

УДК 656.1

И. С. ЕВДАСЕВ, кандидат технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, А. П. МУЗОК, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВИДИМОСТИ

Представлен анализ оценок качества освещения железнодорожных переездов на основе современной европейской концепции освещенности и видимости. Приведены практические рекомендации по улучшению видимости объектов и повышению безопасности движения на переезде. Представлен светотехнический расчет в программе DIALux 4.13 для схемы двухпутного железнодорожного переезда в соответствии с требованиями ТКП 543.

Железнодорожные переезды являются зонами повышенной опасности, на которых регистрируются многочисленные случаи дорожно-транспортных происшествий (ДТП). По данным УГАИ МВД РБ, в 93 % основная причина – несоблюдение водителями транспортных средств правил дорожного движения. Однако в ряде исследований причин аварийности на железнодорожных переездах отмечается, что существуют сопутствующие причины ДТП. Например, в работе Карасевича С. Н. [1], посвященной анализу причин ДТП на железнодорожных переездах, указываются следующие:

- отсутствие доверия к устройствам переездной сигнализации вследствие несогласованности скорости движения поезда и времени закрытия переезда;
- необеспеченная видимость переезда и отсутствие своевременной информации об условиях движения в случаях, когда переезд находится за поворотом.

Система электрического освещения на железнодорожных переездах в РБ проектируется в соответствии с ТКП 45-2.04-153, ТКП 45-3.03-19, ТКП 543-2014 и отраслевыми стандартами. В 2002 году на Белорусской железной дороге введен руководящий документ РД РБ 09150.47.005-2004, который на сегодня переработан в СТБ БЧ 55.127-2019. Согласно требованиям этого стандарта организации [2] минимальная освещенность на уровне настила в границах переезда должна быть не менее: 5 лк для переезда I категории; 3 лк – II категории; 2 лк – III категории; 1 лк – IV категории.

Сравнение указанных нормативных значений освещенности железнодорожных переездов и требований к освещенности автодорог общего пользования по ТКП 45-3.03-19 [3] показывает, что освещенность автодорожного полотна нормируется значительно выше освещенности переезда IV категории и сопоставима с нормативными значениями для переездов I и II категорий. В случаях примыкания автодорог общего пользования к железнодорожному переезду, что может часто наблюдаться в населенных пунктах, такое соотношение освещенностей недопустимо. В зоне переезда, по аналогии с зоной пешеходного перехода [4], освещенность должна быть увеличена по сравнению с нормой освещения проезжей части примыкающей автодороги.

К примеру пересмотра норм освещенности железнодорожных переездов с целью их повышения на постсоветском пространстве относится разработанный в 2012 г. ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» и введенный в Российской

Федерации ГОСТ Р 54984. Нормируемые значения освещенности для вновь строящихся или реконструируемых железнодорожных переездов всех категорий повышены до 5 лк [5].

Анализ зарубежных подходов к нормированию автомобильных дорог и их «конфликтных зон», в том числе пересечений автодорог и железнодорожных путей в одном уровне, показывает, что проблема плохой видимости на железнодорожных переездах частично исходит от основ концепции нормирования по освещенности. Согласно результатам исследований, которые положены в основу CIE115 [6], при выборе критериев качества для освещения дорог для автомобильного движения обычно используется подход на основе концепции яркости. Освещенность до сих пор используется в некоторых странах, но опыт показал, что это неудовлетворительный критерий.

Человеческий глаз осуществляет различение объектов по разности яркостей (контраста) или цвета (цветового контраста). Причем эта разность зависит от ряда факторов: нахождение в поле зрения блеских источников, времени различения, возраста наблюдателя и др. В совокупности учет всех этих факторов позволяет создать более прогрессивную концепцию нормирования и оценки освещения по видимости объектов.

Важным этапом в разработке нормативных документов по дорожному освещению является переход от косвенного нормирования по яркости к прямому по видимости. Данный переход зафиксирован в CIE115 [6] и более подробно изложен в американском стандарте ANSI/IESNA RP-8-00 [7]. В качестве критерия качества освещения вводится понятие STV (Small Target Visibility), а видимость VL оценивается по разности яркостей тест-объекта и фона (полотна дороги) в реальных условиях к пороговой разности тех же величин.

Концепция нормирования по показателю видимости VL не только более эффективна по моделированию реального процесса зрения человека, но и имеет экономические преимущества за счет возможности снижения уровня средней яркости дорожного покрытия [8]. Например, в стандарте [7] отмечается, что для любого заданного уровня яркости адаптации существует максимум для отрицательной видимости VL (фон светлее объекта), но нет максимума для положительной видимости VL (фон темнее объекта). Это происходит потому, что объект не может быть темнее нулевой яркости, но при положительной видимости объект теоретически может быть бесконечно ярким. Чтобы максимизировать поло-

жительное значение VL , яркость поверхности объекта должна быть увеличена, а яркость дорожного покрытия уменьшена. Следовательно, необходимо уменьшить горизонтальную освещенность и увеличить вертикальную, что при относительно низком расположении светильников и большом шаге между опорами приведет к снижению установленной мощности.

В практике нормирования освещенности в странах СНГ принято использовать понятие контраста объекта различения с фоном [4]

$$K = \frac{L_{\phi} - L_{об}}{L_{\phi}}$$

где L_{ϕ} – яркость фона, кд/м²; $L_{об}$ – яркость объекта различения, кд/м².

Обычно контраст определяется по модулю, но также встречается понятие положительного и отрицательного контраста. При этом положительный контраст K соответствует отрицательному значению видимости VL , и наоборот. Чтобы избежать путаницы в изложении, далее в статье будет использовано только понятие зон с положительным и отрицательным контрастом.

В соответствии с типовой схемой двухпутного железнодорожного переезда по ТКП 543 [9] в программе DIALux 4.13 была создана модель осветительной установки. Расчетная схема составляется для участка дороги с нестандартной геометрией, поэтому принимается диффузное (соответствующее закону Ламберта) отражение асфальта с коэффициентом отражения 0,2 в соответствии с рекомендациями CIE115 [6].

Для оценки ослепленности водителей была использована величина порогового приращения яркости TI , %:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{cp}^{0,8}},$$

где L_{cp} – средняя яркость настила переезда относительно наблюдателя, кд; L_v – эквивалентная вуалирующая яркость,

$$L_v = 10 \sum_{j=1}^m \frac{E_{зр.j}}{Q_j^2},$$

$E_{зр.j}$ – освещенность на зрачке глаза наблюдателя от j -го осветительного прибора, лк; Q_j – угол между линией зрения наблюдателя и направлением на j -й осветительный прибор, град.

Определение критерия видимости VL осуществляется по методике ANSI/IESNA RP-8-00 [7]. В качестве объекта оценки видимости принята пластина с размерами 0,18×0,18 м, которая расположена от наблюдателя на расстоянии 83,07 м, что сопоставимо с тормозным путем легкового автомобиля при скорости 80–90 км/ч и с учетом дополнительного времени на распознавание объекта. Фоном для оценки контраста и видимости объекта принята средняя яркость на поверхности в уровне дорожного полотна и настила переезда с шириной на одну полосу и длиной 11,77 м. Такой подход к фону частично отличается от указанного в методике [7] расчета по двум крайним точкам, но является более точным по физическому смыслу, так как охватывает объект по всей периферии.

Для повышения освещенности переезда при проектировании стараются поставить опоры освещения как можно ближе к нему. В таблице 1 приведены результаты расчета показателей освещения при высоте установки светильников 6,5 м и разных расстояниях от крайнего рельса: 11,4 м (напротив стоп-линии, за зоной переезда); 7,9 м (между стоп-линией и шлагбаумом, за зоной переезда); 4,2 м (между шлагбаумом и границей настила).

Таблица 1 – Результаты расчета освещения переезда светодиодными светильниками при различном расположении опор

Расстояние от крайнего рельса	Средняя яркость переезда, кд/м ²	Освещенность переезда		Ослепленность, TI , %
		Минимальная, лк	Неравномерность $E_{мин}/E_{ср}$	
11,4	0,36	2,79	0,49	15,2
7,9	0,55	4,50	0,51	13,8
4,2	0,84	6,06	0,46	17,3

Примечание – $E_{мин}$, $E_{ср}$ – минимальная и средняя освещенности на расчетной поверхности соответственно.

Результаты расчета освещенности переезда подтверждают гипотезу, что близкое расположение осветительных опор к крайним рельсам на переезде значительно повышает уровень его освещенности. Однако результаты расчета видимости объектов при перемещении опор ближе к железнодорожному пути являются не однозначными и можно выделить ряд недостатков:

- объекты с более высокими коэффициентами отражения снижают значение видимости VL до уровня меньше единицы (неразличимы с фоном) на больших расстояниях, например, при установке опор ближе 7,9 м от крайнего рельса в зоне примерно 10 м не будут различимы с фоном объекты с коэффициентом отражения, равным коэффициенту отражения настила переезда;

- при въезде на переезд объекты и элементы обустройства в зоне оси установки дорожного знака 1.3.2 «Многопутная железная дорога» имеют положительный контраст, что может снижать их видимость при допол-

нительном действии света от фар приближающегося автомобиля, который создаёт отрицательный контраст.

Вблизи оси установки дорожного знака 1.3.2 «Многопутная железная дорога» могут быть установлены шлагбаумы и заградительные устройства. В отличие от облегченных шлагбаумов и противотаранных устройств, заградительные устройства эксплуатируются при неблагоприятных условиях, что обуславливает практическую невозможность в любой момент времени обеспечивать хорошую их отражательную способность, даже при применении светоотражающих красок. Следовательно, положительный контраст в зоне расположения таких устройств (рисунок 1) окажет негативное воздействие на безопасность движения по автомобильной дороге при подъезде к переезду. При положительном контрасте наблюдатель видит объект с теневой стороны, что при слабом яркостном контрасте не позволяет ему увидеть цветовой контраст между объектами.

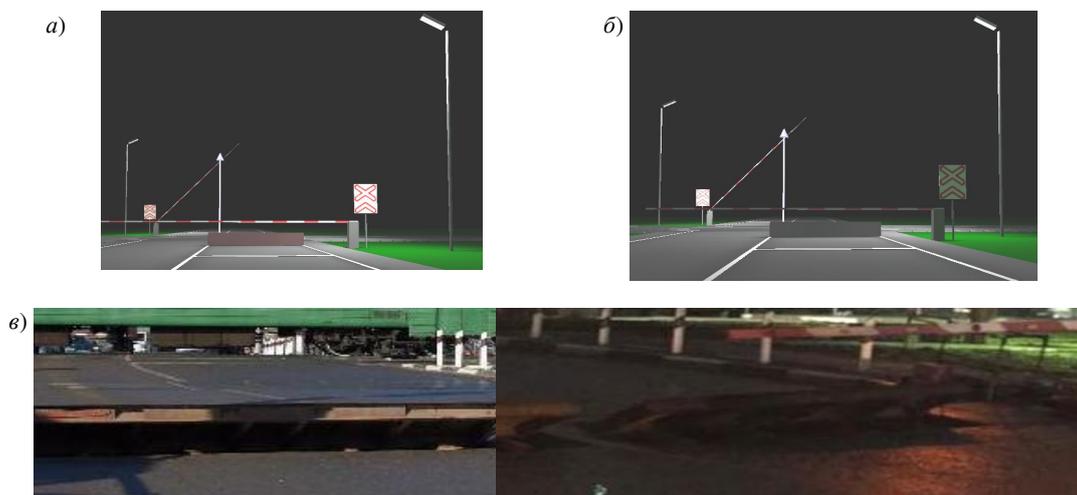


Рисунок 1 – Визуализация в DIALux заградительного устройства при отрицательном (а) и положительном (б) контрасте; фото заградительного устройства днем и ночью при положительном контрасте (в)

При расположении осветительных опор для освещения железнодорожного переезда следует учитывать следующие рекомендации:

1) располагать осветительные опоры на допустимо близком расстоянии к границе железнодорожного переезда для повышения уровней освещенности, контраста и видимости VL , а также минимизации перехода контрастов при движении объекта по переезду;

2) при наличии облегченных шлагбаумов, противотаранных и заградительных устройств располагать опоры освещения со стороны, противоположной переезду, чтобы не создавать положительный контраст устройств.

Одним из наиболее простых способов улучшения равномерности освещенности (а следовательно, повышения минимальной освещенности на поверхности дороги) является увеличение высоты установки осветительных приборов. Положительным эффектом при увеличении высоты установки осветительных приборов является снижение вуалирующей яркости светильников и ослепленности водителей. Применение опор высотой 9 м взамен 6,5 м приводит к снижению показателя TI на 15–20 %.

Оценка качества освещения при увеличении высоты установки светильников по методике видимости VL не

подтверждает эффективность в такого мероприятия. С повышением высоты установки светильников падает видимость светлых объектов, например, для объектов с коэффициентом отражения 0,5 она из области удовлетворительных значений переходит в неудовлетворительную.

Традиционно для освещения переездов, как и автодорог, применяются светильники с широкими боковыми кривыми сил света. Однако оценка показателя видимости VL показала, что в зоне приближения к переезду до первой осветительной опоры объект имеет положительный контраст с фоном. При переходе через линию оси опоры на дороге контраст изменяется на отрицательный. Если учесть, что одновременно со светильниками объект будут освещать фары движущегося автомобиля, то положительный контраст от осветительных приборов будет ухудшать видимость автомобиля за счет частичной компенсации отрицательного контраста от фар.

Вышеизложенные предположения составляют основу гипотезы о том, что светильники с асимметричной кривой сил света (рисунок 2) являются более эффективными для освещения пешеходных переходов и железнодорожных переездов.

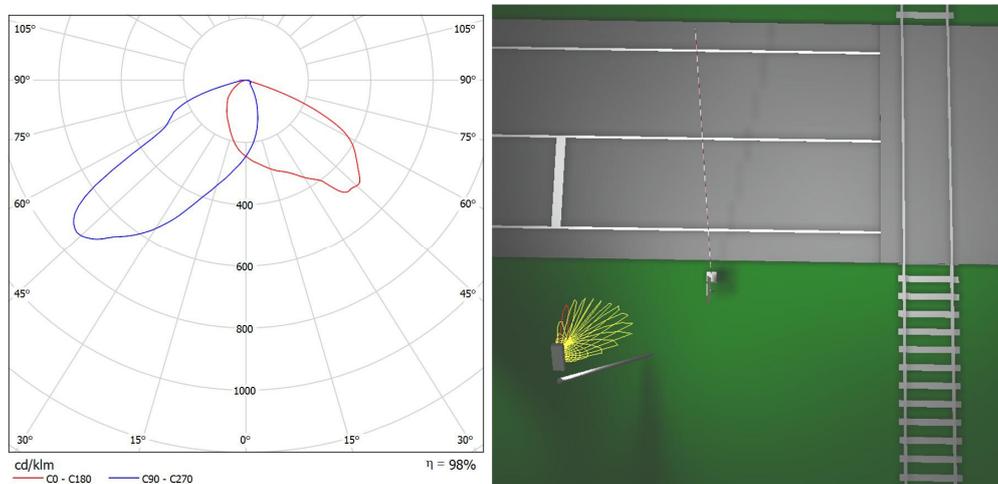


Рисунок 2 – Асимметричная кривая сил света и 3D-представление фотометрического тела осветительного прибора

Светильник с асимметричной кривой сил света по сравнению с широкой кривой сил света имеет лучшие результаты по минимальной и средней освещенности и ослепленности. Такие результаты обусловлены отсутствием излучения света светильника в сторону приближающегося транспорта по ближайшей полосе. В таком случае уменьшается площадь освещения (отсутствует освещение дорожного полотна до оси осветительной опоры).

Минимизация сил света от первого (до переезда) светильника в направлении водителя при приближении к переезду обеспечивает минимальную вуалирующую яркость, которая обусловлена только излучением второго (за переездом) светильника. Показатель пороговой яркости TI при движении в наиболее опасной зоне приближения к переезду (до первой опоры) по расчетам снизился в 6 раз, а установленная мощность осветительных приборов – в 1,5 раза при сохранении значения минимальной освещенности.

Выводы.

1 Основными нормативными документами Республики Беларусь и Евразийского экономического союза регламентируется обязательное применение искусственного освещения на железнодорожных переездах, за исключением отдельных случаев переездов IV категории. Сравнение требований Республики Беларусь и Российской Федерации к осветительным установкам переездов показало, что нормативы по минимальной освещенности переездов в соответствии с СТП БЧ 55.127 для переездов IV–III категорий занижены.

2 При сравнении результатов концепций нормирования освещения по косвенным (освещенность и яркость) и прямым (видимость VL) показателям выявлено, что даже при удовлетворительном уровне освещенности переезда и ее равномерности не всегда будет обеспечено достаточное различие объектов. Особенно это касается зон перехода между положительным и отрицательным контрастами фона и объекта. Целесообразно по примеру Международной комиссии по освещению ввести в апробацию параллельно основным методикам нормирования освещенности зон автодорог, в том числе переездов, методики нормирования видимости. Концепция нормирования по показателям видимости не только более эффективна по моделированию реального процесса зрения человека, но и имеет экономические преимущества за счет возможности снижения уровня средней яркости дорожного покрытия.

3 Для улучшения освещения железнодорожных переездов и повышения энергоэффективности осветительных установок рекомендуется:

а) с целью устранения положительного контраста на шлагбаумах или других заградительных устройствах размещать осветительные опоры в плане переезда как можно ближе к границе переезда, но не ближе 1,5–2 м до осей знаков 1.3.1 «Однопутная железная дорога» или 1.3.2 «Многопутная железная дорога»;

б) для уменьшения ослепленности водителей и увеличения равномерности освещенности переезда повысить высоту установки светильников до 8–9 м в зависимости от кривой сил света конкретного осветительного прибора путем применения складывающихся осветительных опор;

в) применение светодиодных светильников со специальными асимметричными кривыми сил света, что уменьшит зоны положительного контраста и значительно снизит показатели ослепленности водителей при движении к переезду, а также снизит расходы электроэнергии в осветительной установке.

Список литературы

1 Карасевич, С. Н. Влияние технических средств переездного обустройства и условий видимости на безопасность движения / С. Н. Карасевич // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – № 1–2 (14–15). – Гомель, 2006. – С. 124–128.

2 Искусственное освещение наружных территорий и объектов железнодорожного транспорта : СТП БЧ 55.127-2019: Утв. и введ. приказом ГО «Белорусская железная дорога» от 07.10.2019 № 921НЗ. – Минск, 2019. – 37 с.

3 Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006* (02250) : утв. и введ. приказом М-ва архит. и строит. Респ. Беларусь от 26.01.2006 № 19. – Минск, 2018. – 50 с.

4 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153-2009 (02250). – Минск, 2010. – 103 с.

5 Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля: ГОСТ Р 54984-2012 : утв. и введ. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.09.2012 г. № 302-ст [Электронный ресурс] / Консорциум кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/>. – Дата доступа : 10.06.2019.

6 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Technical report: CIE 115:2010. – 2nd Edition. – Vienna : Commission internationale DE L'ECLAIRAGE CIE Central Bureau, 2010. – 37 с.

7 Roadway lighting. American National Standard Practice for Roadway Lighting: ANSI/IESNA RP-8-00 / Note: reaffirmation of ANSI/IESNA RP-8-2000* ; Approved 2005-07-08, 2000-06-27. – 59 p.

8 Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

9 Железнодорожные переезды. Правила проектирования, устройства и эксплуатации: ТКП 543-2014 (20190). – Минск, 2014. – 74 с.

Получено 21.12.2019

I. S. Evdasev, V. N. Galushko, A. P. Muzok. Assessment the quality of lighting at level crossings by visibility and railways flows.

The article presents the development of ways to improve traffic safety at level crossings by increasing the reliability of evaluating indicators and improving artificial lighting. The traditional and progressive concepts of standardizing indicators of artificial lighting for conflict zones are considered. The lighting design is presented in the DIALux 4.13 program for a double-track railway crossing scheme in accordance with the requirements of ТКП 543.