

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПУТЕЙ И ГОРЛОВИН СОРТИРОВОЧНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Бацева Н.Л.¹, Бацев А.А.¹, Преображенский А.Н.²

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30), e-mail: DAVEK-19K@yandex.ru

²ОАО «Томгипротранс», Томск, Россия (634041, г. Томск, проспект Кирова, 23), e-mail: pan@tomgoprotrans.ru

Проведен технический и экономический анализ реконструкции системы освещения сортировочной железнодорожной станции. Были рассмотрены два варианта реконструкции. В первом варианте предлагалось выполнить систему освещения ртутными консольными световыми приборами совместно с ртутными торцевыми светильниками, а во втором – светодиодными осветительными комплексами. Учитывались следующие исходные данные: технические характеристики и месторасположение световых приборов, требуемый уровень освещенности, режим работы световых приборов, перечень выполняемых работ, капитальные вложения в варианты реконструкции, тариф на оплату электрической энергии. Анализ технической эффективности базировался на светотехническом расчете при использовании меридиональной системы фотометрирования. В результате было выявлено, что светодиодные осветительные комплексы дают равномерную нормативную освещенность путей и горловин без возникновения темных зон и слепящего эффекта от освещения. Для анализа экономической эффективности использована простая норма прибыли, так как рассматриваемые варианты реконструкции неравноценны как по светотехническому эффекту, так и по сроку службы световых приборов. Результаты расчета простой нормы прибыли показали, что оба варианта не являются экономически привлекательными, так как в первом варианте издержки на амортизацию в 2,5 раза больше, чем во втором. В свою очередь капитальные вложения во второй вариант реконструкции в 2,5 раза больше, чем в первый.

Ключевые слова: сортировочная железнодорожная станция, световой прибор, светодиодный осветительный комплекс, светотехнический расчет, зона освещенности, эффективность, простая норма прибыли.

THE ASSESSMENT OF OUTDOOR LIGHTING IMPROVEMENT EFFICIENCY OF TERMINAL YARD TRACKS AND LEADS

Batseva N.L.¹, Batsev A.A.¹, Preobrazhenskiy A.N.²

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, street Lenina, 30), e-mail: DAVEK-19K@yandex.ru

²«Tomgiprotrans», Tomsk, Russia (634041, Tomsk, street Kirova, 23), e-mail: pan@tomgoprotrans.ru

The technical and economical assessments of terminal yard tracks and leads outdoor lighting are presented. Two versions of outdoor lighting improvement are considered. In the first version it is suggested to realize the outdoor lighting by mercury overhanging fixtures with mercury terminal fixtures simultaneously. In the second one the outdoor lighting should be done by ledstrip illumination system. Following initial data are taken into account: the technical features and location of fixtures, required level of illumination, fixture operating mode and list of provided works, investments and amount of charge. The technical assessment is based on lighting design when the meridional photometrical system is utilized. The result is that regular standardizing illumination of terminal yard tracks and leads without lightless zones and blinding illuminative glare is achieved by ledstrip illumination system. The profitability ratio as the efficiency indicator is used since covered versions are unequaled both lighting effect and fixture service life. The profitability ratio calculations are shown that both versions are not favorable economically due to big depreciation expenses in the first version and large investments in the second one.

Keywords: terminal yard, fixture, ledstrip illumination system, lighting design, illuminated zone, efficiency, profitability ratio.

Результаты бурного развития оптоэлектронной промышленности должны в первую очередь отражаться на масштабных промышленных объектах, которые позволяют реализовывать различные технические и технологические решения. Примером такого промышленного объекта является ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»),

перед которым стоят многочисленные технологические задачи, в том числе и задача внедрения светодиодной техники для освещения открытых площадок, где производятся технологические операции: сортировочных станций; пунктов приема грузов; контейнерных площадок.

В общем случае задача наружного освещения на таких объектах состоит в том, чтобы дать возможность персоналу определить пространственное расположение и состояние движения подвижного состава, препятствия, мешающие безопасному движению, железнодорожные сигналы, а также обеспечить безопасное выполнение работ.

В настоящее время для освещения путей и горловин существующих сортировочных железнодорожных станций на участке Междуреченск – Тайшет Красноярской железной дороги используются ртутные консольные световые приборы (СП) наружного исполнения (РКУ) с дуговой ртутной лампой, что приводит к значительному расходу электрической энергии, поэтому задача оптимизации электропотребления является актуальной.

Следует отметить, что реконструкция системы освещения железнодорожных сортировочных станций является непростой задачей, так как необходимо совместить два условия: осветить объект, где перемещаются поезда, переставляются вагоны, осуществляются ремонтные работы, и вместе с этим применять только те СП, которые одобрены к использованию ОАО «РЖД». На сегодняшний день такими СП все еще остаются светильники РКУ, используемые совместно с ртутными консольными торцевыми светильниками для дополнительного ригельного освещения, а также светодиодные осветительные комплексы (СОКр).

Цель исследования

Целью исследования является анализ технической и экономической эффективности реконструкции для двух вариантов проектирования систем освещения: вариант 1 – система освещения выполнена с помощью СП РКУ серии «Гелиос», используемых совместно со СП РКУ серии «Филиппок» для дополнительного ригельного освещения, а вариант 2 – с помощью СОКр5-100. Анализ проведен на примере реконструкции системы освещения железнодорожной сортировочной станции Мана на участке Междуреченск – Тайшет Красноярской железной дороги. Выбор станции обусловлен строительством вторых железнодорожных путей на ее территории.

Материал для проведения исследования

Для проведения анализа технической и экономической эффективности необходим определенный состав исходных данных.

1. Перечень работ. При проведении реконструкции предусмотрены следующие виды работ: 1) демонтаж существующих СП с жестких поперечин контактной сети; 2) подвес

проводов СИП-2 по опорам контактной сети; 3) монтаж новых СП на жестких поперечинах контактной сети; 4) установка систем управления освещением; 5) пусконаладка системы управления освещением и электроснабжением; 6) демонтаж существующих осветительных мачт.

2. Эскиз объекта с указанием размеров и высот затеняющего оборудования. На рис. 1а показан эскиз установки СП РКУ21-250-005 серии «Гелиос» (1) совместно с РКУ18-70-001 серии «Филиппок» (2), а на рис. 1б – вид установки СОКр5-100 на территории станции Мана для освещения железнодорожных путей с движущимися по рельсам или стоящими подвижными составами, выполненный согласно [4; 5]. Установка СП будет произведена по жестким поперечинам в каждом междупутье через одну поперечину, расстояние между которыми 100 м. Приборы должны освещать боковые и торцевые поверхности подвижного состава, а также пространство рядом с подвижным составом и между ними. На рис. 1 показаны: экваториальный угол C , отсчитываемый относительно выбранного нулевого направления; меридиональный угол γ между фотометрической осью и вектором силы света СП I в системе фотометрирования (C - γ); угол ϵ – между падающим лучом и нормалью к освещаемой поверхности в произвольной точке; высота H от земляного полотна до верхней части пролетного строения жесткой поперечины контактной сети; точка S – световой центр относительно произвольной расчетной точки P с координатами (x_p, y_p) ; точка $F(x_f, y_f)$ – проекция светового центра на плоскость железнодорожного полотна.

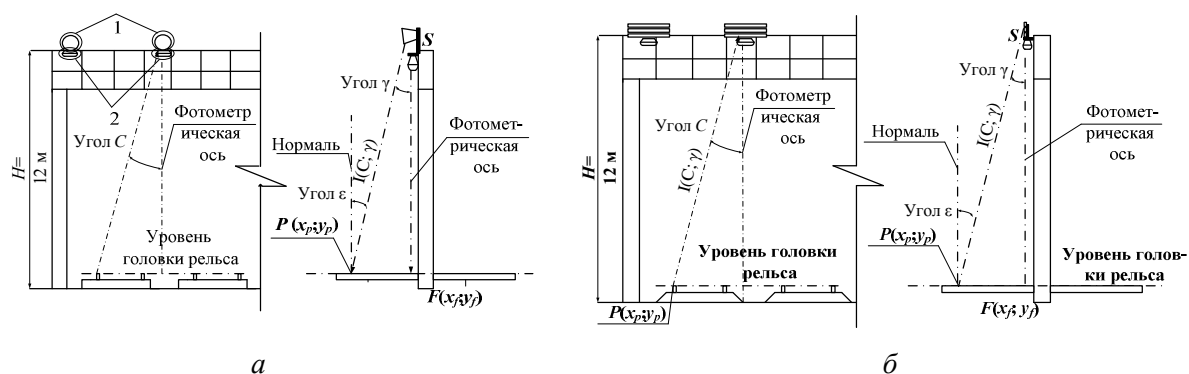


Рис. 1. Эскиз установки СП

На станции отсутствуют надземные пешеходные мосты и иные сооружения, затеняющие освещение.

3. Требуемый уровень освещенности. В соответствии с [3] для путей (парков) приема и отправления поездов, пассажирских и пассажирских технических станций норма освещенности составляет 5 лк при горизонтальной плоскости нормирования освещенности на уровне поверхности междупутья.

4. Условия окружающей среды. В соответствии с [6] территория станции относится к первой строительно-климатической зоне, подрайон IV. Климат резко континентальный,

зимы суровые с сильными ветрами, метелями, устойчивым снежным покровом, а лето жаркое и непродолжительное.

5. Технические характеристики и количество устанавливаемых СП приведены в табл. 1, а на рис. 2 а-в приведены кривые силы света (КСС) для каждого из СП, определенные по данным лабораторных исследований заводов-изготовителей.

Таблица 1

Технические характеристики и количество СП

Наименование СП	Номинальная мощность, Вт	Напряжение сети, В	Коэффициент мощности	Степень защиты	Количество, шт.
РКУ21-250-005	250	220	0,85	IP23	95
РКУ18-70-001	70	220	0,85	IP53	95
СОКр	62	220	0,95	IP66	95

В состав СОКр входят светильники DTT-LINE50-12-006-220-СОКр; DTT-LINE50-12-010-220-СОКр; DTT-LINE50-12-4515-220-СОКр; DTT-ДБО-10-6S4E-220-СОКр.

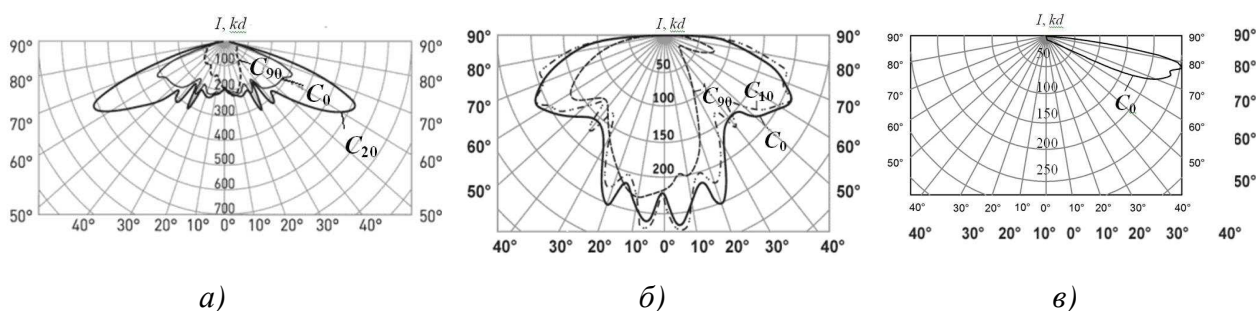


Рис. 2. Кривые силы света для СП: а) РКУ21-250-005; б) РКУ18-70-001; в) СОКр5-100.

6. Режим работы СП. Светильники находятся в работе только в темное время суток.

7. Капитальные вложения в каждый из вариантов составили $K_{\Sigma 1} = 1584,57$ тыс. руб. и $K_{\Sigma 2} = 3957,2$ тыс. руб. Тариф на оплату электроэнергии $\tau = 2,43$ руб/кВт·ч.

Методы исследования

При анализе технической эффективности СП необходим светотехнический расчет, позволяющий определить зону освещенности исследуемого объекта. В рассматриваемом случае параметры СП известны, поэтому решается прямая задача, сводящаяся к расчету освещенности и сравнению полученного значения с нормативным значением. Для светотехнического расчета использовалась меридиональная система фотометрирования (C, γ), принятая для уличных асимметричных СП, при ограничениях: СП рассматриваются как точечные источники света; поглощение и рассеяние света в атмосфере не учитывается [1]. Алгоритм светотехнического расчета в направлении к одной расчетной точке P проведен в следующей последовательности.

1. Определяют координаты x, y расчетной точки P относительно проекции светового центра F на плоскость железнодорожного полотна по формулам:

$$x = x_p - x_f; \quad y = y_p - y_f. \quad (1)$$

2. Определяются с величинами углов: δ – между фотометрической осью светильника и направлением на надир при вращении СП относительно главной поперечной оси из положения при измерении (угол наклона СП при расчете); Θ_f, Θ_m – между выбранной базовой осью СП в составе осветительной установки относительно системы координат железнодорожного полотна и в системе фотометрирования $C-\gamma$, при которых проводят измерения распределения силы света (углы при использовании и при измерении); ψ – между фотометрической осью СП и направлением на надир при вращении СП относительно главной продольной оси в системе фотометрирования $C-\gamma$, при котором проводят измерения распределения силы света (угол поворота). Величины углов для рассматриваемых СП приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины углов

Тип светильника	Угол закрепления светильников	δ , град	Θ_f , град	Θ_m , град	ψ , град
СОКр 5-100DTT-LINE 50-12-006	78	78	78	78	78
DTT-LINE 50-12-010	70	70	70	70	70
DTT-LINE 50-12-4515	60	60	60	60	60
DTT-ДБО-10	10	10	10	10	10
РКУ21-250-003	45	45	45	45	45

3. Определяют координаты x', y' и H' расчетной точки P в системе координат СП по формулам:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos \psi \cdot y \cdot \sin \delta \cdot \sin \psi; & y' &= y \cdot \cos \delta - H \cdot \sin \delta; \\ H' &= -x \cdot \cos \psi \cdot y \cdot \sin \delta \cos \psi + H \cdot \cos \delta \cdot \cos \psi. \end{aligned} \quad (3)$$

4. Вычисляют экваториальный и меридиональный углы. Экваториальный угол в рассматриваемом случае равен азимутальному углу ϕ между базовым направлением дороги и линией, проходящей через расчетную точку и проекцию светового центра СП на поверхность дороги – $C = \phi$. Величины азимутального и меридионального углов зависят от положения расчетной точки в системе координат x', y' и H' .

5. Рассчитывают значение силы света в системе $(C, \gamma) - I(C, \gamma)$ по направлению к расчетной точке, для чего вначале находят ту ячейку сетки углов на рис. 2, в которую попало

направление, проверяя выполнение неравенств: $C_i \leq C \leq C_{i+1}$ при $i=1, 2, \dots, m_i-1$ и $\gamma_j \leq \gamma \leq \gamma_{j+1}$ при $j=1, 2, \dots, n_j-1$, где m_i и n_j – число узлов сетки по углам C и γ соответственно, линейно интерполируют по углу C

$$\begin{aligned} I(C, \gamma_j) &= I(C_i, \gamma_j) + K_C [I(C_{i+1}, \gamma_j) - I(C_i, \gamma_j)]; \\ I(C, \gamma_{j+1}) &= I(C_i, \gamma_{j+1}) + K_C [I(C_{i+1}, \gamma_{j+1}) - I(C_i, \gamma_{j+1})], \end{aligned} \quad (4)$$

где $K_C = (C - C_i) / (C_{i+1} - C_i)$ – коэффициент интерполяции по углу C ,

а затем по углу γ

$$I(C, \gamma) = I(C, \gamma_j) + K_\gamma [I(C, \gamma_{j+1}) - I(C, \gamma_j)], \quad (5)$$

где $K_\gamma = (\gamma - \gamma_j) / (\gamma_{j+1} - \gamma_j)$ – коэффициент интерполяции по углу γ .

6. Определяют освещенность в точке $P - E_P$:

$$E_P = \frac{I \cos \varepsilon}{R^2}, \quad (6)$$

где R – расстояние от точки S до точки P .

Наряду с анализом технической эффективности осуществляется оценка экономической эффективности предлагаемых решений. Следует отметить, что варианты реконструкции не являются равноценными как по светотехническому эффекту, так и по сроку службы СП, поэтому для анализа экономической эффективности применим критерий, относящийся к простым (статическим) методам оценки – простая норма прибыли (рентабельности), определяемая по формуле из [2]:

$$R = \frac{\Pi_{чт}}{K}, \quad (7)$$

где $\Pi_{чт}$ – величина чистой прибыли; K – суммарные капитальные вложения в проект.

Сравнивая полученное значение рентабельности с минимальным уровнем доходности, приходят к заключению о целесообразности инвестирования в проект.

Результаты исследования и их обсуждение

По формулам (1-6) были проведены расчеты для каждой точки освещаемой поверхности и получены зоны освещенности станции Мана, представленные на рис. 3 и 4. Зоны следует интерпретировать следующим образом: белая – 5 лк, красная – 4,4 лк, оранжевая – 3,75 лк, желтая – 3,13 лк, зеленая – 2,5 лк, голубая – 1,88 лк, синяя – 1,25 лк и фиолетовая – 0,63 лк.

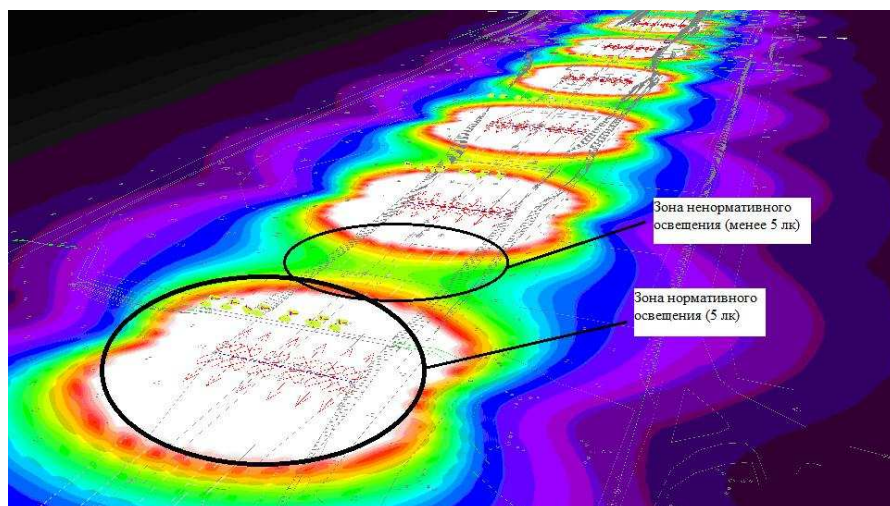


Рис. 3. Зоны освещенности станции Мана светильниками PKY21-250-005 и PKY18-70-001

Наличие зон ненормативного освещения говорит о том, что светильники PKY21-250-005 совместно с PKY18-70-001 не могут обеспечить необходимый уровень освещенности путей и горловин, что приведет к возникновению слепящего эффекта для машиниста и неприемлемо по правилам, установленным ОАО «РЖД».

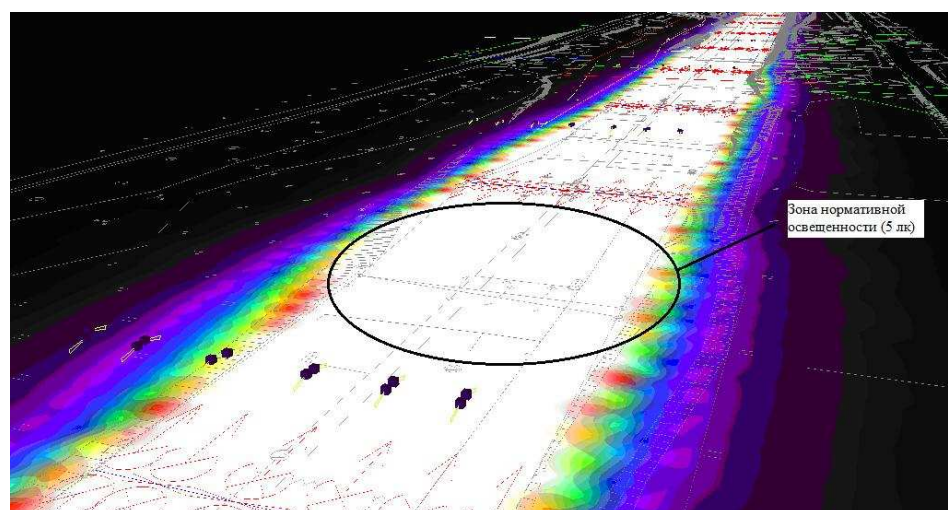


Рис. 4. Зоны освещенности станции Мана СОКр5-100

По рис. 4 видно, что СОКр5-100 дают равномерную освещенность всей станции без возникновения темных зон и слепящего эффекта от освещения.

По формуле (7) была определена простая норма прибыли, которая составила для варианта 1 – $R_1=6,7\%$, а для варианта 2 – $R_2=0,53\%$. Минимально привлекательный уровень доходности на сегодняшний день составляет 12%. Сравнивая полученные результаты с минимальным уровнем доходности, можно сказать, что оба варианта экономически непривлекательны для инвестирования.

Выводы

1. Применение СОКр для освещения путей и горловин железнодорожных станций технически оправданно, так как по светотехническому эффекту они сильно превосходят световые приборы РКУ.
2. Наряду с простой нормой прибыли были рассчитаны и суммарные издержки по вариантам – $I_{\Sigma 1}=160,8$ тыс. руб./год; $I_{\Sigma 2}=158,7$ тыс. руб./год. При $K_{\Sigma 1}<K_{\Sigma 2}$, $I_{\Sigma 1}> I_{\Sigma 2}$, что говорит о преимуществе СОКр перед другими СП в части низких затрат на их техническое обслуживание.
3. Принимая во внимание то обстоятельство, что цены на СОКр постепенно снижаются, можно ожидать, что они найдут широкое применение при проектировании освещения железных дорог.

Список литературы

1. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
2. Басова Т.Ф. Экономика и управление энергетическими предприятиями / Т.Ф. Басова, Е.И. Борисов, В.В. Бологова / под ред. Н.Н. Кожевникова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 432 с.
3. ГОСТ Р 54984-2012. Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля. - М. : Стандартиформ, 2013. - 24 с.
4. ОТУ 32-36. Установочные чертежи аппаратуры электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Изделия металлические и деревянные. Рабочие чертежи. - М. : Трансэлектропроект ОАО «РЖД», 2005. – II. - 18 с.
5. ОТУ 32-36/1. Установочные чертежи аппаратуры электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Установка светильников со светодиодами на жесткой поперечине контактной сети. Схемы электрические принципиальные. Рабочие чертежи. - М. : Трансэлектропроект ОАО «РЖД», 2012. - 51 с.
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. - М. : Минрегион России, 2012. - 113 с.

Рецензенты:

Ушаков В.Я., д.т.н., профессор, директор Регионального учебно-научно-технологического центра ресурсосбережения при ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск;

Кабышев А.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск.