Екатерина Ильина | iei@rtcs.ru

Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов.

Особенности разработки светодиодного светильника в России

Данный материал продолжает цикл публикаций, посвященных наружному светодиодному освещению автомагистралей и улиц городов. Ранее нами были рассмотрены вопросы, касающиеся зрительного восприятия, а также применимости светодиодов для наружного освещения, были приведены способы оценки световой эффективности дорожных осветительных установок на их основе. В настоящей статье уделено внимание специфическим для России климатическим условиям и факторам, влияющим на яркость дорожного покрытия, в установках наружного освещения автомагистралей и городских улиц.

Об освещении дорог

Согласно статистике различных дорожных ведомств (ГИБДД, РосДорНИИ, Минтранс), год от года количество ДТП, совершенных из-за плохого качества дорог в России, составляет 18–30% от общего числа аварий. Причем эти официальные данные, по мнению МОЦ «За безопасность российских дорог» [1], занижены, так как истинные причины случившегося ДТП не всегда вносятся в протокол и отсутствует четкая юридическая практика разрешения конфликтов при неработающем освещении, отсутствующих или неправильно поставленных знаках, стертой разметке и т. д. При этом существенным фактом в статистике ДТП является именно качество освещения того или иного участка дороги.

При проектировании дорожных светильников на базе светодиодов одним из важных моментов является разработка оптической части. И эта задача лишь на первый взгляд кажется простой. Светодиодные приборы становятся более технологичными, и если ранее больше внимания уделялось электрическим и конструктивным деталям, то сегодня вопрос разработки оптической части становится все более актуальным, потому что от нее зависит качество света. При этом наилучшим будет то решение, которое разработано для освещения дороги с определенными параметрами. Увеличение диапазона применения приводит к универсализации решения, но не к повышению его оптимальности.

Любая разработка начинается с определения стратегии и выбора критериев. В случае с наружным освещением автомагистралей и дорог задача является комплексной. Представим себе прямоугольную площадку (отрезок дороги между двумя близлежащими опорами освещения). Пусть на ней задано требуемое распределение света (освещенность или яркость). Все было бы просто, если бы светильник был один: тогда обратная задача по определению оптимального светораспределения имеет решение, которое зависит от выбора нормируемой характеристики. Но мы имеем дело с линией светильников, шаг расстановки которых меняется. Освещение площадки — результат суммарного действия нескольких светильников. Именно поэтому задача имеет много приближенных решений, именно поэтому существует такое разнообразие светильников. И только одним типом светильников невозможно обеспечить качественное освещение всех существующих типов дорог.

Таким образом, одним из критериев является выбор нормируемой характеристики, вторым — параметры осветительной установки. Кроме этого на этапе разработки светильника очень важно иметь возможность проверить и подтвердить результат.

О состоянии измерительной базы для контроля качества освещения

Уже около 30 лет яркость является важным критерием нормирования установок наружного освещения в нашей стране (введена в СНиП в 1971 г.). В [4] яркость нормируется только на участках со стандартной геометрией. На участках с нестандартной геометрией (криволинейные участки, пересечения с круговым движением, многоуровневые развязки и т. д.), так же как в северных широтах, на переходных и низших типах покрытий в сельских поселениях и ряде других менее важных случаев нормируется освещенность.

Теоретическая база нормируемых параметров развивается. Не исключено, что в обозримом будущем кроме средней яркости будет введен новый критерий — степень видимости объектов (visibility level, VL), как это сейчас сделано в Америке [2] и рассматривается в качестве возможного критерия нормирования в Европе. Степень видимости, то есть мера восприятия объектов малых размеров, расположенных на дороге, определяется как отношение разности яркостей тест-объекта и фона (полотна дороги) в реальных условиях к пороговой разности тех же величин [8]. Как видно из определения, в основе нормирования по видимости лежит яркость, что говорит в пользу необходимости дальнейшего развития измерительной и расчетной базы яркости.

Нормирование наружного освещения автомагистралей по яркости — это шаг вперед по сравнению со многими другими областями, где такое нормирование невозможно. Но реалии жизни таковы: все смонтированные установки наружного освещения принимаются в эксплуатацию при участии люксметра как наиболее доступного, понятного и дешевого средства измерения. Но только ли по этим причинам при приемке объекта используется люксметр?

Возможные причины использования освещенности вместо яркости:

- В России практически нет специализированных лабораторий по измерению яркости ДП (кроме мобильной лаборатории ГУП «Моссвет»). Одной такой лаборатории мало для всей нашей страны.
- Сложность вычисления яркости ДП и отсутствие общедоступных программ для ее расчета с использованием любого типа светильников и стандартизованных в нашей стране типов дорожных покрытий (ДП).
- Стандартизованные типы ДП устарели, следовательно, использовать их в расчете нельзя.
- В России суровый климат, и ДП в сухом состоянии — это редкое явление.
- Характеристики ДП зависят от погодных условий, значит, яркость — параметр нестабильный с этой точки зрения.

Почти все причины связаны с характеристиками ДП. Рассмотрим два фактора, оказывающих влияние на состояние покрытий: временной и погодный.

Временной фактор

Только что уложенный асфальт не обладает яркостными характеристиками, которые используются в расчетах. На новой дороге очень сложно визуально оценить качество освещения. Автомобилистам хорошо знакома ситуация, когда едешь по черному асфальту, разметка «горит»

в глазах, а дорожное покрытие при этом становится абсолютно неразличимым. Дело в том, что новые асфальтовые покрытия в большинстве случаев отражают примерно в два раза меньше света, чем состарившиеся, поэтому получается больший яркостной контраст. Глаз адаптируется на «горящую» разметку, и его чувствительность не позволяет различать темное покрытие. Но со временем этот эффект пропадает, потому как асфальт становится светлее.

Что касается освещения такого покрытия и контроля яркости при приемке новой дороги, ответ очевиден: измеренная яркость никогда не будет соответствовать расчетным значениям, поскольку в ГОСТ 26824-86 [3] приведены характеристики для двух типов покрытия — мелкозернистого и шероховатого, находящихся в сухом состоянии и побывавших в эксплуатации не менее двух лет.

Измерение и контроль яркости ДП согласно [3] проводится при выполнении следующих условий:

- Участок дороги должен быть прямолинейным и горизонтальным. Расстояние от яркомера до ближней и дальней границ контрольного участка соответственно должно быть $L = (60+d)$, где d — шаг установки опор, а 60 м — минимально необходимое расстояние от наблюдателя (водителя) до начала расчетного участка.
- ДП контрольного участка должно быть сухим, без пятен, луж и прочего, что может изменить коэффициент его яркости.

Эти условия создают дополнительные сложности по сравнению с измерением освещенности.

При приемке освещения новых дорог невозможно ждать два года, чтобы измерить яркость состаренного покрытия, коэффициенты яркости которого используются в расчетах. Ждать, когда состарится покрытие, и только после монтировать освещение — абсурдно. Поэтому в отечественной практике измеряют освещенность, а яркость — там, где она нормируется — контролируют, в лучшем случае, расчетным путем. Но срок службы ДП не ограничивается двумя годами, согласно данным РосДорНИИ он составляет от пяти до семи лет. А значит, в периоде от трех до пяти лет (за вычетом первых двух) контроль яркости дорожного покрытия возможен.

Погодный фактор

В зависимости от различных погодных условий ДП может находиться в трех состояниях: «сухое», «влажное» и «снежное». В холодный период оно таким и будет, а в теплый, соответственно, только «сухим» и «влажным». При этом сухая летняя дорога отличается от сухой зимней тем, что зимой используются различные антигололедные средства, которые, к слову, тоже влияют на яркость ДП.

Обратимся к статистике ДТП. На рис. 1 приведены данные по авариям, произошедшим из-за неудовлетворительного состояния дорог, за 2009–2010 гг. [9], а также сведения об осадках (продолжительность) и температуре воздуха в зависимости от месяца на примере трех городов: Архангельска, Москвы и Казани. Все данные приведены в относительных единицах. В зимнее время количество ДТП, согласно этим графикам, возрастает вне зависимости от географического положения города. Причем рост количества ДТП наблюдается при переходе температуры от положительной к отрицательной. Тут, несомненно, сказывается состояние дорог, зависящее, например, от качества антигололедной обработки ДП. Но одной из важных причин является и то, что ночи в этот период года становятся длиннее, и интервал работы осветительных установок увеличивается. Плохое качество освещения или вообще его отсутствие в темное время суток приводят к увеличению количества ДТП.

Как уже упоминалось ранее, нормируется яркость сухого ДП. Само значение яркости нормируется, исходя из минимального среднего значения, значит, неравномерность распределения яркости сухого ДП тоже должна быть наихудшей с точки зрения видимости. На рис. 2 показаны покрытия при разных

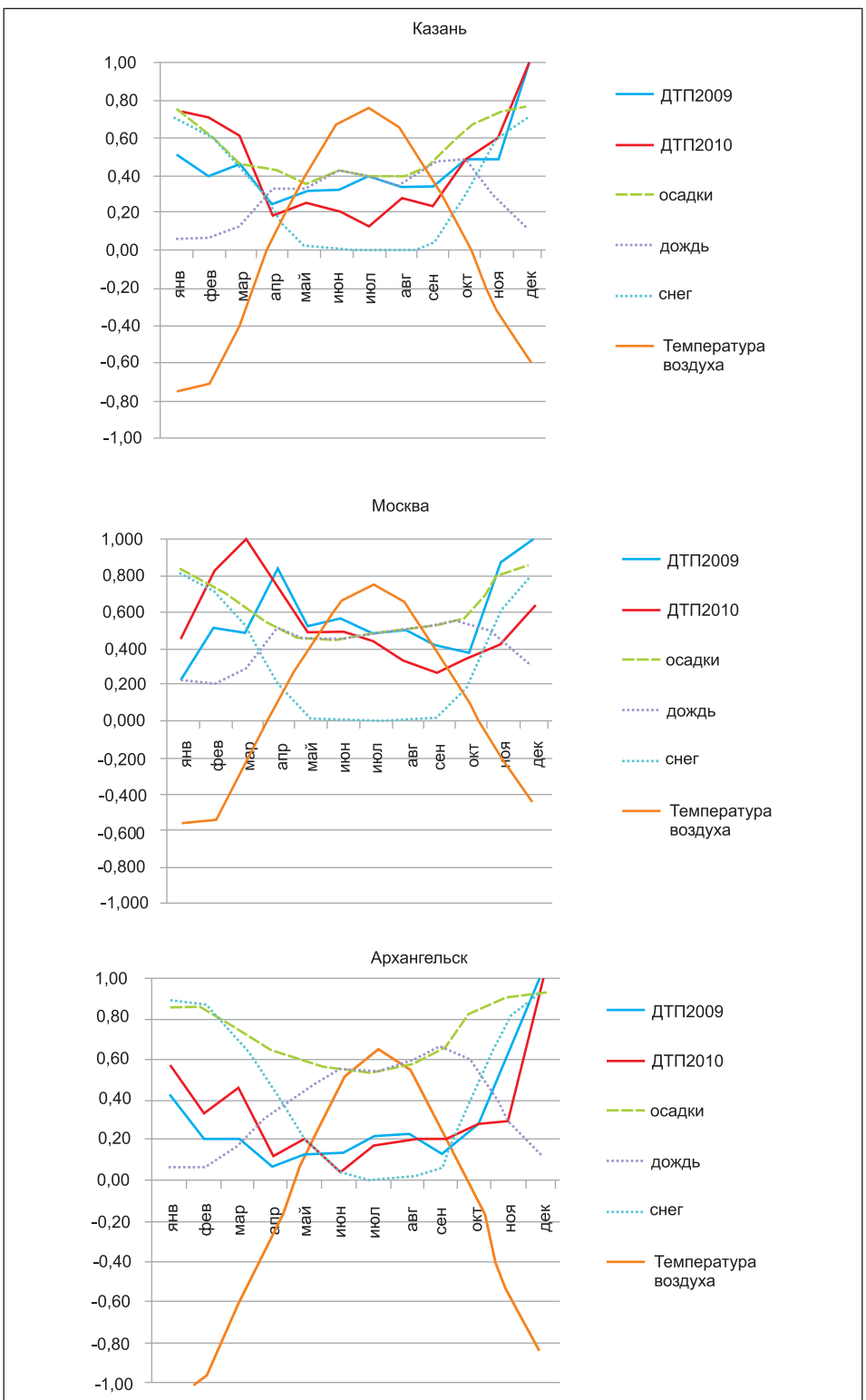

Рис. 1. Статистика ДТП в зависимости от осадков и температуры воздуха

Рис. 2. Примеры различных состояний ДП: а) зимнее «сухое» и летнее «сухое»; б) «новое» и состарившееся; в) «сухое» и «влажное»

климатических условиях. Отчетливо видно, что сухое покрытие имеет бóльшую равномерность освещения. Возрастающая неравномерность яркости мокрого полотна приводит к ухудшению условий видимости.

Нормирование освещения для «сухих» дорог может быть правомерно, если ДП находится в этом состоянии большую часть года. Проведем приблизительную оценку, какую часть времени дорожное покрытие находится в сухом состоянии (точную оценку дать невозможно в связи с тем, что в ее основе лежат среднестатистические данные по количеству осадков, ДТП и т. д.).

О климате России

Для климата на всей территории России [5] характерно отчетливое разделение года на холодный и теплый сезоны. Большая часть территории страны лежит в умеренном поясе, острова Северного Ледовитого океана и северные

Рис. 3. Продолжительность наличия осадков для различных городов (суммарно в холодный и теплый периоды) на территории разных областей РФ

материковые районы находятся в арктическом и субарктическом поясах, Черноморское побережье Кавказа — в субтропическом поясе. В пределах каждого пояса наблюдается существенное изменение климата, направленное с запада на восток (климатические области) и с севера на юг (зональные типы климата). Зимние осадки выпадают в России преимущественно в твердом виде, и практически всюду устанавливается устойчивый снежный покров. Исключение составляют южные районы Черноморского побережья. Лето на территории страны разнообразно: в южных районах устанавливается жаркая погода, в то время как в северных районах лишь сходит снег и исчезают заморозки. Значительная часть страны характеризуется вечной мерзлотой.

Оценка состояния ДП с точки зрения количества выпавших осадков

Наружное освещение в массе своей устанавливается в городах и населенных пунктах. Поэтому первую оценку проведем на основе выборки городов из различных регионов России. Предположим, что состояние асфальта зависит только от продолжительности осадков (количества дней с любыми осадками в году, рис. 3). Исходя из разнообразия климатических условий по территории страны, произвольным образом были выбраны 27 городов. Климатические данные взяты из [6]. На приведенных графиках видно, что в 74% рассмотренных городов (в т. ч. Москве и Санкт-Петербурге) осадки выпадают в периоде от полугода до девяти месяцев, т. е. большую часть года (рис. 4а). При этом летние осадки на большей территории страны (88% городов) присутствуют не менее трех месяцев (рис. 4б).

Означает ли это, что в рассмотренных городах характеристики ДП отличаются от стандартизированных в течение указанного периода?Нет. Дождь может быть затяжным и кратковременным. От чего зависит скорость высыхания ДП? Вероятно, от скорости испарения осадков.

Оценка состояния ДП с точки зрения скорости испарения осадков

Среднегодовое количество осадков не дает полного представления об обеспеченности территории влагой [7], так как часть их теряется поверхностью в результате испарения. Чем выше температура воздуха и подстилающей поверхности (дорожного покрытия), тем больше влаги может испариться. Возможное испарение характеризуется испаряемостью. Поэтому в данном случае учитывалось не годовое количество осадков, а средняя годовая разность осадков и испаряемости (СГРОИ) в миллиметрах. Вся территория России была условно разделена на три области:

- с положительным СГРОИ (Δ>100 мм), где осадки испаряются медленно и ДП остается мокрым достаточно долго;
- с условно нулевым СГРОИ (0<Δ<100 мм), где скорость испарения осадков находится практически в балансе — сколько выпало, почти столько и испарилось (скорость испарения здесь выше, чем в первой области);
- с отрицательным СГРОИ (Δ<0 мм), где осадки испаряются очень быстро.

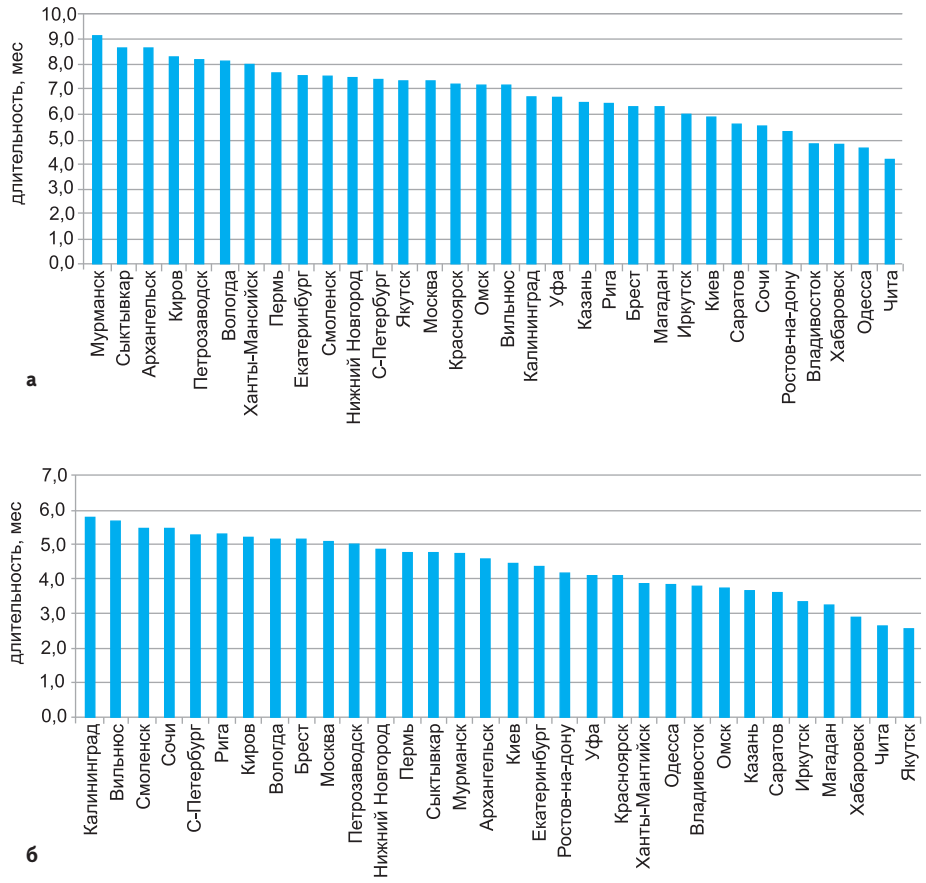

Рис. 4. Продолжительность наличия осадков для различных городов: а) суммарно в холодный и теплый периоды; б) только в теплый период

В результате оценки видим, что около 56% территорий (рис. 5, таблица) попадает в первую область и лишь около 23% третью, что при равномерном распределении дорожной сети по всей территории России говорило бы о неправомерности нормирования яркости дорожного покрытия в сухом состоянии.

Оценка состояния ДП с точки зрения развития транспортной сети

Транспортная система России характеризуется развитой дорожной сетью (общая протяженность 910 тыс. км, из которых 745 тыс. км имеют твердое покрытие). Дорожная сеть, так же как и города, распределена по территории очень неравномерно (концентрация дорог

Таблица. Распределение территорий и концентрации в зависимости от СГРОИ по округам РФ

Название федерального округа	Площадь, км²	Территория с учетом СГРОИ			Концентрация дорог с твердым покрытием, км/1000 м²	Концентрация дорог с твердым покрытием с учетом СГРОИ		
		Δ>100 мм	0<Δ<100 мм	Δ<100 мм		Δ>100 мм	0<Δ<100 мм	Δ<100 мм
Центральный	652 800	130 560	195 840	326 400	170,9	34,18	51,27	85,45
Южный	416 840	0	0	416 840	79,8	0	0	79,8
Северо-Западный	1 677 900	1 677 900	0	0	39,5	39,5	0	0
Дальневосточный	6 215 900	3 107 950	1 553 975	1 553975	43,9	21,95	10,975	10,975
Сибирский	5 114 800	3 068 880	1 534 440	511 480	17,6	10,56	5,28	1,76
Уральский	1 788 900	1 162 785	178 890	447 225	21,4	13,91	2,14	5,35
Приволжский	1 038 000	415 200	155 700	467 100	102,4	40,96	15,36	46,08
Северо-Кавказский	159 860	0	0	159 860	147,4	0	0	147,4
Итого	17 065 000	9 563 275	3 618 845	3 882 880	622,9	161,06	85,025	376,815
Соотношение, %	100	56	21	23	100	26	14	60

с твердым покрытием по различным округам РФ приведена в таблице). С учетом этого факта получается, что около 60% всех дорог расположено в третьей области.

Таким образом, четко судить о правомерности нормирования яркости сухого ДП нельзя. Но если рассматривать страну с точки зрения регионов, то в Северо-Западном федеральном округе все дороги попадают в первую область, и можно предположить, что ДП большую часть времени бывает влажным или покрытым снегом, а значит, применение нормы сухого покрытия некорректно. И наоборот, для Южного и Северо-Кавказского округов яркость сухого ДП может быть верным критерием.

Приведенная оценка является приблизительной и не учитывает такие параметры, как загруженность дорог, концентрация автомобилей по городам, длина участков наружного освещения, а также то, что скорость испарения осадков не является моментальной и ДП какое-то время будет находиться во «влажном» или «снежном» состояниях и т. д.

Специфика расчета яркости

При отсутствии программного обеспечения расчет яркости очень сложен. Но инструменты, облегчающие такой расчет, существуют: Light-in-Night Road, Dialux, Calculux и т. д. При этом Light-in-Night Road является программой отечественного производства, и расчет яркости в ней ведется, исходя из стандартизованных ДП. В остальных программах можно проводить расчет с использованием стандартизованных в Европе и/или Америке типов ДП.

Причем некоторые программы, например, Dialux, позволяют вести расчет и с нестандартными типами покрытий, когда имеются результаты измерения коэффициентов яркости покрытия в зависимости от угла падения света и угла наблюдения в формате *.rtb. Формат таких таблиц и подробности работы с ним в Dialux описан в [10]. По сути, преобразование таблицы шероховатого (мелкозернистого) ДП в данный формат позволило бы вести расчет яркости российских типов покрытий в этой программе. Но в связи с тем, что характеристики дорожных покрытий устарели, необходимость такой работы ставится под сомнение.

Light-in-Night Road работает с закрытой базой светильников. Этот момент усложняет этап проверки разработанного светодиодного светильника по критерию яркости. Поэтому в настоящее время расчет нормируемых параметров осветительных установок ведется с помощью других программ. Средняя яркость ДП рассчитывается для покрытия типа R2 или R3. Результаты расчета средней яркости для этих типов покрытий отличаются друг от друга в небольших пределах.

ДП типа R3 имеет бóльшую направленность отражения света, равномерность в этом случае всегда хуже. Так как заранее неизвестно, в какой ОУ (с каким типом покрытия) будет применяться светильник, то расчет продольной и общей равномерности рекомендуется вести исходя из худших условий: оценивать ее как для покрытия типа R3.

Таким образом, подведем итоги:

- Необходимо развивать измерительную и расчетную базу по яркости. Без этого невозможно вести разработку световых приборов для создания эффективного наружного освещения и невозможно контролировать его качество. В каждом регионе должна быть своя передвижная установка по измерению яркости с возможностью работы в автоматическом режиме.
- Результат проведенной оценки состояния ДП показал, что в рамках нашей страны требуется вести нормирование не только для сухих покрытий, но и для влажных (например, использовать существующую W-классификацию для регионов с положительным и условно нулевым СГРОИ, а российские стандартизованные типы ДП (или R-типы) — для регионов с отрицательным СГРОИ).

Литература

1. http://zadorogi.ru/analytics/data/ic_analytics/5/
2. American national standart practice for roadway lighting. IES-ANSI, PR-8.
3. ГОСТ 26824-86. «Здания и сооружения. Методы измерения яркости».
4. СП 52.13130.2011. «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*».
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/Заглавная_страница
6. http://pogoda.ru.net/climate.php
7. Автомобильные дороги. Цифры и факты. www.ring-road.ru. 2010.
8. Справочная книга по светотехнике. М.: Знак. 2006
9. http://www.gibdd.ru/
10. http://www.dial.de/DIAL/en/dialux/download/manuals.html

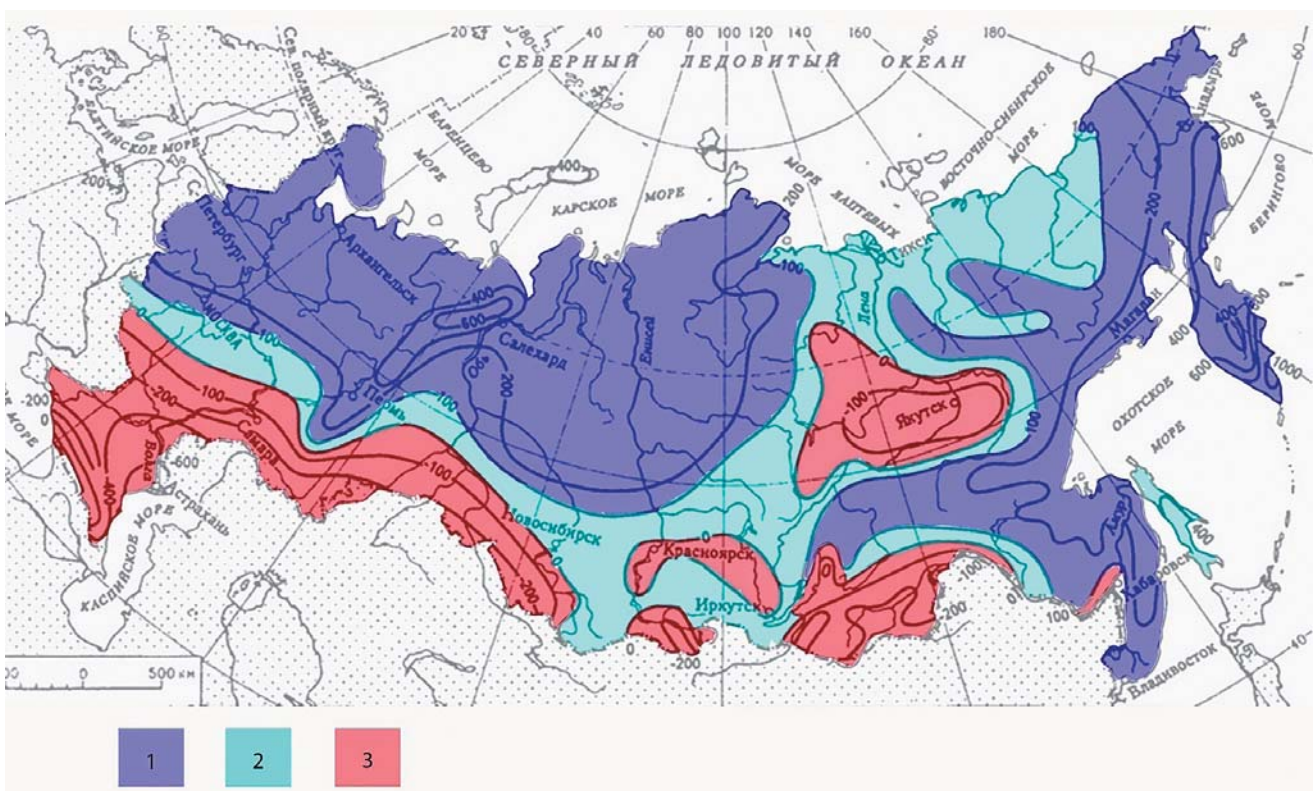

Рис. 5. Зонирование СГРОИ