светораспределении прожектора вводят в ЭВМ в виде двумерного массива значений $I_{\alpha_i \beta_i}$, полученного в результате фотометрирования с заданным шагом $\Delta \alpha$, $\Delta \beta$. Значения силы света

вне узлов (не равных табличным значениям) получают путем интерполяции с помощью множителей Лагранжа.

- Удобнее представление светораспределения в аналитической форме. Бухманом Г.Б. задача теоретически решена для любого сколь угодно сложного светораспределения путем аппроксимации КСС полиномами Чебышева. Аппроксимация ортогональными функциями, например, ортогональными многочленами или тригонометрическими полиномами позволяет путем увеличения количества членов приблизиться к исходной функции светораспределения с любой заданной точностью. Однако практическое применение предложенного метода затруднено. В паспортах выпускаемых промышленностью прожекторов приводятся лишь две КСС – в главной продольной и поперечной плоскостях, и, кроме того, не определена точность паспортных данных. Но всего важнее, что описание светораспределения в виде:

$$I_{\alpha\beta} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N b_{ji} \cos^{j-1} \beta \cos^{i-1} \alpha$$

слишком громоздко и не дает выигрыша в скорости и точности счета по сравнению с табличным способом представления данных.

1.3.6. Принимая за основу положение о подобии КСС прожектора в различных продольных плоскостях, В.Н. Степанов предлагает аппроксимацию:

$$I_{\alpha\beta} = I_0 f(\alpha) f(\beta) \tag{1.3.1}$$

где I_0 – сила света в направлении $\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$; $f(\alpha) = \cos^m \alpha e^{n\alpha}$; $f(\beta) = \cos^k \beta e^{l\beta}$; α , β – углы в поперечной и продольной плоскостях соответственно.

Методика нахождения параметров (показателей степеней) m , n , k , l изложена в [8], а значения I_0 и параметров приведены в табл. 1.3.3.2 (дается фрагмент).

Отметим два недостатка, присущих [8].

- В пояснении по формуле 1.3.3.1 I_0 – сила света в направлении $\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$, что можно понять как указание, что в формуле углы α и β задаются в градусной мере. Это не создает ошибки в тригонометрической части формулы, но в экспоненциальной ее части – создает.

- Отрицательные значения m в табл.1.3.3.3 (заклучены в рамки) создают существенные погрешности, растущие с увеличением угла α и $|m|$: достаточно проанализировать ход функции $f(\alpha) = \sec^{[m]} \alpha$ (где $[m]$ – целая часть m) на рис. 1.3.1.

Таблица 1.3.2

Аппроксимирующие выражения для прожекторов

Тип прожектора	I ⁰⁰ , ккд	Значения показателей			
		m	n	k	l
ИСУ01*1500/К03	1757	-8,46	-7,74	3,43	-0,3
ПКН-1500-2	45,6	-1,42	-5,8	4,45	0,5
ПГЦ-400-1	56,9	-16,7	-14,86	4,43	-1,02
ПГЦ-400-2	18,0	3,34	-1,17	7,43	0,91

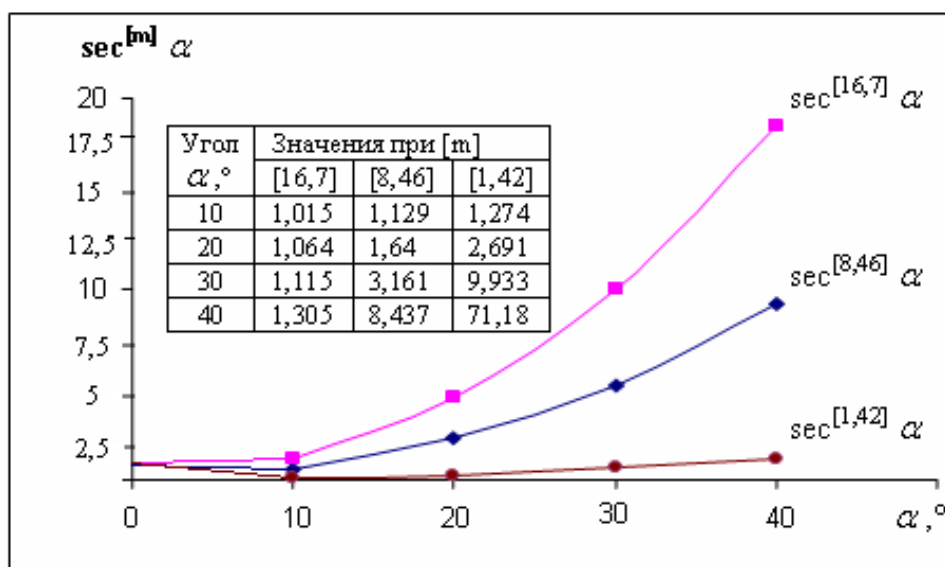


Рисунок 1.3.1 Погрешность в тригонометрической части формул аппроксимации В.Н. Степанова при $m < 0$.

1.4 Электрическое освещение в Томске (история и современность)

1.4.1. В истории светотехники – фактически части нашей цивилизации – много интересных и ярких страниц. Напомним: электротехника создавалась вначале именно для электрического освещения; другие применения ЭЭ возникли уже позднее [10]. Довольно подробный анализ истории и перспектив НО содержится в исследовательской работе магистра Карнаухова А.Ю., выполненной по заказу Томскгорсвета в связи с юбилеем предприятия. Вероятная схема электрического освещения г. Томска в начале XX века воссоздана с участием А.А. Матющенко. Мы же ограничимся несколькими иллюстрациями.

- В Москве, на кремлевских соборах и башнях, в 1883 г., в дни коронации Александра III, был достигнут «...эффект просто волшебный и нигде не бывалый» (по отзыву В.к. Константина Николаевича; приведено по ж. «Светотехника», 2000 г., №4).

- А вот страница из томской истории, сохраняющая аромат и колорит того времени. Видно, как непросто, в борьбе с альтернативными ИС, входило в жизнь города электрическое освещение.

Первые 12 электрических фонарей зажглись в ночь на 1 января 1896 г. на Миллионной и Магистратской улицах и Набережной Ушайки, к 1 Марта – еще 13. Резонанс: в Томскую Городскую Управу обратились с просьбой поделиться сибирским опытом устройства электрического НО из губернских Иркутска, Калуги, Омска, Оренбурга, Ставрополя.... Доживало свой век керосиновое освещение и развивались параллельно электрическое (тогда – очень дорогое) и керосино-калильное освещение.

К началу XX века электрических фонарей было по-прежнему мало из-за их высокой стоимости. Жители города часто жаловались на недостаточное НО. Томская Городская Управа находила решение в покупке керосино-калильных фонарей: в 1906 и 1907 гг. их было установлено более 20. Попытки более широкого внедрения электрического освещения успеха не имели: выяснилось, что установка дуговых электрических фонарей обошлась бы в три раза дороже стоимости керосино-калильных (390 руб. и 130 руб. соответственно). Кроме того, потребовались бы значительно большие расходы на световую энергию, чем на освещение улиц керосино-калильными фонарями.

В 1908 и 1909 гг. было приобретено 80 керосино-калильных фонарей. В 1909 г. начальник Томского Сыскного отделения просил Управу срочно подвесить фонарь у Сыскного отделения, поскольку «как в отделение, так и из оною часто сопровождаются важные арестанты, которые при отсутствии освещения могут ускользнуть от стражи».

В 1910 году положение оставалось прежним: «...фонарей далеко недостаточно, некоторые улицы находятся в абсолютной темноте и от жителей постоянно поступают заявления... на опасность вследствие отсутствия освещения по улицам». Так, 24 мая 1911 года домовладельцы Кондратьевской улицы просили Комиссию по благоустройству города Томска установить на их улице фонарь и приводили следующие причины:

«1. Неровное полотно улицы в этом месте затрудняет безопасность проезда здесь в темные ночи, особенно осенью;

2. Пользуясь темнотой, ассенизаторы часто выливают содержимое таратаек в реку;

3. Переезд через Ушайку в этом месте небезопасен в отношении грабежа. Были случаи ограблений и нередко слышатся крики о помощи;

4. Остаются в совершенной темноте ответвления улицы вверх и вниз по реке».

(Фонд...233-2-3351. Прошение...24.05.1911 г.)

Специальная подкомиссия по развеске керосино-калильных фонарей докладывала, что так как центральные улицы города сравнительно хорошо освещены, надо осветить окраины города. С заявлениями же домовладельцев об установке на их улицах фонарей практически не считались: «ввиду ограниченного количества фонарей и большого спроса на них, признано справедливым «сделать предпочтение местностям с бедным населением, которому на свой счет трудно осветить свои улицы».

В Томске начала XX века на освещении экономили. Считалось, что уличное освещение нужно лишь в темные безлунные ночи. Если же светила луна, то фонари не зажигали даже на железнодорожном вокзале, являвшемся, наряду с речным, воротами города.

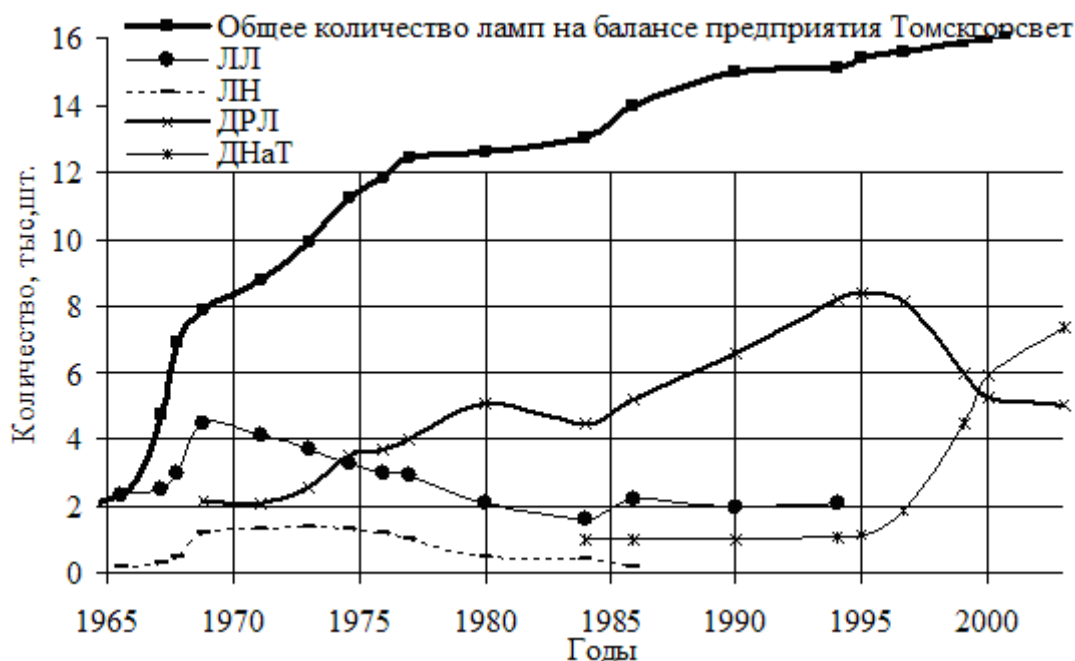


Рис. 1.4.1. Динамика наружного освещения в г. Томске

Динамика развития уличного освещения за последние десятилетия представлена на рис. 1.4.1.1. Постепенно сходят со сцены ЛН, ранее господствовавшие, появляются ЛЛ (в Томске с его холодным климатом особого распространения не получили) и ДРЛ (на долгие годы – основной ИС в УОУ). С 2000 г. самым массовым ИС стали ДНаТ, а в последние годы получают распространение и МГЛ (пока, в основном, в установках АО).

Помимо УОУ, в Томске были установки АО памятников с прожекторами заливающего света (лампы ДРЛ, КГ, иногда – ЛОН). Так, один из авторов пособия спроектировал освещение памятников академику Усову у корпуса 1 и Кирову у корпуса 8 ТПИ (название вуза в 70-ые годы) и консультировал ряд других проектов прожекторного освещения фасадов и памятников в городе. Но для последних лет характерны установки локального фасадного освещения СП, укрепленными на стенах, с маломощными МГЛ и, реже, КГ, установки рекламного освещения на уличных щитах, светящиеся напросвет вывески и реклама и т.п.

1.4.2. Золотой дождь, пролившийся на юбилейный (400 лет) Томск, вызвал: рост интереса к световому оформлению города, появление финансовых возможностей и первую волну установок АО для подсветки фасадов. Освещенных объектов в городе сейчас – многие десятки, но не всегда высокого качества. [Кроме того, «география» установок АО ограничивается пр. Ленина с губернаторским кварталом и отдельными общественно – значимыми зданиями, в целом же по городу освещение оставляет желать лучшего, а во многих спальных районах вся светотехника – яркие вывески магазинов да агрессивные вспышки игровой рекламы.] Между тем, светотехническая литература дает прекрасные примеры установок АО зданий, включая конфессиональные, инженерных сооружений (мосты, телебашни), садово-парковых и др. Ограничимся лишь одной ссылкой: Narboni сделал изумительное освещение вимпергов (заостренные фронтоны готических окон), галереи 28 Иудейских и Израильских королей, гаргулий (химер водосточных желобов) и др. на западном фасаде NDdeP [11]. К сожалению, и примеров неудачных решений АО также немало (в Томске – в частности).

Просчеты многих проектов АО – в отсутствии взаимопонимания между архитектором и светотехником. Разговоры о «светологии» (Н. Н. Оболенский) и «световом концептуалисте» ситуацию не могут изменить, ибо смысл противоречий в следующем [12]:

- | | | |
|---|--|---|
| • Светотехник, будучи инженером, в состоянии оценить любой (количественный, но не | | • Архитектор не может (или не хочет) дать в ясных, четких определениях и терминах оценку обсуждаемого вари- |
|---|--|---|

качественный (!) показатель освещения.

Отсутствие у проектировщиков – «технарей» по образованию – художественно-композиционной подготовки приводит к ординарным (подчас- примитивным) решениям со стандартным набором приемов и средств образной выразительности; в результате фасады нередко хаотично пятнисты, случайно «недосвечены» или зрительно развалены на фрагменты, не имеющие очевидной и необходимой связи с тектоникой объекта.

анта освещения.

Вероятно, за частоколом слов о пластике и тектонике архитектор (интуитивно) чувствует себя верховным жрецом, неуязвимым для критики. Он не затрудняет себя переводом художественных проблем световой архитектуры на язык светотехнических параметров, обсуждению предпочитая диктат. Желание поразить коллег по цеху оригинальным решением архитектурной задачи нередко приводит к уязвимому с позиций светотехники результату – низкому КПД, блестящему действию, неравномерному распределению яркости в поле зрения, "световому загрязнению"...

Классификация ошибок и просчетов в АО: 1) архитектурные (светокомпозиционные) 1.1 ÷ 1.4; 2) светотехнические (расчетные); 3) монтажные; 4) эксплуатационные и 5) другие.

1.1 Хуже всего обстоит с формированием световых ансамблей. Многообразие освещенных объектов не образует единое, гармоничное целое, а остается массой разрозненных светоформ. Так, объекты АО на площади Ленина в Томске освещались в течение нескольких лет, один за другим, похоже – без внятного концептуального решения, поэтому светоцветовой ансамбль не обладает необходимой целостностью (нет иерархии элементов – доминант, акцентов, рядовых и фоновых объектов). Вдобавок композиционный центр площади теперь распался на два, по существу антагонистичных, идеологических центра (памятник вождю МП и, рядом, Иверская часовня).

1.2 Здание ТУСУРа на Новособорной площади освещено наполовину, первые два этажа остаются в темноте. С позиции исторической значимости это совершенно не верно: именно нижние этажи в южной части были свидетелями кровавой российской драмы под названием "революционное движение".

1.3 Пятнистость освещения фасадов – следствие повсеместного применения локальной подсветки, при которой проще решаются вопросы согласования проектов с энергетиками, имущественными и другими службами. Отсюда дробный световой рисунок на фасадах (БКЗ). В других случаях это неуместное стремление сэкономить, сократив количест-

во СП или заменив на другие (здание бывшего «ЮКОСа», оценка 2004г.).

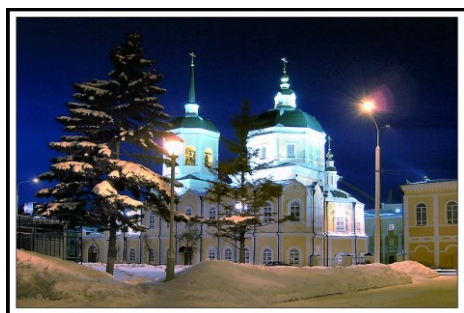
1.4 Экономия на СП приводит к фрагментарности воспроизведения фасадов ряда зданий в Томске, например, Big City; похоже, что архитектор поздно вспомнил о вечернем световом облике здания, стены освещены скупо; как вызов импозантному Второвскому пассажиу смотрится "корона" – полукольцо из 6 МГЛ – декоративного купола (словно пуговка на кепке нувориша).

Для большей компактности изложения и прозрачности остальной материал табулирован (табл. 1.4.1). В связи с тем, что в Томске накоплен интереснейший опыт АО, на рис. 1.4.2.1, рис. 1.4.2.2 приведены световые решения по ряду объектов, часть которых будет упоминаться в главе 5 пособия и в ряде приложений. Читатель может сам ответить на вопрос -- отличается ли «палитра» светотехнических решений и использованных средств техники освещения объектов исторических (рис. 1.4.2) и современной постройки (рис. 1.4.3).

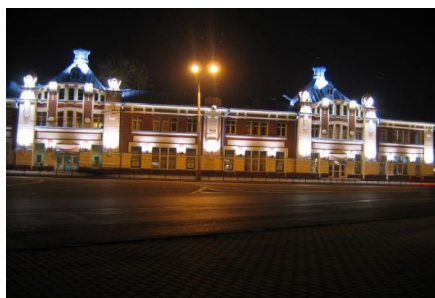
Таблица 1.4.1

Анализ факторов 2-5, приводящих к недостаткам АО

2. Светотехнические	3. Монтажные	4. Эксплуатационные	5. Другие
<p>2.1 Ошибки в светотехнической части: неверная по контрастам и рисунку светотень на пластически сложном фасаде, резкие границы световых пятен на стене и их чрезмерная яркость вблизи СП локальной подсветки визуальное дематериализуют и деформируют освещаемую поверхность.</p> <p>2.2 Ослепленность пешеходов неудачно нацеленными прожекторами.</p> <p>2.3 Только просчетами в светотехнике можно объяснить недостаточные выносы СП от стены, => целые этажи и важные элементы остаются в тени (магазин «Гостинный двор»). Короткие кронштейны и недостаточные мощные приборы, оставленные по низу фасада мэрии, оставляют в темноте его верхнюю часть.</p>	<p>3.1 Являются, как правило, следствием не решенных на проектной стадии организационных вопросов и согласований, иногда – неучета сложившейся ситуации (монтаж СП: ТУСУР, БКЗ, мемориал в Лагерном саду).</p> <p>3.2 Традиционно невысока культура работы с деталями ОУ– с прокладкой кабеля по фасаду или по воздуху (над барабаном Богоявленского кафедрального собора), установкой кронштейнов, ответвительных коробок, которые заметны на фасадах многих зданий (явно: «монтируем – как удобнее»).</p>	<p>4.1 Могут свести на нет достоинства любого проекта. Наиболее распространены: не соблюдение параметров проектной юстировки (нацеливания) и выход из строя СП.</p> <p>4.2 Изменение во времени светового потока и цветности излучения ГРД, птичий помет и опадающая листва, снег и сосульки, атмосферные отложения приводят к снижению эффективности установок АО (падает поток, меняется КСС (приближаясь к косинусной) и спектр).</p>	<p>5.1 При проектировании АО «традиционно» забывают о функциональной УОУ (световой поток и тени от опор которой ложатся на освещаемые объекты).</p> <p>5.2 Все больший художественный вред приносит световая реклама, нередко «убивающая» архитектурный или скульптурный памятник по соседству. Это явление можно не раз увидеть на центральной улице города. Негативный эффект усиливается, если (агрессивная) реклама расположена на самом здании (вывески игорных клубов и т.п.).</p>



a)



d)



b)



e)



c)



f)

Рис. 1.4.2.1. Архитектурное освещение старых зданий в г. Томске

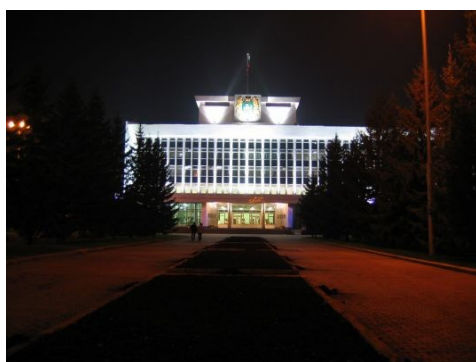
- a) *Богоявленский собор;*
- b) *ресторан «Славянский базар»;*
- c) *уголок губернского Томска (но век назад не было ЖКУ с ДНаТ (3 СП на тресе), торшеров 4 × Шм, подсветки зданий МГЛ, ..., ...);*
- d) *б. Мучной корпус;*
- e) *б. Общественное собрание;*
- f) *б. Второвский пассаж (анализ c) и f) – в [12]).*



g)



i)



h)



j)

Рис. 1.4.2.2. Архитектурное освещение зданий и сооружений (современной постройки) в г. Томске g) ТУСУР (основа здания – б. правление Сибирской ж.д. (служба движения и тяги), но центральная и северная части здания, массивные колонны, антаблемент, фронтоны, весь 4 этаж, часть заложённых кирпичом окон – «сталинский» ампириный новодел);

h) Областная администрация;

i) фонтан на площади Новособорной;

j) ресторан «Пармезан».

Таблица 1.4.2

Характеристика архитектурно-декоративного освещения ряда общественных зданий в г. Томске

<i>ТУСУР</i>	<i>Областная Администрация</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Фронтон освещен неравномерно (эффект пятнистости), причем центральная его часть с находящимся на ней картушем не освещается, рис. 1.4.2.2.g. • Освещена верхняя половина здания (кроме центральной части фасада), что создает эффект парения над землей. • Внешний вид здания в вечернее/ночное время 	<ul style="list-style-type: none"> • Здание очень ярко освещено. И несмотря на его далекое расположение от проезжей части и пешеходного тротуара, и учитывая скрывающие его деревья и находящееся перед ним здание, яркое освещение делает его заметным издали. • Хотя светильники расположены

<p>является как бы негативом дневного образа (вечером освещена внутренняя часть колонн, которая днем остается в тени, а внешняя выпуклая часть – темная, днем она ярко освещена), рис. 1.4.2.2,g.</p> <ul style="list-style-type: none"> • В центральной части здания ярко освещен вход, что на фоне освещенных верхних этажей создает эффект крыльев, которые не совсем уместны (не отвечают профилю ВУЗа). 	<p>равномерно по периметру здания, оно выглядит освещенным полосами. Этот эффект получается оттого, что цветовая температура СП неодинакова, а изменяется с некоторой периодичностью. В результате кажется, что по стене идут темные и светлые полосы, рис. 1.4.2.5,h.</p>	
<i>Мэрия*</i>	<i>Тысяча мелочей</i>	<i>Киномир*</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Контраст между совсем не освещенным первым этажом и очень яркой верхней частью здания. • Здание смотрится пестровато из-за того, что оси светильников ориентированы почти перпендикулярно стене. • Купол – доминанта здания – не освещен со стороны центральных улиц Ленина и Фрунзе. 	<ul style="list-style-type: none"> • При освещении фасада не учтено, что на поверхности стены есть рельефный узор, который остался не освещенным. • СП расположены по периметру фасада, оставляя центральную часть в тени, рис. 1.4.2.1,f. • Светильники ориентированы почти перпендикулярно стене, поэтому фасад освещен пятнами. • Не продумано освещение входа: у колонн освещены только капители, а нижняя часть темная. 	<ul style="list-style-type: none"> • Название кинотеатра выглядит очень эффектно. • Светильники, подсвечивающие верхнюю часть здания и щит, рекламирующий новинку сезона, светят практически перпендикулярно в стену, образуя два ярких пятна. • Освещение входа (выполнено лампами с более низкой цветовой температурой) и освещение верхней части кинотеатра не сочетаются по цвету между собой.

1.5. Вопросы экономики при выборе ИС. Экологические проблемы

1.5.1. В отечественной светотехнической литературе

- экономические показатели ОУ рассчитываются по методике С.А. Ключева [13], не позволяющей проанализировать роль отдельных факторов;
- преобладают работы по внутреннему освещению, а по экономике наружного освещения публикаций мало; экспресс – оценку ОУ дают [14, 15].

Методика [14]

Дает возможность вычислить и включить в анализ ряд новых экономических показателей (время выравнивания, часовую стоимость ОУ, соотношение затрат и др.). Требуется предварительного выравнивания значений светового потока сравниваемых ИС; один из ИС берется с (гипотетической) мощностью P такой, что Φ_p строго равен потоку 2-го ИС.

Методика [15]

Позволяет вычислить стоимость единицы световой энергии (ЕСЭ) – 1 Млм·с или 1 клм·ч – сопоставляемых ИС. Не требует предварительного выравнивания значений светового потока и/или иных вспомогательных процедур. Не привязана к конкретным ОУ, названию или масштабу валюты; число сравниваемых ОУ не ограничено; ИС могут быть не электрическими.

Методики для оценки экономических показателей ОУ сравниваются в табл. 1.5.1. Стоимость ЕСЭ представляет разумный компромисс между учетом только стоимости ЭЭ (фактора наиболее значимого) и учетом всех параметров, влияющих на стоимость ОУ, в методике С.А. Ключева. Заметим, что в наружных ОУ роль затрат на ЭЭ заведомо ниже: дороги ИС, СП и опоры, телескопические вышки для обслуживания СП и др., а уровни E и, следовательно, мощности – малы. Для функциональных уличных ОУ удельная мощность (грубо) $w \approx 1 \text{ Вт/м}^2$, а для внутреннего освещения – на порядок и более выше (только «верхний свет», даже без местного освещения).

Стоимость ЕСЭ рассчитывается по формуле:

$$G = q_s \eta_v^{-1} + C \Phi^{-1} \tau^{-1}, \quad (1.5.1)$$

где q_s – тариф на ЭЭ, руб/кВт·ч; η_v – световая отдача ИС, лм/Вт, C – стоимость ИС, руб; Φ – поток лампы, клм; τ – срок службы ИС, ч (не путать с T , ч/год). В случае «долгоиграющих» ИС (у современных ГРЛ $\tau > 10^4$ ч), когда календарное время эксплуатации ламп приближается к сроку службы СП НО, под C следует понимать суммарную стоимость лампы и светильника.

Как показано в [15], стоимость ЕСЭ хорошо отражает научно – технический прогресс в области ИС. В качестве «apparatus criticus» выбраны статьи в «Светотехнике» по экономике прожекторного [16] и функционального уличного [17] освещения (их анализ с использованием стоимости ЕСЭ представлен в соответствующих разделах; аллитерация з-с – случайна).

Таблица 1.5.1

Методики оценки экономических показателей ОУ

Показатель	Факторы, учитываемые методикой	Доля от всех затрат в ОУ, %	Влияние уровня E^* на зрительную работу
$Q_{[1]}$, руб, по С.А.Ключеву [13]	Все (более 10), влияющие на стоимость ОУ	100 (полный учет затрат)	Фактически не учитывается
Часовая стоимость ОУ [14]	Существенные ($P_L, P_{ПРА}, q, C, \tau, \cos\varphi$)	Как правило, ≥ 90	Учитывается значение потока Φ (освещенность $E \sim \Phi$)
Стоимость ЕСЭ G [15]	5 наиболее значимых ($P_L, P_{ПРА}, q, C, \tau$)	Обычно 80...90	
Стоимость ЭЭ	$P_L + P_{ПРА}$, тариф	70...75 (85**)	Не учитывается

* Влияние качества освещения на условия зрительной работы и производственные показатели ни одна из методик не учитывает.

** По данным Бенцигера («Светотехника», '02, №1) – до 85% (но для помещений). Любопытная деталь: в некоторых томских изданиях

данные Бенцигера – замаскированные в виде секторной диаграммы и без ссылок на его авторство – преподносились как непреложная истина.

Прожекторные ОУ

Тема актуальна ввиду малого (на момент публикации) опыта применения «тяжелых» (с потоком $\Phi \approx 10^5$ лм) ИС для освещения больших пространств. Некоторые РЛ, впервые были (широко) использованы лишь на XXII Московской (1980г.) олимпиаде.

Анализируются практически все «тяжелые» ИС ($P=(0,7...20)$ кВт), многие реально в России не выпускались (использовали лампы Osram, Philips в СП Siemens, ASEA и др.). Глубокий экономический анализ ОУ с широким кругом ИС, доведенный до значений руб/(кЛм·год).

Уличные ОУ

Замена «сходящих со светотехнической сцены» ламп ДРЛ на ДНаТ целесообразна ввиду существенно больших η_v у ДНаТ.

Нарушено одно из условий корректного сравнения – равенство значений потока. У ДНаТ-250 versus ДРЛ-400 световой поток на 10,6% больше, у ДНаТ-150 versus ДРЛ-250 – на 15,4%.

Учитываются факторы 2-го и даже 3-го плана (стоимость обслуживания лампы (~10руб/год) и СП (~3 руб/год)), которыми заведомо можно пренебречь, если определяющий фактор – стоимость ЭЭ – составляет 700...1800 руб/год.

1.5.2. Развитие цивилизации, рост числа и мощности ОУ и расходов ЭЭ на цели освещения создали проблему, которой до 20 века не было. Для больших городов сейчас характерно световое загрязнение ночного неба, вызванное излучением СП в верхнюю полусферу. В северных городах зимой добавляется световой поток, обусловленный Φ_{\cup} и отраженный от снежного покрова. Свет рассеивается на взвешенных в воздухе частицах и создает «световой смог», мешающий астрономическим наблюдениям и наносящий вред фауне (дезориентируется суточная ритмика жизненного процесса птиц и насекомых). В конце 20 века около 30% суммарного потока в установках НО городов расходовалось бесполезно, фактически «освещая небо» (это и уличные СП с неограниченным светораспределением и значительной долей потока Φ_{\cap} , и неправильно ориентированные прожекторы, особенно архитектурного освещения. В Италии в 1998 г. введены в действие нормы UNI 10819 («Снижение засветки неба искусственным светом установок НО»). В нормах определены основные характеристики для проектирования и оценки наружных ОУ с целью ограничения светового загрязнения небосвода. Главным оценочным параметром выбрано отношение светового потока всех СП, излучаемого в верхнюю полусферу, к полному световому потоку всех СП. Второй оценочный параметр – это максимальная сила света СП в верхней полусфере, кд/кЛм. Нормы регламентируют

классификацию 3-х типов городских зон и 5 классов ОУ по степени ограничения светового загрязнения.

На улицах Томска в последние годы появилось много «Шаров молочного стекла», освещающих не столько тротуары, сколько небо над головой. Оправданные на узеньких улочках исторических центров европейских городов – богато декорированные фасады, плотная застройка, – «Шары» на открытых пространствах (губернаторский квартал и т.п.) малоэффективны: полезно используется лишь треть от потока лампы [18].

Контрольные вопросы

1. Назовите существенные различия между: внутренним и наружным освещением.
2. Назовите фотометрические параметры, характеризующие условия НО.
3. Назовите критерий эффективности КСС в наружных установках.
4. Почему в ночное время растет статистика ДТП.
5. В чем смысл противоречий между архитектором и светотехником.
6. Опишите динамику развития наружного освещения г.Томска.
7. Какие факторы влияют на стоимость единицы световой энергии?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1

1. Бельд Г. Архитектурное освещение города 24 часа в сутки // Светотехника. – 1998. – №1. – С. 12-15.
2. Абрамов В.А., Жибуртович О.Л. и др. Особенности архитектурного освещения городов Сибири и Крайнего Севера // Светотехника. – 2000. – №5. – С. 16-18.
3. Ван Боммель В. Исследования дорожного освещения за последние 80 лет. Результаты и уроки на будущее // Светотехника. – 1999. – №6. – С. 4-6.
4. Фомин А. Наружное освещение и безопасность в городе // Цоколь. – 2004. – №5. – С. 28-47.
5. Painter Kate. Value for Money: Street lighting and crime reduction // Light. J.-Приведено по: // Светотехника. – 1999. – №6 – С. 43-44.
6. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю.Б. Айзенберга – М.: Энергоатомиздат, 1995.
7. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л.: Энергия, 1973.
8. Степанов В.Н. Аппроксимация кривых силы света // Светотехника. – 1982. – №4. – С. 13-14.
9. Айзенберг Ю.Б. Световые приборы. – М.: Энергия, 1980.
10. Бопст В.Д. 125 лет электрическому освещению // Светотехника. – 2005. – №1. – С. 6-9.
11. Нарбони Р. Освещение западного фасада Собора... // Светотехника. – 2004. – №3. – С. 12—15.
12. Толкачева К.П., Никитин В.Д. Оценка методов и приемов архитектурного освещения // Мат.Всеросс.... конференции. Часть 2. – Красноярск: Изд.КрасГАУ. – 2010. – С.184-186.
13. Клюев С.А. Техничко-экономические расчеты при проектировании осветительных установок // Светотехника. – 1981. – №7. – С.23-27.
14. Никитин В.Д., Завей-Борода В.Р. Оценка эффективности источников света // Энергетика и Энергосбережение: прил. к «Вестнику Крас ГАУ». Сб. статей. Выпуск 2. – Крас ГАУ. 2004. – С. 44-46.
15. Никитин В.Д., Шаламова Ю.С., Матющенко А.А. Динамика стоимости единицы световой энергии... // «Энергетика и энергосбережение». Матер. научно-метод. конф. КрасГАУ. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2005. – С. 45 – 49.

16. Кунгс Я.А., Ощепков Б.А., Риммер Г.Е. Технико-экономическое сравнение прожекторных установок с различными источниками света // Светотехника. – 1978. – № 7. – С. 21 – 23.
17. Флодина Т.Л. Об экономической целесообразности замены ламп ...// Светотехника. – 2003. – № 5. – С. 59.
18. Степанова Е.В., Никитин В.Д. Световое загрязнение городов. «Фундаментальные проблемы...». Матер. 3-ей Всеросс. конф. молодых ученых. Томск: Изд. Института оптики атмосферы СО РАН, 2006. – С. 504-507.

Расчет характеристик светового поля

2.1. Основные особенности данной главы

1. Основным при расчете установок НО является точечный метод [1,2], при этом коэффициент дополнительной освещенности (учитывает действие удаленных СП и отраженную составляющую освещенности) не вводится – принимается $\mu=1$. Богатая палитра методик в рамках точечного метода предоставляет опытному светотехнику очень широкие возможности. Другие методы используются редко. Метод удельной мощности М.С. Дадиомов [3] применял для грубой (приближенной) оценки прожекторного освещения. Метод коэффициента использования в НО применяется при расчете освещенности и яркости дорожных покрытий (коэффициенты U_E и U_L встретятся в гл.3). Нам известны единичные примеры обращения к комбинированному методу [4,5].

2. Основные излучатели в установках НО – точечные, т.к. расстояние от излучателя до освещаемой поверхности (при локальной подсветке – до точки нацеливания) значительно превосходят размеры СП. Однако назовем и примеры пространственных излучателей:

- Линейные - встречаются в иллюминационных установках, при освещении тоннелей и подпорных стенок, в парапетной системе (особенно в случае многоуровневых развязок); в последнее время вместо ЛЛЛ и маломощных ЛН все чаще прибегают к светодиодным линейкам.

- Как двухмерные излучатели можно рассматривать, например, совокупность регулярно расположенных точечных приборов (обычно с LED или низковольтными ГЛН), смонтированных в подъездных или крыльцевых козырьках зданий гостиниц, ресторанов, торговых и развлекательных центров.

3. Основной, повсеместно используемой характеристикой в установках НО является освещенность, - не случайно ей уделяется столько внимания; примеры расчета яркости дорожного покрытия приводятся в гл. 3. Освещенность полу- и сферическая, цилиндрическая – характеристики, безусловно, информативные и полезные, но они остаются светотехнической экзотикой, или, фактически, факультативными параметрами, редко используемыми даже в интерьерном освещении (где требования к качеству освещения, естественно, более жесткие, чем в НО).

Среди показателей качества освещения реально доступен (в машинных методах) только Unified Glare Factor для оценки слепящего действия.

4. Основное содержание главы практически свободно от компиляций и достаточно полно представлено в трех (или четырех – как считать) учебных пособиях, многочисленных журнальных публикациях, тематических сборниках и материалах конференций.

Это позволяет:

- отказаться от традиционного (подробного) изложения, ограничившись указанием на источники, где читатель может найти необходимую ему информацию;
- существенно уменьшить объем текстовых и графических материалов и, тем самым, значительно сократить объем главы (а, в конечном счете, и учебного пособия).

Примечание. В конце (последнем параграфе) каждого из разделов 2.2, 2.3 и 2.4 представлен в качестве примера фрагмент (выделен линией) соответствующего текста первоисточника.

2.2. Освещенность в поле точечного излучателя

2.2.1. Понятие о точечном излучателе ([1], с.5, 16 - 17).

2.2.2. Кривая силы света и ее аппроксимация ([2], с.10-13).

2.2.3. Традиционные формулы применения точечного метода ([2], с.14-15).

2.2.4. Освещенность горизонтальной поверхности в поле точечного круглосимметричного излучателя ([1], с. 18 - 21).

2.2.5. Использование при расчетах фотометрического поля в качестве базового излучателя с равномерным светораспределением ([1], с. 22 - 24).

2.2.6. Использование при расчетах фотометрического поля в качестве базового излучателя с косинусным распределением ([1], с. 24 - 26).

2.2.7. Построение графиков действительных изолюкс горизонтальной освещенности ([1], с. 26 - 29).

2.2.8. Расчет освещенности в поле составного светового прибора ([2], с.41-43).

2.2.9. Расчет освещенности горизонтальной поверхности от точечного излучателя с некруглосимметричным светораспределением. Определение промежуточных точек изолюкс ([1], с. 39 - 41).

2.2.10. Расчет освещенности произвольной плоскости ([1], с. 39 - 43). Приводим фрагмент материала.

В литературе вывод формулы пересчетного коэффициента (ПК) приводится для случая, когда горизонтальная проекция оси СП перпендикулярна к линии пересечения наклонной и горизонтальной плоскостей. По существу решение для произвольно расположенной плоскости отсутствует.

Значение ПК, позволяющего перейти от E_r к освещенности произвольной поверхности, выражается общей формулой [6]:

$$\Psi = | \cos\theta + p' \cos\sigma \sin\theta + \sqrt{d'^2 - p'^2} \sin\sigma \sin\theta |, \quad (2.2.1)$$

где σ – угол поворота плоскости \mathcal{L} относительно оси $z=h$ (вращение вокруг точки в) в положение \mathcal{L}_1 ; $0 \leq \sigma \leq \frac{\pi}{2}$; θ – угол наклона расчетной плоскости L к горизонту, $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$; $p' = \frac{p}{h}$, отрицательным будем считать такое значение $p(p')$, при котором наклонная плоскость пересекает луч МО (рис. 2.10.1, в); $d' = \frac{d}{h}$.

Отметим, что из формулы (2.2.1) вытекают как частные случаи:

при $\sigma = 0$ – известная формула ПК $\Psi = \cos\theta \pm \frac{p}{h} \sin\theta$; при $\sigma = 0$ и положительном (отрицательном) значении p – аналог другой известной формулы $E_H = E_r \cos\theta + (E_{вЛ} - E_{вП}) \sin\theta$, вариант для одиночного точечного СП, расположенного «левее» (при $p < 0$ – «правее») наклонной поверхности.

На основе формулы (2.2.1) разработана методика нахождения ПК в двух вариантах: 1) реализация (на базе двухкратного применения) общеизвестной номограммы Е.Н. Яковлева; 2) с использованием представленного на рис. 2.10.2 двухходового графика (обеспечивает большую точность графической интерпретации формулы (2.10.2)). См. табл. 2.2.1.

При необходимости расчет освещенности повторяется, например, для всех элементов составного СП и всех расчетных точек. В случае составного СП с большим числом ламп, при исследовании фотометрического рельефа освещаемой поверхности эффективно использование ЭВМ.

Общий случай – произвольное положение плоскости, задаваемое углом наклона $\theta \neq 0$ и углом поворота $\sigma \neq 0$, обычно считается настолько сложным, что поддается только машинному (компьютерному) решению. Две возможности ручного расчета указаны в табл. 2.2.1, первая методика требует хорошего пространственного воображения, и поэтому мы рекомендуем вторую; безразлично, выберет ли читатель аналитиче-

ский или номографический вариант, существенны простота и скорость решения.

Таблица 2.2.1.

Два варианта решения задачи на освещение произвольно расположенной плоскости

Вариант с использованием	
Формулы Е.Н. Яковлева	Формулы (2.2.1) [6]
Методика связана с двукратным применением формулы $\Psi = \Psi(p, h, \theta)$ (или σ), аналитическим или по графику Е.Н. Яковлева	Расчет по формуле не требует комментариев; достаточную точность дает и номографический вариант на рис. 2.2.1

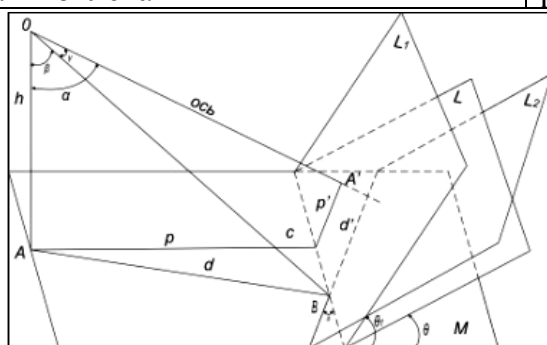


Рис.2.2.1 Ситуационный рису-

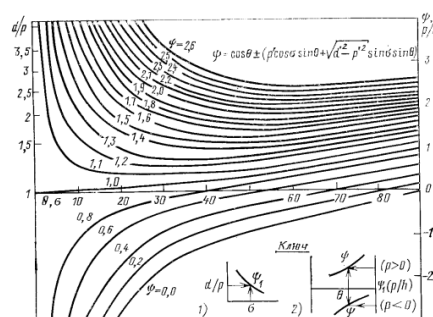


Рис.2.2.2 Двухходовой график [6]

2.3. Освещенность в поле линейного излучателя

2.3.1. Понятие о линейном излучателе ([1], с. 44 - 46).

2.3.2. Освещенность в поле линейного излучателя, расположенного параллельно расчетной плоскости ([1], с. 47).

2.3.3. Освещенности в поле линейного излучателя (перпендикулярное расположение излучателя и плоскости) ([1], с. 48 - 50).

2.3.4. Погрешность от замены линейного излучателя точечным. Поправочный коэффициент ([1], с. 50 - 51).

2.3.5. Погрешность от замены линейного излучателя бесконечно длинным. Корректировка по длине ([1], с. 51 - 55).

2.3.6. Световой центр линейного излучателя ([1], с. 55).

2.3.7. Линейные изолюксы в области малых l' ([1], с. 55 - 58).

2.3.8. Построение линейных изолюксы в вертикальной плоскости ([1], с. 58-60).

2.3.9. Линии с разрывами. Погрешность от замены линии с разрывами непрерывной ([1], с. 60).

2.3.10. Анализ влияния на освещенность отклонения светораспределения от косинусного ([1], с. 60 - 64).

2.3.11. Другие материалы для расчета освещенности в поле линейного излучателя ([1], с. 64 - 67). Приводим фрагмент этого параграфа (на основе [2,6]).

При ЛИ нередко встречаются неортогональные ситуации.

В этом случае расчет ПК существенно усложняется; для КСС в продольной плоскости, аппроксимируемой уравнением $I_{\gamma\delta} = I_{\gamma} \cos^m \delta$, формуле можно придать вид

$$\Psi = \cos \Theta + \frac{P}{Q} \sin \Theta, \quad (2.3.1)$$

(внешне) точно соответствующий стандартной формуле

$$\Psi = \cos \theta + \frac{P}{h} \sin \theta, \quad \text{но с иным содержанием: в ф. (2.3.1)}$$

$$P = \int_0^{\arctg \frac{L_2'}{\sqrt{1+p'^2}}} \cos^m \delta \sin \delta d\delta - \int_0^{\arctg \frac{L_1'}{\sqrt{1+p'^2}}} \cos^m \delta \sin \delta d\delta, \quad (2.3.2)$$

$$Q = (1+p'^2)^{\frac{m+1}{2}} \left[\int_0^{L_1'} (1+p'^2 + L_1')^{-\frac{m+3}{2}} + \int_0^{L_2'} (1+p'^2 + L_2')^{-\frac{m+3}{2}} dL_2' \right]. \quad (2.3.3)$$

В частности, при $m=1$ формулы (2.3.2 и 2.3.3) дают совпадение с функциями $\Phi(\varphi)$ и $F(\varphi)$ по материалам Герасимовича.

Таблица 2.3.1

Аналитическое описание функций P и Q (формулы 2.3.4 ÷ 2.3.7);

"полуфабрикаты" формул даны в ([2], табл.3.10.1)

при $m=2n-1$ ($n=1,2,3\dots$)	При $m=2n$ ($n=1,2,3\dots$)
$P = \frac{(1+p'^2)^{m/2}}{m+1} \left[\sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} (L_i'^2 + p'^2 + 1)^{-\frac{m+1}{2}} \right] \quad (2.3.4)$	$P = \frac{(1+p'^2)^{\frac{m+1}{2}}}{m+1} \times \left[\sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} (L_i'^2 + p'^2 + 1) \right]^{-\frac{m+1}{2}} \quad (2.3.6)$
$Q = \sum_{i=1}^2 \left[\frac{L_i'}{m+1} \sum_{k=1}^{\frac{m+1}{2}} \frac{G_{m-2k+1} (1+p'^2)^{\frac{m-2k}{2}}}{G_{m+1} (1+p'^2 + L_i'^2)^{\frac{m+3-2k}{2}}} \right] - \frac{G_m}{1+p'^2} (H\pi + \xi), \quad (2.3.5)$	$Q = \sum_{k=0}^{m/2} \left[\frac{(-1)^k (m/2)!}{(2k+1)k!(m/2-k)!} \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{L_i'^{2k+1}}{(1+p'^2 + L_i'^2)^{k+\frac{1}{2}}} \right], \quad (2.3.7)$
$G_N = \frac{N!!}{(N+1)!!}$, значение G для $N=1\dots 8$ даны в ([2], с.63); $\xi = \arctg \frac{(L_1 - L_2)\sqrt{1+p'^2}}{1+p'^2 - L_1 L_2}$; H - функция Хевисайда: $H = H(L_1 L_2 - p'^2 - 1) = \begin{cases} 0, \\ 1. \end{cases}$	

Эти формулы позволяют найти ПК при любых m . При $\theta=0$ формулы (2.3.4÷ 2.3.7) приводят к стандартным уравнениям освещенности го-

горизонтальной плоскости, а при $\theta=\pi/2$ – соответственно вертикальной плоскости.

Авторы благодарят за помощь в работе магистранта Анисимову А.Г.

2.4. Освещенность в поле двухмерного излучателя

2.4.1. Понятие о двухмерном излучателе ([2], с. 66 - 69).

2.4.2. Сравнение способов расчета освещенности в поле двухмерного излучателя с косинусным светораспределением ([2], с. 70 - 73).

2.4.3. Графики Е.С. Ратнера и их аналоги ([2], с. 73 - 75).

2.4.4. Расчет освещенности в поле косинусно - степенного прямоугольного излучателя (перпендикулярный случай) ([2], с. 75 - 78).

2.4.5. Расчет освещенности в поле косинусно - степенного излучателя прямоугольной и произвольной формы. Приводим фрагмент ([1] с. 78 – 82).

Для расчета освещенности в поле ДИ широко используются номограммы Е.С. Ратнера. Будучи графическими аналогами формул Higbie(-Lewin), эти номограммы и материалы А.А. Гершуна, А.М. Данилюка, Р. Моон'а, Л.Я. Шинделя и др. справедливы только при диффузных (синонимы: косинусные $I_\alpha=I_0\cos\alpha$, равнояркие $L_\alpha=\text{const}$, ламбертовы, где I_α – сила света; I_0 – осевое значение силы света; α – угол с осью; L_α – яркость) ДИ. Если индикатриса излучения (элемента) ДИ отличается от косинусной ($I_\alpha=I_0(m)\cos^m\alpha$ при $m \neq 1$), использование формул Higbie (либо графиков на их основе) может приводить к погрешности; для ее оценки предлагаем формулу (2.4.1) в табл. 2.4.1. При расчете погрешности Δ (в тонированной части табл. 2.4.1), брались: значения коэффициента освещенности q – по графикам Р. Моон'а зависимости q от угловых размеров ДИ; значения коэффициента яркости $f_{m=2}$ и $f_{m=3}$ – по таблицам в [9]; значения $f_{m=4}$ и $f_{m=8}$ – по [1]; размеры – как у ранее описанного [10] ДИ.

Характеристики СП ДИ, $m \in N$, приведены в табл. 2.4.2, где $N=1,2,3\dots$. Компонента ε_z светового вектора определяет освещенность горизонтальной (параллельной) плоскости, в формулах используются относительные геометрические параметры $a'=A/H$, $b'=B/H$, где A, B, H – длина, ширина, высота расположения ДИ; в громоздких формулах табл. 2.4.2 штрихованные параметры a' и b' даются для компактности упрощенно – как a и b .

Таблица 2.4.1

Сравнение не- и ламбертовых излучателей и погрешность при расчете поля ДИ по традиционной методике

Факторы	Светотехнические	Геометрические			
Излучатель косинусный (Lambertian), $m=1$, $E=q \cdot M$	Светимость ДИ $M=\Phi \cdot S^{-1}$ (описаны установки, в которых «брутто» – светимость ДИ $M>1$ клм/м ²)	Коэффициент освещенности q зависит от размеров ДИ и положения РП в поле ДИ; $q=q(a',b')$ по номограммам Ратнера или графикам Моона; $\pi q(a',b')=f_{m=1}(a',b')$			
Излучатель косинусно-степенной, $m \neq 1$, $E=L_0 \cdot f_m(a',b')$	Яркость в осевом направлении $L_0=I_0 \cdot S^{-1}$ (при «скважности» потолка надо вводить «брутто» – значения L_0)	Коэффициент $f(m,a',b')$ учитывает: размеры и форму ДИ; взаимное положение ДИ и РП; значение m , характеризующее индикатрису			
Составляющие погрешности при расчете поля ДИ с $m \neq 1$ как от косинусного: $\Delta=1-F_1 \cdot F_2=1-\omega'q(a',b') \cdot [f(a',b')]^{-1}$ (2.4.1)	F_1 учитывает: традиционный (для $m=1$) расчет с использованием светимости M в случае $m>1$ дает «сбой» ввиду зависимости эквивалентного телесного угла (по Блонделю) $\omega' \sim (m+1)^{-1}$, в результате чего $I_0=I_0(m)$	F_2 определяется отношением двух коэффициентов q и f ; при внешнем сходстве коэффициенты q (к светимости M) и f (к яркости L_0); принципиально различны, поскольку $f=f(m)$, т. е. зависит от значения m . В частности, различны предельные значения: $\lim_{a' \rightarrow \infty, b' \rightarrow \infty} q = 1/4$; $\lim_{a' \rightarrow \infty, b' \rightarrow \infty} f = \pi/4$			
Индикатриса (элемента) $I(\alpha)$ при m , равном		2	3	4	8
Погрешность Δ , %, для положения $\parallel \perp$		17\–11,6	22,5\–14,2	29\–11	45\–12

Таблица 2.4.2

Составляющая ε_z светового поля ДИ [$I_\alpha=I_0(m)\cos^m \alpha$, $L_0=1$ кд/м²]

m, n	$(m+1)\varepsilon_z=(m+1)f_{II}(a',b')$
$m=2n-1$, $n=1,2,3\dots$	$\frac{1}{4} \sum_{K=1}^{\frac{m+1}{2}} C_{\frac{m+1}{2}}^K (-2)^{K+1} \left[a^{2K} \int_0^{2\arctg \frac{b}{2}} \frac{dx}{(2a^2+1+\cos x)^K} + b^{2K} \int_{2\arctg \frac{b}{a}}^{\pi} \frac{dx}{(2b^2+1-\cos x)^K} \right] \quad (2.4.2)$ $J_K = \int_0^{2\arctg \frac{b}{a}} (2a^2+1+\cos x)^{-K} dx. \quad (2.4.3)$
$m=2n$, $n=1,2,3\dots$	$\sum_{p=0}^{\frac{m}{2}-1} C_{\frac{m}{2}}^p (-1)^{p+1} \left\{ \sum_{i=0}^{\frac{m}{2}-p-1} \frac{C_{\frac{m}{2}-p-1}^i (a^2+b^2+1)^{-p-i-\frac{1}{2}}}{2^{p+2i+1}} \left[\frac{(a/b)^{2p+2i+1}}{(b^2+1)^{m/2-p}} + \frac{(b/a)^{2p+2i+1}}{(a^2+1)^{m/2-p}} \right] \right\} +$ $+ \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}} \frac{(-1)^{m/2+j}}{m-2j+1} \left[\frac{(b/a)^{m-2j+1} + (a/b)^{m-2j+1}}{(a^2+b^2+1)^{m/2-j+1/2}} \right] + \arccos \left[\frac{a^2+b^2+1}{(a^2+1)(b^2+1)} \right]^{1/2} \quad (2.4.4)$

Использование сеток равноосвещающих элементов при излучателях произвольной формы, обеспечивая достаточную для технических приложений точность, остается самым простым и удобным способом [7]. Отметим, что светотехник должен владеть методикой построения таких сеток при любых m (включая дробные значения).

Однако построение сеток – только первый этап. Их использование предполагает умение отобразить на сетке контуры излучателя. Метод,

основанный на приведении картинной плоскости к определенному значению R , имеет недостатки: громоздок, чреват возможностью ошибки из-за неточного указания R , требует совершенно случайных масштабов (например, 1:20 и 1:160). По предлагаемому способу «перекрой» масштаба картинкой плоскости заменяется пересчетом координат характерных точек излучателя, и нахождение его контура легко формализуется, выполняется четче и быстрее.

Контрольные вопросы

1. Какие излучатели преобладает в наружном освещении.
2. Что такое точечный излучатель? Приведите пример.
3. Что такое двухмерный излучатель?
4. Какими методами можно рассчитать освещенность в поле ДИ: равноярких; с косинусно-степенной индикатрисой.
5. Поясните понятие пересчетного коэффициента.
6. Какова погрешность при расчете поля (неламбертова) ДИ по традиционной методике.
7. Чем отличается расчет ДИ прямоугольной и произвольной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2

1. Никитин В.Д. Расчет прямой составляющей освещенности/ уч. пособие. – Томск: Изд. ТПУ. - 1992. – 89 с.
2. Никитин В.Д. Расчет освещения точечным методом/ уч. пособие. – Томск: Изд. ТПИ им. С.М. Кирова. - 1985. – 95 с.
3. Дадиомов М.С. Прожекторное освещение. – Л.:«Энергия».- 1978. – 169с.
4. Stepanova E.V., Nikitin V.D. Ecological Problem: Light pollution//The twelfth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and young scientists “Modern Techniques and Technologies” (МТТ’ 2006), Tomsk, Tomsk Polytechnic University. P. 144-146.
5. Вайнштейн В.Б., Никитин В.Д. Расчет освещения комбинированным методом/ уч. пособие. – Томск: Изд. ТПИ. - 1974. – 102 с.
6. Никитин В.Д. Расчет освещенности произвольно ориентированной плоскости // Светотехника. 1989. - №4. - С. 15-16. Полный текст депонирован в Информэлектро 26.12.1989, № 257 Эт 89.
7. Беряльцева Н.П., Никитин В.Д. Расчет освещенности методом сеток равноосвещающих элементов// Светотехника. 1986.–№ 7. – С. 16. Полный текст статьи депонирован в Информэлектро.
8. Никитин В.Д., Пашник К.П. Погрешности при традиционном описании светового поля двухмерного излучателя // Известия Томского политехнического университета. Том 313, №3, 2008. С. 112-116.
9. Гуторов М.М. Сборник задач по основам светотехники. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 127 с.
10. Никитин В.Д., Савченко И.П. Расчет освещенности от прямоугольных излучателей с некосинусным светораспределением // Светотехника. – 1987. – № 7. – С. 9–12.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ

3.1 Нормирование освещения в уличных ОУ

3.1.1. Литература по физиологическому обоснованию норм освещения в УОУ огромна. В НА следует выделить работы В. Адриана [1]. Российский вклад скромнен на фоне подавляющего преобладания западно-европейских исследований, что обусловлено следующими факторами, характерными для ЭРС.

- Более высоким, чем в РФ, уровнем «автомобилизации» (выше: плотность дорожной сети, число автомашин на душу населения, средневзвешенная стоимость автомобиля, скорость движения на дорогах, частота пользования машиной, нормируемые характеристики освещения).

- Трепетным отношением к человеческой жизни и здоровью людей, в данном случае – в форме пристального интереса ко всем техническим аспектам, включая освещение, влияющим на частоту и тяжесть ДТП (и, также, их экономическим последствиям).

- Правительства (не на словах – на деле) выполняют свои обязательства перед обществом по обеспечению надежных транспортных коммуникаций, в данном контексте – количественных и качественных показателей освещения автомобильных дорог и улиц.

- Граждане/подданные проявляют за рулем свою законопослушность (в качестве пешеходов – тоже), нарушения (обычно – редкие) сурово пресекаются (неподкупными) офицерами патрульной службы.

В Европе всегда уделялось большое внимание вопросам безопасности, в частности, исследованиям видимости в условиях дорожного движения. Наряду с нормативными документами – национальными стандартами, были выработаны единые регламентирующие методики, рекомендованные к применению во всех странах мира. В области наружного освещения можно указать:

- Рекомендации по освещению дорог для моторизованного и пешеходного движения;

- Методы проектирования освещения дорог;

- Руководство по освещению городских территорий;

- Руководство по проектированию автотранспортных туннелей, проездов;

- Расчеты дорожного освещения.

С развитием градостроительства, с совершенствованием автотранспорта и прогрессом в светотехнике изменялись нормативы НО. Широкое внедрение НЛВД с высокими значениями η_v позволило существенно повысить нормируемые уровни средних яркостей дорожных покрытий при той же или меньшей мощности НО (отражено и в [2]).

Наряду с яркостью поля адаптации на работоспособность (глаза) влияет слепящее действие находящихся в поле зрения блеских источников и неравномерность распределения яркости в центральной (дорожное покрытие) и периферической (тротуары, фасады зданий и др.) частях поля зрения. Многофакторный пример приведен в [3].

Коэффициент ослепленности в УОУ зависит от суммарной яркости вуалирующей пелены, средней яркости дорожного покрытия, спектра ИС и др.; приводится почти во всех руководствах и справочных изданиях; в ЕС нормируются значения показателя Р на порядок меньшие, чем в РФ.

Допустимое значение показателя ослепленности $P=(S-1) \cdot 10^3$ в УОУ по существу компромиссно:

- при регламентации малых Р для создания необходимой яркости придется устанавливать СП (с резко ограниченным светораспределением и низким КПД) с очень малым шагом, что повысит установленную мощность и расходы на освещение;
- значительное увеличение Р нежелательно из-за ухудшения (снижения) видимости, роста числа и тяжести ДТП, обусловленных ослеплением водителей.

В отечественных нормах принято значение $P=150$ (т.е. $S=1,15$) для улиц и площадей категорий А и Б.

Таблица 3.1.1

Регламентация уличного освещения в [2]

Неравномерность распределения освещенности			
Освещаемый объект [пункт в СНиП 23-05-95*]	Отношение E_{max}/E_{min} при значении E_{cp}		
	>6 лк	4...6 лк	<4 лк
Конкретно не определен [7.42]	<3	<5	<10
Неравномерность распределения яркости			
Освещаемый объект	Отношение яркостей	При L_{cp} , кд/м	
		$\geq 0,6$	$< 0,6$
Дорожное покрытие [7.30]	L_{min} / L_{cp}	$\geq 0,35$	$\geq 0,25$
Полоса движения [7.30]	L_{min} / L_{max}	$\geq 0,6$	$\geq 0,4$
Тротуар (1), примыкающий к проезжей части (2) [7.29]	$L_{cp} (1) / L_{cp} (2)$	$\geq 0,5$	$\geq 0,5$
Ограничение ослепленности			

<i>Окончание табл. № 3.1.1</i>	
Освещаемый объект	Регламентируется Р или Н
Улицы, дороги, транспортные зоны площадей категорий А и Б	$R \leq 150$ [по п.7.45]; ограничивается и засветка окон
Улицы и дороги категории В; установки, в которых регламентируется E_{Γ} или Е полуцилиндрическая*	Высота H_{\min} по условиям ограничения ослепленности – по табл.10 СНиП 23-05-95*
Улицы, дороги и площади с электротранспортом [п. 7.47]	Регламентируется высота размещения СП по СНиП 2.05.09

* Пример "надувания щек"; лучше: Е вертикальной плоскости

3.1.2. За рубежом проектирование установок НО ведется по национальным нормам, но они выдержаны в единой с международными концепции, и значения нормируемых показателей близки (табл.3.1.2).

Таблица 3.1.2

Сравнение отечественных норм СНиП 23-05-95 и зарубежных норм по НО {в скобках - замечания}*

Отечественные нормы	Зарубежные нормы
1. Излагают материал очень сжато, содержат минимальный набор нормативных требований. Обычно не содержат методологии расчета и измерения нормативных показателей. 2. Не касаются большого круга вопросов по каждому виду освещения (СНиП имеет небольшой объем - 35 стр.). Не содержат требований к освещению перекрестков, искривленных участков, многоуровневых транспортных развязок. 3. Имеют более низкие (худшие) уровни нормируемых показателей. 4. Не дают детальную информацию (может содержаться в ведомственной литературе, но она обычно носит рекомендательный характер и малодоступна). 5. Терминологию не дают вообще либо приводят в сильно усеченном виде. 6. Рассматривают два типа дорожных покрытий. {7. При использовании зарубежных компьютерных технологий имеют проблемы, например, базы данных ориентированы на продукцию только своей фирмы.}	1. Строятся на двух основных принципах: детальная дифференциация по видам и подвидам освещения, структура стандартов носит комплексный характер (материал охватывает весь круг вопросов, связанных с данным видом освещения). 2. Каждая часть норм представляет собой отдельный многостраничный документ. 3. Нормируемые показатели «дружелюбнее» для зрения, так, жестче регламентируется ослепление (отличие от наших норм по ТП в 2,5 раза). 4. Приводят подробный список и объяснение используемых терминов. 5. Рассматривают несколько классификаций дорожных покрытий. 6. Расчеты ведут с помощью компьютерной техники. {7. Результаты научных исследований быстро превращают в «novellae legus» (для сравнения: у нас уйдет десятилетие, да и новелла может оказаться половинчатой). «Говорящий» пример с защитой от светового загрязнения приведен в начале следующей страницы}

И упомянутый выше пример. В кодексах промышленно развитых стран давно существует пункт о световом загрязнении городов, с $\Delta \approx 10$ лет такой пункт появился в СНиП («Светотехника», 2004, №2, с. 19, пункт 7.45). И, как обычно, в СНиП ни слова о методике расчета и из-

мерения. Разумеется, каждый в РФ знает категоричность своей улицы, и в любом окне – по люксметру (вместо термометра?) в дар от чадолюбивой исполнительной власти.

Полезная информация по уличному освещению и перспективам его развития содержится в [4÷6].

История уличного освещения в СССР во второй половине 20-века представлена в табл.3.1.2 (заменившей полторы страницы традиционного «бубнящего» текста).

3.1.3. Действующие нормы СНиП 23-05-95 с изменением №1 уделяют достаточно внимания УОУ. Требования к наружному освещению городских и сельских поселений изложены в пп.7.28...7.55 [2]. В табл.11 СНиП значения средней яркости/освещенности нормируются в функции двух параметров:

- значимости (категории) улицы или дороги – общегородского (в Томске: Ленина, Фрунзе, Пушкинская, Комсомольский...), районного (Усова, Учебная...) и местного (Тимакова, А.Иванова...) значения;
- наибольшей интенсивности движения транспорта в обоих направлениях (градации: 500, 1000, 2000, 3000 ед/ч); в принципе эти два подхода могут и не пересекаться.

Табл.11 [2] мы не приводим – по следующим соображениям:

- все издания (включая популярные) по НО и смежным областям ее публикуют, вероятно, признавая ее высокий смысл и неоспоримый авторитет;
- ГИБДД и Горсветы более-менее серьезно контролируют освещение улиц и дорог общегородского и районного значения, а до улиц местного значения руки (ноги?) не доходят.

Наихудшая ситуация, однако, с освещением объектов, включенных в табл.12 СНиП (с небольшой коррекцией приведена в табл.3.1.4), особенно территорий жилых микрорайонов – площадок для подвижных игр, проездов и подходов к жилым корпусам и т.п.

Таблица 3.1.3

Анализ норм освещения улиц (1941-2004 гг.)

Период, годы	Нормативный документ	Максимальная интенсивность, ед/ч	Характеристики источника света				Освещенность E, лк; яркость L, кд/м ²	Показатели P, N
			Тип	P, Вт	η_v , лм/Вт	t, тыс. ч		
1941-1950	ГОСТ 1002-41	1000	ЛН	200...1000	13-15	0,5...1	$E_{\text{мин.гор}}=0,2...6$	
1951-1964	СНиП II В.6-59	2000-3000	ЛН ДРЛ	200...500 250...400	13-15 35-45	1...3	$E_{\text{мин.гор}}=0,2...6$	$H=N(P_{\text{п}})$
1964-1971	СН 278-64	>2000	ДРЛ ЛН	125...1000 200...1000	40-50 (46) 13,5...18 2	6...8 1	L=0,1...1	$P \leq 150$, $N=3:1$ ($N=5:1$)
1971-1979	СНиП II-A.9-71	>3000	ДРЛ ЛН ДНаГ	80...2000 200...1000 400	40...55 13...18 >100	>10 1 7...15	L=0,2...1,6	$P \leq 150$, $N=3:1$ ($N=5:1$)
1979-1995	СНиП II-4-79	>3000	ДРЛ ДНаГ ЛН	80...2000 125...400 (200...1000)	50-60 >100 (13,5...18,8)	6...20 6...20 1	L=0,2...1,6 E=4...20	$P \leq 150$, $N=3:1$ ($N=5:1$)
1995-2004	СНиП 23-05-95	>3000	ДНаГ ДРЛ	70...400 80...400	>100 40...55	7...15 ≥ 10	L=0,3(0,2)...1,6	$P \leq 150$, $N=0,35$ ($N>0,25$)

Таблица 3.1.4

Таблица 12 действующих СНиП

Освещаемые объекты (9, 10, 11 – на территории микрорайонов)	Е _г , лк
1 Главные пешеходные улицы, непроезжие части площадей категорий А и Б и предзаводские площади	10
2 Пешеходные улицы: в пределах/вне общественных центров	6/4
3 Тротуары, отделенные от проезжей части, на улицах категорий: А / Б	4/2
4 Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий/ 5 Пешеходные мостики	10/10
6 Пешеходные тоннели: днем/вечером и ночью	100/50
7 Лестницы пешеходных тоннелей вечером и ночью	20
8 Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категорий (табл.11): А/Б/В	6/4/2
9 Проезды основные/второстепенные, в том числе тротуары-подъезды	4/2
10 Площадки хозяйственные при мусоросборниках	2
11 Детские площадки	10

(Мы не говорим здесь об элитном жилье для людей с серьезными властными полномочиями и/или состояниями. Такие здания и подходы + проезды к ним, как правило, очень хорошо освещены – не для глаз, а в соответствии с характеристиками камер видеонаблюдения, используемых охраной.)

«Обычное» же жилье, как правило, не имеет наружного освещения, соответствующего табл.12, отчасти – из-за хронического безденежья (мнимого?) опекающих контор, отчасти – от неискоренимого убеждения, что подобное освещение – такая же роскошь, как посыпание песком в гололед.

3.1.4. В РФ УОУ регламентируются федеральными строительными нормами и правилами СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Схема функциональной взаимосвязи всех сторон нормирования УОУ по СНиП дана на рис. 3.1.1.

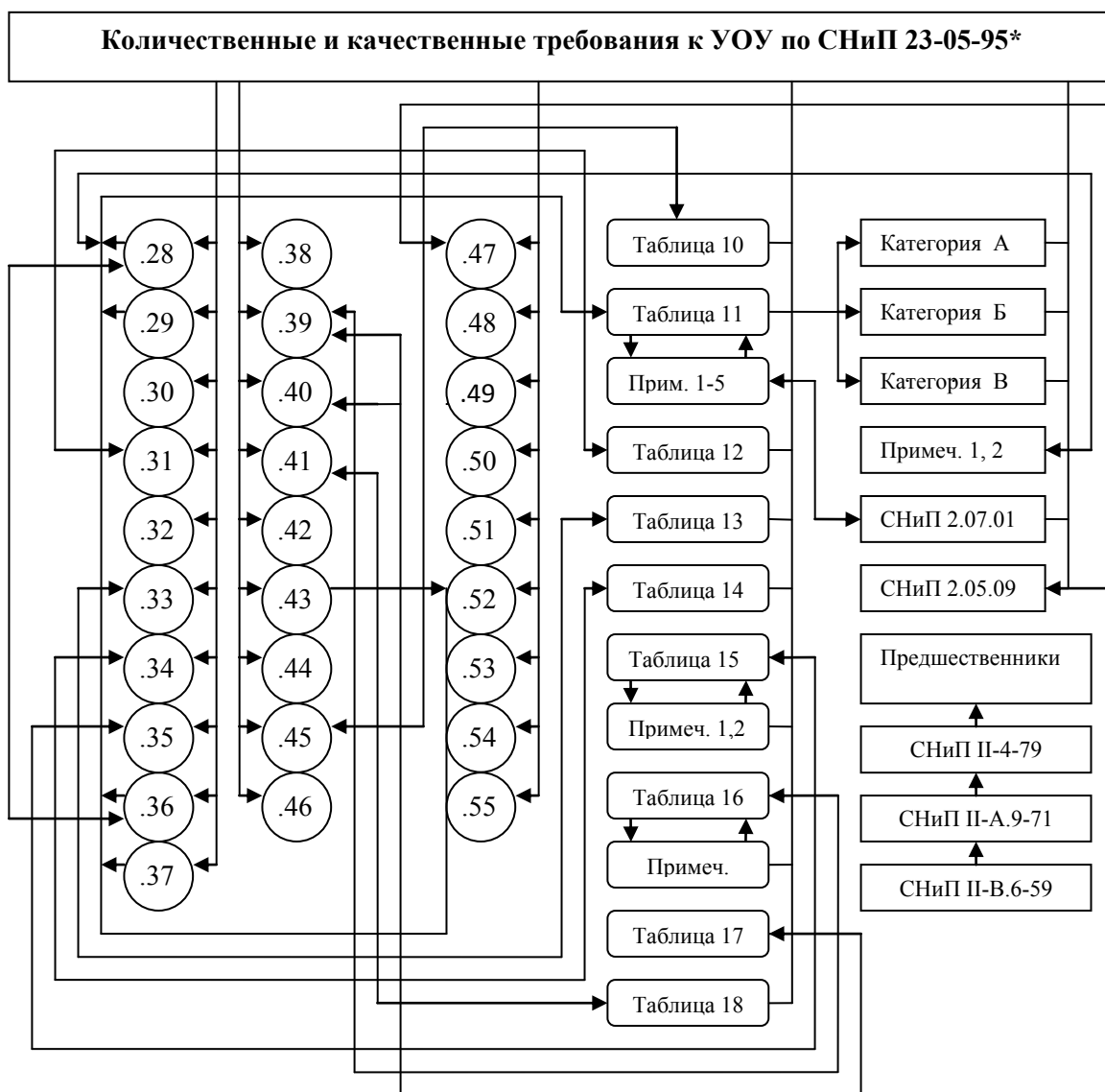


Рис. 3.1.1. Взаимосвязь требований к нормированию УОУ (фрагмент)

Выбран предельно компактный и, насколько возможно, симметричный вариант.

Номера пунктов заключены в кружки, таблиц – в "овалы", приложений – в прямоугольники. Ввиду ограничений по объему пособия приводятся самые краткие пояснения, а информация второстепенная (и ниже по иерархии) исключена. В номерах пунктов на рис. 3.1.4.1 цифра 7 (ради экономии места) опущена, но подразумевается: .28=7.28, .29=7.29 и т.д. В пунктах 7.28 – 7.55 содержатся указания по:

- 7.28 – видам освещения улиц, дорог и площадей с транспортным движением;
- 7.29 – средней яркости покрытия тротуаров вблизи улиц, дорог и площадей;

- 7.30 – нормам яркости покрытий дорог;
- 7.31 – средней E_r бульваров, скверов, пешеходных улиц, территорий микрорайонов;
- 7.32 – средней полуцилиндрической освещенности пешеходных улиц;
- 7.33 – - E_r территорий общественных зданий;
- 7.34 – парков, стадионов и выставок;
- 7.35 – покрытий улиц, дорог, проездов и площадей сельских поселений;
- 7.36 – освещенности участков автомобильных дорог в пределах сельских поселений;
- 7.37* – освещение подъездов к противопожарным водоисточникам, если они расположены на неосвещенных частях улиц или проездов. Средняя горизонтальная освещенность этих подъездов должна быть, лк:
 - в городах и поселках..... 2 (см.замечание авторов в сельских населенных пунктах 1 по пункту 7.52*)
- 7.38 – норма освещения трамвайных путей, расположенных на проезжей части улиц;
- 7.39 – средней E_r дорожного покрытия проезжей части городских тоннелей в дневном, вечернем и ночном режимах;
- 7.40 – средней E_r покрытия проездов под путепроводами и мостами;
- 7.41 – - - на территориях заправки и хранения автомобилей;
- 7.42 – возможности повышения уровня освещенности;
- 7.43 – повышению норм освещения в столицах суверенных республик, городах-героях, исторических, курортных и портовых городах;
- 7.44 – возможности снижения уровня освещенности, экономии электроэнергии в вечернее и утреннее темное время суток;
- 7.45 – ограничению показателя ослепленности, засветки окон квартир жилых зданий;
- 7.46 – выбору источников света для наружного освещения;
- 7.47 – размещению световых приборов на улицах, дорогах и площадях с трамвайным и троллейбусным движением;
- 7.48 – ограничениям при установке световых приборов в парапетах мостов и путепроводов;
- 7.49 – выбору источников света в тоннелях для транспорта;
- 7.50 – выбору источников света в тоннелях пешеходов;
- 7.51 – средней E_r площадок, проездов, проходов между рядами на территории открытых рынков и торговых ярмарок;

- 7.52¹ – В проектах наружного освещения необходимо предусматривать освещение подъездов к противопожарным водосточникам, если они расположены на неосвещенных частях проездов. Средняя горизонтальная освещенность этих подъездов должна быть 2 лк.
- 7.53 – ограничениям при выборе СП на территории заправочных станций и автостоянок, расположенных вблизи проезжей части;
- 7.54 – освещению больших площадей и транспортных развязок;
- 7.55 – средней E_T перед входом в здание и зоне, примыкающей к нему.

В таблицах СНиП 23-05-95 приводятся:

- Табл. 10 Отношение осевой силы света $I_{\text{макс}}$, СП к квадрату высоты установ ки этих приборов, в зависимости от нормируемой освещенности.
- Табл. 11 Нормируемые значения средней яркости улиц, дорог и площадей категорий: А; Б и В – улиц и дорог местного значения.
- Табл. 12 Средняя E_T бульваров, скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов городских поселений.
- Табл. 13 Средняя E_T территорий общественных зданий.
- Табл. 14 Нормируемые значения освещенности территорий парков, стадионов и выставок.
- Табл. 15 Уровень средней E_T покрытий дорог, улиц, проездов и площадей сельских поселений.
- Таб л. 16 Таб Уровень освещенности дорожного покрытия проезжей части городских транспортных тоннелей.
- л. 17 Таб Средняя E_T покрытия проезжей части выездного портала.
- л. 18 Таб Уровень освещенности на территориях заправочных станций и автостоянок.

Полезная информация: в РФ освещение регламентируется также местными (региональными) нормами, например, в Москве действуют МГСН 2.06-99 "Естественное, искусственное и совмещенное освещение".

- Сравнение российских норм искусственного освещения с западно-европейскими и американскими содержится в разделе 3 "Норми-

¹ Фактическое совпадение текстов п.7.37 и 7.52 – "прививка" от излишнего пиетета к стандартам и нормативно-технической документации вообще: монополией на истину регламентирующие документы не обладают.

рование освещения" on-line учебного пособия Лисицына В.М. и Никитина В.Д.[7];

- Общая схема организации проектирования ОУ, включающая светотехническую, электротехническую и экономическую подструктуры (11 пунктов "получение задания", 14 пунктов "виды работ" и 7 пунктов "выдача задания смежникам"), приведена на рис. 3.1.1 в учебном пособии по курсовому проектированию [8], а в ином, более компактном виде, в [9].

3.2 Анализ методов расчета освещения улиц

Расчеты УОУ – довольно сложная область светотехнического проектирования; когда же для улиц категорий А и Б стали нормировать яркость дорожного покрытия, эта обособленность и своеобразие еще усилились.

При проектировании УОУ эффективность оценивается коэффициентами использования светового потока ИС относительно расчетной поверхности (дорожного покрытия) по освещенности u_E и по яркости u_L :

$$u_E = \frac{1}{\Phi_n} \sum_1^{ij} E_{ij} \Delta A_{ij}, \quad u_L = \frac{1}{\pi \Phi_n} \sum_1^k \sum_1^{ij} E_{ijk} \Delta A_{ij} r_{\alpha\gamma}$$

где ΔA_{ij} – элементарная площадка расчетной поверхности (дорожного покрытия); E_{ij} – горизонтальная освещенность элементарной площадки, создаваемая совокупностью ОП; E_{ijk} – горизонтальная освещенность элементарной площадки, создаваемая k-тым ОП; Φ_n – световой поток ИС одного ОП; $r_{\alpha\gamma}$ – коэффициенты яркости дорожного покрытия; k – количество ОП, участвующих в формировании средней горизонтальной освещенности/яркости дорожного покрытия. Учитывая протяженный характер дорожного покрытия, коэффициенты использования рассчитывают для элементарных полос дорожного покрытия, затем расчетные данные представляют, например, в виде графиков $u_E = f_1(b/H)$, $u_L = f_2(b/H)$ (рис.15.8 [10]).

Таблица 3.2.1

*Расчет наружного освещения методами: точечным и
коэффициента использования*

ТМ при СП		МКИ по средней	
круглосимметричных	некруглосимметричных	яркости	освещенности
Расчет ведется по			
<ul style="list-style-type: none"> Кривым относительной освещенности ($\Phi = I_{к\ell m}, h = I_M$) $\varepsilon = \varepsilon(\alpha)$, например, представленным на рис. 9.3 [11], либо непосредственно по формуле $\varepsilon = I_\alpha \cos^3 \alpha$. Пример расчета – с.222-223 [12]. Круговым изолюксам условной ($e = e(d)$ при $h = var$) либо относительной ($\varepsilon = \varepsilon(d/h)$) освещенности. График $e = e(d)$ дан, например, на с.16 [19]. Графикам условных $e_{1,000} = e(d, h)$ либо действительных $e_{\varphi=v} = e(d, h)$ изолюкс. Формуле $E = E(\Phi, h, \Sigma \varepsilon \dots)$ В [11] на с.248 находится пролет между СП, а на с.249 – $\Sigma \varepsilon$ при известной геометрии. 	<p>[Если ось СП вертикальна ($\varphi = 0$)] –</p> <ul style="list-style-type: none"> графику условных или относительных изолюкс $e = e(\eta, \xi)$ или $\varepsilon = \varepsilon(\eta, \xi)$. Находятся e или ε либо один из геометрических параметров ($\eta = tg \alpha_G$ или $\xi = tg \alpha_B$). График дан на рис. 9.4 ([11, с.246]). При консольных СП ($\varphi \approx 15^\circ$) – графикам условных изолюкс $e = e(\eta, \xi)$. <p>Координаты ξ (для $\beta = 0^\circ$) и η (для $\beta = 90^\circ - 270^\circ$) находятся по табл.9.7 [12, с.227].</p> <p>[При любых СП и $\varphi = \forall$] –</p> <ul style="list-style-type: none"> формулам и графикам, представленным в [13] (общее решение). 	<ul style="list-style-type: none"> U_L по табл. 9.5 [12] в зависимости от СП, вида дорожного покрытия, угла наклона $\varphi(0^\circ, 15^\circ, 30^\circ)$, угла $\beta(0^\circ, 180^\circ)$ и отношения ширины расчетной полосы b к высоте установки СП h. L_{cp}, применяя коэффициент U_L, по формуле (9.2) в [12]. <p>Пример расчета на с. 245 [11].</p>	<p>Находятся значения</p> <ul style="list-style-type: none"> Коэффициента использования U_E СП с ЛН и ДРЛ ([11], табл.9.5), ДРЛ и ДНаТ ([12], табл.9.6). E_{cp} по формуле 9.1 [12] (нуждается в коррекции – ошибочно введен множитель π^{-1}). Примеры расчета даны на с.213,215 (торшер с ДРЛ) и с.215,217 (консольный СП с ДРЛ). <p>Ситуационный рис. 9.31 в [12].</p>

Таблица 3.2.2

Анализ методов расчета уличного освещения

При нормировании освещенности E_{min}	При нормировании яркости L_{cp}	При расчете яркости по методу [14]
<p>1. При круглосимметричных</p> $\left\{ \begin{aligned} \Phi &= \frac{1000Ek h^2}{\mu \sum \varepsilon}, \\ \varepsilon &= I_\alpha \cos^3 \alpha. \end{aligned} \right.$ <p>СП ($\Phi_{л}=I_{клм}$, $h=I_{м}$)</p> <p>2. При некруглосимметричных СП – ($\eta = x/h, \xi = y/h$)</p> $\left\{ \begin{aligned} \Phi &= \frac{1000Ek h^2}{\mu \sum \varepsilon}, \\ \varepsilon &= \varepsilon(\eta, \xi). \end{aligned} \right.$ <p>3. При консольных некруглосимметричных СП (обычно берется угол $\gamma = 20^\circ$) по табл. 9.4 [11].</p> $\left\{ \begin{aligned} \Phi &= \frac{1000Ek h^2}{\mu \sum \varepsilon}, \\ \varepsilon &= \varepsilon(\eta, \xi), \\ \eta &= \eta(x/h, \xi, \rho^3). \end{aligned} \right.$	<p>Расчет Φ' – удельного потока, $лм/м^2$, падающего на дорожное покрытие (фактически – средняя освещенность E_{cp}) по формуле</p> $\Phi' = \frac{Lk\pi}{\eta_L},$ <p>где L – нормированная яркость, $кд/м^2$, b_i – ширина i-той полосы, $м$, h – высота СП над дорожным покрытием, $м$, коэффициент использования $\eta_L = \eta_L(b_i/h)$ – по табл. 9.5 [11].</p>	<p>Комплексный расчет показателей наружного освещения улиц на ЭВМ: Расчет горизонтальной освещенности E_g в узлах D_{ji} от C_N-го светильника выполняется по формуле:</p> $E_{gN} = \frac{I(\alpha, \beta) z_{0N}}{kR^3 N},$ <p>где k – коэффициент запаса,</p> $R_N = \sqrt{(x_j - x_{0N})^2 + (y_i - y_{0N})^2 + z_{0N}^2}.$ <p>(Менее трудоемкий расчет иным методом [15] представлен в 3.3). Яркость в расчетной точке D_{ji} определяется по формуле:</p> $L_g = \frac{0,1}{\pi} \sum_{N=1}^2 E_{gN} + \frac{1}{\pi} \sum_{N=3}^5 E_{gN} r_N(\alpha_\varphi, b/z_{0N}),$ <p>где $r_N(\alpha_\varphi, b/z_{0N})$ – коэффициенты яркости гладкого и шероховатого асфальтобетонных покрытий.</p>

Таблица 3.2.3

Расчет освещения улиц в г. Кемерово по удельному потоку ламп Φ' , $лм/м^2$, и коэффициенту использования η_L (светильник СЗПР-250 М, коэффициент запаса $k=1,5$)

Параметры и этапы	Задача 1	Задача 2
Светораспределение Источник света, световой поток	Б (несимметричное боковое) ДРЛ-250(6.)-4, $\Phi_{л}=13$ клм	Ц (несимметричное осевое) ДРЛ-250(10)-4, $\Phi_{л}=13,5$ клм
Категория улицы (интенсивность) Яркость L_{cp} , $кд/м^2$ (E_{cp} , лк)	Б (1000...2000 ед/ч) 0,8 (15)	А (<500 ед/ч) 0,6 (15)
Расположение СП и их высота над дорогой	В 2 ряда в 3 м от края дороги (ширина $b=30$ м) на высоте $h=9$ м	На тросах над осью дороги (ширина $b=18$ м) на высоте $h=10$ м
Нахождение b_i/h , η_i и $\sum \eta$ как алгебраической суммы	$b_1/h=3/9=0,33$, $\eta_1 \approx 0,020$ (экстраполируем) $b_2/h=27/9=3$, $\eta_2=0,106$ $\sum \eta=0,020+0,106=0,126$	$b_1/h=b_2/h=9/10$, $\eta_1=\eta_2=0,051$ (интерполируем между 0,032 и 0,056) $\sum \eta = 2 \cdot 0,051 = 0,102$

<i>Окончание табл. № 3.2.3</i>		
Нахождение по значениям $\sum \eta$ удельного потока ламп Φ' и расстояния D между СП	$\Phi' = \frac{Lk\pi}{\eta_L} = \frac{0,8 \cdot 1,5 \cdot 3,14}{0,126} = 30 \text{ лм/м}^2$ $D = \frac{\Phi_a \cdot N}{\Phi' \cdot b} = \frac{13000 \cdot 2}{30 \cdot 30} = 29 \text{ м}$	$\Phi' = \frac{Lk\pi}{\eta_L} = \frac{0,6 \cdot 1,5 \cdot 3,14}{0,102} = 27,8 \text{ лм/м}^2$ $D = \frac{\Phi_a \cdot N}{\Phi' \cdot b} = \frac{13500}{27,8 \cdot 18} = 27 \text{ м}$

Таблица 3.2.4
Расчет освещения улиц в г. Томске по удельному потоку ламп Φ' , лм/м², и коэффициенту использования η_E (число рядов $N=1$, высота СП над полотном дороги $h=8$ м, ширина дороги $b=8$ м, коэффициент запаса $k=1,5$)

Параметры и этапы	Задача 3	Задача 4
Световой прибор, эскиз по [12] Источник света, световой поток	РКУ 01-250-007, рис. 9.1,а ДРЛ 250(6)-4, $\Phi_L=13$ клм	РТУ 125/С53-2, рис. 9.1,н ДРЛ 125(10), $\Phi_L=6,3$ клм
Расположение светильников Угол наклона φ , град	Вдоль дороги на расстоянии $b_2=4$ м ($b_1=b_2+b=12$ м) 15([12],рис. 9.31,а, III)	По оси дороги ($b=b_1+b_2$, $b_1=b_2=4$ м) 0([12], рис. 9.31,а, I)
Освещенность Шаг светильников	$E_{cp}=?$ (пешеходная дорожка, $E_n=4$ лк) $D=20$ м	$E_n=4$ лк(улица категории В) $D=?$
Нахождение b_i/h и, далее, η_i по табл. 9.6 [11]	$b_1 = 4 + 8 = 12, b_1/h = 1,5; \eta_1 = 0,392$ $b_2/h = 4/8 = 0,5; \eta_2 = 0,208$	$b_1/h = b_2/h = 0,5; \eta_1 = 0,081$ $b_2 = b_1, \eta_2 = \eta_1 = 0,081$
Значение η_E (по табл.9.6 [11])	$\eta_b = \eta_1 - \eta_2 = 0,392 - 0,208 = 0,184$	$\eta_b = 2\eta_1 = 0,162$
Решение задачи по формуле (9.1) [11] (удельный поток ламп $\Phi' = \frac{E_{cp} \cdot K}{\eta_b} = \frac{\Phi_a \cdot N}{D \cdot b}$)	$E_{cp}(\Phi', \eta_b) = \frac{\Phi_a \cdot N \cdot \eta_b}{D \cdot b \cdot K} =$ $= \frac{13 \cdot 10^3 \cdot 0,184 \cdot 1}{20 \cdot 8 \cdot 1,5} = 3,17 \text{ лк} (< 4 \text{ лк})$	$D(\Phi', \eta_b) = \frac{6,3 \cdot 10^3 \cdot 0,162}{4 \cdot 1,5 \cdot 8} = 21,3 \text{ м}$ (допустимые значения $D < 21$ м)

3.3 Совершенствование методов расчета освещения улиц

Хорошее наружное освещение населенных пунктов – это снижение числа дорожно-транспортных происшествий, травматизма и криминальных проявлений на улицах, благоприятное эстетическое впечатление от вечернего города. [Представляет интерес депонированный в редакции ж. “Светотехника” обширный–24 источника – перечень литературы к ст. Ван Боммеля (1999, №6, с.4-6)]. Наиболее существенной компонентой наружного освещения является освещение улиц, площадей, автострад.

Существующий метод Карачева-Митина [14] для расчета горизонтальной освещенности (и по ней – яркости) дорожных покрытий наряду с несомненными достоинствами имеет и недостатки: определенные трудности в выполнении пространственных расчетов (формулы(1)...(8)); возможное снижение точности при выполнении ряда последовательных действий, в частности, нахождении углов α_0 , γ , α , β (округления и др. снижают надежность результатов); этот метод нельзя использовать, если проекция оси СП на дорожное покрытие не перпендикулярна осевой линии дороги и/или КСС задана в иной, не азимутально-меридиональной, форме.

В данной работе поставлены задачи:

- 1) усовершенствовать использованную в [14] методику нахождения азимутальных и меридиональных координат точки в поле некрутлосимметричного СП;
- 2) разработать методику нахождения для произвольной точки углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, (проекция оси СП перпендикулярна оси дороги);
- 3) разработать подобную методику для СП, проекция оси которого не перпендикулярна оси дороги (решения задач 2) и 3) с материалами [14] не пересекаются).

3.3.1. Решение задачи 1

Центральное место в методе Карачева-Митина занимают формула (7) (дает значение азимутального угла; в записи закона косинуса – три неточности) и формула (8) (дает значение меридионального угла); их “обслуживают” формулы (1,2,3,4,5).

Предлагаемая методика [15] имеет иную светотехническую идеологию – дает прямое, непосредственно по координатам расчетной точки, математически точное описание ее положения в поле СП (сократив вспомогательные процедуры, столь отягощающие [14]). Методику отличает простота: достаточно сравнить рис. 3.3.1 данного издания с рис. 1 [14] (где 7 углов, полтора десятка буквенных обозначений (включая бииндексированные), нормаль и прочие “накрутки”, призванные убедить читателя в сложности проблемы).

Общее решение, даваемое методикой, основано на матричной форме задания углов поворота Эйлера [16] и позволяет найти значения азимутального и меридионального углов для произвольной точки $B(x,y,z)$, если известны координаты точки нацеливания $A(x,y,z)$.

В формуле (3.3.2) углы отсчитываются против хода часовой стрелки; в соответствии с рис. 2-10,(e) [17] за "гринвич" берется горизонт СП – плоскость $\beta = 90^\circ - 270^\circ$ ($\beta + 90^\circ = \xi$). Только три параметра – Y_A , X_B и Y_B – и две формулы вместо

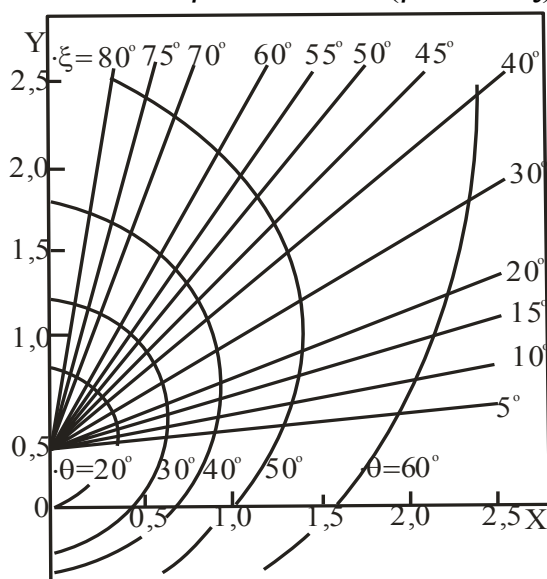


Рисунок 3.3.2 Азимутальные (эллипсы) и меридиональные углы ($\gamma = 20^\circ$)

тяжелого шлейфа; значения θ и ξ можно найти и без расчетов – графически – по координатам X и Y на изображении проективной плоскости (фрагмент – на рис. 3.3.2). Количественный пример (табл.3.3.2) дает возможность сопоставить трудоемкость расчетов по [14] и [15]. Подчеркнем следующее обстоятельство: отыскание значений азимутального и меридионального углов расчетной точки оправдано лишь при соответствующей форме задания КСС; так характеризуются не-

которые кососветы; Бенфорд использовал изоканделы в сферической либо синусоидальной системах координат; для современных же работ характерны иные формы задания светораспределения. Чтобы не пересчитывать КСС СП, можно воспользоваться методикой, изложенной в решении задачи 2.

3.3.2. Решение задачи 2

Обычно КСС (для некруглосимметричных СП) описывается в функции углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях: аппроксимация $I_{\alpha\beta}$ у В.Н.Степанова, изоканделы в проспектах на современные зарубежные СП (либо изолюксы – для светильников местного освещения либо ПВЛП), изоканделы для прожекторов у М.С. Дадиомова. Это потребовало отказа от задания азимутальной и меридиональной координат расчетной точки в поле СП и дальнейшего развития метода [15] с целью получить координирующие расчетную точку углы в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 3.3.1).

Формулы для нахождения углов $\alpha_{\text{верт}}$ в "вертикальной" ($\beta = 0^\circ - 180^\circ$) и $\alpha_{\text{гор}}$ в "горизонтальной" ($\beta = 90^\circ - 270^\circ$) плоскостях принципиально даны в ([19],с.16); опуская громоздкие выкладки, приведем аналитические выражения углов в виде сдвоенной формулы:

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha_6 \\ \alpha_2 \end{matrix} \right\} = \operatorname{arctg} \sqrt{\left[\frac{(Y_A^2 + 1)(X_B^2 + Y_B^2 + 1)}{(Y_A Y_B + 1)^2} - 1 \right]} \cdot \left[\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} \right] \mp \left(\frac{(Y_A - Y_B)^2}{(Y_A^2 + 1)X_B^2} + 1 \right)^{-1} \quad \left\{ \begin{matrix} 3.3.3 \\ 3.3.4 \end{matrix} \right\}$$

где единица в фигурной скобке и знак минус за ней относятся к $\alpha_{\text{верт}}$, т.е. к формуле (3.3.3), а нуль и знак плюс – к $\alpha_{\text{гор}}$, т.е. к формуле (3.3.4).

Дальнейшие преобразования формул (3.3.3, 3.3.4) позволили получить существенно более простые выражения ($\gamma = \operatorname{arctg} Y_A$):

$$\left\{ \begin{matrix} \alpha_6 \\ \alpha_2 \end{matrix} \right\} = \operatorname{arctg} \left[\left\{ \begin{matrix} Y_B - \operatorname{tg} \gamma \\ X_B \operatorname{sec} \gamma \end{matrix} \right\} \cdot (Y_B \operatorname{tg} \gamma + 1)^{-1} \right] \quad \left\{ \begin{matrix} 3.3.5 \\ 3.3.6 \end{matrix} \right\}$$

где множитель $X_B \operatorname{sec} \gamma$ относится к α_2 , т.е. к формуле (3.3.6).

Алгоритм вычисления освещенности произвольной точки В(x_B, y_B) заключается в нахождении значений:

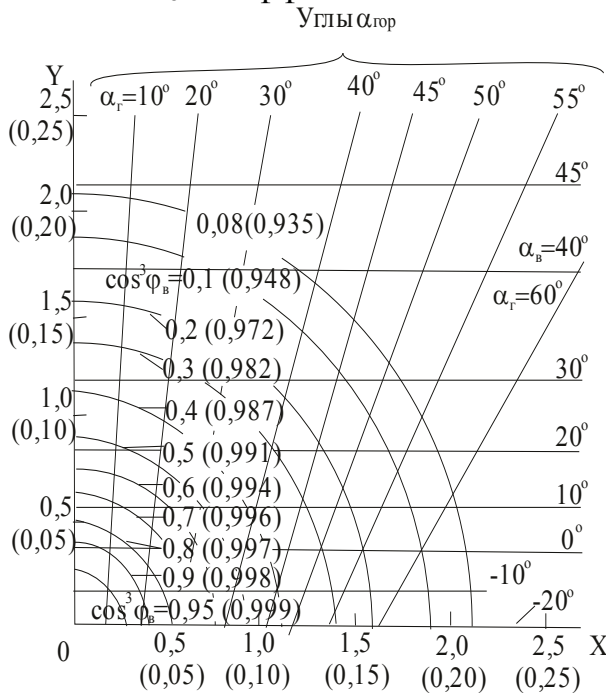
$H = h + l \sin \gamma$ по известной высоте опоры h , длине консоли l и углу наклона консоли к горизонту γ : $X_B = x_B/H$; $Y_B = y_B/H$; $Y_A = \operatorname{tg} \gamma$ (угол γ между осью СП и вертикалью); $\alpha_{\text{верт}}$ и $\alpha_{\text{гор}}$ по формулам (3.3.5, 3.3.6); силы света $I = I(\alpha_{\text{верт}}, \alpha_{\text{гор}})$;

$$\cos^3 \varphi_B = (X_B^2 + Y_B^2 + 1)^{-3/2}, \quad (3.3.7)$$

где φ_B – угол между вертикалью (надиром) и направлением из S на точку B ;

$$\text{освещенности по формуле } E_B = I(\alpha_{\text{верт}}, \alpha_{\text{гор}}) \cos^3 \varphi_B K_3^{-1} H^{-2}, \quad (3.3.8)$$

где K_3 – коэффициент запаса.



Если к точности результатов предъявляются обычные инженерные требования, то вместо расчетов по формулам (3.3.3–3.3.7) дружественная для расчетчика методика предлагает удобную номограмму (рис. 3.3.3). Рис. 3.3.3. дает сразу, без вычислений, значения $\alpha_{\text{верт}}$ и $\alpha_{\text{гор}}$ для произвольной точки B , так, при $X_B = 0,3$ и $Y_B = 2,0$ ($\operatorname{tg} \gamma = Y_A = 0,3639$) имеем $\alpha_{\text{верт}} = 43^\circ$, $\alpha_{\text{гор}} = 10^\circ$. Множитель $\cos^3 \varphi_B$ также удобно находить по рис.

Рисунок 3.3.3 Углы в вертикальной и горизонтальной плоскостях и (дуги окружностей)

3.3.3 ($\cos^3 \varphi_B = 0,085$ при $X_B = 0,3$, $Y_B = 2,0$).

Номографический вариант в десятки раз ускоряет работу (правда, ценой небольшого, $\leq 5\%$, но неизбежного снижения точности в сравнении с аналитическим вариантом).

Расчет повторяется для любого числа (шага) точек на дорожном покрытии и любого числа СП (вообще говоря, не всегда равного 5).

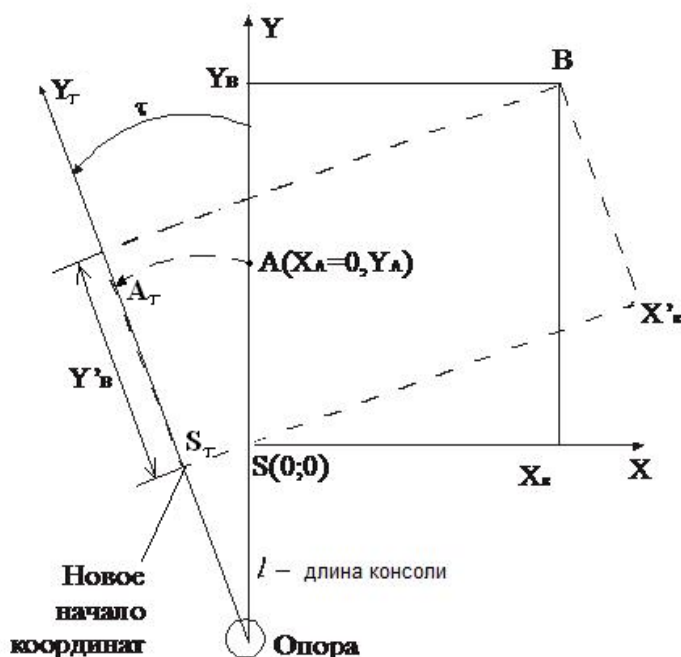
3.3.3. Решение задачи 3

На практике часто проекция оси СП (рис. 3.3.4) не перпендикулярна осевой линии дороги (составляет с ней угол, отличный от 90°). Эта ситуация имеет место, например, в уличном освещении при расположении на опоре нескольких СП с «разведенными» осями, в освещении фасадов, памятников и т.п. Этот случай сводится к задаче 2 заменой координат точки B (X_B , Y_B) на новые координаты (поворот осей на угол τ , перенос начала координат):

$$X' = X \cos \tau + Y \sin \tau + l \cos \gamma \cdot \sin \tau, Y' = -X \sin \tau + Y \cos \tau + l \cos \gamma (\cos \tau - 1), \quad (3.3.9)$$

далее используется изложенный выше алгоритм (формулы (3.3.3...3.3.8)), в которых X и Y заменены на X' и Y' (и выражены, разумеется, в долях высоты). Если же необходимо найти освещенность не горизонтальной поверхности (например, подпорной стенки, стены туннеля и т.п.), то найденное по формуле (3.3.8) значение освещенности умножается на пересчетный коэффициент, учитывающий угол наклона поверхности к горизонтальной плоскости и (в общем случае – произвольный) угол между проекцией оси СП и линией пересечения наклонной и горизонтальной плоскостей [15].

В заключение отметим, что поскольку формулы (3.3.1...3.3.7) дают



математически точное описание положения расчетной точки в поле СП, то значение освещенности будет зависеть от полноты и надежности данных по КСС. Для предлагаемой методики предпочтительно задание КСС по В.Н.Степанову либо в виде изокандел в декартовой системе координат. На практике часто светораспределение задается только для двух-

Рис. 3.3.4 Проекция оси светильника ($Y_\tau S_\tau$)

плоскостей β в форме кривых $I_{\beta=0^\circ}(\alpha)$ и $I_{\beta=90^\circ}(\alpha)$, и это может обусловить погрешность тем большую, чем сильнее КСС отличается от круглосимметричной (анализ дан в § 2.9 [19]). Однако эта неточность – не проблема данной методики, не ею обусловлена, а вызвана отсутствием информации о КСС в промежуточных плоскостях (производители СП не хотят обременять себя «лишним» фотометрированием). Чтобы минимизировать погрешность при построении изокандел, значения $\alpha_{\beta=\forall}$ рекомендуется находить по формуле

$$\alpha_{\beta=\forall} = \alpha_{\beta=0} + \beta_{\forall} \cdot (\alpha_{\beta=90^\circ} - \alpha_{\beta=0}) \cdot (90^\circ), \quad (3.3.10)$$

где $\alpha_{\beta=0^\circ}$ и $\alpha_{\beta=90^\circ}$ – значения полярного угла, соответствующие строящейся изоканделе, для кривых $I_{\beta=0}(\alpha)$ и $I_{\beta=90}(\alpha)$, соответственно.

Держателем расчетных материалов для различных углов наклона консоли СП к горизонту (от 0° - СП на тресе над дорогой – и до 70° , когда кронштейн СП закреплен вертикально на стене) является Томский политехнический университет.

Количественный пример (узловые моменты – в табл.3.3.2) дает возможность сопоставить трудоемкость расчетов по [15] и [14].

Таблица 3.3.2

Расчет угловых параметров точки В ($h=10$ м, $\gamma=20^\circ$, $l=2$ м)

$D_0(9; 8,888; 0)$ [15]	$D_{PN}(9; 5; 0), N(0; -3,888; 10,684)$ [14]
$H=h+l\sin\gamma=10+1,5\sin 20^\circ=10,684$ $X_B=x_B/H=9/10,684=0,364$ $Y_B=y_B/H=8,888/10,684=0,832$ $Y_A=\text{tg}\gamma=\text{tg}20=0,364$ $\theta = \arccos\left((Y_A \cdot Y_B + 1)(Y_A^2 + 1)^{-1/2} \cdot (X_B^2 + Y_B^2 + 1)^{-1/2}\right) = 37,795^\circ$ $\xi = \pm \arctg\left((X_B \cdot (Y_A^2 + 1))^{-1/2} \cdot (Y_B - Y_A)\right) = \pm \arctg\left[\frac{(0,832 - 0,364)}{0,842 \cdot (0,364^2 + 1)}\right] = 27,58^\circ$	$y_{0N}=l\cos\gamma=2 \cos 20^\circ=-3,888$ $y_{PN}=0$ $x_{PN}=x_{0N}=0$ $x_i'=x_i - x_{PN}=9-0=9$ $R_N = \left((x_j - x_{0N})^2 + (y_i - y_{0N})^2 + z_{0N}^2\right)^{1/2} = 16,557$ $R_p = \sqrt{(y'_{0N})^2 + z_{0N}^2} = 11,369$ $r_{PD} = \sqrt{(y'_i)^2 + (x'_j)^2} = 10,295$ $\alpha = \arccos \frac{R_N^2 + R_p^2 - r_{PD}^2}{2R_N R_0} = 37,82^\circ$ $\beta = \left[90^\circ - \arctg \frac{y'_i \cdot z_{0N}}{ x'_j R_p}\right] = 62,43^\circ$
Этот прямоугольник наглядно показывает, что трудоемкость методики существенно ниже, чем при расчетах по [14].	
Операций – 24, шагов – 6	Операций – 33, шагов – 7

3.4 Конструктивное исполнение СП для ОУ улиц

Конструктивное исполнение СП для УОУ существенно влияет на светотехнические и эксплуатационные параметры. Запыление снижает световой поток, а КСС, полу- или широкую, деформирует, приближая к

косинусной, что приводит к провалам освещенности (яркости) в зоне между СП. Недостаточная защита от воды может привести к преждевременному выходу из строя изоляции, отложениям на ИС и СП, нарушениям теплового режима и т.п. Выбор СП более дешевого, но с недостаточными степенями защиты, на деле обернется потерями в процессе эксплуатации. (Отметим, что расшифровка в [10] IP как *International Protection* – ошибочна; надо: *Ingress.*)

Степень защиты оптического отсека от воздействия окружающей среды – важный конструктивный фактор. Снижение светового потока СП в процессе эксплуатации зависит от степени защиты и загрязненности окружающей среды (табл. 3.4.1). С небольшими различиями та же, по существу, информация представлена на рис. 16.7 в первом издании СК Ю.Б.Айзенберга.

Для открытого СП в сильно загрязненной среде снижение светового потока значительно больше, чем для закрытого, особенно при высокой (IP54 и IP65) степени защиты. Не случайно в условиях города эксплуатация открытого СП обходится дороже, чем закрытого.

В некоторых случаях хорошие результаты дает разделение СП на 2 части: серьезную степень защиты используют для небольшого по размерам отсека с ИС, вторичный же отражатель не нуждается в защите.

Таблица 3.4.1

Maintenance factor, % от первоначального значения потока, в различных условиях среды (ч – чистая, с – средняя, г – грязная)

Период горения, годы	MF при степени защиты от запыления и среде								
	IP 2X			IP 5X			IP 6X		
	ч	с	г	ч	с	г	ч	с	г
1	90	62	53	92	90	89	93	92	91
1,5	82	58	48	91	88	87	92	91	90
2	79	56	45	90	86	84	91	89	88
2,5	78	53	42	89	84	80	90	88	86
3	75	52	41	88	82	76	89	87	83

Фирма Sitieso разработала систему освещения открытых пространств отраженным неслепящим светом. На верху опоры высотой 20м монтируются одна-две отражающие панели из отдельных модульных элементов. Ниже, на уровне 15 м от поверхности земли, закреплены 8 прожекторов с МГЛ Р=1...2 кВт. Выходные отверстия прожекторов направлены вверх – на отражающую панель, которая перераспределяет падающий на нее световой поток под расчетными углами.

Принцип вторичного отражения используется очень широко, в разных ОУ вторичные отражатели представляют либо неотъемлемую часть

конструкции, либо связаны только оптически. Встречаются варианты с регулируемыми вторичными отражателями

В Западной Европе к СП и их креплению в УОУ предъявляют помимо светотехнических серьезные эстетические требования – почти такие же, как к дизайну СП для внутреннего освещения. Как правило, эти требования выдвигают пешеходы, а не водители механизированного транспорта: восприятие образа светильника и опоры у пешеходов иное, чем у водителей, из-за различия на порядок скорости движения. Условно можно выделить два направления в проектировании уличных СП (табл. 3.4.2).

Таблица 3.4.2

Основные направления в проектировании СП

СП низкого ценового диапазона	
Очень простой и лаконичной формы, иногда подчеркнута грубоватые, но простые в изготовлении и, соответственно, дешевые. Среди них многие элегантны, всегда качественно изготовлены и имеют хороший товарный вид	Часто имеют современную обтекаемую форму, но встречаются и в стиле «модерн», «классик» или «барокко». Дизайн их достаточно функционален и лаконичен. Материалом во многих случаях служит пластик, упрочненный стекловолокном (фиброглас), что позволяет изготавливать детали сложной формы и многофункциональные, с пазами, приливами, резьбовыми отверстиями
СП высокого ценового диапазона	
Сложные дорогие с электронными ПРА, фотоэлементами, светорегуляторами (для автономных условий - с кремниевыми батареями, часто с LED)	По внешнему виду нередко похожи на функционально-декоративные, однако с позиций светотехники их следует отнести к утилитарным приборам, имеющим рациональное светораспределение. Часто выполнены в стиле «ретро»

Светильник (или группа СП) и опора должны составлять единую художественную композицию и хорошо гармонировать с окружающей средой, дополняя и украшая ее, становясь элементом архитектуры малых форм. Большой интерес представляют СП со штепсельными разъемами (облегчается монтаж и замена элементов).

Проблема слепящего действия в некоторых случаях решается при использовании СП, перекрытых плоским силикатным стеклом: выпуклое защитное стекло при запылении может стать вторичным излучателем светового потока в горизонтальном направлении.

Использование в СП в качестве отражающего покрытия зеркального листа позволяет значительно (на 10 – 16 %) повысить КПД приборов.

Интересны специальные СП для освещения наземных пешеходных переходов, с «осиной» окраской в виде вертикальных полос оранжево-, бело- или желто-черной расцветки для привлечения внимания пешеходов и водителей. Полосы хорошо заметны вечером при включенных

лампах. Для лучшего различения пешехода на фоне дорожного покрытия применяют источники света, отличающиеся по цветности от основного освещения: например, натриевые лампы высокого или низкого давления – для освещения перехода через дорогу, освещенную лампами ДРИ.

Крепление СП, их расположение и применение даны в табл. 3.4.3.

Таблица 3.4.3

*Системы освещения улиц, дорог, площадей, мостов,
транспортных развязок*

Система	Расположение СП , применение
Обычная ($h = 6...15\text{м}$)	На опоре с одной или (чаще) двух сторон проезжей части; на тротуаре, если опоры отсутствуют
Промежуточная ($h \approx 20\text{ м}$)	На опоре, с шагом $L \approx 75\text{м}$, обычно для освещения скоростных загородных дорог
На высоких опорах ($h = 40\text{ м}$)	Обычно для сложных развязок, больших площадей, автостоянок, производственных территорий
Продольно-подвесная	На тротуаре над разделительной полосой автострад (шаг опор – 70-80 м, шаг СП – не более 9-10 м)
Парапетная ($h \approx 1\text{м}$) в перилах, ограждениях	В виде светящейся линии для освещения отдельных участков сложных разноуровневых транспортных развязок, где установка опор нежелательна/невозможна
Настенная или на крышах зданий, на козырьках	<ul style="list-style-type: none"> • На узких улицах в «исторической» части городов; • Обрамляющих площади, автостоянки; • Жилых (для НО проходов, проездов, гаражей)
По оси улицы или дороги	<ul style="list-style-type: none"> • На тросах через улицу; • На опорах, установленных на разделительной полосе

3.5. Техничко-экономический анализ уличных осветительных установок

В [20] сравниваются ОУ с лампами ДРЛ и ДНаТ; учитываются факторы (1)...(10):

- стоимость ИС (1) и СП (2); замены ламп (3) и СП (4);
- тариф на ЭЭ(5); мощность лампы и ПРА (6); потери в сети $K_{\text{сети}}=1,084$ (7);
- срок службы лампы (8) и СП (9), число часов использования ОУ в год (10).

Отметим присущую [20] триаду недостатков.

Учет слабо влияющих факторов (2 – 4, 7, 9): создает видимость охвата всех сторон явления (и иллюзию точности сравнения), а на деле лишь «вуалирует» истину. Достаточно сравнить на рис. 3.5.1 углы наклона: линий 1, 3 (используются данные [20]) с линиями, соответственно 2, 4 (для возможности сравнения – логарифмический масштаб на

ординатах; пояснения – в конце главы 3). Также смотрите неравенства в табл. 3.5.1.

∇ Несимметричный подход к лампам ДРЛ и ДНаТ: ОУ с ДНаТ 150 и 250 Вт «обременены» учетом (3, 4), тогда как стоимость ОУ с ДРЛ от(3,4) свободна. Неясна цель этого handicap, – и была ли цель вообще? Ведь учет факторов (3,4) не может повлиять на результат сравнения ИС. Попутно: в [10] указан для лампы ДНаТ 250 $\tau=20$ тыс. часов, а в [20] – 10 тыс. часов; у С.А. Клюева даются потери $K_{\text{сети}} < 1,084$ в [20].

∇ Last but not least: значение потока Φ_V , важнейшего – для светотехники – параметра ИС, в [20] не учитывается совсем – ни непосредственно, ни в η_V . Несовпадение в 10...15% ((15-13)/13=0,154) значений Φ_V (указаны в табл.3.5.1, $\Phi_{\text{ДРЛ}} < \Phi_{\text{ДНаТ}}$), реально занижает экономические показатели ДНаТ и может сказаться на целесообразной области применения натриевых ламп.

В табл. 3.5.1 в качестве критерия для экономической оценки ОУ сравниваются приведенные затраты $Q_{[20]}$ (рассчитаны в [20] на основе методики С.А. Клюева; в скобках – наши «справедливые» значения приведенных затрат $Q_{[20]}$ для ДНаТ) и стоимость единицы световой энергии [22]. Как пример, рассчитаем на основе исходных данных табл. 3.5.1 стоимость ЕСЭ, руб/кЛм·ч, для первой пары сравниваемых ламп:

$$G_{\text{ДРЛ}250} = \frac{0,95 \cdot 250}{13000} + \frac{115}{13 \cdot 12000} = 19 \cdot 10^{-3} \quad \left| \quad G_{\text{ДНаТ}150} = \frac{0,95 \cdot 150}{15000} + \frac{248}{15 \cdot 6000} = 12,26 \cdot 10^{-3}.$$

Таблица 3.5.1

Сравнение приведенных затрат [20] и стоимости ЕСЭ, как критериев при анализе ОУ ($q=0,95$ руб/кВт·ч, $T=4000$ ч/год)

Лампа и мощность P, Вт	ДРЛ250	ДНаТ150	ДРЛ400	ДНаТ250
1. Световой поток, кЛм	13 (13,5)	15	23,5 (24)	26
2. τ , тыс. ч \ 3. C, руб	12\115	6\248	15\217	20\285
4.1. Приведенные затраты, руб/год	1171	1039*(845**)	1870	1454*
4.2. Стоимость ЕСЭ, руб/Млм·ч	19	12,26	16,8	(1247**) 9,68
5. Связь параметров	1171>1039, 19>12,26		1870>1454, 16,8>9,68	
6. Отношение:	$\frac{1171}{1039} = 1,14 \left(\frac{1171}{845} = 1,38 \right)$		$\frac{1870}{1454} = 1,29 \left(\frac{1870}{1247} = 1,50 \right)$	
6.1 Приведенных затрат	19/12,26 = 1,55		16,8/9,68 = 1,73	
6.2 Стоимостей ЕСЭ				
7. Сравнение критериев по информативности	1,55>(1,38)>1,14		1,73>(1,50)>1,29	
	Стоимость ЕСЭ – более «говорящий» показатель, чем $Q_{[20]}$			
8. Приведенные затраты $Q_{[22]}$ – произведение $G \cdot \Phi \cdot T$ (Φ ,кЛм, по п.1)	0,019·13× ×4000=988	0,012·15× ×4000=735,6	0,017·23,5× ×4000=1546	0,0097·26× 4000=1006,7
9. Отношение приведенных затрат $Q_{[5]}$ к $G \cdot \Phi \cdot T$	1171/988= =1,19	(845)/735,6= =(1,15)	1870/1546= = 1,21	(1247)/1006,7 =(1,24)

* Приведенные затраты брались, как у Т. Л. Флодиной [20], т.е. с включением для ДНаТ стоимости СП и замены СП.

** Стоимость СП и его замены исключены, основания (базы) для сравнения ОУ с ДРЛ и ДНаТ совпадают («справедливые» значения).

Очевидно (пункт 5 в табл. 3.5.1), что знаки неравенств совпадают, т.е. критерии согласованы, хотя и не равноценны: получить результаты по стоимости ЕСЭ проще и быстрее, а различия, благодаря исключению второ - и третьестепенных факторов, контрастнее, «выпуклее». Сравнение критериев (пункты 6 и 7 в табл. 3.5.1) показывает, что стоимость ЕСЭ – более информативный показатель, чем приведенные затраты $Q_{[20]}$. В пункте 8 даны приведенные затраты $Q_{[22]}$ – произведение стоимости ЕСЭ (значения округлены) на поток Φ (кЛМ) и число часов T в год, а в пункте 9 – отношение приведенных затрат $Q_{[20]}$ к произведению $G \cdot \Phi \cdot T$ (число часов работы ОУ в год $T=4000$ ч/год по данным Мосгорсвета).

Помимо табл.3.5.1, приведенные затраты $Q_{[20]}$ и стоимость ЕСЭ для ламп ДРЛ и ДНаТ представлены на рис. 3.5.1 (кривые 1...4).

Сама возможность наглядного сравнения двух критериев – соединяются линиями точки, отображающие значения (разного порядка) величин с несовпадающими (!) размерностями – не очевидна и требует обоснования. На рис. 3.5.1 масштабы: оси абсцисс и шкалы В – равномерные, шкалы А и С – логарифмические ($\lg G(\eta) + 2 = \lg Q(\eta)$). Математическим оправданием факта проведения линий (1 ... 4) и последующего сравнения их угловых коэффициентов являются:

1) Известное из теории логарифмов *свойство* – отношение логарифмов (двух чисел), взятых при одинаковых основаниях, есть величина постоянная (от значения основания не зависит).

2) Такой *выбор* длины шкал и начальной точки на них, что все «опозитные» (противолежащие) отметки отличаются лишь порядком (характеристиками – при равных мантиссах). Отношение приведенных затрат $Q_{[20]}$ к произведению $G \cdot \Phi \cdot T$ по п.9 табл.3.5.1 представлены на рис. 3.5.1 линией 5 (отметки на шкале В) Очевидно, что для уличных ОУ можно принять значения пересчетного коэффициента (формула (3.5.1)) $a=1,15 \dots 1,25$.

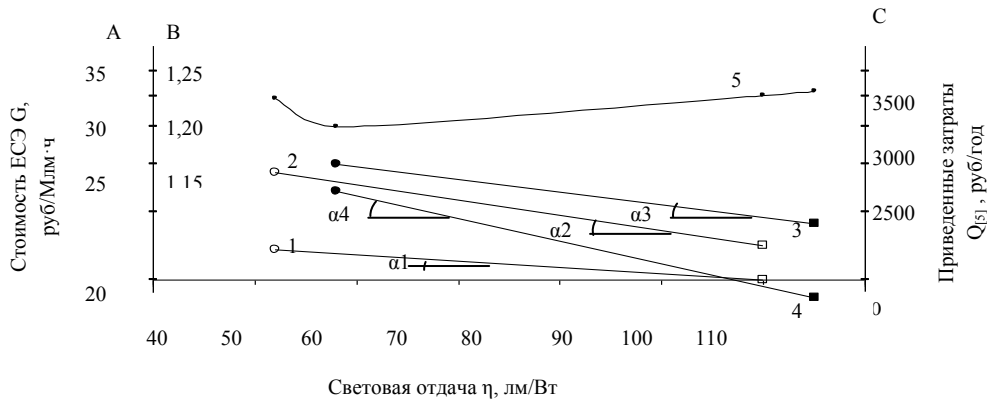


Рис. 3.5.1. Сравнение в качестве критерия: приведенных затрат $Q_{[20]}$ (линии 1, 3) и стоимости единицы световой энергии (линии 2, 4) при лампах ДРЛ (250 ○, 400●) и ДНаТ (150 □, 250 ■), линия 5 – коэффициент $Q_{[20]}/G\Phi T$

Проанализируем расчет приведенных затрат по стоимости ЕСЭ. Точность громоздких, кропотливых расчетов по методике Клюева С.А. [18] на деле иллюзорна ввиду изменений (табл.3.5.2). В результате ценность методики Клюева С.А. девальвируется. Еще важнее, что вывод об оптимальной ОУ можно получить легче и быстрее, если использовать 1 лм·с или кратко связанные с ней показатели, например, стоимость ЕСЭ, руб/кЛм·ч. Возможности, предоставляемые стоимостью ЕСЭ как тестом на экономичность, указаны в столбце 2.

Порядок действий в предлагаемой схеме экономического анализа ОУ указан в табл. 3.5.2.

Вместо обременительных расчетов по [20] данная схема предлагает находить ориентировочное значение полных затрат на ОУ по формуле

$$Z = G \cdot T \cdot a = (q \cdot \eta_v^{-1} + C \cdot \Phi^{-1} \cdot \tau^{-1}) \cdot T \cdot a, \quad (3.5.1)$$

где $G = (q \cdot \eta_v^{-1} + C \cdot \Phi^{-1} \cdot \tau^{-1})$ – находится, как показано выше; $a=1,15\dots 1,25$ (в большинстве случаев) – поправка на неучтенные факторы.

Таблица 3.5.2

Связь приведенных затрат и стоимости ЕСЭ

Причины утраты методикой [18] точности – изменения	Стоимость ЕСЭ как критерий экономичности источника света	При экономическом анализе на основе ЕСЭ находятся
<ul style="list-style-type: none"> • цен на светотехнические и монтажные изделия, стоимость монтажных работ и др. – за период проектирования и время строительства объекта (влияние инфляции и др. факторов); • (практически неизбежные) в методах и приемах монтажа в ходе строительства, что влечет, в частности, замену одних изделий другими; • технологии эксплуатации вследствие изменений в ходе строительства и выполнения монтажных работ. 	<ul style="list-style-type: none"> • служит маркером (специфическим определителем) ИС, целесообразного по экономическим показателям, среди ламп, которые можно (по R_a, $T_{ц}$, $K_{п}$ и др.) использовать в конкретной ОУ; • является независимым, совершенно самостоятельным критерием экономичности ИС (а не «фрагментом»), пусть даже важнейшим, тогда приведенных затрат), обеспечивая возможность сравнения именно ламп; • позволяет выбрать ИС в самом начале проектирования – не требует знания характеристик СП и иных элементов ОУ, параметров эксплуатации и др. факторов учитываемых методикой С.А. Клюева* (многие из них, отягчающая методику [1], на выборе экономичного ИС). не скажутся 	<ul style="list-style-type: none"> • стоимости ЕСЭ, руб/кВт·ч или кратные ей – по формуле $G=G(q, \eta, C, \Phi, \tau)$; • затраты $Q_{[22]}$, руб/кВт·год, по основным факторам – умножением стоимости ЕСЭ на справочное значение годового числа часов использования ОУ T; • затраты полные, руб/кВт·год, по всем факторам, с учетом динамики цен на элементы ОУ и стоимость монтажных работ и обслуживания ОУ – умножением на коэффициента=1,15...1,25.

* Методика С.А.Клюева служит для определения приведенных затрат в существующей или законченной проектированием ОУ, когда все факторы фиксированы [21]; стоимость ЕСЭ целесообразно использовать на первых этапах проектирования в поисках оптимума, и она оценивает лишь параметры первого ряда, реально влияющие на выбор [22].

Контрольные вопросы

1. Какое значение показателя ослепленности нормируется в уличном освещении в РФ. Как регламентируется ослепленности за рубежом.
2. Сравните отечественные и зарубежные нормы наружного освещения.
3. Опишите методику относится к УОУ и их взаимосвязь.
4. В чем отличия коэффициентов использования по освещенности и по яркости.
5. Каковы в уличном освещении составляющее яркости в расчетной точке.
6. Объясните понятие IP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3

1. Адриан В. Основы освещения автодорог// Светотехника. – 2004. – №5. – С.2-12.
2. СНиП РФ 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение// Светотехника. – 2004. – №2. – С.2-40.
3. Толкачева К.П., Никитин В.Д. Оценка методов и приемов архитектурного освещения// Инновации в науки и образовании: опыт, проблемы, перспективы: Мат.Всеросс.... конференции. Часть 2. – Красноярск: Изд.КрасГАУ. – 2010. – С.184-186.
4. Палладино П.Будущее уличного освещения// Светотехника. – 1999. – №5.– С.19.
5. Ван Боммель В. Исследования дорожного освещения за последние 80 лет. Результаты и уроки на будущее// Светотехника. – 1999. – №6. – С.4-6.
6. Аройо Ф.В. Эстетика наружного освещения и контроль светового загрязнения// Светотехника. – 1995. – №4-5. – С.24-25.
7. Лисицын В.М., Никитин В.Д. On-line курс по источникам света и электрическому освещению/ Томск. –ТПУ. – 2004.
8. Вайнштейн В.Б., Никитин В.Д. Светотехнические установки (курсовое проектирование). Томск: Изд.ТПИ. – 1978. – 37с.
9. Трубач Ал.В., Трубач Ан.В., Никитин В.Д. Структура проектирования осветительных установок// Тезисы докладов на научно-техн. конф. «Молодые светотехники России (14-ая междунар. спец. выставка по светотехнике...) М.: ВИГМА. – 2008. – С.80-82.
10. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.

11. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия, 1973. – 384 с.
12. Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения /СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
13. Никитин В.Д. Расчет освещения точечным методом/ уч.пособие. –Томск: Изд.ТПИ им. С.М.Кирова. – 1985. – 95с.
14. Карачев В.М., Митин А.И. Комплексный расчет показателей наружного освещения улиц на ЭВМ// Светотехника. – 1988. – №7. – С.17-19.
15. Никитин В.Д. Совершенствование методов расчета освещения улиц// Светотехника. – 2001. – №3. – С.27-29.
16. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике/ М.: Наука. – 1973. –832с.
17. Айзенберг Ю.Б. Световые приборы/ уч.пособие. – М. : Энергия, 1980. – 463 с.
18. Ключев С.А.
19. Никитин В.Д. Расчет прямой составляющей освещенности / уч. пособие – Томск : Изд-во ТПУ. – 1992. – 89 с.
20. Флодина Т.Л. Об экономической целесообразности замены ламп ДРЛ в светильниках наружного освещения лампами ДНаТ// Светотехника. – 2003. – №5. – С.59.
21. Никитин В. Д., Серикова Г. Н. Экономика осветительных установок/ уч. пособие. – М. : Изд-во ТПИ.– 1988. – 78 с.
22. Никитин В. Д., Матющенко А. А., Шаламова Ю. С. Экономический анализ установок наружного освещения // Известия Томского политехнического университета . – Томский политехнический университет. –Томск. – 2007. – Т. 310. – № 1. – С. 234-239.

Глава четвертая

РАСЧЕТЫ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

4.1 Неортогональное расположение СП

Прямое построение изолюкс в поле прожектора

В практике светотехнических расчетов часто необходимо найти освещенность поверхностей, неперпендикулярных оси СП (в задачах освещения: прожекторного, уличного (функционального), охранного, рекламного, фасадов, памятников, а также во многих ситуациях внутреннего освещения). Решение распадается в зависимости от класса СП (табл. 4.1.1).

Таблица 4.1.1

Различия в нахождении E_H

<p>1. Светильники (кроме СП по п. 2) Стандартная методика: находится E_T, переход к E_H достигается умножением E_T на пересчетный коэффициент $\psi = \psi(p/h, \theta)$. Коэффициенту ψ посвящена отдельная глава 5-ая в [1], где, в частности, даются:</p> <ul style="list-style-type: none"> • уточнения (упрощения) формулы ψ в зависимости от значений p/h и θ; • расширение формулы Кнорринга $E_H = E_T(E_T, E_B, \theta)$ на случай $\theta = \forall$, в том числе для $\theta > \pi/2$; • общее решение задачи на наклонную ситуацию $\psi = \psi(p/h, d/h, \theta, \sigma)$ для точечных излучателей; • для линейных излучателей (при КСС в продольной плоскости, аппроксимируемой функцией $I_\beta = I_0 \cos^m \beta$ [2]) даны решения интегралов при m четных и нечетных. 	<p>2. Уличные СП на кронштейнах Можно использовать материалы [3] для угла наклона 15° и 30°, совершая ошибку при иных φ. Угол наклона $\varphi = \forall$ учитывается, например, в [4]. Альтернативная возможность - если расчетчик владеет методикой «перенацеливания» СП (изложена в разделе 5 данного пособия).</p> <p>3. Прожекторы (П) В отличие от светильников, П практически всегда работают в «наклонной ситуации», поэтому схема решения по п.1 возможна, но не применяется: нет смысла находить отдельно «E_T» - освещенность плоскости, расположенной перпендикулярно оси П - и затем искать ψ. Проще применить специфические для П приемы и сразу найти E_H в поле П.</p>
---	--

Полезные материалы по прожекторному освещению – графики границ неосвещенной зоны для различных значений высоты П, для ближайшей точки неосвещенной зоны и др. даны на рис. 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3.

При необходимости найти «границу тени» следует использовать формулу (верна для наиболее частого в практике прожекторного освещения случая $\theta < \gamma$, т.е. для «границы тени» в форме гиперболы)

$$y(x, h, \gamma, \theta) = \sqrt{\sec^2 \gamma \cdot (h \cdot \sin \theta + x \cdot \cos \theta)^2 - x^2 - h^2}. \quad (4.1.1)$$

Подставляя значение угла $\gamma=45^\circ$ (или 50° либо иное) и любые x , получим в результате ординату $y(x)$; более подробная информация по этому вопросу содержится в [1].

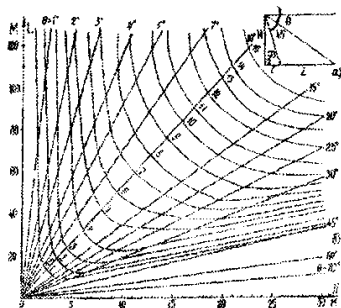


Рис.4.1.1 Ситуационный рисунок (а) и граница неосвещенной зоны (б)

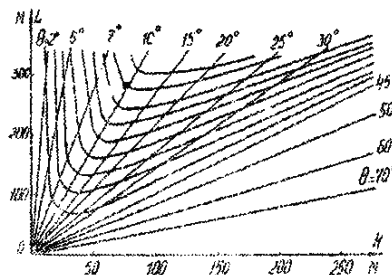


Рис.4.1.2 Граница неосвещенной зоны при больших H

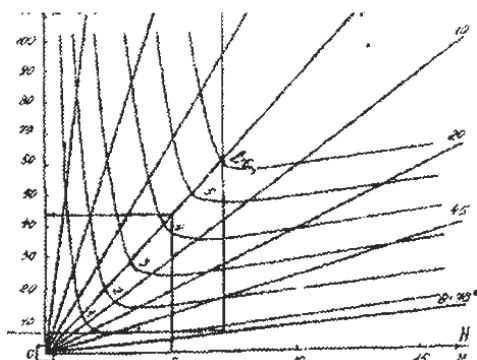


Рис.4.1.3. Нахождение ближайшей точки неосвещенной зоны ($\theta = 7^\circ$)

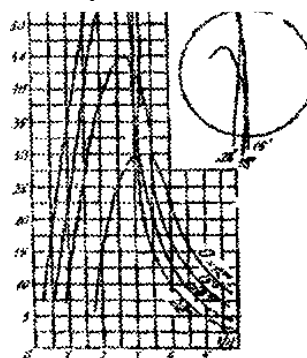


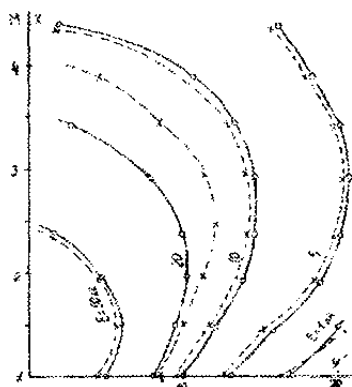
Рис.4.1.4. Освещенность в поле группы прожекторов ПСМ-50-1, $P=1000$ Вт, $U=220$ В, $\tau < 20^\circ$ (по [5])

Основными для расчета прожекторного освещения являются способ компоновки изолюкс и способ группы П. При построении изолюкс в поле прожекторов сейчас используется следующая цепочка действий: кривая силы света \rightarrow график изокандел \rightarrow график изолюкс относительной освещенности \rightarrow таблица значений $\zeta, \rho, \rho^3 \rightarrow$ построение семейства изолюкс на горизонтальной плоскости. При построении графика приведенной освещенности добавляются еще два действия: суммирование значений освещенности в «узлах» (на пересечении радиусов, проведенных по серединам десятиградусных зон, и дуг, соответствующих избранным значениям $x'=x/k$) и построение графика $\varepsilon(x')$. В этих цепочках, особенно второй, на два звена длиннее, постепенное накопление погрешностей заметно невооруженным глазом (в буквальном смысле слова) и проявляется, в частности, в утрате огибающей там, где она теоретически должна быть - в этом отношении характерен график на рис.

4.1.4 (коррекция хода линии $\theta=18^\circ$ дана в кружке справа). Предлагаемый метод прямого построения изолюкс в поле ТИ с косинусно-степенной КСС основан на решении системы уравнений (4.1.2), описывающей фотометрическое поле в двух плоскостях:

1) перпендикулярной оси прибора и отстоящей от него на расстоянии 1 м;

2) горизонтальной, по отношению к которой высота расположения прожектора равна h (реальная освещаемая поверхность).



$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \eta \rho h, \\ \varepsilon &= \varepsilon(\eta, \xi), \\ \xi &= \xi(x', \theta), \\ \rho &= \rho(x', \theta), \\ \eta &= \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma - \xi^2}, \\ I_\gamma &= I_0 \cos^m \gamma. \end{aligned} \right\} (4.1.2)$$

Рисунок 4.1.5. Сравнение способов построения изолюкс:

————— - на основе [5]

----- - предлагаемым

Выполнив громоздкие преобразования (опущены), получим относительно несложную формулу

$$y'(x', \theta) = \left[\left[\frac{\Phi(m+1)h}{2\pi E} \right]^{\frac{2}{m+3}} (h \sin \theta + x \cos \theta)^{\frac{2m}{m+3}} - h^2 - x^2 \right]^{1/2} \quad (4.1.3)$$

дающую координату Y в функции исходных параметров: потока лампы, светораспределения СП, координаты x , высоты h и угла θ . Для СП, характеризуемого следующими данными: $I_\alpha = I_0 \cos^7 \alpha$ ($m=7$), $\Phi_l = 10^5$ лм, $h=10$ м, $\theta=10^\circ$, с целью сравнения построены изолюксы $e=1-5-10-20-50$ по методу М.С. Дадиомова [5] и предлагаемым методом (рис. 4.1.5). Расчеты сводились к определению для значений $x = \text{var}$ соответствующих ординат $y'(x')$.

Достоинства предлагаемого метода в сравнении с существующим:

- дает более точную картину изолюкс;
- даже в варианте ручного счета заметно ускоряет вычисления;
- формализация существенно облегчает использование ЭВМ.

Здесь необходимо отметить, что прожектор – «капризный» СП, и дело не только в разбросе параметров самого прибора и ламп, хотя и это имеет значение.

Важно другое. При существующем уровне эксплуатации (когда тщательность фокусировки тела накала в приборе и точность поддержания направления его *оси*, мягко говоря, проблематичны), огрубленная КСС может оказаться в статистическом смысле более надежной, чем «точная», сообщаемая заводом-изготовителем, но не обеспеченная строгим (!) соблюдением правил монтажа и, особенно, эксплуатации. Ведь на обдуваемой ветрами площадке обслуживания прожекторной мачты электрик заботится не только о фокусировке и о пунктуальном выполнении предписанных проектом значений углов $\theta_1=15^\circ$, $\tau_1=12^\circ$ и $\theta_2=18^\circ$, $\tau_2=13^\circ$. (Не говоря уже о том, что в обычных условиях - кроме, разве, уникальных установок - в распоряжении работника может не быть тригонометрических устройств и лабораторных стендов для фокусировки СП.).

4.2. Расчет освещенности в поле одиночного прожектора

4.2.1. Анализ существующих методик и постановка задачи

Прожекторные ОУ широко применяются в самых разных областях – на транспорте (морском, речном, авиа, железнодорожном), в строительстве, в освещении городов (фасады, памятники), спортивных сооружений, в охранных целях и др. Сравнение ОУ прожекторных и со светильниками содержится в табл. 4.2.1.

Таблица 4.2.1

Преимущества и недостатки прожекторных ОУ

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Возможность НО больших площадей без установки на них опор и прокладки сетей. • Облегчение эксплуатации ввиду резкого сокращения числа мест, требующих обслуживания. • Благоприятные условия освещения вертикальных поверхностей. • На территориях промпредприятий – меньшая вероятность повреждения опор и сетей автокранами и т.п. • Позволяет использовать ИС большой единичной мощности и расположить их предельно компактно. 	<ul style="list-style-type: none"> • Больше, чем у светильников, слепящее действие, меньшее значение КПД. • Необходимость квалифицированного ухода за прожекторами (чистка отражателей, в ответственных случаях – фокусировка при замене ламп). • Резкие тени от зданий и крупных предметов, находящихся в зоне освещения (обусловлено редким, как правило, размещением мачт). • По экономическим причинам нецелесообразно применять для освещения узких полос (улицы, проходы, дороги).

Для расчета освещенности в поле одиночного прожектора (П) используются в основном две методики. Основу предложенной М.С. Дудиным [5] составляют графики - вариации на тему конических сечений и обратных тригонометрических функций. Методика М.С. Дудинова: весьма трудоемка; четкое математическое описание ситуации час-

то заменяет пространными объяснениями; уязвима по точности из-за ряда допущений.

Стандартная методика (СМ) основана на старых (1936г.) работах Р.А.Сапожникова и Г.М. Кнорринга; не имеет компрометирующих допущений, прочно и заслуженно утвердилась в светотехнической практике. Но хотя СМ давно и широко используется, она не свободна от недостатков, т.к. базируется на многозвенной (и с каждым шагом накапливающейся погрешности!) ξ - ρ - ρ^3 - ε - e - (и \mathcal{E} - для веера) -технологии:

- для практического применения знания только КСС П недостаточно, и СМ требует построений: графика $\varepsilon=\varepsilon(\eta, \mathcal{E})$ (на плоскости $\rho = 1$); набора изолюкс $(eh^2)_\theta$ (обычно в диапазоне двух порядков) в осях $x/h, y/h$ (на плоскости $h = 1$);

- громоздкая таблица ξ - ρ - ρ^3 (с.252-253 [8]), часто с 1-2 значащими цифрами, неизбежно снижает точность вычислений даже при табличных значениях x' и θ , но особенно - при несовпадении значений x' и θ с табличными (ввиду дискретного шага θ (чаще 2°) и x');

- построение графика приведенной освещенности \mathcal{E} отличают: большие погрешности и трудоемкость (все предыдущие операции с их недостатками плюс построение полной картины изолюкс, неточность при глазомерном определении в двухдекадном поле $(eh^2)_\theta$ положения точки пересечения луча $\varphi=const$ и дуги $x'=const$ и др.); серьезные требования к квалификации расчетчика ввиду выполнения многозвенных расчетов и построений.

Поставлена задача разработать альтернативный СМ комплекс предлагаемых методик ПМ I, ПМ II и ПМ III, в которых освещенность рассчитывается непосредственно по значениям силы света как величины, обладающей базовой информационной ценностью в светотехнике (не случайно именно кандела - одна из основных единиц SI).

Отказ от балластных операций ускорит расчеты, сделает их точнее, расширит возможности и др.

4.2.2.Одиночный прожектор: методика прямого расчета

Угловые координаты. В отличие от СМ, использующей ξ - ρ - ρ^3 - ε - технологию, графики $eh^2_\theta(x,y)$ и другие "плавсредства", ПМ I позволяет рассчитать угловые координаты произвольной точки В в поле одиночного П (любого типа) по ее декартовым координатам прямо, непосредственно, а потому - быстро и точно (рис. 4.2.1,а); отметим иное, чем в [8], положение осей - в современных работах предпочитают правую систему координат. Для расчета применяются формулы (α - угол в "горизонтальной", β - в вертикальной плоскостях) [6]:

$$\eta_B = tg\alpha = x_B / \sin\theta (y_B ctg\theta + 1) = x_B F_1(y, \theta), \quad (4.2.1)$$

$$\xi_B = \operatorname{tg} \beta = (y_B - \operatorname{ctg} \theta) / (y_B \operatorname{ctg} \theta + 1) = -\operatorname{ctg}(\operatorname{arc} \operatorname{tg} y_B + \theta). \quad (4.2.2)$$

где x_B и y_B - координаты т.В в долях высоты, θ - угол наклона оси П к горизонту, функция $F_1(y, \theta)$ пояснена ниже. Если сила света задана в форме $I = I(\alpha, \beta)$, то берутся арктангенсы η и ξ . Расчеты по формулам (4.2.1, 4.2.2) можно выполнить графически (рис. 4.2.2; к сожалению, из-за ограничений по объему номограмма дается в «мелком» масштабе). Значение η получается умножением x на функцию $F_1 = [\sin \theta (y_B - \operatorname{ctg} \theta + 1)] I'$ (задается линией Q-Q; F_1 указана на шкале вверху; см. ключ к рисунку б) Сплошные линии задают семейство $\xi = \xi(\theta, y)$. Использование рис. 4.2.2 существенно ускоряет расчеты (но может снизить точность - погрешность $\Delta \xi \leq 4\%$; $\Delta F_1 \approx 5\%$).

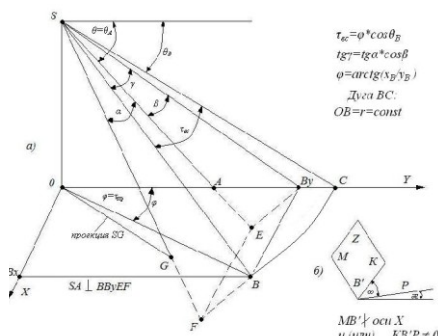


Рис. 4.2.1. Положение в поле П т.В на горизонтальной (а) и наклонной (б) плоскостях

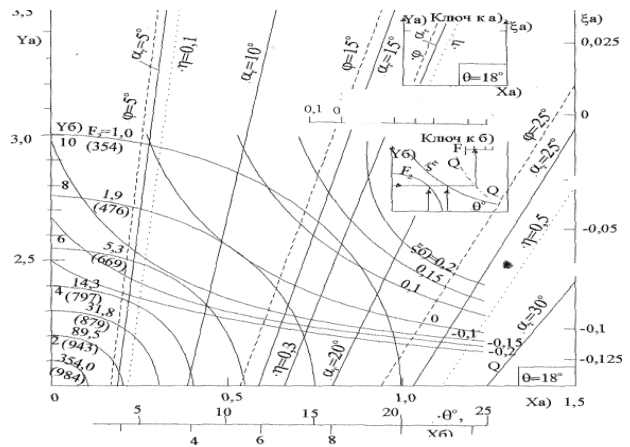


Рисунок 4.2.2 Линии ϕ , α , η в осях x и y (а) и функции $F_1(\theta, y)$ и $F_2(x, y)$ (б). Значения F_2 даны в промиллях -тысячных долях. Ключи приведены справа (вверху - для рис. 4.2.2, а)

По угловым координатам (4.2.1, 4.2.2) точки находится сила света в данном направлении; при этом КСС может быть задана:

- аналитически, например, косинусно-степенной или более сложной [7] зависимостью;
- изоканделами, например, в декартовой или синусоидальной (Бенфорд) системе координат;
- в полярной системе для ряда плоскостей, включая C_{180}^0 и C_{270}^{90} .

Отметим, что если — как бывает чаще всего — КСС известна лишь в "продольной" и "поперечной" плоскостях, отсутствие информации по промежуточным плоскостям будет сказываться на точности интерполяции при любом методе расчета, и тем острее, чем больше асимметрия.

Если в распоряжении расчетчика нет КСС, но имеются графики относительной освещенности $\varepsilon(\eta, \xi)$, (либо $\varepsilon(\operatorname{tg} \delta)$) на плоскости $\rho = 1$, то значение силы света можно восстановить по формуле $I = \varepsilon(1 + \eta^2 + \xi^2)^{3/2}$ либо $I = \varepsilon(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)^{3/2}$, взяв значение ε с соответствующего графика. По-

добная «реконструкция» силы света позволила выявить несоответствие базовых материалов [5] и [8]; например, для ПСМ-50-1 с лампой Г220-1000 это показано на рис. 4.2.2.

После определения угловых координат и силы света, далее находится освещенность горизонтальной плоскости в т.В:

$$E_B = I_{\eta,\xi} (1+x_B^2 + y_B^2)^{-\frac{3}{2}} h^{-2} = I_{\eta,\xi} \cdot F_2 \cdot h^{-2}; \quad (4.2.3)$$

функцию $F_2 = (1+x_B^2 + y_B^2)^{-\frac{3}{2}}$, зависящую от угла нормали (к поверхности) с направлением на П, также можно найти по рис. 4.2.2 (дуги окружности с отметками $F_2=1,0$ (354) и т.д.; отметки x на внешней стороне нижней абсциссы).

При круглосимметричной КСС, если ось П направлена в т.А(x_A, y_A, z_A), освещённость т.В зависит от силы света $I=I(\delta)$, где $\delta=\arccos[(x_A x_B + y_A y_B + z_A z_B) \cdot (x_A^2 + y_A^2 + z_A^2 \cdot x_B^2 + y_B^2 + z_B^2)^{-1/2}]$; (4.2.4) формула (4.2.4) использована в п.4.3.2 на примере ПСМ-50-1 и ПЗС-45. Расчет в поле П освещенности произвольно расположенной плоскости ввиду сложности задачи специалисты, например, Елинсон М.С. и Кирсанов Н.Н., рассматривают лишь как объект применения ЭВМ. Для плоскости, координируемой углами ω, x (рис. 4.2.1(б)), при небольшом объеме вычислений рекомендуем использовать пересчетный коэффициент $\Psi=\Psi(\omega,x)$ (задан в [2] аналитически и графически - двухходовой номограммой).

Освещенность в этом случае

$$E_{\omega,x} = I_{\alpha,\beta} \cdot F_2 \cdot h^{-2} \cdot \Psi_{\omega,x}, \quad (4.2.5)$$

где функция F_2 приведена на рис. 4.2.2.

Результаты замены СМ на ПМ систематизированы в табл.4.2.2.

Таблица 4.2.2

Результаты при замене СМ на ПМ и существо методики

Назначение предлагаемой методики	Требуемые отличия от СМ		Существо предлагаемой методики
	Основные отказ от	Дополнительные	
ПМ I: для прямого (непосредственного) расчета освещенности $E=E(I, x, y, h, \theta)$ в поле одиночного П	Операций с таблицей $\xi-\rho-\rho^3$, графиком $\varepsilon=\varepsilon(\eta,\xi)$ и других балластных» (излишних) действий	Распространение и на случай наклонной произвольно расположенной плоскости	Находятся угловые координаты точки, по ним -I затем -E (формулы 4.2.1...4.2.5)
ПМ II: для построения при любой КСС графика $\mathcal{E} = \mathcal{E}(I_{\eta,\xi}, r, \theta, \tau=10^\circ)$ $r=(x^2+y^2)^{1/2}/h$	Предыдущих «балластных» операций, от построения картины изолюкс (исключение рис. 4-7, 4-14... 4-23 в [2])	Снижение: трудоемкости (за счет упрощения расчетов) и, что не менее важно, - погрешности	По сумме значений силы света в нужных точках поля веера П находится \mathcal{E} (расчет показан в табл. 4.3.1)

Окончание табл. № 4.2.2			
ПМ III: для расчета значений \mathcal{E} в поле веера П с косонусно-степенной КСС (аппроксимация $I_{\delta}=I_0(m)\cos^m\delta$, $m=2\pi I_0\Phi^{-1}_{\text{ниж.пол.}}-1$)	* Любых предварительных построений при получении \mathcal{E} суммированием значений освещенности на изолюксах («языках») $e=\text{const}$	*Распространение аналитики и на предложенную Айзенбергом Ю.Б. и Бухманом Г.Б. аппроксимацию $I_{\delta}=I_0\cos n\delta$	Интегрируются значения силы света по дуге $r = \text{const}$, по ним находится \mathcal{E} (методика, формулы будут представлены в разделе 4.4)

* Для ПМ III - просто основные и дополнительные требования (т.к. ей нет аналога в СМ)

4.3. Веер прожекторов: сравнение стандартной и предлагаемой методик

Рабочей характеристикой веера (группы) П является график приведённой освещённости $E = e h^2 \tau$. В СМ для расчёта E необходимо «... построение полной картины изолюкс (т.е. в пределах от очень малых до наибольших значений e) последовательно для характерных значений θ » ([9]); это требует от расчётчика значительных трудозатрат и предполагает высокую квалификацию. Но и она не спасает: накопление погрешностей в длинной цепи вычислений и построений (таблица $\xi-\rho-\rho^3$, график $\varepsilon(\eta, \xi)$, изолюксы $eh^2(x', y')$, лучи $\varphi=\text{const}$, дуги $x'=\text{const}$ и др.) делает СМ в целом - принципиально - неточным. Недостатки СМ показывает анализ двух примеров в независимых материалах [5,9]. (О независимости говорит и фактура приводимых ниже примеров, и несовпадение самих понятий «угол τ в веере П»: в [5]-это $\tau_{\text{ос}}$ между оптическими осями П, в [9]- $\tau_{\text{пр}}$, между их проекциями на расчётную поверхность; $t_{\text{пр}} \cdot \cos\theta = \tau_{\text{ос}}$ \mathcal{E} разница растёт с углом θ ; на практике лучше подход Г.М.Кнорринга; угол $\tau_{\text{пр}}$ используется в 4.4.1, где он обозначен α).

Пример1. ($\mathcal{E}_{[8]}/\mathcal{E}_{[5]}=1,53$)*
 Для ПЗС-45 с лампой Г220-1000 при $\theta=15^\circ$, $x'=2,8$ по рис. 5-27[5] $\mathcal{E}_{[8]}^*=36 \cdot 10^3$ (пересчитано на $\tau=1^\circ$), а по рис. 9-24[8] (и на рис. 4-19[9]) $\mathcal{E}_{[8]}=\mathcal{E}_{[9]}=55 \cdot 10^3$. Разночтение составляет (55/36): $36 \cdot 100 = 53\%$ (!), того же порядка цифры приведены в табл.4.3.1,Б*
 *Результат Дадиомова случайно точен - см. примечание 1) к табл.4.3.1,Б.

Пример 2.«пропала огибающая»*
 Для линий $\xi = \xi(x', \theta = \text{const})$ существует огибающая однопараметрического (по θ) семейства кривых, однако для ПСМ-50-1 с Г220-1000 линия $\theta=18^\circ$ -удивительный казус, и на рис. 5-29* [5],и на рис. 9-26* [8]-дефектна: не касается огибающей
 *См. примечание 2) к табл.4.3.1,Б;касание восстанавливается

Таблица 4.3.1

. Расчет ПМ II значений I и ΣI (А) и оценка \mathcal{E} в [5,8] (Б) для $\theta=18^\circ$

А. Сила света вееров ПЗС и ПСМ(зависимость $I=I(\delta)$ дана на рис. 4.3.1)

$\varphi,^\circ$	\sin_φ	\cos_φ	Радиус $r=3,5$		α°	β°	I ккд, веера	
			X_φ	Y_φ			ПЗС-45	ПСМ-50-1
5	0,0872	0,9962	0,3052	3,487	(5,2)	58	72	
15	0,2588	0,9656	0,906	3,38	(14,6)	4	12	
25						0*	0**	
						$\Sigma I=62$	$\Sigma I=84$	

(* - значение на границе (** - вне) угла рассеяния)

Б. Оценка значений \mathcal{E} , клм.град.: "транспонированное" продолжение А

№	Веер	\mathcal{E} для $r=3,5, \theta=18^\circ$, методом		Допускаемая погрешность $\Delta, \%$
		Прямым (ПМ II)	СМ (по [5,8])	
8	ПЗС-45 ¹⁾	$20 \cdot (1+3,5^2)^{-3/2} \cdot 62 = 25,7$ $25,7 < 45$	$\mathcal{E}_{[8]}=30,$ $\mathcal{E}_{[5]}=45$	$\Delta_{[5]} = \frac{45-25,7}{25,7} \cdot 100 = 72$ $\Delta_{[2]} = 17$
9	ПСМ-50-1	$20 \cdot (1+3,5^2)^{-3/2} \cdot 84 = 34,8^2$	$\mathcal{E}_{[8]}=20, \mathcal{E}_{[5]}=20$	$\Delta_{[2]} = \Delta_{[3]} = \frac{20-34,8}{34,8} \cdot 100 = -42$

1) К примеру 1 в п. 4.3. Аналогичный расчет для ПЗС при $r=,8, \theta=15^\circ$ дает при $\varphi=5^\circ I=43$ ккд, при $\varphi=15^\circ I=5$ ккд, и $\mathcal{E} = 20 \cdot (1+2,8^2)^{-3/2} \cdot (I_{\varphi=5^\circ} + I_{\varphi=15^\circ}) = 36,5$ клм.град $\Rightarrow \mathcal{E}$ в [5] точно (но совпадение случайно)

2) К примеру 2 в п.4.3. Использование полученного значения $\mathcal{E} = 34,8$ клм. град на рис. 4-30 [5] и рис. 9-26 [8] восстанавливает касание (нечетного порядка) с огибающей, снимая проблему.

Перейдем к изложению методики ПМ II. Внешним проявлением её простоты и изящества служит замещение ситуационным рис. 4.3.4 его коллективного аналога в СМ из трех рисунков; 2.50 + 4.14 + 4.18 в [5]. Методики сравниваются в табл.4.2.2, 4.3.3. ПМ II не требует построения изолукс и формализации КСС, применима при любом светораспределении; нахождение углов α и β (при круглой симметрии - угла δ), координирующих точку в поле П, обеспечивает суммирование значений I (по серединам 10-градусных зон дуг $r=\text{const}$) и, тем самым, прямое нахождение \mathcal{E} .

В качестве примера рассчитаем ПМ II вееры ПЗС-45 и ПСМ-50-1 (лампа Г215-225-1000, $\theta=18^\circ$, КСС -круглосимметричная по рис. 3-4 и 3-12 [5], $Z=h=1, r=3,5, x_A=0, y_A=ctg\theta, x_B^2+y_B^2=r_B$).

Вначале находим δ , в данных условиях формула (4.2.4) упрощается $\delta=\arccos[(r\cos\theta\cos\varphi+\sin\theta)(1+r^2)^{-1/2}]$, (4.2.4,a)

(здесь $\varphi=5^\circ-15^\circ\dots$), затем $I=I(\delta)$ и ΣI (рис. 4.3.2, табл.4.3.1,А), и, окончательно, \mathcal{E} (табл.4.3.1,Б – транспонирована (столбец 8=строка 8) ради компактности).

Расчет по табл.4.3.1 прост (достаточно калькулятора) и не обременителен.

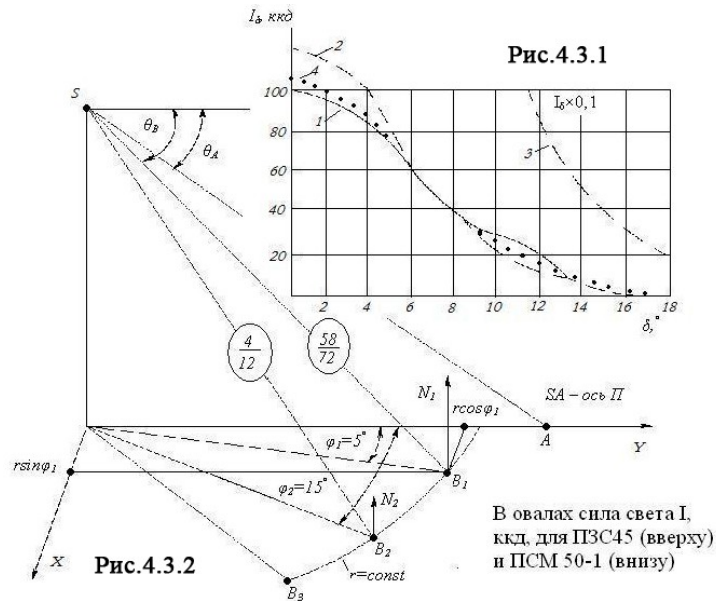


Рис. 4.3.1. Зависимость $I(\delta)$ для ПСМ-50-1:

- 1 - [5], рис. 2-12, I_0 - по табл.3-12 во 2-ом издании
- 2 - [8], рис. 9-5 ($\varepsilon \rightarrow I$), I_0 - по табл.9-6
- 3 - [8], для $\delta=11^\circ \dots 18^\circ$ (значения $I \times 0,1$)
- 4 - аппроксимация $I_\delta = 104 \cos^{9,23} \delta (\Phi_{\Gamma 215-225-1000} = 18,8 \text{ клм}, \eta_{\text{ПСМ}} = 0,40)$

Рис. 4.3.2. Ситуационный к ПМ II: углы φ_i - между осью Y и направлением OB_i ; δ_i - между осью SA и направлением SB_i ; в овалах - значения силы света в т. B_i

Таблица 4.3.2

Результаты ($Y \Rightarrow C$) при замене СМ на ПМII

Устранение (Y) "балластных" операций по:
<ul style="list-style-type: none"> • получению значений ρ, ρ^3 из табл. 9-7 [8]* • построению графика $\mathcal{E}(\eta, \xi)$ на основе графика $I(\eta, \xi)$ • вычислению η, ε, y и т.п. • построению изолиний $e(x_i, y_i) = E$ (в данном случае имеющих вспомогательный \mathcal{E} "проходной" - характер)
Приводит, в частности, к снижению ($Y \Rightarrow C$)
<ul style="list-style-type: none"> • объема расчетов и затраченного времени (операции упрощаются; вместо 8 - их 5) • погрешности с 40...70% (анализ в табл.4.3.1, Б) на порядок • объема справочных материалов - исключаются табл.9-7[8]*, графики: $\mathcal{E}(\eta, \xi), e(x_i, y_i)$ • уровня требований к подготовке расчетчика (работу выполнит техник)
*сохранять ради ξ (для расчета необходимого) табл.9-7[8] - нет смысла.

При отсутствии круглой симметрии вместо δ вычисляются α и β (либо $\text{tg} \alpha$ и $\text{tg} \beta$ вместо $\text{tg} \delta$).

Большое расхождение значений $\mathcal{E}_{[5]}$ и $\mathcal{E}_{[8]}$ вызвано накоплением неточностей в череде процедур, требуемых СМ. В [5,8] заведомо ущербная (нет касания с огибающей) линия $\theta=18^\circ$ исправляется, если при $r=3,5$ вместо $\mathcal{E}=20$ взять значение $\mathcal{E}=34,8$ из табл.4.3.1,Б. Часть табл. 4.3.1,А в рамке- "Для многоразового использования" (добавляются столбцы нужных r). Если на "ручной счет" графика $\mathcal{E}(x)$ по [8,9] (построение семейства линий $(eh^2)_\theta$, расчет Σe_{ϕ_i} , и др.) уходит рабочая неделя, то по ПМ II - всего час (на каждую точку графика $\mathcal{E}(r)$ - около 3 мин).

Таблица 4.3.3

Сравнение стандартной [5,8] и предлагаемой (ПМ II) методик

расчета приведенной освещенности (значения погрешности на операциях, использующих табличную или графическую информацию, усреднены)

Стандартная методика	Δ , %	Предлагаемая методика (ПМ II)
По исходным данным - графику $\varepsilon(\eta, \xi)$, θ, h, x, E, ϕ_i -находятся: 1) x/h ; 2) ξ, ρ, ρ^3 - по известным $x/h, \theta$ из табл.9-7[8]; 3) Относительная освещенность $\mathcal{E}=E\rho^3h^2$; 4) η по графику $\mathcal{E}=\mathcal{E}(\eta, \xi)$; 5) $y=\eta\rho h$; операции 1 ... 4 повторяются многократно, $x=var$, для получения зависимости $y_i=y(x_i)$; 6) линия (изолюкса) $e(x_i, y_i)=E$, соединяя точки с координатами x_i, y_i ; повторяется многократно для всех необходимых e ; 7) $\Sigma_i e_{\phi_i}$. (при $x/h=const$) по графику изолюкс; 8) $\mathcal{E}=10h^2 \cdot 2 \Sigma_i e_{\phi_i}$ при $(x/h=const)$. Расчет повторяется для всех необходимых значений $x/h=var$ и $\theta=var$. *Значительная погрешность СМ обусловлена отсутствием на графиках изолюкс лучей $\phi_i=const$ и дуг $r=const$ (точка (ϕ_i, r_k) находится "на глазок").	5 4 7 15 ... 30*	По исходным данным - графику $I(\eta, \xi), \theta, r, \phi_i$ - находятся: 1) координаты $x'_i=r\sin\phi_i, y'_i=r\cos\phi_i$ (рис. 4.2.4), где $\phi_i=5^\circ+10^\circ(i-1), i \in N$, для характерных значений r ; 2) η_i, ξ_i для точек с координатами x_i, y_i по формулам (1,2); 3) $I_i=I(\eta_i, \xi_i)$ по графикам изокандел или равноценным (рис.3,в); $\Delta < 4\%^{**}$; 4) ΣI_i ; при $r=const$ (при острых КСС суммируются только $I_{\phi=5^\circ}$ и $I_{\phi=15^\circ}$); 5) при $\tau = 1^\circ, \theta, r$ $\mathcal{E}=20(1+r^2)^{-3/2} \Sigma I_{\eta_i, \xi_i}$; (4.2.6) расчет повторяется для всех необходимых r и θ . ** Поскольку $(eh^2)_\theta$ рассчитывается на основе $\varepsilon=\varepsilon(\eta, \xi)$, а $\mathcal{E}(\eta, \xi)$ рассчитывается на основе $I=I(\eta, \xi)$, то иерархия погрешностей $\Delta_e \supset \Delta_\varepsilon \supset \Delta_I$; для простоты символ включенности можно заменить на неравенство "более".

4.4 Прямое построение графика приведенной освещенности

ПМ III предназначена для веера П с круглосимметричной КСС, аппроксимируемой уравнением $I_\delta=I_0(m)\cos^m\delta$; это приближение неоднократно и успешно использовал Г.М. Кнорринг; именно от надежности аппроксимации зависит точность метода. Исходными данными ПМ III являются: график I_δ ; значение угла θ ; значение защитного угла $\delta_{пред}$

(обычно $\delta_{\text{пред}}=50^\circ$). Вначале находится для КСС аппроксимирующее уравнение $I_\delta=I_0(m)\cos^m\delta$, где $\cos\delta$ описывается формулой (4.2.4 или 4.2.4, А); на рис. 4.2.3 - пример для ПСМ.

При $m \neq Z$ лучше выполнить расчет для $[m]$ (целой части m) и $[m]+1$, с последующей интерполяцией.

$$\text{Для } \delta_{\text{пред}} = 50^\circ \text{ получим } \alpha_{\text{пред}} = \arccos \frac{\cos 50^\circ \sqrt{r^2 + 1} - \sin \theta}{r \cos \theta}. \quad (4.4.1)$$

Приведенная освещенность по формуле ([6], с.37):

$$E(r) = \frac{2I_0 r}{(1+r^2)^{\frac{m+3}{2}}} \left\{ \sum_{k=0}^m \binom{m}{k} \sin^{m-k} \theta r^k \cos^k \theta \cdot \int_0^{\alpha_{\text{пр}}} \cos^k \alpha d\alpha \right\}. \quad (4.4.2)$$

интеграл берется по формулам (4.4.3, 4.4.4) в табл.4.4.1.

Таблица 4.4.1

Интегралы для формулы (4.4.2) в зависимости от четности $k(n)$, $n \in N$

Нечетное $k=2n+1$ (использовано биномиальное разложение $(1-\sin^2\alpha)^n$)	Четное $k=2n$ (на основе интеграла 1.5.3.4 [10]; для компактности введены Φ -ии $G_{R(k)}[1]$)
$J = \sum_{j=0}^{\frac{k-1}{2}} (-1)^j \binom{\frac{k-1}{2}}{j} (2j+1)^{-1} \cdot \sin^{2j+1} \alpha_{\text{пр}} \quad (4.4.3)$	$J = \frac{\sin \alpha_{\text{пр}}}{K} \left[\cos^{k-1} \alpha_{\text{пр}} + G_{k-2}^{-1} \sum_{j=1}^{\frac{k-2}{2}} G_{k-2j-2} \cdot \cos^{k-1-2j} \alpha_{\text{пр}} + G_{k-1} \alpha_{\text{пр}} \right] \quad (4.4.4)$
$\binom{\frac{k-1}{2}}{j} = C_{\frac{k-1}{2}}^j = \frac{k-1}{2}! \left(j! \frac{k-1-2j}{2}! \right)^{-1}$	$G_R = \frac{R!!}{(R+1)!!}$ и $G_R^{-1} = \frac{(R+1)!!}{R!!}$; значение $\alpha_{\text{пр}}$ - по (4.4.1)

Замена суммирования по зонам интегрированием существенно повышает точность метода (рис. 2.8.2 и комментарий к нему на с.35 [6]). Внутренних погрешностей у ПМ III нет, т.к. не используются какие-либо таблицы, графики и т.п., снижающие точность вычислений; разумеется, метод предназначен для машинного счета. Если уместно образное сопоставление, то СМ, ПМ I+II и ПМ III можно последовательно сравнить с каретообразной "эмкой" – современницей зарождения СМ, 600-ым "мерсом" и гоночным болидом. Не столько в смысле технического дизайна, а по скорости достижения цели (результата). Но если спортивная машина нуждается в великолепной трассе, то ПМ III - в корректной аппроксимации КСС II.

Возможно расширение ПМ III на случай аппроксимации КСС II формулой $I_\alpha(n) = I_0(\Phi, n) \cdot \cos n\alpha$. Приведенная освещенность при этом

$$E_{(r)} = \frac{2\Phi_\wedge \eta n^{1.87} r^{\alpha_{\text{пр}}}}{\pi(1+r^2)^{\frac{3}{2}}} \int_0^{\alpha_{\text{пр}}} \cos n \left(\arccos \frac{r \cos \theta \cos \alpha + \sin \theta}{\sqrt{1+r^2}} \right) d\alpha, \quad (4.4.5)$$

где $\Phi_\wedge \eta n^{1.87} \pi^{-1}$ – осевое значение силы света II при потоке лампы Φ_\wedge , к.п.д. II η , коэффициенте n .

И в заключение - слова благодарности человеку, который десятилетиями бескорыстного труда создавал отечественную школу светотехнического проектирования. Хотя некоторые методики представляются сейчас менее совершенными (СМ - тому пример), можно восхищаться высоким профессионализмом нашей инженерной школы - в целом так редки дефекты в справочных материалах по расчету ОУ, в частности, прожекторных. (Именно по этой причине вопрос о тотальном пересчете всей документации по прожекторному освещению не поднимается. Однако справочные материалы для ОУ с новыми типами П целесообразно считать уже по ПМ: намного проще, быстрее и точнее).

В уровне и успехах светотехнического проектирования в России и ряде крупных центров СНГ несомненна заслуга Г.М. Кнорринга и его коллег из системы ТПЭП и родственных ПКИ, НИИ. У него был огромный авторитет ученого и инженера. Книги и статьи Г.М. Кнорринга - безупречные, написанные выразительным и точным языком, - очаровывали читателя.

В становление и развитие отечественного светотехнического проектирования великий труженик Глеб Михайлович Кнорринг внес значительный вклад.

4.5 Технико-экономический анализ прожекторных ОУ

Исходные данные к анализу прожекторных ОУ приведены в табл.4.5.1,а (на основе [11]); таблица транспонирована; опущена избыточная, по отношению к основному сюжету оригинала, информация по КГ//500, ДРИ 700, ДРЛ 700, ДНаТ 700, ДНаТ//1000.

В [11] даются (фактически без логического продолжения) пересчетные коэффициенты, выравнивающие значения светового потока ламп КГ и ДРИ с потоком ламп ДКсТ// 20* (//10*). Авторы анализируемой работы:

- не решились порвать с традицией и работать с дробными числами ламп и СП;

- округляли число ламп до ближайшего целого, обычно - большего (следовали технологии реального проектирования).

В результате таких округлений (в [11]: 2,6→3; 5,25→5; 9,75→10; 17,6→18 и другие) возникали заметные (и разнознаковые) погрешности (табл. 4.5.1,б).

Использование дробных чисел ИС (и, следовательно, СП):

- не является «надругательством над здравым смыслом», - наоборот, ему соответствует, поскольку повышает точность результатов;

- имеет прецедент в светотехнике (при создании таблиц удельной мощности $w=w(h, s...)$ Кнорринг [9] – для снижения погрешности - брал дробные числа ламп).

Таблица 4.5.1

а) Сравнение источников света для прожекторов (на основе [11])

Тип лампы//мощность, кВт	ДКсТ//20	ДКсТ//10	КГ//10	ДРИ//2	ДРИ//3.5
Световой поток Φ , клм	580	250	220	190	280
Световая отдача η_v , лм/Вт	29	25*	22	95	80
Срок службы τ , тыс. ч	1,2	0,8*	3	1	1
Мощность, кВт, эквивалентная (курсив) по потоку	ДКсТ//20	23,2*	26,4	6,11**	7,25
	Хе лам-пам → ДКсТ//10		11,4	2,64**	3,12

* В оригинале данные отсутствуют. ** Исправлены погрешности

б) Погрешности при замене лампы ДКсТ//10 на КГ//10 и ДРИ//2

Лампа ДКсТ//10 заменяется на	Одну лампу КГ //10	Две лампы ДРИ //2	Величина погрешности
Пересчетный коэффициент в табл. 1 [11] (→округление)	$n=1,14$ (→1) (мощность снижена: 11,4 → 10)	$n=1,34$ (→2 мощность завышена: 2,64 → 4)	*Превышает (** – значительно) приемлемый для технических приложений уровень ($ \Delta \leq 5\%$)
Погрешность по световому потоку при округлении числа ламп	$\Delta=(10-11,4) \cdot 11,4^{-1} \cdot 100\% = -12,3\%$	$\Delta=(2-1,32) \cdot 1,32^{-1} \cdot 100\% = 51,5\%$	
Результат целочисленной $n \rightarrow Z$ замены (округления)	1,14→1 приводит к недостатку * по Р и Φ_v	1,34→2 приводит к избытку ** по Р и Φ_v	

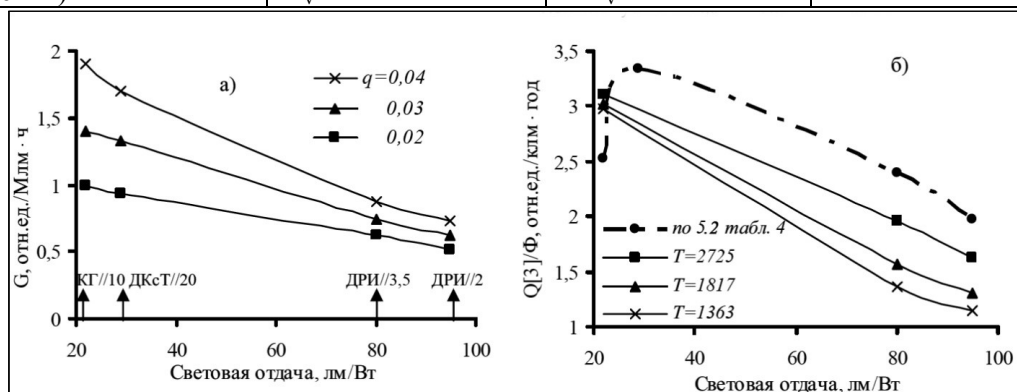


Рис. 4.5.1. Зависимость от световой отдачи

В табл. 4.5.2 экономические показатели для ламп ДКсТ//20 и //10, КГ//10, ДРИ//2 и //3,5, при допущенных в [11] округлениях, сравниваются с гипотетическими значениями (выделены); очевидно, что светотехнический ландшафт при учете дробного числа ИС (отказе от округлений) заметно меняется. В пункте 5 даны: приведенные затраты $Q_{[11]}$, коррекции 1* и 2** (смысл коррекций объяснен в центре (тонирован) табл. 4.5.2). Несовпадения 2 и 5, 3 и 6, и обусловлены разницей в

стоимости компенсирующих конденсаторов из-за их дискретности (подобная ситуация проанализирована на с. 79 [12]). Различия между позициями 1 и 7, 2 и 8 т.д. в строках 5.2 и 5.3 вызваны целочисленными (и разнознаковыми) округлениями, сделанными в [11].

Интерес для светотехника, оценивающего экономичность проектируемых прожекторных установок, представляют материалы, приводимые в [13] (но не включенные в настоящее пособие): сравнение приведенных затрат (терминологическая ловушка из-за разного понимания специалистами смысла термина); сравнение, табулированное и графическое, приведенных затрат и стоимости единицы световой энергии (ЕСЭ); доказательство того, что стоимость ЕСЭ служит маркером (специфическим определителем) ИС, целесообразного по экономическим показателям.

Таблица 4.5.2.

Сравнение экономических показателей в [11] и гипотетических (выделены знаком Г=> и курсивом) при принятии дробного числа ИС и СП; в п. 6: стоимость G (η_v, q) и затраты Q_[3] (η_v, T)

Тип лампы	Кс//20	КГ//10	ДРИ//2	ДРИ/3,5	Кс//10	КГ//10	ДРИ//2	ДРИ//3	
1 Мощность, кВт,	20	3x10	3x2	2x3,5	10	10	2x2	3,5	
	Г=>	26	6,08	7,25	Г=>	11,4	2,68	3,12	
2. Стоимость, руб	184,2	165	174	209,7	127	55	116	104,8	
	Г=>	143	176,3	217,2	Г=>	62,7	77,7	93,4	
3. Суммарные капиталовложения, руб	1584	330	515	494	1227	110	342,4	244,4	
	Г=>	286	522	512	Г=>	125,4	229,4	217,9	
4. Стоимость ЭЭ, руб/год,	1090	1640	360	420	545	545	250	210	
	Г=>	1421	364,8	435	Г=>	621,3	757,5	187,2	
5. Приведенные затраты, руб/кВтгод	* В строке 5.2 исправлены арифметические неточности, выявленные в табл. 2 [11] ** Учтены гипотетические (дробные без округлений) значения параметров								
5.1 по[11]-Q _[11]	3,34	3,32	1,92	2,24	4,8	2,56	3,0	2,6 (6)	
5.2 коррекция 1*	3,34	2,92 (1)	1,96 (2)	2,31 (3)	4,8	2,92 (4)	1,98 (5)	2,32	
5.3 коррекции 1 и 2**	3,34	2,53 (7)	1,98 (8)	2,39 (9)	4,8	3,32 (10)	1,33 (11)	2,07 (12)	
6. Стоимость единицы световой энергии G(q), руб/Млм·ч						T, ч/год	Затраты Q _[3] (T) руб/кВтгод		
при тарифе на ЭЭ, руб/кВт·ч, равном	0,01	0,608	0,537	0,41	0,499	5450	3,37	2,57	3,13
	0,02	0,95	0,992	0,516	0,62	2725	3,1	1,62	1,94
	0,03	1,3	1,4	0,62	0,74	1817	2,93	1,3	1,55
	0,04	1,6	1,9	0,73	0,87	1363	2,98	1,14	1,36

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4

1. Никитин В. Д. Расчет освещения точечным методом / уч. пособие - Томский политехнический институт. – Томск. : Изд-во ТПИ, 1985. – 95 с.
2. Никитин В.Д. Расчет освещенности произвольно ориентированной плоскости// Светотехника. – 1989. – №4. – с.15-16.
3. Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения – СПб. : Энергоатомиздат. – 1992. – 448 с.
4. Никитин В.Д. Совершенствование методов расчета освещения улиц// Светотехника. 2001, № 3. С. 27 – 29.
5. Дадиомов М. С. Прожекторное освещение. – М: Энергия. 1978. – 169 с.
6. Никитин В. Д. Расчет прямой составляющей освещенности// уч. пособие. – Томск : Изд-во ТПУ. – 1992. – 89 с.
7. Степанов В.Н. Аппроксимация кривых силы света прожектора.// Светотехника. - 1982. - №4. - С.13-14.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия. – 1976. – 384 с.
9. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л. : Энергия. – 1973. – 200 с.
10. Прудников А. П., Брычков Ю. А., Маричев О. И. Интегралы и ряды. – М. : Наука.1981. – 800 с.
11. Кунгс Я.А., Ощепков Б.А., Риммер Г.Е. Технико-экономическое сравнение прожекторных установок с различными источниками света // Светотехника. – 1978. – № 7. – С. 21-23.
12. Вайнштейн В. Б., Никитин В. Д. Электрическая часть осветительных установок// уч. пособие . – Томск : Изд-во ТПИ. – 1984. – 91 с.
13. Никитин В.Д., Матющенко А.А., Шаламова Ю.С. Экономический анализ установок наружного освещения. – Известия Томского политехнического университета. – Изд. ТПУ. – 2007. – Т.310, №1.– С. 234 – 239.
14. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат. – 1995. – 528 с.

НАРУЖНОЕ АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

«Очень красиво. Но кто платит за весь этот свет?»
(о ночном Манхеттене)

5.1 Архитектурное освещение в ночном городе

Наружное АО – искусственное освещение (фасадов) зданий, памятников и других сооружений и элементов городского ландшафта для обеспечения их художественной выразительности.

Отметим принципиальную невозможность (и ненужность) требования о совпадении восприятия города в темное и светлое время суток (неспособны конкурировать с Солнцем), отсюда громадные различия между освещением городских объектов в дневных и ночных условиях.

В течение светового дня визуальная структура зданий и других объектов определяется прямым солнечным светом и диффузным (рассеянным) – небосвода. В ночных условиях (средняя) яркость фасадов от функционального освещения транспортных магистралей, окон жилых зданий и СП пешеходных зон и т.п. ниже дневных значений на ~ 4-5 порядков, в условиях наружного АО – на 3-4 порядка. Кроме того, распределение яркости по освещенному объекту обычно неравномерное (и, как правило, резко отличается от распределения в дневных условиях). При использовании только прожекторов заливающего света (далее ПЗС) здание часто «выглядит громадным статичным холодно-белым айсбергом с нейтрально-плоским силуэтом, объемные формы и пластика фасадов почти не читаются, поскольку интенсивность и цветность заливающего света на разных фасадах практически одинаковы и зрительно не изменяются снизу вверх, а направление световых потоков не способствует образованию теней, необходимых для светомоделирования пластических форм» [1].

Освещение – мощный инструмент в руках зодчего (дающего идею) и светотехника (обладающего специальными знаниями и опытом светодизайнера). Именно на светотехника ложится вся черновая работа по реализации замысла архитектора. Их сотрудничество:

- необходимо, прежде всего, для АО объектов, имеющих важное историческое/политическое, культурное или градостроительное значение, а также для торговых, спортивных и т.п. центров;

- позволяет, моделируя различные аспекты эстетического восприятия городской среды, реализовать богатый потенциал выразительных возможностей света (например, придать сооружению, мало интересному в дневное время, привлекательный ночной вид).

Полезная для проектирования установок наружного АО информация весьма компактно представлена в серии таблиц (5.1.1 и последующих).

Таблица 5.1.1.

Характеристика принципов проектирования АО

Основные принципы (1...6)	Важные рекомендации (А...И)
1) Свет позволяет выявить достоинства и особенности архитектурного произведения – композиционное единство, образ, гармонию пропорций, масштаб, пластику, ритм, размер, силуэт, цвет и текстуру поверхностей, тектонику конструкций (но может их зрительно «разрушить» - исказить). Чем лучше выявлен светом замысел архитектора и менее заметна ОУ, тем выше оценка работы светотехника. Великолепны решения Narboni [2] по освещению западного фасада Нотр-Дам-де-Пари – собор залит светом, а СП не видны. Однообразие методов и средств придает установкам АО характер «штампованности».	А) Сохранять облик архитектурных ансамблей, зданий и сооружений, не нарушая идей, заложенных автором-архитектором; недопустимо иностильное решение АО отдельных зданий в ансамблях центральных, театральных, привокзальных площадей, крупных спортивных, культовых сооружений, административных, учебных, лечебных, торговых и т.п. комплексов. Б) Применять разнохарактерные яркостную и цветовую палитры тем осторожнее, чем значительнее и благороднее архитектурные формы. Отказаться от применения одинаковых приемов АО объектов разных стилей и эпох.
2) Проектирование АО без учета законов физиологии и психологии восприятия может привести к изменению характера воспринимаемых сооружений (восприятию объектов как плоскостных, деформациям формы строений – «уменьшению» их высоты при светлых поперечных полосах и т.п.), визуальному дроблению ансамблей и частей объектов, другим искажениям.	В) Избегать «Сциллы и Харибды» – чрезмерной пятнистости при локальной подсветке близко расположенными СП и силуэтного уплощения объемных объектов при ПЗС. Г) Координировать решения АО с характеристиками функционального освещения окружения объектов; при выборе ИС для АО принимать во внимание цвет окрашенных фасадов и т.п.
3) Желание как можно ярче высветить архитектурную форму, её пластику и цвет, а также фактуру поверхностей, без учета дальности их восприятия и фона, может «уничтожить» эту форму, пластику, цвет, фактуру и даже привести к зрительному дискомфорту, например, ближнему действию.	Д) Исключать необоснованные экономические и энергетические затраты ради достижения «необыкновенной, впечатляющей художественной выразительности» (за любимыми архитекторами словечками нередко на деле – погоня за оригинальностью, желание «сразить» коллег по цеху).
4) Композиционное единство городской панорамы требует соразмерности установленной мощности и других характеристик ОУ освещаемых объектов и соседствующих сооружений.	Е) Избегать повышенной мощности и, следовательно, яркости фасадов зданий, больших поверхностей и т.п. ввиду эффекта «выпадения» из окружения (в Томске – частый грех).

Окончание табл. № 5.1.1

5) В ряде ситуаций, помимо требований норм, необходимо считаться лимитированием уровня яркости объектов АО из-за традиционных (включая конфессиональные – религиозные) или этических ограничений.	Ж) Избегать чрезмерного освещения храмов (ввиду световой символики, исходящей из канонической богословной основы), больниц, cemetery (мавзолеев, крематориев) и т.п. (из моральных соображений).
б) Световая пресыщенность поля зрения и динамически беспокойная визуальная среда (вспышки, быстрая смена сцен) могут привести к психологическому дискомфорту и стрессу. При выборе яркостных и цветовых характеристик освещения желательно натурное моделирование для исключения грубых ошибок (например, применения блестящих СП, использования разномодальных ИС для функционального освещения и АО). При проектировании необходимо учитывать монтажные, эксплуатационные и экологические соображения, проявляя гибкость в подборе приемов и средств АО.	З) Помимо светотехнических параметров (КСС и др.) для открыто установленных СП учитывать окружающую среду и требования к исполнению (например, пылевоздушная защита не ниже IP 53, климатические условия – ХЛ или УХЛ, ограничения по положению в пространстве, степени жесткости, влиянию механических факторов). И) Различать и реализовывать три режима работы установок АО – праздничный (усиленный), вечерний (рабочий) и ночной, что имеет экономическое и экологическое значение (например, в ночном режиме снижается засветка окон жилых зданий).

При проектировании АО необходимо учитывать ряд факторов (табл. 5.1.2) и аспектов (табл. 5.1.3); основные приемы наружного АО приведены в табл. 5.1.4. Пояснения и комментарии по этим таблицам не приводим ввиду ограничений по объему пособия.

Таблица 5.1.2

Факторы, которые необходимо учитывать при проектировании АО

Генеральный план освещения города	Направление наблюдения	Расстояние наблюдения (на примере [2])	Расположение препятствий
Индивидуальное проектирование должно соотноситься с задачами генерального плана освещения города, с целью: <ul style="list-style-type: none"> • объединить отдельные световые эффекты в общую связную световую композицию; • сделать ночной городской ландшафт привлекательным для жителей и туристов, располагающим для прогулок, посещения центров культуры, мест от- 	Наблюдение может осуществляться: <ul style="list-style-type: none"> • в более простых для проектировщика случаях – с любого направления; форма объекта выявляется благодаря созданию контраста между различными частями здания; • обычно – с основных направлений, часто сводится к осмотру фронтального фасада здания. Для восприятия глубины и трехмерности объекта необходимо 	С большого расстояния видны лишь две фланкирующие башни Нотр-Дам-де-Пари со знаменитыми шпилями. По мере приближения к Собору становятся различимыми: вначале – отдельные крупные фрагменты, затем – все больше других интересных архитектурных деталей. Благодаря высококлассной подсветке здание ночью становится завораживающе красивым: туристы часами рассмат-	Часто общее впечатление от освещаемого объекта нарушается, если в основных направлениях наблюдения оказываются помехи: другие здания, деревья, осветительные опоры, световая реклама, вывески, крупногабаритные дорожные указатели и т.п. Возможные решения: <ul style="list-style-type: none"> • переместить опоры, вывески и др. вне поля зрения наблюдателя; • «интегрировать» эти помехи

дыха и развлечений, магазинов, местных достопримечательностей и т.д.	обеспечить яркостные и/или цветовые контрасты, определенные светотени.	ривают витражи, гаргули (химеры водосточных труб), израильских королей и другие шедевры.	(иногда – с незначительной реконструкцией) в общую картину освещаемого архитектурного объекта.
--	--	--	--

Таблица 5.1.3.

Специальные аспекты при проектировании архитектурного освещения

Деление на крупные «строительные блоки»	Зеркальное отражение (ЗО) в стекле, воде и т.п.	Учет климатических особенностей	Положение светового прибора
<p>Вначале определить (компьютерным или макетным моделированием) предпочтительные яркостные и/или цветовые контрасты на поверхностях, составляющих сооружение. Необходимо хорошее освещение:</p> <ul style="list-style-type: none"> нижней части здания (чтобы избежать эффекта «парения в воздухе»); выступающих элементов – балконов, колонн, поддерживающих конструкций (чтобы их тени не исказили впечатление); крыши интересных в архитектурном отношении культовых зданий, дворцов т.д.(иначе красота ночью не воспринимается). 	<ul style="list-style-type: none"> Общее впечатление от освещаемого архитектурного объекта обеспечивает диффузное отражение. Облицовочные материалы стен и других поверхностей с большим ЗО могут создать слепящее действие. Необходимы специальные меры, чтобы ЗО находилось вне основных направлений наблюдения. Можно с успехом использовать декоративный эффект ЗО ярко освещенных частей здания от поверхности воды в озере и т.п. как в черном зеркале. Поверхность воды должна быть чистой (иначе ЗО сооружения деформируется на скоплении плавающих листьев) 	<p>Проектировщик должен использовать возможности природных элементов – деревьев, кустарников, травы, поверхности земли – как составляющих общего проекта. При выборе СП и ИС необходимо учитывать:</p> <ul style="list-style-type: none"> вид объекта летом и зимой (листва создает затеняющее действие, снег – значительное диффузное отражение от поверхности земли); возможность переориентировки СП, переноса приборов, использования светофильтров; температурную зависимость ИС (надежность зажигания РЛ, $\Phi(t)$). 	<p>Является сложной проблемой при малых расстояниях наблюдения и освещении исторических объектов. Возможно:</p> <ul style="list-style-type: none"> размещение в полостях, нишах за ограждениями балконов, в закомарах, под навесом и т.п. скрыто от прямого наблюдения (компромиссы влияют на качество освещения); установка не бросающихся в глаза СП на архитектурных элементах здания (стенах, карнизах и т.п.) или на отдельно расположенных инженерных сооружениях, конструкциях. <p>В особо сложных случаях лучше воздержаться от использования АО, если оно может испортить общую картину (вызвать фотонегативный эффект и т.п.); возможно, удачное решение будет найдено позднее.</p>

Таблица 5.1.4

Основные приемы² наружного АО (продолжение в табл.5.1.5,6)

Общее, равномерное или локализованное, заливающее освещение фасадов (ЗС)	Локальная (местная) подсветка фасадов, их фрагментов или деталей (ЛП)	Светящиеся (напросвет) поверхности остекления фасадов, витражи, витражи	Контурное освещение, обычно «гириндами» близко расположенных ЛН или LED	Световая графика (светильниками, прожекторами, голыми лампами, LED)
Наиболее органичное решение – создание светового образа, в основных чертах воспроизводящего характерные признаки дневного образа. Близкое к дневному распределение светотени возможно, если СП располагать достаточно высоко (на крышах противостоящих зданий и т.п.). Обычно приемы заливающего освещения сочетаются с локальной подсветкой.	Цель подсветки – выявить оригинальные и характерные пластические и колористические качества фасадов. Часто подсветка придает освещению «театральный» или «романтический» характер. В качестве панорамного фона в световом ансамбле желательнее нейтральное заливающее освещение прожекторами, укрепленными на опорах уличного освещения, других зданиях.	Современной архитектуре свойственно чрезмерное увлечение остеклением фасадов зданий. Светящиеся поверхности (при остекленных фасадах) обычно дополняются системами встроенного освещения (локальной подсветкой). Эффект проматриваемости ² извне внутренней структуры здания радикально изменяет тектонику и ритмику фасадов, пропорционального членения и образ здания в целом.	Применяется для: <ul style="list-style-type: none"> Светового очертывания контуров зданий и сооружений (мосты, телевизионные башни) при праздничной иллюминации; Передачи стиливых особенностей архитектуры – характера пищовых фасадов или многогранных башен, подчеркивания вертикальных членений, выделения отдельных элементов. Как прием для постоянного освещения фасадов – малопригодно. 	Группировка на фасадах (зданий, сооружений), элементах ландшафта открытых или экранированных ИС, образующих характерный светографический рисунок из одно- или разноцветных точек, пятен, линий, освещенных ночью окон (общественных зданий) и т.п. Исполняется в ОУ торговой рекламы, деловой информации, праздничной иллюминации.

² При выборе приемов и средств освещения следует учитывать, что наложение разноярких и разноцветных конусов света (от СП с разными светотехническими параметрами, расположенных на различных высотах, расстояниях и разнонаправленных), их непривычный рисунок на фасадах может зрительно исказить архитектурную форму.

² Если необходимо исключить просматриваемость интерьера, то светопроемы закрывают рассеивающими (включая цветные) шторами, жалюзи, витражами и т.п. в качестве элемента системы АО.

Анализ табл.5.1.4 показывает, что определяющим при проектировании АО является выбор между ЛП и ЗС, а также выбор ИС для системы освещения. Сравнение достоинств и недостатков локальной подсветки и освещения ПЗС дано в табл.5.1.5, сравнение стоимостных показателей в табл.5.1.6.

Таблица 5.1.5

Сравнение локальной подсветки и освещения ЗС

Достоинства и особенности ЛП	Недостатки в сравнении с ПЗС
<p>1. Позволяет выявить особенности освещаемого фасада, удобна для монтажа и управления (сеть проходит по стене здания).</p> <p>2. Все согласования выполняются легче, чем при ПЗС (с опор уличного освещения или противостоящих сооружений).</p> <p>3. Удобна для проектирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • световые пятна можно рассматривать по отдельности; • увидев картинку в Photoshop'e, заказчик охотно расстается с деньгами (а если потом и выявит несоответствие реальности предъявляемому фотореалистичному изображению, то – «поезд ушел») ¹. <p>4. Расходы на оплату ЭЭ меньше (при равном световом потоке МГЛ для локальной подсветки и ДРЛ (либо ГЛН) для ПЗС).</p>	<p>1. Излишняя пятнистость¹, дробность¹ световой композиции, темные провалы¹ (особенно на венчающих элементах объекта) характерны для большинства установок первой волны наружного АО Томска.</p> <p>2. Разорительная¹¹ стоимость (в рублях на 1 Вт на 1 м² светового пятна): высокие значения руб/Вт (дорогие лампы малой мощности) неблагоприятно сочетаются с малой (при небольшом вылете кронштейна и обычном угле наклона СП) площадью пятна.</p> <p>3. Эксплуатировать 7 СП (P=150Вт) / 10 СП (P=100Вт) / 14 СП (P=70Вт), естественно, сложнее, чем один прожектор той же (1 кВт) мощности.</p>
<p>*У Н.И. Щепеткова [1]: компьютерные программы «... еще весьма условны, и давая по результатам расчета правдоподобно-стерильное изображение, могут очаровать лишь неискушенных клиентов».</p>	<p>*Полное соответствие мнению эксперта [1]. **Нередко стоимость единицы удельной мощности из-за высокой цены ИС и СП оказывается на один-два порядка больше, чем при ПЗС.</p>

Таблица 5.1.6

Сравнение значений редуцированной освещенности при локальной подсветке и ПЗС (данные носят ориентировочный характер) и анализ светотехнических аналогий

Сравнение существенных показателей и соотношение редуцированных (приведенных к единичной мощности) освещенностей	Светотехнические аналогии (значения $K > 1$ обусловлены, прежде всего, проявлением "геометрического фактора" - меры множества лучей)
<p>ЛП: $E_{cp} = 5600 \cdot 0,7(10 \cdot 1,5) - 1 \approx 300$лк; $P_{\Sigma} = 70 \cdot 9 \cdot 2 = 1260$Вт; $\Sigma\Phi = 5600 \cdot 18 = 100,8$ клм; $E/P = 300 : 1260 \approx 0,24$</p> <p>ЗС: $E_{cp} = 40000 \cdot 0,5(\pi \cdot 10^2 1,5) \approx 45$ лк; $P = 400$ Вт; $\Phi = 40000$ лм; $E/P = 45 : 400 \approx 0,125$</p> <p>Соотношение редуцированных освещенностей: определяется формулой</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Местное освещение vs общее (равномерное\локализованное); в зависимости от расположения СП, их конструктивных особенностей и от соотношения E_M (в составе E_K) и E_0: $K = 7 \dots 30$; в недавно описанном случае $K = 24,2$. • Фон, работающий напросвет, vs фон на отражение (в освещении промыш-

$K = \prod_{i=1}^2 E_i^{(-1)^{i+1}} \cdot P_i^{(-1)^i}, \text{ где } i=1 - \text{ЛП, а } i=2 - \text{ЗС};$ <p>$K = 0,24/0,125 \approx 1,92$ (обусловлен большими при ЛП значениями КПД и коэффициента использования светового потока)</p>	ленном, рекламном и др.; в системах информации): $K=4...30$ в зависимости от конструкции и геометрических параметров
--	--

Возникает ощущение, что широкое использование для локальной подсветки фасадов СП с маломощными, но очень дорогими МГЛ или, в последние годы, светодиодами – политика западных светотехнических фирм, проводимая через связанные с ними торговые и проектные организации (как правило, получают проценты со «сбыта» и/или бесплатное программное обеспечение). Превышение стоимости локальной подсветки versus ПЗС – прямые потери очарованного красивой картинкой заказчика, поверившего в (нередко спорные) достоинства местного освещения фасадов [3].

Анализ ряда таблиц этого раздела показывает, что при принятии решений по АО мало учитывать только архитектурные и чисто экономические соображения – необходимо принимать во внимание и светотехнические данные (например, в табл.5.1.6 – в форме соотношения редуцированных освещенностей).

Отметим также иерархию систем: АО может вообще отсутствовать, но функциональное уличное освещение есть всегда (кроме, разве, периодов стихийных бедствий или затемнений во время военных действий).

5.2. Анализ математических процедур при освещении фасадов и памятников

Освещение фасадов и памятников (ОФП) – важная составляющая вечернего облика города. ОФП позволяет сделать видимыми в темное время суток освещаемые объекты, подчеркнуть их архитектурные и стилевые особенности, создать комфортную, выразительную и эстетически полноценную городскую среду. Светом, структурой светового и цветового поля можно поистине творить чудеса (пример – The Magnificence mile). Однако задача ОФП и аналогичных объектов – очень сложная из-за переплетения архитектурных, экономических и технических аспектов. К сожалению, выполненные ОУ нередко создают театрально-декоративное впечатление, которое резко контрастирует с привычным дневным, при естественном освещении, образом объекта.

Иная, нежели днем, структура светового потока из-за локальной подсветки отдельных элементов освещаемого объекта приводит к пят-

нистости, подробности: таков результат сочетания ярких пятен и темных провалов [1].

Неудача многих выполненных установок отчасти объясняется отсутствием простого, доступного метода расчета ОФП, удобного для анализа принимаемых решений. Их экономическая целесообразность в некоторых случаях сомнительна – мягко говоря. Совершенно прав Н.И. Щепетков [1]: для получения качественного проекта «мало нарисовать красивую картинку освещаемого здания на компьютере» – архитектор должен быть способен проверить светотехнический раздел.

Обычно считают, что ОФП и аналогичных объектов рассчитывается только машинными методами; созданы высокого уровня и дорогие программы. Однако остро ощущается потребность в инженерных, достаточно простых методиках, которые можно с успехом использовать для расчета небольших ОУ (с малым числом СП и расчетных точек), не приобретая дорогие программные продукты. Сложившееся мнение, что светотехнический расчет ОФП чрезвычайно сложен – сильно преувеличивает имеющиеся трудности. Сложны не расчеты, не математические процедуры–проблемы в переплетении, взаимосвязи вопросов архитектуры, светотехники и экономики (и других), т.е. сложен процесс принятия решений по ОФП (не случайно использование макетирования или натурального моделирования); но если решение принято, то существующая технология расчетов в большинстве случаев позволяет его реализовать достаточно просто, быстро и с удовлетворительной точностью.

В работе рассмотрены задачи ориентации расчетных точек (далее – РТ) в поле СП при различных системах задания КСС.

5.2.1. КСС задана в азимутально-меридиональной системе

Рассмотрим вначале расчет ОФП, если КСС СП задана в азимутально-меридиональной системе координат. Примером является пространственная система S - γ основных плоскостей сечения СП: плоскость S задает меридиональный угол, а γ – азимутальный.

Таблица 5.2.1

Ориентация расчетных точек при КСС, заданной в азимутально-меридиональной системе координат

Расчетный этап	Аналитическое описание
1. Место расположения СП (рис. 5.2.1,а) принимается за начало координат; ось СП направлена в т.А (x_a, y_a, z_a); прямая ОА определяется (любыми) двумя из трех уравнений системы	$\begin{cases} xy_a - yx_a = 0, \\ zx_a - xz_a = 0, \\ yz_a - zy_a = 0. \end{cases} \quad (5.2.1)$ <p>Окончательно получим $\frac{x}{x_a} = \frac{y}{y_a} = \frac{z}{z_a}$</p>
2. В матричной форме, описывающей правые вращения вокруг положительных координатных осей [4] (углы поворота Эйлера* θ и φ), находятся для произвольной т.В новые ее координаты	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} \quad (5.2.2)$ <p>где матрица-столбец задает координаты РТ. Следует помнить о некоммутативности, вообще говоря, умножения матриц</p>
3. По новым координатам т.В находим ([4], с.23) азимутальный γ и меридиональный C углы и, далее, по значениям C и γ - силу света $I_{C,\gamma}$ в РТ	$\gamma = \arccos \frac{x_a x_b + y_a y_b + z_a z_b}{\sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2} \sqrt{x_b^2 + y_b^2 + z_b^2}} \quad (5.2.3)$ $C = \arctg \frac{-x_a z_a x_b - y_a z_a y_b + (x_a^2 + y_a^2) z_b}{(y_a x_b - x_a y_b) \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2}} \quad (5.2.4)$

* $\theta = \gamma = \arccos \sqrt{(x_a^2 + y_a^2)(x_a^2 + y_a^2 + z_a^2)^{-1}}$, $\varphi = C = \arccos \left(y_a (x_a^2 + y_a^2)^{-\frac{1}{2}} \right)$.

5.2.2. КСС задана в ортогональной системе

Задание КСС в ортогональной системе $\alpha - \beta$ (или $\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta$) широко используется для описания силы света светильников и, особенно, прожекторов [6,7]; формулы даются в табл.5.2.2 в компактном виде.

Таблица 5.2.2

Ориентация расчетных точек при КСС, заданной в ортогональной системе координат ($R_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2}$, $r_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2}$); место расположения и направление оси СП - как в табл.5.2.1

Расчетный этап	Аналитическое описание {формулы сведены}
1. Ищутся координаты произвольной РТ в системе $\alpha - \beta$ (или $\text{tg } \alpha - \text{tg } \beta$) через координаты C, γ в азимутально-меридиональной системе	$\begin{cases} \text{tg } \alpha \\ \text{tg } \beta \end{cases} = \begin{cases} 1 \\ L \end{cases} \sqrt{\frac{K-1}{L^2+1}} = (K-1)^{1/2} \cdot \left(L^{\{2\}} + 1 \right)^{-1/2}, \quad \begin{cases} 5.2.5 \\ 5.2.6 \end{cases}$ <p>где $K = \cos \gamma, L = \text{tg } C$. В иной записи – см. формулы (5.2.19 и 5.2.23)</p>
2. Преобразования (описаны в [9]) для получения искомым значений $\text{tg } \alpha$ и $\text{tg } \beta$ (индекс А относится к цели, индекс В – к РТ)	$\begin{cases} \text{tg } \alpha \\ \text{tg } \beta \end{cases} = \pm \left[\frac{R_A^2 \cdot R_B^2}{(x_A x_B + y_A y_B + z_A z_B)^2} - 1 \right]^{1/2} \cdot \left[1 + \left(\frac{-x_A z_A x_B - y_A z_A y_B + (r_A^2) z_B}{R_A (y_A x_B - y_B x_A)} \right)^{\{2\}} \right]^{-1/2}$ <p style="text-align: right;">{5.2.7} {5.2.8}</p>
3. Дальнейшие упрощения с целью получить достаточно компактные формулы	$\begin{cases} \text{tg } \alpha \\ \text{tg } \beta \end{cases} = \begin{cases} (x_B y_A - x_A y_B) \sqrt{r_A^2 + z_A^2} \\ (-x_B x_A - y_B y_A) z_A + z_B r_A^2 \end{cases} (x_B x_A + y_B y_A + z_B z_A)^{-1} \cdot$ <p style="text-align: right;">{5.2.9} {5.2.10}</p> <p>$\cdot r_A^{-1}$, графическая реализация приведена в [9]</p>

Окончание табл. № 5.2.2

Из формул (5.2.9, 5.2.10) при $z_B=z_A=h$ и $x_A=0$ как частные случаи вытекают выражения для η и ξ ([8], параграф 2.7) и их аналоги для $tg\alpha_{гор}(=\eta)$ и $tg\alpha_{верт}(=\xi)$ в [9]:	
Прожекторное освещение [8] η - формулы 2-43 + 2-45, ξ - формулы 2-44 + 2-45*	Уличное освещение [9] $tg\alpha_{г}$ -формула 4.2, $tg\alpha_{в}$ - формула 4.1
¹ Попутно исправим дефект в [8], на который ранее внимание не обращалось: формулы 2-44+2-45 ошибочно дают для РТ в нижней полусфере значения $\xi>0$.	

Отметим, что нет оснований для автономизации расчета освещенности от одиночного прожектора: формулы в [8] и [9] отличаются лишь техническими деталями – обозначением осей (при сравнении необходима циклическая замена координат x и y) и выбором углов ($\theta = \frac{\pi}{2} - \gamma$).

5.2.3. КСС задана в иных системах координат

В прекрасной работе А.А. Коробко [10] описываются системы C, γ и B, β , даются формулы перехода $B, \beta \Rightarrow C, \gamma$ и $C, \gamma \Rightarrow B, \beta$, и лишь называется третья система – A, α . На деле для ориентации РТ в поле СП (см. ниже пункт 5) применялись 5 систем координат, в том числе – не упомянутая в [10], но широко используемая ортогональная (табл.5.2.3). Отметим (в частично структурированном виде) ряд особенностей табл.5.2.3, а также дадим анализ формул [10].

Анализ особенностей 1,2,3,4 и 5 таблицы 5.2.3	Анализ предлагаемых в [10] аналогов формул 5.2.14, .18, .19, .36
<p>1. Возможность легко перейти от угловых характеристик данной системы (любой из пяти) к угловым параметрам иной системы, используя приведенные формулы. Углы с одинаковым начертанием снабжены индексом (номер системы) для их идентификации.</p> <p>2. Пользование таблицей существенно облегчают ситуационные рисунки, расположенные на ее главной диагонали и дающие угловые параметры систем координат 1...5. Рисунки стоят в месте пересечения информации по $i=j=const$ (в выделенных рамкой клетках $i=j=N$ – номер системы); фактически свободны от деталей; неизменность позиции РТ</p>	<p>I) Из приведенных в [10] 4-х формул системы 1,2 верна лишь формула $\cos\gamma = \cos\beta \cos B$, остальные – дефектны, в частности, «неконвертируемы»: если получить на основе C, γ значения $B(C, \gamma)$ и $\beta(C, \gamma)$, то обратное преобразование не приводит исходным: $C [B(C, \gamma)] \neq C, \gamma [\beta(C, \gamma)] \neq \gamma$.</p> <p>II) Исправленное начертание формул из [10] дано в табл. 5.2.3 (формулы 5.2.18, .19, .36), а более подробный анализ приведен в табл.5.2.4 и включает численный пример преобразований для точки М (рис. 5.2.1, 5.2.2) с угловыми координатами $-B_5=30^0, \beta_5=45^0$, или, что то же, $C_1=63^026', \gamma_A=52^014'$. Формулы</p>

(оплаченная ценой введения – C_v , - В) максимально упрощает возможность сравнения угловых характеристик.

3. Системы основных плоскостей сечения СП А, α (т.е. А, α_3) и В, β (т.е. – В, β_5) проигрывают другим системам координат из-за связанности параметров (второй в обозначении системы параметр считается функцией первого): $\alpha_3=\alpha_3(A)$, $\beta_5=\beta_5(-B)$.

4. Из-за трудностей с размещением в таблице $5 \times 4 \times 2 = 40$ формул, ради компактности:

- выбиралась обратная тригонометрическая функция, дававшая наипростейшее выражение; так, косинусу С можно предпочесть компактную формулу $\text{tg}C = \text{tg}\beta / \sin B$;

- введены специальные символы S и T вместо общепринятых \arcsin и \arctg в 6 и 5 знаков.

5. Включены 5 (когда-либо применявшихся в светотехнических исследованиях – расчетных и экспериментальных) способов ориентации точки в поле зрения наблюдателя либо в поле СП из $C_6^2 = 15$ возможных.

(5.2.18, .19, .36) конвертируемы.

III) В [10] не оговаривается, что формулы системы (1,2) верны лишь для случая $\delta=0$ (рис. 5.2.1,в), а в ОФП, уличном, прожекторном обычно $\delta>0$. Здесь важны 2 аспекта.

IV) Для возможности использовать при $\delta \neq 0$ аналитику табл.5.2.3 в формулы для случая $M_{i=1}$ вместо γ ($=\theta$) и С ($=\varphi$) предлагаем применять их дельта-функции – формулы 5.2.11, 5.2.12, учитывающие наклонную систему (громоздкие выводы опущены):

при $\delta=0$ получим как предельный случай «обычные» γ и С (соответствующие элементы подчеркнуты).

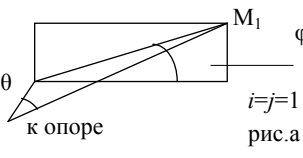
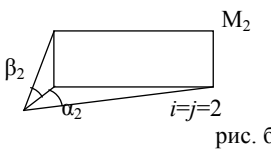
V) Исследование зависимости значения силы света (и освещенности, ей прямо пропорциональной) от наклона СП показали, что чем больше δ , тем резче меняется фотометрический рельеф. Расчетчика, использующего γ_0 и C_0 при $\delta \neq 0$ – ждут сюрпризы: так, при $\delta=30^\circ$ в т.Ф сила света будет в 2,3 раза меньше (в т.М₁ – в 5 раз больше) ожидаемой.

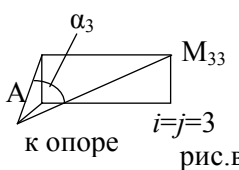
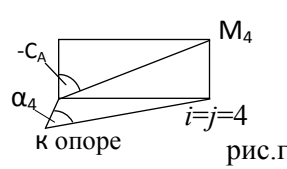
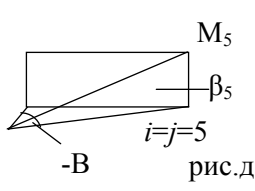
Значение функции при $\delta=0$	Дельта-функции (при $\delta \neq 0$), $G = y_B \cdot h^{-1}$
$\cos \varphi_\delta (= \cos \gamma) = h(x_B^2 + y_B^2 + z_B^2)^{-1/2}$	$\cos \theta_\delta = \cos \theta_{\delta=0} \cdot (\cos \delta + G \sin \delta)$ (5.2.11)
$\text{tg} \varphi (= \text{tg} C) = y_B \cdot x_B^{-1}$ (при $x_A = y_A = 0$)	$\text{tg} \varphi_\delta = \text{tg} \varphi_{\delta=0} \cdot (\cos \delta - G^{-1} \sin \delta)$ (5.2.12)

*Формула (5.2.12) – кроме случая $y_B=0$

Таблица* 5.2.3

Формулы перехода от системы координат M_i к системе M_j (ситуационные рисунки а...д – на диагонали, при $i=j$; обратные тригонометрические функции обозначены: S вместо \arcsin , T вместо \arctg)

Система координат $M_{j=1...5}$		$M_i = M_1(\theta, \varphi)$	$M_i = M_2(\alpha, \beta)$
		Формулы 11...39 перехода от системы $M_{i=1...5}$ к системе M_j	
$M_i = M_1(\theta, \varphi)$ $\varphi = C, \theta = \gamma_C$	$\cos \theta$		$(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2 + \operatorname{tg}^2 \beta_2)^{\frac{1}{2}}$ (5.2.11)
	φ		$T(\operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{ctg} \alpha_2)$ (5.2.15)
$M_2(\alpha, \beta)$	α_2	$T(\operatorname{tg} \theta \cos \varphi)$ (5.2.10)	
	β_2	$T(\operatorname{tg} \theta \sin \varphi)$ (5.2.23)	
$M_3(A, \alpha_3)$ $(\alpha_3 = \alpha_3(A))$	A	$T(\operatorname{tg} \theta \sin \varphi)$ (5.2.27)	$A = \beta_2$ (5.2.24)
	α_3	$S(\sin \theta \cos \varphi)$ (5.2.28)	$T(\operatorname{tg} \alpha_2 \cos \beta_2)$ (5.2.29)
$M_4(\alpha_4, C_{\vee})$	α_4	$T(\operatorname{tg} \theta \cos \varphi)$ (5.2.19)	$\alpha_4 = \alpha_2$ (5.2.21)
	$-C_{\vee}$	$-C_{\vee} = -\varphi + 0,5\pi$ (5.2.17)	$T(\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2)$ (5.2.33)
$M_j = 5(-B, \beta_5)$ $(\beta_5 = \beta_5(-\beta))$	$-B$	$T(\operatorname{tg} \theta \cos \varphi)$ (5.2.19)	$-B = \alpha_2$ (5.2.22)
	β_5	$S(\sin \theta \sin \varphi)$ (5.2.36)	$T(\operatorname{tg} \beta_2 \cos \alpha_2)$ (5.2.37)

$M_i=M_3 (A, \gamma)$	$M_i=M_4 (\alpha_4, C_{\downarrow})$	$M_i=M_5 (-B, \beta)$
Формулы 5.211...39 перехода от системы $M_{i=1...5}$ к системе M_j		
$\cos A \cos \alpha_3$ (5.2.12)	$[1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_4 \cdot \cos^2 (-C_A)]^{\frac{1}{2}}$ (5.2.13)	$\cos(-B) \cos \beta$ (5.2.14)
$T(\sin A \operatorname{ctg} \alpha_3)$ (5.2.16)	$\varphi = -C_{\downarrow} - 1,5\pi$ (5.2.17)	$T(\operatorname{tg} \beta_5 / \sin(-B))$ (5.2.18)
$T(\sec A \operatorname{tg} \alpha_3)$ (5.2.20)	$\alpha_2 = \alpha_4$ (5.2.21)	$\alpha_2 = -B$ (5.2.22)
$\beta_2 = A$ (5.2.24)	$T(\operatorname{tg} \alpha_4 \cdot \operatorname{ctg}(-C_A))$ (5.2.25)	$T(\sec(-B) \operatorname{tg} \beta_5)$ (5.2.26)
	$T(\operatorname{ctg}^2 \alpha_4 + \operatorname{ctg}^2 (-C_{\downarrow}))$ (5.2.30)	$S(\sin(-B) \cos \beta_5)$ (5.2.31)
$T(\sec A \operatorname{tg} \alpha_3)$ (5.2.20)		$\alpha_4 = -B$ (5.2.32)
$T(\operatorname{tg} \alpha_3 / \sin A)$		$T(\sin(-B) \operatorname{ctg} \beta_5)$ (5.2.35)
$T(\sec A \operatorname{tg} \alpha_3)$	$-B = \alpha_4$ (5.2.32)	
$S(\sin A \cos \alpha_3)$	$T(\sin \alpha_4 \operatorname{tg}(-C_{\downarrow}))$ (5.2.39)	

Обе части табл.5.2.3 следует рассматривать совместно (разделение обусловлено полиграфическими соображениями). Для удобства использования таблице придана жесткая форма gridiron.

Таблица 5.2.4

Правильное начертание формул из [10] – формулы (5.2.18, .19, .36) и пример использования для координат $m.M_1=M_5$ (рис. а, б) при углах $B=30^\circ, \beta=45^\circ, C=63^\circ 26', \gamma=52^\circ 14'$

Угол	Правильное начертание* и пример использования	
C	$C = \arctg \{ \operatorname{tg} \beta_s(C, \gamma) \cdot \operatorname{cosec}(-B(C, \gamma)) \}$ Две возможности указаны ниже*	
B	$\operatorname{tg}(-B) = \operatorname{tg} \theta \cdot \cos \varphi = \operatorname{tg} 52^\circ 14' \cdot \cos 63^\circ 26' \sim 3^{-1/2} = \operatorname{tg} 30^\circ$	равны исходным значениям
β	$\sin \beta_s = \sin \theta \cdot \sin \varphi = \sin 52^\circ 14' \cdot \sin 63^\circ 26' \sim 2^{-1/2} = \sin 45^\circ$	

*Предлагаем читателю самому доказать конвертируемость формул табл.5.2.3, например, – формулы (5.2.18)

$$C = \arctg \{ \operatorname{tg} \beta_s(C, \gamma) \cdot \operatorname{cosec}(-B(C, \gamma)) \}$$

(\circ - символ суперпозиции (композиции) функций):

$$1) C = \arctg \{ \operatorname{tg} [\operatorname{arcsin}(\sin 52^\circ 14' \cdot \sin 63^\circ 26')] \cdot \operatorname{cosec} [\operatorname{arc} \operatorname{tg}(\operatorname{tg} 52^\circ 14' \cdot \cos 63^\circ 26')] \} = \dots = \operatorname{arctg} 2,0008 \approx 63^\circ 26', \text{ т.е. равно исходному значению.}$$

2) Еще интересней – и полезней для читателя – доказать это тождество в алгебраической форме, в общем виде, независимо от конкретных значений C, γ ; оно основано на тождестве $\sin^2 \theta \cdot \cos^2 \varphi + \cos^2 \theta \equiv 1 - \sin^2 \theta \cdot \sin^2 \varphi$.

5.3. Интерполяция силы света

Методика построения изокандел. После определения угловых координат РТ встает проблема нахождения силы света в соответствующих направлениях. Часто в распоряжении расчетчика есть лишь КСС в двух взаимно перпендикулярных плоскостях («поперечной» и «продольной»). Если различия между этими кривыми относительно невелики, то можно применить методику, изложенную в ([6], с.39): используется для построения любых изолиний – изокандел, изолукс...

Последовательность построения графика изокандел (рис. 5.2.2): пункты 1...4, интерполяция по нему – пункты 5,6.

1. На координатные оси наносятся отметки: $\eta = \operatorname{tg} \alpha$ - по абсциссе, $\xi = \operatorname{tg} \beta$ - по ординате (как вариант: вместо тангенсов наносятся значения углов).

2. Откладываем на абсциссе значения силы света с «поперечной» КСС (точки 1...4 на рис. 5.2.2), а на оси ординат – с «продольной» КСС (точки 1'...4').

3. Наносим на график точки B_i и находим угол $\varphi = \operatorname{arctg} \xi/\eta$.

4. Находим промежуточные точки Q_2 (η_2, ξ_2) и Q_3 (η_3, ξ_3) изокандел (в предположении, что кривая $I=\text{const}$ – эллипс с известными полуося-

ми) по формуле $r_\varphi = r(\text{tg}\alpha, \text{tg}\beta, \varphi)$, дающей длину радиус-вектора силы света в направлении $\varphi = \text{const}$.

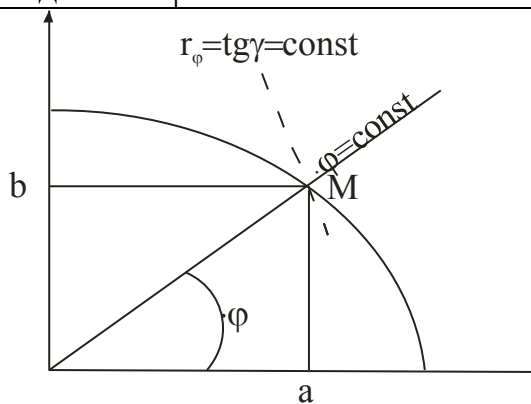
5. Проводим линейную интерполяцию между точками Q_2 и Q_3 :

$$I_B = 20 + (70 - 20) \cdot \frac{0,58 - 0,61}{0,51 - 0,61} = 35(\text{кд}). \quad (5.3.1)$$

6. Для ответственных установок рекомендуем более сложные – но и точные – интерполяционные формулы, например, квадратичную интерполяцию по Бесселю, использующую в качестве узлов значения силы света в точках Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 .

Сравнение двух методик нахождения промежуточных точек эллиптической зависимости. Методика $\text{tg}\gamma = \text{tg}\gamma(a, b, \varphi)$, изложенная в 1995г. [6], и уравнение 3 [10], дающее значение $\gamma_i = \gamma_i(C, \gamma_{90^\circ, i}, \gamma_{0^\circ, i})$, разделяя одну идеологию (описывается радиус-вектор промежуточной точки в линейной [6] либо угловой [10] мере), по существу равноценны, но заметно различаются по трудоемкости, что показывает пример (в рамках) для $a=0,8, b=0,462, \varphi=30^\circ$ ($C=60^\circ$), и комментарий к нему.

[6]: Линейные размеры на осях эллипса, на выходе – $\text{tg}\gamma$ т.М при заданном φ



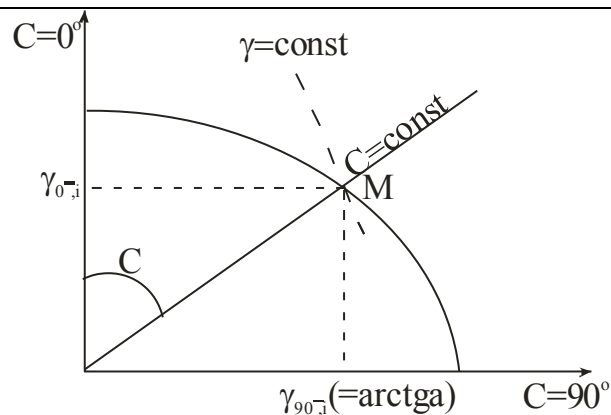
$$(\text{tg}\gamma)r_\varphi = ab(a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi)^{-1/2},$$

$$\text{где } \text{tg}\varphi = \frac{b}{a} \left(= \frac{0.462}{0.8} = 0.5775 \right)$$

(5.2.14)

$$\text{tg}\gamma = \frac{0.8 \cdot 0.462}{\sqrt{0.8^2 \sin^2 30^\circ + 0.462^2 \cos^2 30^\circ}}$$

[10]: Угловые размеры на осях эллипса, на выходе – γ т.М при заданном значении C



$$\gamma_i = \frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 C}{\gamma_{90^\circ, i}^2} + \frac{\cos^2 C}{\gamma_{0^\circ, i}^2}}}$$

$$\text{где } C \left(= \frac{\pi}{2} - \varphi \right) = \text{arctg} \frac{\text{tg}\gamma_{90^\circ}}{\text{tg}\gamma_{0^\circ}}$$

$$\frac{0.3696}{\sqrt{0.8^2 \cdot \frac{1}{4} + 0.462^2 \cdot \frac{3}{4}}} = 0.65328$$

(и это – все вычисления. Для сравнения с [10] найдем еще угол $\gamma = \arctg 0,65328 = 33^{\circ}9'$)

$$\gamma_i = \frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 60^{\circ}}{(\arctg 0.8)^2} + \frac{\cos^2 60^{\circ}}{(\arctg 0.462)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{4}}} = \dots = 33^{\circ}11'$$

(часть

громоздких выкладок опущена)

*Сравним трудоемкость методик [6] и [10]. Вместо простых операций ($0,462^2$ и $0,8^2$ в [6]) – в [10] фактически «закручен» такой сюжет:

п.1 – находятся $\arctg 0,462$ и $\arctg 0,8$; **п.2** – градусы переводятся в угловые минуты; **п.3** – возводятся в квадрат $1488'$ и $2320'$; **п.4** – суммируются десятиллионные доли угловых минут в минус второй степени (именно так!); **п.5** – минуты переводятся в градусы (от п.5 можно избавиться, если в п.2 минуты выражать в десятичных долях градуса).

У [10] в сравнении с [6]: полная запись требует втрое большей площади; точность ниже – операций больше; обозначения громоздкие; сложнее вывод (в [6] – следует непосредственно из канонического уравнения эллипса) и проверка получающегося результата (в [6] – просто:

$$\left(\frac{0,65328 \cdot \cos 30^{\circ}}{0,8}\right)^2 + \left(\frac{0,65328 \sin 30^{\circ}}{0,462}\right)^2 = 0,999994 \approx 1 - \text{точка на эллипсе}.$$

Укажем также еще один способ нахождения угла γ (самый быстрый, но менее точный): по уравнению (8) в [9] получим $\gamma = 34^{\circ}3'$.

Сравнение линейной и квадратичной интерполяции. В [5] рекомендуется применять для получения значений силы света линейную интерполяцию. Покажем, что она может давать существенную погрешность; для ответственных установок ОФП и в случае аналитического задания КСС рекомендуем интерполяционные формулы более сложные (и точные).

Пример. Для точки В на рис. 5.2.2 требуется найти значение I_B ; изоканделы сообщены фирмой – изготовителем СП либо рассчитаны на основе аналитической зависимости $I=I(\alpha, \beta)$ и др. Для интерполяции по формуле Бесселя необходимы еще две линии (например, 10 и 100 кд), увеличивается объем вычислений, но и точность растет (при $\eta=0,56(0,57)$ – на 7,1% (7,6%)). А обращение к более сложным интерполяционным формулам едва ли целесообразно ввиду: разброса параметров ламп и СП; реалий с точностью нацеливания; изменений КСС в процессе эксплуатации при запылении лампы и СП и др. факторов.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные принципы проектирования архитектурно-декоративного освещения.
2. Назовите основные приемы наружного архитектурного освещения.
3. Сравните архитектурные и эксплуатационные факторы при выборе между ЛП и ПЗС. Сравните стоимость единицы мощности.
4. Сформулируйте методику построения изокандел.
5. Почему в отечественных случаях линейной интерполяции можно предпочесть квадратичную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 5

1. Щепетков Н.И. Световой дизайн города. М.: Архитектура-С. – 2006. – 320с.
2. Нарбони Р. Освещение западного фасада Собора Парижской Богоматери // Светотехника. – 2004. – №3. – С.12-15.
3. Башкатова Е.С., Никитин В.Д. Сравнительная оценка локальной подсветки и освещения прожекторами заливающего света // Материалы науч.-техн. конф. "Молодые светотехники России". М.: Вигма. – 2006. – С.74-77.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука. – 1973. – 832с.
5. Никитин В.Д. Распределение яркости в поле зрения // Уч. пособие. Томск: Изд. ТПИ. – 1973. – 40с.
6. Никитин В.Д. Расчет прямой составляющей освещенности // Уч. пособие. Томск: Изд. ТПУ. – 1995. – 89с.
7. Айзенберг Ю.Б. Световые приборы. М.: Энергия. – 1980. – 463с.
8. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. Л.: Энергия. – 1973. – 200с.
9. Никитин В.Д. Совершенствование методов расчета освещения улиц // Светотехника. – 2001. – №3. – С.27-29.
10. Коробко А.А. Методы представления светораспределения световых приборов для программ расчета освещения // Светотехника. – 2001. – №6. – С.4-8.
11. Щепетков Н.И. Свет храма в городе // Светотехника. – 2001. – №3. – С.30-37.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе дается анализ достоинств, недостатков и особенностей различных установок наружного освещения; сравниваются методики их (ручного) расчета, предложенные разными авторами; машинные методы проектирования освещения здесь не приводятся – даны в учебном пособии Гречкиной Т.В., Никитина В.Д. "Расчетный практикум..." (2010г.).

2. Владение помимо машинных также и ручными методами способствует:

- всестороннему, глубокому и "не-механическому" изучению материала, содействуя кристаллизации креативных подходов;
- (что не менее важно) возможности очень гибкого (замечательно пластичного) и эффективного применения полученных знаний, в частности, для разработки новых методик и приемов;
- решению разнообразных инженерных задач – не обязательно из области наружного освещения и lighting engineering вообще, например, задач ИК-, УФ- и гелиотехники, экологических и др.

3. Вопросы экономичности установок наружного освещения, в целом, не рассматривались из-за многоаспектности и, подчас, спорности оценок; приводятся лишь некоторые, не претендующие на полноту, частные экономические характеристики (по прожекторному, уличному освещению и др.). Сложность и многокритериальность подходов при исследовании экономичности осветительных установок (и необходимость разработки для многих ситуаций специализированных методик) показаны в учебном пособии Никитина В.Д., Сериковой Г.Н. "Экономика ОУ"; разработка узкопрофильных методик, как правило, оправдывается их большей эффективностью.

4. В настоящее время для продолжения учебного пособия подготовлены (некомпилятивные) разделы по:

- анализу освещения фасадов, памятников и культовых элементов (кресты, купола ...) конфессиональных зданий;
- сравнению возможностей традиционных и полупроводниковых ИС для архитектурного и наружного функционального уличного освещения;
- приемам и методам оценки (пяти составляющих) светового загрязнения городов как существенной экологической характеристики;
- методике экспресс-оценки экономических показателей наиболее распространенных наружных осветительных установок, включая архитектурно-декоративные и рекламные;
- влиянию светотехнических показателей уличного освещения на статистику и экономические последствия дорожно-транспортных происшествий.

Учебное издание

НИКИТИН Владимир Дмитриевич
ТОЛКАЧЕВА Ксения Петровна

СВЕТОВОЕ ПОЛЕ В УСТАНОВКАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор
доктор физико-математических наук
В.М. Лисицын


Дизайн обложки *А.И. Сидоренко*

Подписано к печати 10.12.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 6,45. Уч.-изд. л. 5,84.
Заказ 131-11. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский 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