

Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещённости в тоннеле¹

М.С. СЕНГИЗ

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция
E-mail: msaitcengiz@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрено ухудшение характеристик осветительного оборудования в среде с высоким уровнем загрязнённости. Проанализировано влияние абразивного действия окружающей среды и процесса эксплуатации на световые потоки светильников и уровень освещённости в тоннеле и проведено сравнение результатов измерений, выполненных в реальных условиях, и результатов моделирования. Расчёты, которые при использовании традиционных методов были бы сложными и труднореализуемыми, были проведены при помощи моделирующей компьютерной программы. Результаты измерений, проведённых в 60-ти точках при помощи люксметра, помещаемого на поверхность дороги внутри тоннеля в центрах участков площадью 2,266 м², сравниваются с результатами моделирования. Благодаря использовавшейся моделирующей программе отпадёт потребность в проведении измерений освещённости, которые отнимают много времени и требуют остановки движения транспорта. Затруднительное и требующее больших временных затрат техническое обслуживание осветительных установок тоннелей будет производиться за меньшее время, с большей эффективностью и без непроизводительного расходования ресурсов. Установлено, что возможна более точная оценка эргономических, экономических и эксплуатационных параметров.

Ключевые слова: освещение тоннелей, коэффициент эксплуатации, уровни освещённости.

1. Введение

Главной задачей освещения тоннелей является обеспечение безопасного

движения транспорта и днём, и ночью. Для оценки освещения тоннеля используются такие характеристики, как освещённость на поверхности дороги и стенах тоннеля², общая и продольная равномерность освещённости, ограничение блёскости, обеспечение контраста, требуемого для восприятия объектов, и частота мельканий [1–3]. Важное значение имеет эффективное использование энергии без ущерба для комфорта и трудозатрат. Интенсивное и бездумное расходование энергоресурсов вынудило людей искать новые способы экономии энергии [2–7]. Поэтому решающее значение имеет использование для освещения тоннелей высокопродуктивных и эффективных светильников, которые работают непрерывно. При проектировании освещения тоннелей учитывается расстояние безопасного торможения (РБТ). Наличие РБТ говорит о необходимости осветить тоннели, а его величина лежит в основе проектирования освещения. Для обеспечения безопасности дорожного движения необходимо, чтобы водители могли безопасно и не беспокоясь въезжать в тоннель, продолжать своё движение по тоннелю и выезжать из него. Следует точно рассчитывать уровни освещения, позволяющие водителям замечать объекты внутри тоннеля [4–9].

Определение средних сроков службы осветительных установок тоннелей и расчёт спада светового потока осветительного оборудования – непростая задача. Непросто и определить рабочие характеристики установки и периодичность её технического обслуживания. В данной работе для определения периодичности технического обслуживания осветительной установки тоннеля были проведены измерения освещённости. При этом измерения были проведены во многих точках

внутри тоннеля, с тем чтобы определить спад создаваемого осветительным оборудованием светового потока. Однако проведение подобных измерений для всех осветительных установок тоннелей потребовало бы больших трудовых и временных затрат. И даже если предметом исследований является только один тоннель, для определения периодичности технического обслуживания, оценки жизненного цикла и измерения ухудшения характеристик осветительного оборудования потребовалось бы очень много времени, что является непоправимой роскошью.

2. Ухудшение эксплуатационных характеристик осветительных установок

Попросту говоря, освещение предназначено для создания требующейся для работы освещённости. Важнейшая задача при проектировании осветительных установок состоит в том, чтобы получить достаточное количество света без создания избыточного освещения и увеличения затрат на электроэнергию [10]. Поэтому большое значение имеет знание всех факторов, непосредственно влияющих на уровень освещения в рассматриваемых условиях. Световые потоки, создаваемые осветительным оборудованием тоннеля, со временем изменяются. Ухудшение эксплуатационных характеристик светильников в процессе их эксплуатации непосредственно влияет на работу осветительных установок. Наиболее важной причиной ухудшения эксплуатационных характеристик светильников является ухудшение прозрачности рассеивателей из-за загрязнения светильников под воздействием окружающей среды. Другая причина ухудшения эксплуатационных характеристик светильников состоит в том, что в процессе работы источник света становится менее эффективным или преждевременно выходит из строя. Так как спад эксплуатационных характеристик светильников зависит от времени, то характеристики осветительной установки указываются для заданного периода. Этот период может включать в себя проведение технического обслуживания, которое восстанавливает эксплуатационные характеристики светильников и может предусматривать, например, очистку рассеивателя светильника, за-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

² Строго говоря, применительно к освещению тоннелей нормируют не освещённость, а яркость (см., например, ГОСТ Р 56334–2015. Тоннели автодорожные. Нормы и методы расчёта, а также СЕ-88–2004 [14]). – Прим. пер.

мену ламп в светильнике или же замену всех светильников после окончания их срока службы. Если спад светового потока осветительной установки был принят во внимание на стадии проектирования, то она будет обеспечивать минимальное требуемое освещение даже в конце периода между техническими обслуживаниями, когда её характеристики снижаются до минимума [11–13]. Недостаточное освещение, обусловленное уменьшением световых потоков ламп и отсутствием технического обслуживания, отрицательно сказывается на условиях зрительной работы. Использование на стадии проектирования моделирующих освещение программ очень поможет при создании осветительных установок. Однако оценка светотехническими методами степени удовлетворительности существующей осветительной установки является сложной задачей. При этом для оценки достаточности уровня освещённости в тоннеле требуется сначала измерить этот уровень. Периодическое техническое обслуживание осветительного оборудования позволяет предотвратить ухудшение его характеристик.

3. Коэффициент эксплуатации в случае освещения тоннелей

Осветительное оборудование должно обеспечить минимальный допустимый уровень освещения на всём протяжении своей работы. Загрязнение светильников приводит к спаду светового потока и повреждает поверхности их оптических компонентов, что делает необходимым проведение технического обслуживания светильников. Этот периодический спад светового потока, обусловленный совместным влиянием нескольких факторов, описывается коэффициентом эксплуатации (MF), который зависит от типа осветительной установки, условий окружающей среды и особенностей светильников. Расчёт MF следует выполнять с высокой точностью, с тем, чтобы осветительная установка тоннеля выполняла поставленные перед ней задачи, а её характеристики удовлетворяли предъявляемым требованиям даже в конце как периода между техническими обслуживани-

ями, так и срока службы установки. MF существенным образом влияет на полную стоимость осветительной установки, т.к. от него непосредственно зависит количество потребляемой энергии. В случае светильников MF представляет собой отношение полного светового потока, излучаемого светильником в конце периода между техническими обслуживаниями, к начальному значению полного светового потока этого светильника. В соответствии со стандартами, в которых MF используется применительно к освещению, осветительная установка характеризуется применяемым в ней осветительным оборудованием, условиями окружающей среды и коэффициентом эксплуатации, соответствующим заданной периодичности технического обслуживания [14]. Согласно [14], уровни освещения не должны быть ниже минимально допустимых значений, указанных в руководящих документах [14–16]. В MF входят коэффициент сохранения светового потока лампы ($LLMF$), представляющий собой отношение светового потока лампы в конце заданного промежутка времени к начальному световому потоку этой лампы. Значения $LLMF$ приводятся в каталогах производителей. Ещё одним показателем является коэффициент выживаемости лампы (LSF), представляющий собой часть от общего количества ламп, продолжающих работать через заданный промежуток времени. Значения LSF приводятся в каталогах производителей.

Коэффициент эксплуатации светильника (LMF) представляет собой отношение светового потока светильника, уменьшившегося в конце заданного промежутка времени из-за изменений конструктивных элементов светильника и воздействия окружающей среды, к начальному световому потоку этого светильника³. LMF зависит от степени защиты светильника от воздействия окружающей среды (IP) и от загрязнённости окружающей среды. Он определяется проектировщиком в соответствии с уровнем загрязнённости окружающей среды в период между техническими обслуживаниями или на основе соответствующих технических условий. MF рассчитывают по формуле:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF. \quad (1)$$

В стандартах на освещение MF определяют посредством умножения MF , соответствующего изменению светового потока, на MF светильника. Связь между MF и уровнем освещённости описывается уравнением (2) [1, 17]:

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{h^2}, \quad (2)$$

где I – приведённая сила света светильника в направлении рассматриваемой точки, кд/кЛм, ε – угол падения света, град., Φ – световой поток светильника, кЛм, h – высота светового центра светильника над дорогой, м.

4. Применение на примере освещения тоннеля

Для определения уровней освещённости в тех или иных точках осветительной установки используются разные расчётные приёмы или физические измерения. Для этого могут применяться как модели, уравнения и компьютерные программы, так и люксметры, позволяющие производить реальные измерения. Данное исследование проводилось применительно к светильникам с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) мощностью 100 Вт, установленным в тоннеле попарно на высоте 6 м. Коэффициент эксплуатации светильников с НЛВД определяется посредством умножения трёх описанных выше параметров (см. уравнение (1)). Величина коэффициента эксплуатации в случае светильников с НЛВД мощностью 100 Вт, имеющих степень защиты $IP65$, определялась посредством моделирования. Пример тоннеля с двухрядным расположением светильников [14, 16, 18] приведён на рис. 1.

4.1. Измерения

Уровни освещённости измерялись в действующем тоннеле. Чтобы исключить влияние солнечного света, измерения проводились в ночное время во внутренней зоне тоннеля. Для освещения тоннеля использовались натриевые лампы высокого давления мощностью 100 Вт. Дорога внутри тоннеля была разделена на участ-

³ МКО приводит следующее определение: Коэффициент эксплуатации светильника – это отношение КПД светильника в заданный момент времени его к начальному значению (CIE S017/E:2011 «International Lighting Vocabulary», термин 710). – Прим. пер.

ки размером $1,70 \times 1,333$ м ($2,266$ м²), и измерения производились в каждом из этих участков. На рис. 2а показано расположение точек измерения в рассматриваемом тоннеле с двумя полосами движения, а на рис. 2б изображён участок дороги, на котором проводились измерения.

4.2. Моделирование

В моделирующей программе можно задавать разные характеристики дороги, такие как система освещения (двухрядная, шахматная, осевая, тоннельная с одним рядом светильников, тоннельная с двумя рядами светильников и т.д.), категория дороги ($R1, R2, R3, R4, N1, N2, N3, N4$ и т.д.), количество полос, ширина полосы, ширина островка безопасности и класс дороги по освещению ($M1, M2, M3, M4, M5, M6$ и т.д.). Что касается характеристик осветительной установки, то при монтаже светильников на опорах или при использовании подвесных светильников могут задаваться такие параметры, как шаг между светильниками, расстояние светильника от дороги, угол наклона консоли, степень защиты IP , степень загрязнённости, периодичность чистки и коэффициент эксплуатации. Что касается светильников, то в базу данных модели можно в любой момент внести наименование светильника, угол наклона светильника (относительно поверхности дороги), мощность лампы, срок службы, световой поток, потери в ПРА и использование других ламп, то есть в модель можно ввести любые лампы [19–22]. В программе, моделирующей осветительную установку, можно легко и точно рассчитать характеристики этой установки. На рис. 3 приведены алгоритм моделирующей программы и вводимые в неё данные [21].

Характеристики рассматриваемых дороги и осветительной установки приведены в табл. 1, а в табл. 2 приведена зависимость коэффициента эксплуатации от класса защиты светильника и категории загрязнения окружающей среды [14–16].

Отображение входных данных моделирующей программой показано на рис. 4.

В данной работе вначале был проведён анализ действующей осветительной установки тоннеля, характеристики которой приведены в табл. 1. Затем эти характеристики были вве-

Рис. 1. Пример тоннеля с двухрядным расположением светильников

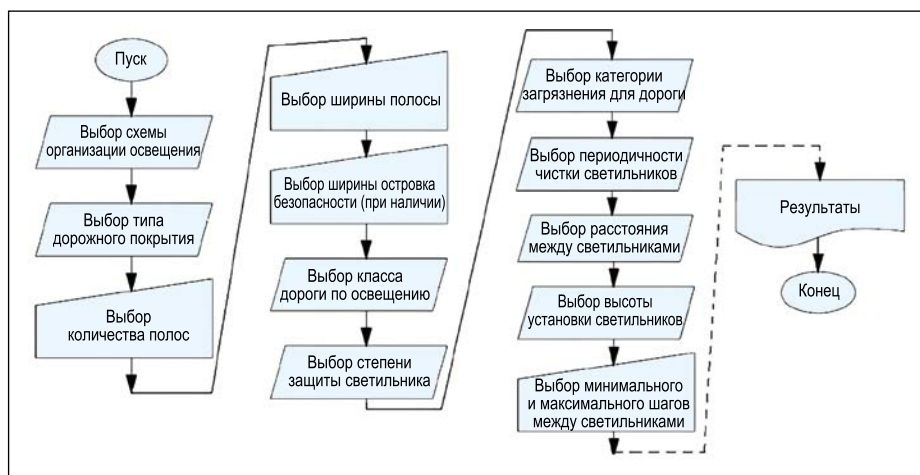
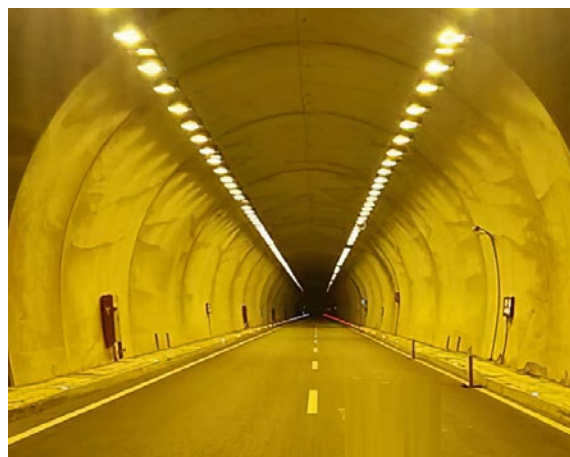


Рис. 3. Алгоритм моделирующей программы и входные данные [21]

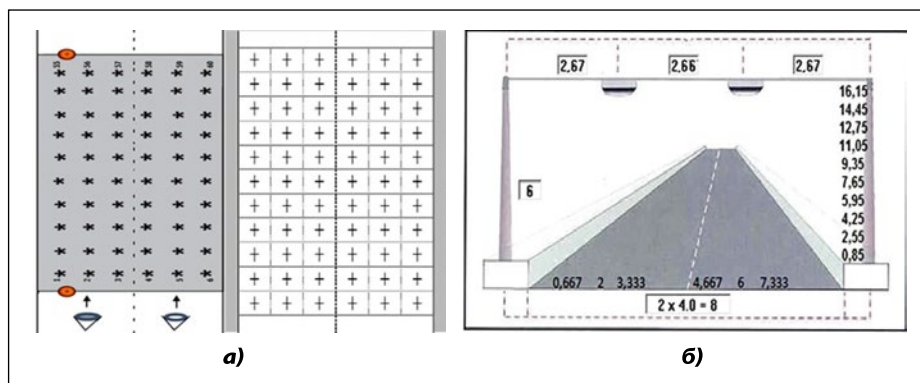


Рис. 2. Расположение точек измерения в тоннеле с двумя полосами движения (а) и участок дороги, на котором проводились измерения (б)

дены в моделирующую программу, написанную на языке *Visual Basic*. Поверхности светильников, установленных в рассматриваемом тоннеле, очищают в ходе технического обслуживания один раз в два года. Кроме того, производится замена ламп, вышедших из строя по любой причине. При этом их заменяют независимо от тоннеля, дорожных и погодных условий, интенсивности движения транспорта или MF . Измерения были про-

ведены при помощи люксметра в 60-ти выбранных заранее точках внутри тоннеля в ночное время, когда движение транспорта не оживлённое.

Что касается моделирования освещения этого тоннеля, то были проведены расчёты освещённости E в этих 60-ти точках и значений MF и минимальной, максимальной и средней освещённости (E_{min}, E_{max} и E_{avr} соответственно) для тоннеля в целом. Затем было проведено сравнение со-

Характеристики тоннеля и его осветительной установки

| Характеристики тоннеля | | Характеристики осветительной установки | |
|---|------|--|---------|
| Светильники расположены в два ряда, поперечная ориентация | | | |
| Класс дороги | R3 | Высота расположения светильника, м | 6 |
| Количество полос | 2 | Угол наклона консоли, град. | 0 |
| Ширина полосы | 4 m | Код IP | IP65 |
| Ширина дороги | 8 m | Категория загрязнения | Высокая |
| Q_o | 0,07 | Периодичность чистки, лет | 2 |
| Класс дороги по освещению | M2 | Шаг между светильниками, м | 17 |

Зависимость коэффициента эксплуатации от класса защиты светильника и категории загрязнения окружающей среды

| Класс IP оптического отсека светильника | Категория загрязнения | Продолжительность воздействия, годы | | | | |
|---|-----------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| IP2X | Высокая | 0,53 | 0,48 | 0,45 | 0,43 | 0,42 |
| | Средняя | 0,62 | 0,58 | 0,56 | 0,54 | 0,53 |
| | Низкая | 0,82 | 0,80 | 0,79 | 0,78 | 0,78 |
| IP5X | Высокая | 0,89 | 0,87 | 0,84 | 0,80 | 0,76 |
| | Средняя | 0,90 | 0,88 | 0,86 | 0,84 | 0,82 |
| | Низкая | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,88 |
| IP6X | Высокая | 0,91 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,83 |
| | Средняя | 0,92 | 0,92 | 0,89 | 0,88 | 0,87 |
| | Низкая | 0,93 | 0,93 | 0,91 | 0,90 | 0,90 |

Таблица 2 ответствующих этим 60-ти точкам результатов измерений и моделирования и рассчитано расхождение между ними. Используя при моделировании характеристики дороги и осветительной установки были взяты из табл. 1, а значения MF – из табл. 2. Результаты расчётов освещённости, которые приведены в табл. 3, получены применительно к проведению технического обслуживания один раз в два года.

Результаты измерений освещённости, проведённых в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание проводится один раз в два года, приведены в табл. 4, а в табл. 5 содержатся расхождения между этими измеренными и полученными при моделировании значениями освещённости.

Исходя из табл. 5, можно примерно оценить уменьшение освещённости в этом тоннеле при проведении технического обслуживания несколько раз в год и один раз в три года. В табл. 6 приведены результаты моделирования, проведённого применительно к случаю, когда техническое обслуживание проводится один раз в год, а табл. 7 содержит данные о различиях между этими значениями освещённости и оценочными значениями освещённости, полученными на основе табл. 5 для осуществляемого один раз в год технического обслуживания. Если применить к данным, приведённым в табл. 6, то можно получить значения освещённости и MF , приведённые в табл. 8.

Как уже отмечалось выше, исходя из табл. 5, можно примерно оценить уменьшение освещённости в этом тоннеле при проведении технического обслуживания несколько раз в год

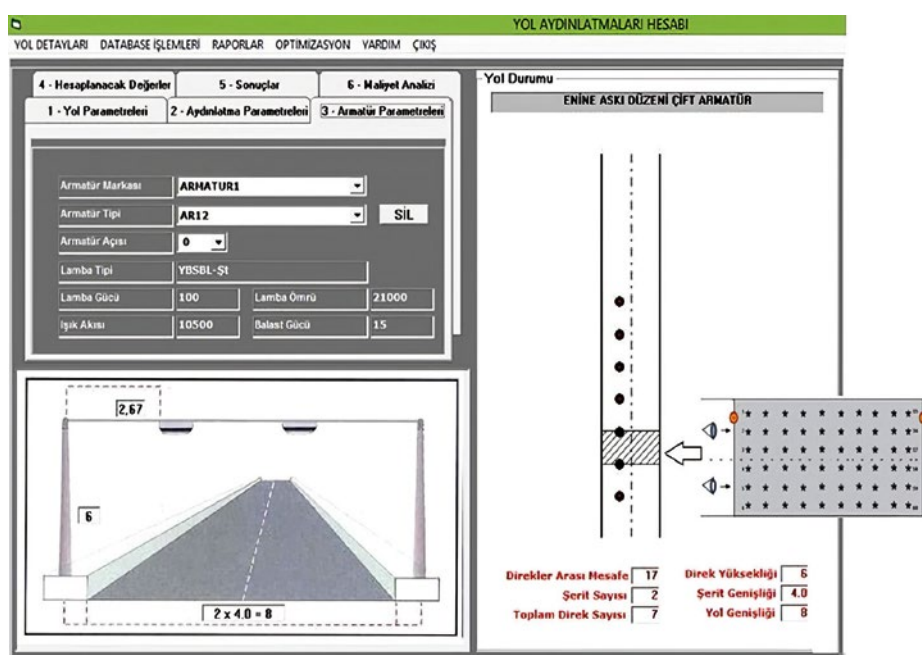


Рис. 4. Отображение входных данных моделирующей программой

Таблица 3

Значения освещённости в 60-ти точках тоннеля, выбранных для моделирования, в случае, когда техническое обслуживание осуществляется один раз в два года ($MF = 0,88$, $E_{min} = 37,54$ лк, $E_{max} = 83,65$ лк, $E_{avr} = 60,53$ лк)

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 68,73 | 58,92 | 47,32 | 38,69 | 37,54 | 37,55 | 38,72 | 47,36 | 58,99 | 68,83 |
| 2,0 | 83,54 | 77,59 | 62,83 | 52,8 | 52,12 | 52,13 | 52,83 | 62,87 | 77,66 | 83,64 |
| 3,3 | 68,57 | 69,32 | 63,25 | 59,75 | 66,55 | 66,56 | 59,78 | 63,3 | 69,39 | 68,67 |
| 4,7 | 68,57 | 69,32 | 63,25 | 59,75 | 66,55 | 66,56 | 59,78 | 63,3 | 69,39 | 68,67 |
| 6,0 | 83,54 | 77,59 | 62,83 | 52,8 | 52,12 | 52,13 | 52,83 | 62,87 | 77,66 | 83,64 |
| 7,3 | 68,73 | 58,92 | 47,32 | 38,69 | 37,54 | 37,55 | 38,72 | 47,36 | 58,99 | 68,83 |

Таблица 4

Значения освещённости, измеренные в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в два года ($MF = 0,812$, $E_{min} = 32,11$ лк, $E_{max} = 79,92$ лк, $E_{avr} = 55,87$ лк)

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 65,73 | 53,05 | 40,99 | 35,33 | 32,92 | 33,17 | 35,81 | 45,21 | 53,87 | 65,32 |
| 2,0 | 77,56 | 69,98 | 57,68 | 48,65 | 46,86 | 48,59 | 46,09 | 57,94 | 72,04 | 79,55 |
| 3,3 | 63,51 | 59,96 | 58,13 | 56,32 | 60,98 | 59,93 | 56,66 | 58,94 | 65,52 | 65,97 |
| 4,7 | 64,09 | 60,95 | 56,47 | 56,01 | 60,96 | 60,99 | 56,08 | 58,72 | 65,55 | 66,09 |
| 6,0 | 77,01 | 73,12 | 57,27 | 48,84 | 47,93 | 47,91 | 47,54 | 56,86 | 74,73 | 79,92 |
| 7,3 | 64,11 | 53,43 | 42,07 | 36,31 | 32,11 | 33,72 | 35,95 | 42,33 | 56,42 | 66,61 |

Таблица 5

Расхождение между измеренными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 0,7 | 4,37 | 9,97 | 13,38 | 8,70 | 12,31 | 11,67 | 7,53 | 4,55 | 8,68 | 5,10 |
| 2,0 | 7,17 | 9,81 | 8,20 | 7,87 | 10,11 | 6,80 | 12,76 | 7,85 | 7,24 | 4,90 |
| 3,3 | 7,39 | 13,51 | 8,10 | 5,75 | 8,38 | 9,97 | 5,23 | 6,89 | 5,59 | 3,94 |
| 4,7 | 6,54 | 12,08 | 10,72 | 6,27 | 8,41 | 8,38 | 6,20 | 7,24 | 5,55 | 3,77 |
| 6,0 | 7,83 | 5,76 | 8,85 | 7,51 | 8,05 | 8,11 | 10,02 | 9,57 | 3,77 | 4,46 |
| 7,3 | 6,73 | 9,33 | 11,10 | 6,17 | 14,47 | 10,20 | 7,16 | 10,63 | 4,36 | 3,23 |

Таблица 6

Полученные при моделировании значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в год ($MF = 0,91$, $E_{min} = 38,82$ лк, $E_{max} = 86,50$ лк, $E_{avr} = 62,59$ лк)

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 71,07 | 60,93 | 48,93 | 40,01 | 38,82 | 38,83 | 40,04 | 48,98 | 61,00 | 71,17 |
| 2,0 | 86,39 | 80,23 | 64,97 | 54,60 | 53,90 | 53,91 | 54,63 | 65,02 | 80,30 | 86,49 |
| 3,3 | 70,91 | 71,69 | 65,40 | 61,79 | 68,82 | 68,83 | 61,82 | 65,45 | 71,76 | 71,01 |
| 4,7 | 70,91 | 71,69 | 65,40 | 61,79 | 68,82 | 68,83 | 61,82 | 65,45 | 71,76 | 71,01 |
| 6,0 | 86,39 | 80,23 | 64,97 | 54,60 | 53,90 | 53,91 | 54,63 | 65,02 | 80,30 | 86,49 |
| 7,3 | 71,07 | 60,93 | 48,93 | 40,01 | 38,82 | 38,83 | 40,04 | 48,98 | 61,00 | 71,17 |

Таблица 7

Расхождение между оценочными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,7 | 2,19 | 4,99 | 6,69 | 4,35 | 6,16 | 5,83 | 3,76 | 2,28 | 4,34 | 2,55 |
| 2,0 | 3,58 | 4,90 | 4,10 | 3,93 | 5,05 | 3,40 | 6,38 | 3,93 | 3,62 | 2,45 |
| 3,3 | 3,69 | 6,76 | 4,05 | 2,88 | 4,19 | 4,99 | 2,62 | 3,44 | 2,79 | 1,97 |
| 4,7 | 3,27 | 6,04 | 5,36 | 3,14 | 4,21 | 4,19 | 3,10 | 3,62 | 2,77 | 1,88 |
| 6,0 | 3,91 | 2,88 | 4,42 | 3,75 | 4,03 | 4,05 | 5,01 | 4,79 | 1,89 | 2,23 |
| 7,3 | 3,37 | 4,66 | 5,55 | 3,08 | 7,23 | 5,10 | 3,58 | 5,32 | 2,18 | 1,61 |

Таблица 8

Оценочные значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в год

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 69,51 | 57,89 | 45,66 | 38,27 | 36,43 | 36,57 | 38,53 | 47,86 | 58,35 | 69,36 |
| 2,0 | 83,30 | 76,30 | 62,31 | 52,45 | 51,18 | 52,08 | 51,14 | 62,46 | 77,39 | 84,37 |
| 3,3 | 68,29 | 66,84 | 62,75 | 60,01 | 65,94 | 65,40 | 60,20 | 63,20 | 69,76 | 69,61 |
| 4,7 | 68,59 | 67,36 | 61,89 | 59,85 | 65,92 | 65,95 | 59,90 | 63,08 | 69,77 | 69,68 |
| 6,0 | 83,01 | 77,92 | 62,10 | 52,55 | 51,73 | 51,73 | 51,89 | 61,91 | 78,78 | 84,56 |
| 7,3 | 68,67 | 58,09 | 46,21 | 38,78 | 36,01 | 36,85 | 38,61 | 46,37 | 59,67 | 70,02 |

Таблица 9

Полученные при моделировании значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется три раза в год ($MF = 0,83$, $E_{min} = 35,41$ лк, $E_{max} = 78,89$ лк, $E_{avr} = 57,09$ лк)

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 64,83 | 55,57 | 44,63 | 36,49 | 35,40 | 35,41 | 36,52 | 44,67 | 55,64 | 64,91 |
| 2,0 | 78,80 | 73,18 | 59,26 | 49,80 | 49,16 | 49,17 | 49,83 | 59,30 | 73,24 | 78,89 |
| 3,3 | 64,67 | 65,38 | 59,65 | 56,36 | 62,77 | 62,78 | 56,39 | 59,70 | 65,45 | 64,77 |
| 4,7 | 64,67 | 65,38 | 59,65 | 56,36 | 62,77 | 62,78 | 56,39 | 59,70 | 65,45 | 64,77 |
| 6,0 | 78,80 | 73,18 | 59,26 | 49,80 | 49,16 | 49,17 | 49,83 | 59,30 | 73,24 | 78,89 |
| 7,3 | 64,83 | 55,57 | 44,63 | 36,49 | 35,40 | 35,41 | 36,52 | 44,67 | 55,64 | 64,91 |

Таблица 10

Расхождение между оценочными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0,7 | 6,56 | 14,96 | 20,07 | 13,05 | 18,47 | 17,50 | 11,29 | 6,83 | 13,02 | 7,65 |
| 2,0 | 10,75 | 14,71 | 12,30 | 11,80 | 15,16 | 10,20 | 19,14 | 11,78 | 10,86 | 7,35 |
| 3,3 | 11,08 | 20,27 | 12,15 | 8,63 | 12,57 | 14,96 | 7,85 | 10,33 | 8,38 | 5,91 |
| 4,7 | 9,81 | 18,12 | 16,08 | 9,41 | 12,62 | 12,57 | 9,30 | 10,85 | 8,32 | 5,65 |
| 6,0 | 11,74 | 8,64 | 13,27 | 11,26 | 12,08 | 12,16 | 15,03 | 14,36 | 5,66 | 6,69 |
| 7,3 | 10,10 | 13,99 | 16,64 | 9,25 | 21,70 | 15,30 | 10,75 | 15,95 | 6,54 | 4,84 |

и один раз в три года. В табл. 9 приведены результаты моделирования, проведённого применительно к случаю, когда техническое обслуживание проводится один раз в три года, а табл. 10 содержит данные о разли-

чиях между этими значениями освещённости и оценочными значениями освещённости, полученными на основе табл. 5 для осуществляемого один раз в три года технического обслуживания. Если содержащиеся в табл. 10

различия применить к данным, приведённым в табл. 9, то можно получить значения освещённости и MF , приведённые в табл. 11.

Изменение характеристик освещения в случае светильников с НЛВД

Оценочные значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в три года ($MF = 0,734$, $E_{min} = 27,72$ лк, $E_{max} = 73,62$ лк, $E_{avr} = 50,50$ лк)

| Координаты, м | 0,8 | 2,5 | 4,2 | 5,9 | 7,6 | 9,3 | 11,0 | 12,7 | 14,4 | 16,1 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,7 | 60,57 | 47,26 | 35,67 | 31,73 | 28,86 | 29,21 | 32,40 | 41,62 | 48,39 | 59,95 |
| 2,0 | 70,32 | 62,41 | 51,97 | 43,92 | 41,71 | 44,15 | 40,29 | 52,31 | 65,29 | 73,09 |
| 3,3 | 57,51 | 52,13 | 52,41 | 51,49 | 54,88 | 53,39 | 51,96 | 53,53 | 59,96 | 60,94 |
| 4,7 | 58,33 | 53,53 | 50,06 | 51,06 | 54,85 | 54,89 | 51,14 | 53,22 | 60,01 | 61,11 |
| 6,0 | 69,54 | 66,85 | 51,39 | 44,19 | 43,22 | 43,19 | 42,34 | 50,79 | 69,10 | 73,62 |
| 7,3 | 58,28 | 47,80 | 37,20 | 33,12 | 27,72 | 29,99 | 32,59 | 37,54 | 52,00 | 61,77 |

мощностью 100 Вт показано на рис. 5, из которого следует, что:

- К концу 1-го года MF уменьшается до 84,68 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 91 %.
- К концу 2-го года MF уменьшается до 80,26 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 88 %.
- К концу 3-го года MF уменьшается до 73,4 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 83 %.

Однако так как через три года очистка рассеивателей светильников не приводит к удовлетворительным результатам из-за спада световых потоков ламп, то следует произвести замену ламп. Вместо замены разбитых или вышедших из строя ламп, следует заменить все, даже работоспособные, лампы, проработавшие 3 года. Из каталога производителя следует, что из-за спада светового потока НЛВД мощностью 100 Вт нельзя использовать после примерно 26000 ч горения (что в случае тоннельного освещения соответствует трём годам эксплуатации). Поэтому замене подлежат все лампы.

Как следует из рис. 5, в то время, как различие между значениями MF , соответствующими 1-му году и 2-м годам (разница в продолжительности ра-

боты осветительной установки – 365 дней), составляет 6,3 %, то различие между значениями MF , соответствующими 2-му году и 3-му годам (разница в продолжительности работы осветительной установки также равна 365 дней), составляет уже 7,8 %. Это можно объяснить быстрым спадом E_{avr} в результате износа ламп и прочего оборудования, что подтверждается результатами моделирования и прогнозирования.

5. Результаты

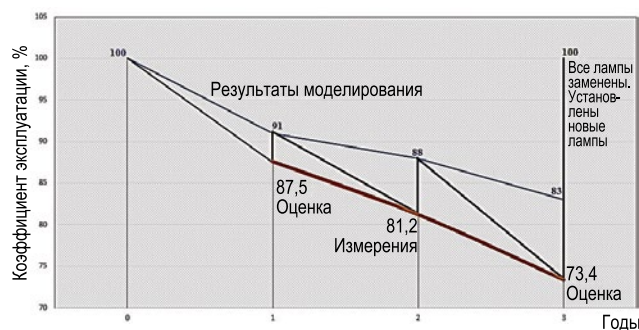
Эти оценки помогут улучшить работу осветительной установки благодаря своевременной реакции на информацию как о выходе из строя осветительного оборудования, так и о достаточности создаваемого им светового потока, что позволит предотвратить непроизводительный расход электроэнергии, которая не преобразуется в свет. Так как моделирование облегчает определение времени, за которое происходит загрязнение осветительного оборудования, то оно способствует принятию решения о периодичности технического обслуживания на основе оценок соответствующих расходов на использование рабочей силы и энергозатрат. Это позволяет предотвратить потребление энергии,

которая не преобразуется в свет из-за уменьшения производительности осветительного оборудования.

В данном исследовании показана важность проектирования осветительных установок, являющихся важной частью закрытых пространств, таких как тоннели, и проанализировано влияние на работу этих установок ухудшения со временем характеристик эксплуатируемого в подобных условиях осветительного оборудования. Влияние MF на освещение тоннелей было проанализировано посредством сравнения результатов моделирования с результатами реальных измерений. Прогнозы для тоннелей, в которых техническое обслуживание осуществляется один раз в год и один раз в три года были сделаны на основе результатов измерений, проведённых в 60-ти точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в два года. Было установлено, что относительно точные значения MF в случаях технического обслуживания, осуществляемого один раз в год и один раз в три года, можно получить без проведения реальных измерений. Потери, имеющие место, если техническое обслуживание осветительной установки тоннеля осуществляется один раз в год и один раз в три года, можно определить на основе различий между результатами моделирования и физических измерений.

Можно сделать вывод, что удачным способом определения MF для осветительных установок тоннелей является использование результатов моделирования совместно с результатами измерений, проведённых применительно к осветительным установкам тоннелей, работающим в таких же условиях (загрязнённость, климат, температура, влажность, ветер, плотность

Рис. 5. Значения коэффициента эксплуатации в случае светильников с НЛВД мощностью 100 Вт



движения транспорта и т.д.). Оценки, основанные на результатах, полученных применительно к смоделированной окружающей среде, позволят облегчить и ускорить процесс принятия решений, так как остановка движения транспорта и проведение измерений в тоннелях с оживлённым движением весьма затруднительны и занимают много времени.

Правильность расчёта *MF* имеет решающее значение для создания нужной дорожной осветительной установки и сохранения её работоспособности даже в конце периода между техническими обслуживаниями или в конце срока службы этой установки.

MF играет важную роль в формировании полной стоимости осветительной установки, так как от него напрямую зависит энергопотребление. Требуется определить, какой из вариантов является более экономичным с учётом энергопотребления и стоимости ламп и их замены. При сопоставлении энергоэффективности следует также учитывать капитальные затраты и затраты на техническое обслуживание установки.

Увеличение коэффициента эксплуатации, который используется в качестве множителя при определении эксплуатационных характеристик осветительной установки, приводит к увеличению энергоэффективности за счёт уменьшения энергопотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Özkaya, M. Aydınlatma Tekniği, Birsan Yayinevi, İstanbul, 91.– 1994.
2. Terri, E., Chenani, S.B., Rasanen R.S., Advancement in Road Lighting // Light & Engineering.– 2018. – Vol. 26, No. 1. – P. 99–109.
3. Бозорг Ченани С., Ряснен Р.-С., Тетри Е. Состояние и перспективы развития дорожного освещения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 15–22.
4. Barua, P., Mazumdar, S., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S. Road Classification Based Energy Efficient Design and its Validation for Indian Roads // Light & Engineering.– 2018. – Vol. 26, No. 2. – P. 110–121.
5. Чакрабурти С., Баруа П., Бхаттачарджи С., Мазумдар С. Энергоэффективное проектирование установок дорожного освещения на основе классификации индийских дорог по освещению // Светотехника.– 2018.– № 2. – С. 83–90.
6. Iacomussi, P., Rossi, G., Soardo, P. Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting // Light & Engineering.– 2012. – Vol. 20, No. 4. – P. 55–63.
7. Росси Д., Соардо П., Якомусси П. Дорожное освещение: экономия энергии и сов-

местимость с окружающей средой // Светотехника.– 2012.– № 2. – С. 32–39.

8. Van Bommel, W., Van Den Beld, G., Van Ooyen M. Industrial Light and Productivity // Lighting & Engineering.– 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 14–21.

9. Ван Боммель В., Бельд Г., Оойжен М. Промышленное освещение и производительность труда // Светотехника.– 2003.– № 1. – С. 8–12.

10. Güler, Ö., Onaygil, S. The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting // Lighting Research and Technology.– 2002. – Vol. 35. – P. 199–215.

11. Jantzen, R. Flimmerwirkung der Verkehrsbeleuchtung // Lichttechnik.– 1960. – No. 12. – P. 211.

12. Schreuder, D.A. The lighting of vehicular traffic tunnels // Thesis, University of Technology Eindhoven, 1964.

13. Walther, R. Tunnel lighting systems // International Light Review.– 1977. – Vol. 4 – P. 112.

14. CIE Technical Report, CIE-88–2004. Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses [R]. 2004.

15. CIE Technical Report, CIE-154–2003. The Maintenance of Outdoor Lighting Systems. 2003.

16. CIE Technical Report, CIE-194–2011. On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting. 2011.

17. TS EN13201–2, Road lighting – Part 2: Performance requirements (Effective date: 09.12.2016).

18. Master Son-T Apia PlusXtra, HPS-100, 2018. https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp928483300095-pss-tr_tr, Accessed on 14 June 2018.

19. Onaygil, S. TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri-Gölbaşı Eğitim Tesisleri // Yol aydınlatma Semineri 23–24 Ocak 2007.

20. Onaygil, S. TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri, TEDAŞ Basımevi, Ankara, 2007. P. 1–70.

21. Cengiz, M.S. A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance In Tunnel Lighting // Light & Engineering.– 2019. – Vol. 27, No. 3. (In press).

22. Onaygil, S. Yol aydınlatma projelerinde yol sınıfının belirlenmesinin önemi // Kaynak Elektrik Dergisi.– 1998. – Vol. 12. – P. 125–132.



Мехмет Саид Сенгуз (Mehmet Said Cengiz), Ph.D. (2016 г.). Директор по исследованиям и разработкам профессионально-технического училища Университета Битлис Ерен, Турция

Архитектурное освещение сквера Сурикова в Красноярске

Сквер Сурикова стал одним из общественных пространств Красноярска, которые вошли в городскую программу благоустройства перед Универсиадой. Задачей МСК «БЛ ГРУПП» стало архитектурное освещение сквера. Был использован широкий спектр архитектурных светильников ТМ «GALAD». Модельная линейка «Аврора LED» была представлена сразу 3 модификациями. Ряд светильников имел комплектацию RGBW-светодиодами, которые необходимы для воплощения цветодинамических сценариев. Также были установлены уличные светильники «Селена LED» и несилловые фланцевые гранёные опоры ТМ «OPORA ENGINEERING».



Во время Универсиады сквер Сурикова стал одним из центров культурной программы. Здесь прошли концерты творческих коллективов, также гости Игр узнали о сибирском фольклоре и традиционных спортивных играх. Фотография показывает, как наше освещение изящным кружевом обнимает пешеходные дорожки, скамейки, арт-объекты и, конечно, бюст В.И. Сурикова, созданный в 1954 г. скульптором Л. Эйдлиным и архитектором В. Кирхогланни. Сквер – одно из самых поэтичных мест Красноярска. И свет делает его красоту ещё более рельефной, словно лепные украшения на фасаде здания.

Этот проект откликается на творческое наследие В.И. Сурикова. В его работах, таких как «Благовещение», «Исцеление слепорождённого Иисусом Христом» и многих других, свет – символ исцеляющей благодати.

bl-g.ru
29.04.2019