

Энергоэффективность освещения исторических зданий на примере освещения караван-сарая Эль-Аман¹

Б. КОКАМАН

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция
E-mail: bkocaman@beu.edu.tr

Аннотация

Исторические здания соединяют прошлое с настоящим. Более того, они отражают жизнь общества, существовавшего в другие века. Исторические здания следует освещать, чтобы обеспечить лучшие условия их зрительного восприятия. Спрос на электроэнергию возрастает с каждым днём. Энергию следует расходовать экономно, с тем чтобы уменьшить количество рассеиваемой энергии. Поэтому энергоэффективность освещения исторических зданий имеет чрезвычайно важное значение. Для внутреннего и наружного освещения исторических зданий используются самые разные осветительные приборы. При этом новые осветительные приборы, такие как светильники со светодиодами (СД), во много раз эффективнее традиционных осветительных приборов, таких как светильники с лампами накаливания. Использование новых осветительных приборов может привести к существенному уменьшению расхода электроэнергии и соответствующему уменьшению выбросов парниковых газов. Освещение исторических зданий может послужить впечатляющим и очевидным примером энергоэффективного освещения. В данной работе анализ затрат и энергоэффективности проведён с учётом капитальных затрат и энергопотребления применительно к замене используемых в настоящее время в караван-сараях Эль-Аман (провинция Битлис, Турция) светильников с лампами накаливания (ЛН), галогенными лампами накаливания (ГЛН) и металлогалогенными лампами (МГЛ) на имеющие почти такие же световые потоки светильники с СД. Расчёты показали, что при такой замене годовое потребление энергии уменьшается на 78,21 %, с 41610 кВт·ч в случае тра-

диционного освещения с использованием светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ до 9066,6 кВт·ч при переходе на светильники с СД. При этом затраты на установку светильников с СД окупаются в течение 135 дней. В результате освещение было сделано менее энергозатратным, и энергию стали расходовать эффективнее.

Ключевые слова: энергоэффективность, исторические здания, освещение, СД, внутреннее освещение, наружное освещение.

1. Введение

Исторические здания соединяют прошлое с настоящим и обеспечивают культурную идентификацию. А при обеспечении баланса между использованием энергии и культурными ценностями они вносят собой важный вклад в будущее [1]. Они отражают жизнь общества и населённых пунктов, существовавших в другие века. Поэтому исторические здания следует демонстрировать правильно, что достигается с помощью освещения, которое способно изменить внешний облик здания [2].

Освещение должно усилить характерный облик здания, выявить его красоту и обеспечить личностное восприятие его окрестностей.

Зрительный облик исторического здания должен быть вынесен на передний план, а его детали выделены. Кроме того, здание должно привлекать внимание. При этом освещение не должно ни сглаживать особенности исторического здания, ни причинять ему вред. Всё это учитывают при создании наружного и внутреннего освещения исторических зданий [3, 4]. В последнее время большое значение стали уделять энергоэффективности освещения [5, 6]. В частности, ряд исследований были посвящены освещению исторических зданий и его энергоэффективности [7–11].

Сочетание светодиодов (СД) и современных систем управления является одним из решений, позволяющих обеспечить высокое качество освещения и его энергоэффективность. Проект освещения должен разрабатываться с учётом исторической ценности здания, его сохранности, обеспечения наиболее благоприятного сочетания естественного и искусственного освещения, зрительного комфорта людей, обеспечения качественного зрительного восприятия, зрительной эргономики и удовлетворённости наблюдателей [12]. При этом целый ряд исследований посвящён осветительным установкам с СД для внутреннего и наружного освещения [13–17].

Увеличение энергопотребления связано с ростом населения, повышением спроса на оказываемые зданиями услуги и уровень комфортности, а также с увеличением времени, которое люди проводят внутри зданий, и эта тенденция к увеличению спроса на электроэнергию сохранится и в будущем [18]. Улучшение энергоэффективности зданий нужно для уменьшения энергозависимости и выброса парниковых газов [19]. Энергоэффективность представляет собой уменьшение количества потребляемой энергии без изменения требуемого уровня освещения освещаемого пространства.

Освещение является базовой потребностью людей, что и определяет его повсеместное использование. Поэтому количество расходуемой на освещение энергии непрерывно увеличивается. Согласно отчёта Международного энергетического агентства, на освещение приходится 19 % полного мирового потребления энергии [20]. В то же время, в Турции на освещение приходится 20 % полного потребления энергии [21], что говорит о важности эффективного использования расходуемой на освещение энергии. Освещение является одной из областей, потенциально способных улучшить энергоэкономичность зданий [22].

Целью освещения является не обеспечения определённого уровня освещённости, а создание хороших условий для зрительной работы. Обеспечение хороших условий для зрительной работы связано в первую очередь с качеством и организацией освещения [23]. Освещение должно воздействовать на людей, воспринимающих сооружения и здания с художественной точки зрения [3].

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского.

Применительно к освещению, основной задачей является создание осветительной установки, обеспечивающей высочайшее качество освещения с учётом требований энергоэффективности.

Осветительную установку следует выбирать таким образом, чтобы не нанести никакого вреда камням исторических зданий. Кроме того, установки, сооружённые на начальной стадии возведения зданий, следует изменять как можно меньше.

При разработке осветительной установки следует исходить из назначения освещаемого здания и причин, по которым это здание нуждается в освещении. Характеристики освещаемого здания влияют на выбор элементов, подлежащих освещению для подчёркивания красоты этого здания, и на обеспечение комфорта зрительного восприятия, зависящего от глянца и блёскости, цвета и температуры используемого света. В данной работе энергоэффективность освещения рассмотрена применительно к историческим зданиям на примере освещения караван-сарая Эль-Аман, расположенного в провинции Битлис, Турция.

2. Краткая история караван-сарая Эль-Аман

Объектом данного исследования является историческое здание караван-сарая Эль-Аман, расположенное в провинции Битлис, Турция, и в настоящее время используемое как культурный центр университета Битлис Ерен.

Этот караван-сарай расположен в провинции Битлис, находящейся на самом востоке Турции ($38^{\circ}29'28''$ северной широты, $42^{\circ}11'36''$ восточной долготы). Он является примером османской архитектуры второй половины 16 века. Караван-сарай Эль-Аман, максимальный размер которого составляет примерно 70 м, является одним из самых больших караван-сараяв Анатолии. Это здание было построено для предоставления укрытия для путешественников и караванов, соединяющим Азию с Анатолией и Европой [24]. Спутниковый снимок караван-сарая Эль-Аман приведён на рис. 1, а на рис. 2 показан общий вид этого караван-сарая.

Освещение исторических зданий, являющихся символами городов, име-

Рис. 1. Спутниковый снимок караван-сарая Эль-Аман



Рис. 2. Общий вид караван-сарая Эль-Аман

Рис. 3. Естественное освещение караван-сарая Эль-Аман



ет свои особенности [11]. При освещении этих зданий нельзя ни наносить им каких бы то ни было физических повреждений, ни исказить их своеобразия, так как помимо того, что освещение этих зданий способствует развитию туризма, освещение зданий с впечатляющей архитектурой играет важную роль в формировании эстетического облика города.

В данном случае в окрестности рассматриваемого исторического здания нет никаких других сооружений. По-

этому ни внутри здания, ни на его фасаде и примыкающей к фасаду территории нет никаких сторонних источников света, и ночное освещение обеспечивается исключительно светильниками самого караван-сарая.

На начальной стадии строительства караван-сарай Эль-Аман освещался естественным светом (рис. 3). Однако после преобразования в культурный центр он освещается как естественным, так и искусственным светом (рис. 4).

Характеристики установок внутреннего и наружного освещения

Осветительная установка		Установленная мощность ламп каждого типа				
Внутреннее освещение		Мощность ЛН, Вт	Мощность МГЛ, Вт	Мощность ГЛН, Вт	Количество используемых ламп, шт.	Полная мощность, Вт
Помещение	Служебные помещения	100	–	–	15	1500
	Конференц-залы	100	–	–	4	400
	Многоцелевой холл	100	–	–	30	3000
	Маленькие кинозалы	100	–	–	48	4800
	Коридоры	100	–	–	10	1000
	Кладовые	100	–	–	4	400
	Туалет	100	–	–	6	600
Полная установленная мощность внутреннего освещения, Вт						11700
Наружное освещение		Мощность ЛН, Вт	Мощность МГЛ, Вт	Мощность ГЛН, Вт	Количество используемых ламп, шт.	Полная мощность, Вт
Двор		–	–	60	9	540
Фасад	Северный	–	150	–	2	300
	Западный	–	150	–	2	300
	Южный	–	150	–	3	450
	Восточный	–	150	–	3	450
Полная установленная мощность наружного освещения, Вт						2040



Рис. 4. Естественное и искусственное освещение караван-сарая Эль-Аман

Для освещения исторических зданий важное значение имеют распределение силы света и физические размеры и типы используемых светильников. Предпочтительными являются изделия, размеры которых не нарушают эстетическую целостность конструкции и общий облик здания в дневное время, или же места расположения светильников должны выби-

раться так, чтобы они не влияли на общий облик здания [25].

2.1. Освещение караван-сарая Эль-Аман

Для освещения караван-сарая Эль-Аман используется как естественный, так и искусственный свет. Для искусственного внутреннего освещения ис-

пользуются 117 светильников с лампами накаливания (ЛН) мощностью 100 Вт, тогда как для наружного освещения используются 9 светильников с галогенными лампами накаливания (ГЛН) мощностью 60 Вт и 10 светильников с металлогалогенными лампами (МГЛ) мощностью 150 Вт. Проект установки наружного освещения приведён на рис. 5, а на рис. 6 приведён проект установки внутреннего освещения. Названия некоторых частей исторического здания указаны на рисунках. Другие части здания и характеристики установок внутреннего и наружного освещения приведены в табл. 1. В существующей установке внутреннего освещения используется кабель $2 \times 2,5$ NHXMH, а в существующей установке наружного освещения используются кабели $3 \times 2,5$ NHXMH и 4×4 N2XH.

Мощности, световые потоки, коррелированные цветовые температуры, общие индексы цветопередачи и сроки службы светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ, которые используются

Типы и характеристики используемых светильников

Тип светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Коррелированная цветовая температура, К	Общий индекс цветопередачи	Срок службы, ч
МГЛ	150	12000	4200	85	6000–10000
ГЛН	60	630	2800	100	2000–4000
ЛН	100	1380	2700	100	1000

Таблица 3

Характеристики предлагаемых светильников с СД

Тип светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Коррелированная цветовая температура, К	Общий индекс цветопередачи	Срок службы, ч
СД (вместо МГЛ)	90	10000	3000	70	10000–50000
СД (вместо ГЛН)	20	800	2000	80	10000–50000
СД (вместо ЛН)	15	1521	2700	80	10000–50000

Таблица 4

Характеристики используемых и предлагаемых светильников

Тип светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Количество используемых светильников, шт.	Общий индекс цветопередачи	Полная мощность, Вт
ЛН	100	1380	117	100	11700
СД (вместо ЛН)	15	1521	117	80	1755
ГЛН	60	630	9	100	540
СД (вместо ГЛН)	20	800	9	80	180
МГЛ	150	12000	10	85	1500
СД (вместо МГЛ)	90	10000	10	70	900

для освещения исторического здания караван-сарая Эль-Аман, приведены в табл. 2.

3. Метод

3.1. Использование светильников с СД

Светильники с СД потребляют меньше энергии, чем традиционные светильники, вследствие чего они широко используются и для внутреннего, и для наружного освещения. В исторических зданиях освещение, соответствующее их текстуре, может быть реализовано при помощи светильников с СД. Поэтому для обеспечения энергоэффективности освещения светильники с ЛН, ГЛН и МГЛ, которые в настоящее время используются для внутреннего и наружного освещения караван-сарая Эль-Аман, было пред-

ложено заменить на светильники с СД, излучающие примерно такие же световые потоки. Характеристики предлагаемых светильников с СД приведены в табл. 3, а в табл. 4 приведены характеристики используемых в караван-сарая Эль-Аман и предлагаемых светильников, а именно, типы светильников, их мощности, световые потоки, количества, общие индексы цветопередачи и полные мощности.

Караван-сарай Эль-Аман используется в качестве культурного центра, и считается, что светильники, используемые для его внутреннего освещения, работают в среднем 8 ч в сутки, а светильники, используемые для его наружного освещения, работают в среднем 10 ч в сутки.

Светильники с СД, заменяющие светильники с ЛН, ГЛН и МГЛ, будут работать в составе существующих электрических установок внутренне-

го и наружного освещения. Поэтому дополнительные затраты на кабели и работу при проведении расчётов не учитываются.

3.2. Расчёт затрат в случае используемых светильников

Затраты рассчитывались по отдельности для светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ, которые используются для освещения исторического здания караван-сарая Эль-Аман, и для заменяющих их светильников с СД.

Количество энергии, потребляемой в день светильниками с ЛН, ГЛН и МГЛ, равно:

- Светильники с ЛН: $117 \cdot 100 \text{ Вт} \cdot 8 \text{ ч} = 93600 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 93,600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.
- Светильники с ГЛН: $9 \cdot 60 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ ч} = 5400 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 5,400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.
- Светильники с МГЛ: $10 \cdot 150 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ ч} = 15000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 15,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Таблица 5

Средние стоимости светильников

Тип светильника	Мощность, Вт	Средняя стоимость светильника, ТЛ
ЛН	100	6
МГЛ	60	15
ГЛН	150	90
СД (вместо ЛН)	15	40
СД (вместо ГЛН)	20	106
СД (вместо МГЛ)	90	650

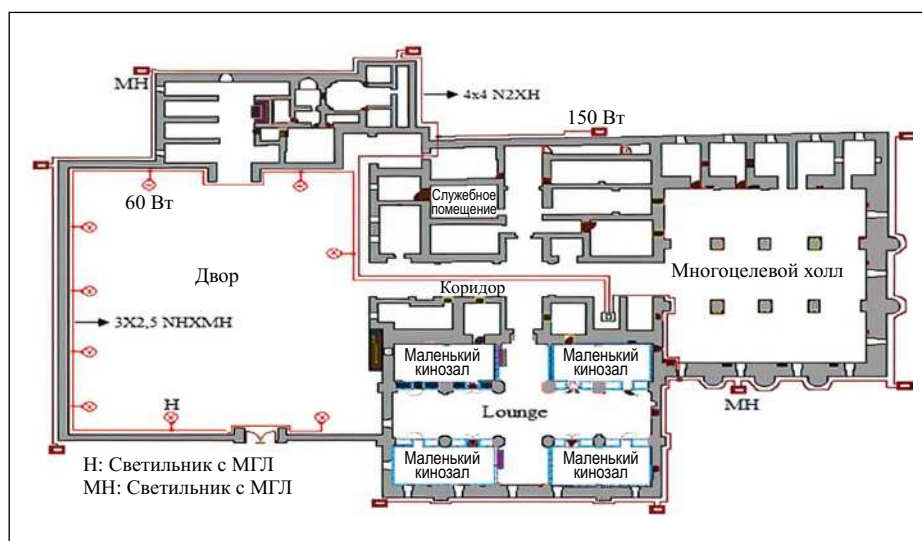


Рис. 5. Проект установки наружного освещения

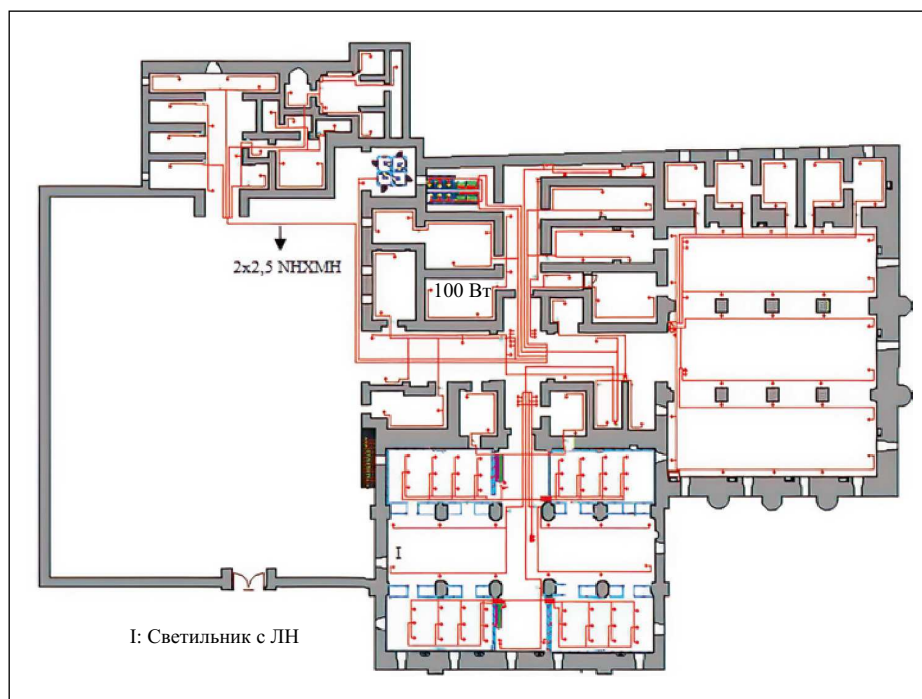


Рис. 6. Проект установки внутреннего освещения

Полное количество энергии, потребляемой в день всеми светильниками с ЛН, ГЛН и МГЛ, равно $93,600 \text{ кВт}\cdot\text{ч} + 5,400 \text{ кВт}\cdot\text{ч} + 15,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 114 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Так как на протяжении года рассматриваемое историческое здание открыто и используется ежедневно, то количество рабочих дней в году принято равным 365.

Полное годовое потребление энергии всеми светильниками с ЛН, ГЛН и МГЛ равно $114 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{день} \cdot 365 \text{ дней} = 41610 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Стоимость электроэнергии (с сентября 2019 г.) составляет $0,822018 \text{ турецких лир (ТЛ) за } 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}^2$.

Годовые затраты на электроэнергию, потребляемую всеми светильниками с ЛН, ГЛН и МГЛ, составляют $41610 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,822018 \text{ ТЛ/кВт}\cdot\text{ч} = 34204,168 \text{ ТЛ}$.

При переходе на светильники с СД получаем:

Дневное потребление энергии:

- Светильники с СД, заменяющие светильники с ЛН: $117 \cdot 15 \text{ Вт} \cdot 8 \text{ ч} = 14040 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 14,040 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

- Светильники с СД, заменяющие светильники с ГЛН: $9 \cdot 20 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ ч} = 1800 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 1,800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

- Светильники с СД, заменяющие светильники с МГЛ: $10 \cdot 90 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ ч} = 9000 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 9,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Полное количество энергии, потребляемой в день всеми светильниками с СД, равно $14,040 \text{ кВт}\cdot\text{ч} + 1,800 \text{ кВт}\cdot\text{ч} + 9,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 24,840 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Полное годовое потребление энергии всеми светильниками с СД равно $24,840 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{день} \cdot 365 \text{ дней} = 9066,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Годовые затраты на электроэнергию, потребляемую всеми светильниками с СД, составляют $9066,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,822018 \text{ ТЛ/кВт}\cdot\text{ч} = 7452,908 \text{ ТЛ}$.

Срок службы светильника с ЛН равен 1000 ч, а годовая наработка такого светильника равна $8 \text{ ч}/\text{день} \cdot 365 \text{ дней} = 2920 \text{ ч}$. Так что периодичность замены светильника с ЛН составляет $1000 \text{ ч}/(2920 \text{ ч}/\text{год}) = 0,342 \text{ года}$.

Сроки службы светильников с СД колеблется в пределах от 10000 до 50000 ч. Для проведения расчётов был выбран средний срок службы, равный 30000 ч. Так что:

Для светильников с СД, заменяющих светильники с ЛН, годовая

² По состоянию на 10.02.2020 1 ТЛ = 10,65 руб. – Прим. пер.

продолжительность работы равна $8 \text{ ч/день} \cdot 365 \text{ дней} = 2920 \text{ ч}$, так что периодичность замены таких светильников составляет $30000 \text{ ч}/(2920 \text{ ч/год}) = 10,27 \text{ лет}$.

Срок службы светильника с ГЛН равен 3000 ч, а годовая наработка такого светильника равна $10 \text{ ч/день} \cdot 365 \text{ дней} = 3650 \text{ ч}$. Так что периодичность замены светильника с ГЛН составляет $3000 \text{ ч}/(3650 \text{ ч/год}) = 0,822 \text{ года}$.

Для светильников с СД, заменяющих светильники с ГЛН, годовая продолжительность работы равна $10 \text{ ч/день} \cdot 365 \text{ дней} = 3650 \text{ ч}$, так что периодичность замены таких светильников составляет $30000 \text{ ч}/(3650 \text{ ч/год}) = 8,219 \text{ лет}$.

Срок службы светильника с МГЛ равен 8000 ч, а годовая наработка такого светильника равна $10 \text{ ч/день} \cdot 365 \text{ дней} = 3650 \text{ ч}$. Так что периодичность замены светильника с МГЛ составляет $8000 \text{ ч}/(3650 \text{ ч/год}) = 2,191 \text{ лет}$.

Для светильников с СД, заменяющих светильники с МГЛ, годовая продолжительность работы равна $10 \text{ ч/день} \cdot 365 \text{ дней} = 3650 \text{ ч}$, так что периодичность замены таких светильников составляет $30000 \text{ ч}/(3650 \text{ ч/год}) = 8,219 \text{ лет}$.

Стоимости светильников зависят от их марки и компании-производителя. Поэтому на основе результатов исследования рынка были определены средние стоимости светильников, которые приведены в табл. 5.

Капитальные затраты для светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ:

- Светильники с ЛН: $6 \text{ ТЛ} \cdot 117 = 702 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с ГЛН: $15 \text{ ТЛ} \cdot 9 = 135 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с МГЛ: $90 \text{ ТЛ} \cdot 10 = 900 \text{ ТЛ}$.

Полные капитальные затраты для всех светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ составляют $702 \text{ ТЛ} + 135 \text{ ТЛ} + 900 \text{ ТЛ} = 1737 \text{ ТЛ}$.

Годовые затраты на замену светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ:

- Светильники с ЛН: $6 \text{ ТЛ} \cdot 117/0,342 = 702 \text{ ТЛ}/0,342 = 2052, 63 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с ГЛН: $15 \text{ ТЛ} \cdot 9/0,822 = 135 \text{ ТЛ}/0,822 = 164,23 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с МГЛ: $90 \text{ ТЛ} \cdot 10/2,191 = 900 \text{ ТЛ}/2,191 = 410,77 \text{ ТЛ}$.

Полные годовые затраты на замену всех светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ составляют $2052, 63 \text{ ТЛ} + 164,23 \text{ ТЛ} + 410,77 \text{ ТЛ} = 2627,63 \text{ ТЛ}$.

Годовые эксплуатационные расходы для всех светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ = годовая стоимость электроэнергии + полные годовые затраты на замену всех светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ = $34204,168 \text{ ТЛ} + 2627,63 \text{ ТЛ} = 36831,798 \text{ ТЛ}$.

Полные затраты для всех светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ = капитальные затраты + годовые эксплуатационные расходы = $1737 \text{ ТЛ} + 36831,798 \text{ ТЛ} = 38568,798 \text{ ТЛ}$.

Капитальные затраты для светильников с СД:

- Светильники с СД мощностью 15 Вт, заменяющие светильники с ЛН: $40 \text{ ТЛ} \times 117 = 4680 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с СД мощностью 20 Вт, заменяющие светильники с ГЛН: $106 \text{ ТЛ} \times 9 = 954 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с СД мощностью 90 Вт, заменяющие светильники с МГЛ: $650 \text{ ТЛ} \times 10 = 6500 \text{ ТЛ}$.

Полные капитальные затраты для всех светильников с СД составляют $4680 \text{ ТЛ} + 954 \text{ ТЛ} + 6500 \text{ ТЛ} = 12134 \text{ ТЛ}$.

Годовые затраты на замену светильников с СД:

- Светильники с СД, заменяющие светильники с ЛН: $40 \text{ ТЛ} \cdot 117/10,27 = 4680 \text{ ТЛ}/10,27 = 455,696 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с СД, заменяющие светильники с ГЛН: $106 \text{ ТЛ} \cdot 9/8,219 = 954 \text{ ТЛ}/8,219 = 116,07 \text{ ТЛ}$.

- Светильники с СД, заменяющие светильники с МГЛ: $650 \text{ ТЛ} \cdot 10/8,219 = 6500 \text{ ТЛ}/8,219 = 790,85 \text{ ТЛ}$.

Полные годовые затраты на замену всех светильников с СД составляют $455,696 \text{ ТЛ} + 116,07 \text{ ТЛ} + 790,85 \text{ ТЛ} = 1362,616 \text{ ТЛ}$.

Годовые эксплуатационные расходы для всех светильников с СД = годовая стоимость электроэнергии + полные годовые затраты на замену всех светильников с СД = $7452,908 \text{ ТЛ} + 1362,616 \text{ ТЛ} = 8815,524 \text{ ТЛ}$.

Полные затраты для всех светильников с СД = капитальные затраты + годовые эксплуатационные расходы = $12134 \text{ ТЛ} + 8815,524 \text{ ТЛ} = 20949,524 \text{ ТЛ}$.

3.3. Расчёт срока окупаемости

Проведённые расчёты показали, что при использовании светильников с СД затраты оказались выше, чем при использовании светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ. Однако для принятия решения о целесообразности ис-

пользования светильников с СД для освещения караван-сарая Эль-Аман был рассчитан срок окупаемости этих светильников.

Срок окупаемости при замене светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ на светильники с СД можно рассчитать при помощи уравнения (1):

$$C_1 + A_p \cdot C_2 = C_3 + A_p \cdot C_4, \quad (1)$$

где C_1 – капитальные затраты в случае светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ, ТЛ; C_2 – годовые эксплуатационные расходы в случае светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ, ТЛ; C_3 – капитальные затраты в случае светильников с СД, ТЛ; C_4 – годовые эксплуатационные расходы в случае светильников с СД, ТЛ; A_p – срок окупаемости, лет.

Подставив в (1) значения параметров, получаем:

$$1737 \text{ ТЛ} + A_p \cdot 36831,798 \text{ ТЛ} = 12134 \text{ ТЛ} + A_p \cdot 8815,524 \text{ ТЛ}$$

$$A_p \cdot (36831,798 \text{ ТЛ} - 8815,524 \text{ ТЛ}) = 12134 \text{ ТЛ} - 1737 \text{ ТЛ}$$

$$A_p \cdot 28016,274 \text{ ТЛ} = 10397 \text{ ТЛ}$$

$$A_p = 0,371 \text{ лет} = 4,452 \text{ месяцев} = 135,415 \text{ дней}$$

Из результатов расчётов срока окупаемости следует, что затраты на перевод освещения исторического здания на освещение СД окупаются за примерно 135 дней. Этот период определяет энергоэффективность освещения исторических зданий, таких как караван-сарай Эль-Аман.

4. Заключение

На освещение приходится 20 % общего расхода энергии, что обусловило важность использования светильников с СД. Для обеспечения энергоэффективности освещения следует предпочесть светильники с СД, которые потребляют меньше энергии, чем традиционные светильники. В результате ожидается, что использование СД источников света для общего освещения будет непрерывно возрастать.

Расчёты, проведённые применительно к караван-сараяу Эль-Аман, показали, что при использовании светильников с СД годовое количество энергии, расходуемой на внутреннее и наружное освещение, составит 9066,6 кВт·ч. С другой стороны, в случае традиционной осветительной установки, в которой используются светильники с ЛН, ГЛН и МГЛ, годовое потребление энергии оказалось

равным 41610 кВт·ч. Так что при переходе на светильники с СД ожидается уменьшение энергопотребления на примерно 78 % по сравнению с энергопотреблением в случае традиционного освещения, основанного на ЛН, ГЛН и МГЛ.

В случае светильников с СД рассчитанное значение капитальных затрат (12134 ТЛ) оказалось на 86 % большим, чем в случае светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ (1737 ТЛ). Однако годовые эксплуатационные расходы в случае светильников с СД (8815,524 ТЛ) оказались на 76 % меньше, чем в случае светильников с ЛН, ГЛН и МГЛ (36831,798 ТЛ). Согласно результатам расчётов, перевод освещения рассматриваемого исторического здания на СД окупится за примерно 135 дней. По истечении срока окупаемости на освещение будет расходоваться меньше энергии, и энергия будет использоваться более эффективно.

И наконец, низкое энергопотребление светильников с СД даёт ответ на широко обсуждаемый вопрос о том, как сэкономить энергию. Поэтому светильники с СД играют важную роль в обеспечении энергоэффективности освещения исторических зданий. Другими словами, автор описал, как можно управлять энергопотреблением осветительных установок, и показал, что в случае исторических зданий в результате перехода на светильники с СД можно добиться существенно увеличения энергоэффективности освещения.

Автор благодарит ректорат университета Битлис Ерен за оказанную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Troi, A., Bastian, Z. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings. A Handbook, 2015.
2. www.thornlighting.co.uk (Access date:20.08.2019).
3. Górczewska, M. Some aspects of architectural lighting of historical buildings // Conf. Light in Engineering, Architecture and the Environment, WIT Press, Southampton, Boston, ISSN: 1743–3509, str. 107–116, 2011.
4. https://www.iac.es/system/files/documents/2019-09/opcc-otpc_guide.pdf.(Access date:15.06.2019).
5. Kocaman, B., Rüstemli, S. Comparison of LED and HPS Luminaries in Terms of Energy Savings at Tunnel Lighting // Light &

Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 3. – P. 67–74.

6. Кокаман Б., Рустемли С. Сравнение светильников со светодиодами и натриевыми лампами высокого давления при освещении тоннелей // Светотехника. – 2019. – № 1. – С. 54–60.

7. Claesson, M., Broström, T. Eight years of energy efficiency in historic buildings // Int. Conf. Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, 19–21.10.2016, Brussels, Belgium.

8. Troi, A. Comfort and energy efficiency in historic buildings – the 3ENCULT experience // Int. Conf. Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, 19–21.10.2016, Brussels, Belgium.

9. Lucchi, E. Energy Efficiency in Historic Buildings: a Tool for Analysing the Compatibility, Integration and Reversibility of Renewable Energy Technologies // World Renewable Energy Congress, 8–13.05.2011, Linköping, Sweden.

10. Rezabek, C., Mapp, J., Smith, Cavallo, J. Energy Efficient Lighting in Historic Buildings // 2008 American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE) Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2008.

11. Górczewska, M., Mroczkowska, S. Lighting of historical architectonic facilities and buildings using as an example the St. Joseph Church in Poznań // Computer Applications in Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 13. – P. 394–403.

12. Balocco, C., Volante, G. A Method for Sustainable Lighting, Preventive Conservation», Energy Design and Technology Lighting a Historical Church Converted into a University Library, Sustainability 2019, 11, 3145.

13. Khan, N., Abas, N. Comparative study of energy saving light sources // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15, No. 1. – P. 296–309.

14. Braga, M.F., Nogueira, F.J., Campos, M.F.C., Gouveia, L.H.B., Braga, H.A.C. A comparative study regarding linear fluorescent and LED lamps for indoor lighting // 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 1–7.12.2014, Juiz de Fora, Brazil.

15. Liu, J., Zhang, W., Chu, X., Liu, Y. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight // Energy Build. – 2016. – Vol. 127, No. 9. – P. 95–104.

16. Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., Roth, B. LEDs for energy efficient greenhouse lighting // Renewable & Sus-

tainable Energy Reviews. – 2015. – Vol 49, No. 6. – P. 139–147. .

17. Uddin, S., Shareef, H., Mohamed A. Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps // Measurement. – 2013. – Vol. 46, No. 10. – P. 3783–3795.

18. Ozolina, L., Ros'a, M. A review of energy efficiency policy and measures for industries in Latvia // Management of Environmental Quality. – 2012. – Vol. 23, No.5. – P. 517–526, doi:10.1108/14777831211255097.

19. Berg, F., Donarelli, A. Energy performance certificates and historic buildings: a method to encourage user participation and sustainability in the refurbishment process // Int. Conf. Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings, 19–21.10.2016, Brussels, Belgium.

20. http://hasmutlu.com/blog/led-aydinlatma-ve-enerji-verimlilikigi/(Access date: 15.08.2019).

21. Öztürk, A.E., Aşkan, M., Dal, M., Korunur, S., Kaymaz, K. Konutlarda Yapay Aydınlatma Enerjisinin Etkin Yönetimi // Munzur Üniversitesi, Bilim ve Gençlik Dergisi. – 2017. – Vol. 5, No. 2. – P. 1–17.

22. Kamaruzzaman, S.N., Zulkifli, N. A Review of the Lighting Performance in Buildings through Energy Efficiency // 2nd Int. Conf. on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014), 21–22.03.2014, Dubai.

23. http://www.yfu.com/kitapciklar/muzelerde_ve_burolarda_aydinlatma.pdf (Access date:28.09.2019)

24. Uluçay, S. El Aman Hanı ve Köse Hüseyin Paşa Üzerine Bir Değerlendirme // Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. – 2012. – Vol. 1, No. 1. – P. 70–83.

25. Özenc, S., Menteseoğlu, D. İzmir'deki Kent Aydınlatmasına Yönelik Olumsuz Uygulamalar ve Çözüm Önerileri // TMMOB2. İzmir Kent Sempozyumu, 28–30.11.2013. – P. 69–78.



Беҳчет Кокаман
(Behçet Kocaman),
Ph.D. (2015 г.). Доцент кафедры электротехники и электроники
Университета Битлис Ерен, Турция.
Область научных интересов: энерго-

эффективность, освещение, возобновляемые источники энергии, управление электроэнергией, её передача и распределение